

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUY NHƠN**



TẠP CHÍ KHOA HỌC
CHUYÊN SAN KHOA HỌC TỰ NHIÊN & KỸ THUẬT

Quy Nhơn, tháng 6-2018



MỤC LỤC

1. Nghiệm Liouvillian của các phương trình vi phân đại số cấp một giống không
Ngô Lâm Xuân Châu, Lê Minh Dương, Hà Trọng Thi5
2. Tính giả dưới chính quy của các ánh xạ đa trị
Nguyễn Hữu Trọn, Nguyễn Văn Vũ, Dương Thị Thu Thủy 13
3. Nghiên cứu Didactic về khái niệm giới hạn dãy số ở trường phổ thông
Nguyễn Thị Minh Vân27
4. Nghiên cứu chiết tách và xác định thành phần hóa học của chất màu tách từ thân rễ nghệ vàng (*curcuma domestica valet.*) ở Nhơn Phú, Bình Định
Võ Thị Thanh Tuyền 41
5. Nghiên cứu các điều kiện cho quá trình nhiệt phân sinh khối theo hướng thu sản phẩm lỏng
Phan Thị Thùy Dung, Nguyễn Công Hoang, Phạm Thị Loan, Huỳnh Văn Nam, Trương Thanh Tâm49
6. Điều chế xúc tác quang hóa ZnO-SiO₂ và ứng dụng để phân hủy phẩm màu Rhodamine B
Lê Thị Thanh Thủy, Nguyễn Xuân Dũng61
7. Tính chất điện sắc của dây Nano độ xoắn cao cấu trúc lõi - vỏ TiO₂ - WO₃
Nguyễn Minh Vương, Hoàng Nhật Hiếu, Nguyễn Văn Nghĩa 73
8. Ảnh hưởng của Benzyl Adenine (BA) và Naphthalene Acetic Acid (NAA) đến sự hình thành chồi và rễ của cây cỏ ngọt (*stevia rebaudiana bertoni*) trong nuôi cấy *in vitro*
Hồ Tân, Nguyễn Thị Y Thanh81
9. Đề xuất điều khiển vị trí giảm nhiễu đa kênh (ADRC) trên FPGA cho hệ truyền động servo
Đỗ Văn Càn, Thân Văn Thông91
10. Đánh giá chuyển vị mục tiêu của quy trình phân tích tinh phi tuyến trong thiết kế kháng chấn
Trần Thanh Tuấn, Nguyễn Thị Khánh Ngân, Phạm Thị Lan 103

11. Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng và cách bố trí cốt thép đến độ cứng chống xoắn của sàn
**Nguyễn Mai Chí Trung, Lê Thị Mai Trang, Nguyễn Thị Khánh Ngân,
Hoàng Công Vũ, Nguyễn Ngọc Thắng**..... 115
12. Chất lượng phân cụm của thuật toán K-means dựa vào phương pháp lấy mẫu thực hiện song song theo mô hình Mapreduce
Nguyễn Thị Tuyết, Trần Thiên Thành, Trần Hoàng Việt..... 125
13. Thực trạng về “lối sống xanh” và “tiêu dùng bền vững” của sinh viên sư phạm trên địa bàn thành phố Quy Nhơn, tỉnh Bình Định
Nguyễn Thị Huyền, Phan Thị Lệ Thủy..... 135

LIOUVILLIAN SOLUTIONS OF ALGEBRAIC ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS OF ORDER ONE IN GENUS ZERO

NGO LAM XUAN CHAU^{1,*}, LE MINH DUONG², HA TRONG THI³

¹Department of Mathematics, Quy Nhơn University

²Vinh Thanh High School, Binh Dinh

³Binh Dinh Department of Education and Training, Binh Dinh

ABSTRACT

We study a sufficient condition for having a liouvillian solution of the autonomous algebraic ordinary differential equation $f(y, y') = 0$, where $f(X, Y) = 0$ defines a rational algebraic curve over \mathbb{C} . Basically, the condition relies on a proper rational parametrization of the algebraic curve $f(X, Y) = 0$ and the existence of a liouvillian solution of the first order, first degree differential equation $y' = R(y)$, where $R(y)$ is a rational function in the variable y over \mathbb{C} .

Keywords: Algebraic differential equation, Liouvillian solution, parametrization, rational algebraic curve.

TÓM TẮT

Nghiệm Liouville của các phương trình vi phân đại số cấp một giống không

Chúng tôi đưa ra một điều kiện đủ để phương trình vi phân đại số tự trị $f(y, y') = 0$ có một nghiệm liouville, ở đây $f(X, Y) = 0$ xác định một đường cong đại số hữu tỉ trên \mathbb{C} . Về cơ bản điều kiện này dựa trên một phép tham số hữu tỉ thực sự của đường cong đại số $f(X, Y) = 0$ và sự tồn tại một nghiệm liouville của phương trình vi phân cấp một, bậc một $y' = R(y)$, trong đó $R(y)$ là một hàm hữu tỉ theo biến y với hệ số trên \mathbb{C} .

Từ khóa: Phương trình vi phân đại số, nghiệm Liouville, phép tham số hóa, đường cong đại số hữu tỉ.

1. Introduction

An algebraic ordinary differential equation (AODE) of order one is of the form

$$f(y, y') = 0,$$

Email: ngolamxuanchau@qnu.edu.vn

Ngày nhận bài: 02/8/2017; Ngày nhận đăng: 11/10/2017

where $f \in \mathbb{C}(z)[y, y']$ and f effectively contains the derivative y' . A solution of $f(y, y') = 0$ in a differential field extension E of $\mathbb{C}(z)$ is an element $\eta \in E$ such that $f(\eta, \eta') = 0$, where $'$ is the derivation of E extending the usual derivation of $\mathbb{C}(z)$.

Liouville's theorem ([2]) gives a necessary and sufficient condition on the element $a \in F$ in order that the linear differential equation $y' = a$ has an elementary solution over the differential field F of characteristic zero. Rosenlicht is the first person who gave an algebraic proof of Liouville's theorem completely ([11], [12]).

For nonlinear AODE $f(y, y') = 0$ over $\mathbb{C}(z)$, Mordukhai-Boltovski ([10]) described the forms of an elementary solution of the differential equation. In his paper, M.F. Singer ([15]) provided a necessary and sufficient condition on the right hand side of the differential equation $y' = R(y)$, where R is a rational function over the constant field, having a non-constant elementary solution over the constant field. Recently, V.R. Srinivasan ([17]) generalized Singer's result to the case of having liouvillian solution. On the other hand, Srinivasan proved that if $P(X) \in \mathbb{C}[X]$ is a polynomial in one variable with constant coefficients of degree at least three and P has no multiple root, then the differential equation $y'^2 = P(y)$ has no non-constant liouvillian solution over \mathbb{C} . This result generalizes Rosenlicht's result ([13]) concerning the case of elliptic equation $y'^2 = y^3 + ay + b$, $a, b \in \mathbb{C}$, $4a^3 + 27b^2 \neq 0$.

On the computational aspects, R. Feng, et al. ([4],[1]) proposed algorithms computing a rational general solution, an algebraic general solution of an autonomous AODE of order one. Later N.L.X. Chau, et al. ([8], [9], [5], [6]) generalized Feng's results to the case of rational general solutions of non-autonomous AODEs of order one. Beside, V.N. Thieu developed several complete algorithms to compute (strong) rational solutions and algebraic solutions of AODEs of order one in his doctoral thesis [18].

In this paper, we consider an autonomous AODE of order one given by $f(y, y') = 0$, where $f \in \mathbb{C}[X, Y]$ is an irreducible polynomial and $f(X, Y) = 0$ defines a rational algebraic curve. We study a sufficient condition for which the differential equation $f(y, y') = 0$ has a liouvillian solution over \mathbb{C} .

2. Preliminaries

2.1. Liouvillian extensions

The theory of algebraic differential equations can be symbolically studied in differential algebra context. In this section, we recall some basic notions on differential fields and liouvillian extensions. A field F is called a *differential field* with the derivation $'$ if $' : F \rightarrow F$ satisfies $(x+y)' = x' + y'$ and $(xy)' = x'y + xy'$ for all $x, y \in F$. The set $C = \{c \in F \mid c' = 0\}$ forms a subfield of F which is called the *constant field* of F . A differential field E is said

to be a *differential extension* of F if E contains F as a subfield and the derivation of E restricting to F coincides with the derivation of F .

Definition 2.1. A differential field extension E of F is said to be a *liouvillian extension* of F if there exist $t_1, \dots, t_n \in E$ such that $E = F(t_1, \dots, t_n)$ and for any $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ one of the following conditions holds

1. t_i is algebraic over $F(t_1, \dots, t_{i-1})$;
2. $t'_i \in F(t_1, \dots, t_{i-1})$;
3. $\frac{t'_i}{t_i} \in F(t_1, \dots, t_{i-1})$.

If $t'_i = \frac{u'_i}{u_i}$ with $u_i \in F(t_1, \dots, t_{i-1})$, then we write $t_i = \log u_i$. If $\frac{t'_i}{t_i} = u'_i$, then we write $t_i = e^{u_i}$.

Definition 2.2. The differential extension $F \subset E$ is said to be an *elementary extension* if the second and the third condition in Definition 2.1 are replaced by $t_i = \log u_i$ and $t_i = e^{u_i}$ respectively.

Definition 2.3. A solution of the differential equation $f(y, y') = 0$ over $\mathbb{C}(x)$ is said to be liouvillian if it is contained in a liouvillian extension of $\mathbb{C}(x)$.

2.2. Rational algebraic curves

In this section, we present some basic notions and important results from the known theory of rational algebraic curves. For a full account of rational algebraic curves we refer to [14].

Let $f(X, Y) \in \mathbb{C}[X, Y]$ be an irreducible polynomial in two variables over the algebraically closed field \mathbb{C} . The set

$$\mathcal{C} = \{(a, b) \in \mathbb{C}^2 \mid f(a, b) = 0\}$$

defines an *algebraic curve* over \mathbb{C} .

Definition 2.4. A *rational parametrization* of the algebraic curve $f(X, Y) = 0$ is a pair of rational functions $X(t), Y(t) \in \mathbb{C}(t)$ such that

1. for almost all $t_0 \in \mathbb{C}$ the point $(X(t_0), Y(t_0)) \in \mathcal{C}$;
2. and for almost all point $(x_0, y_0) \in \mathcal{C}$ there exists $t_0 \in \mathbb{C}$ such that

$$(X(t_0), Y(t_0)) = (x_0, y_0).$$

Definition 2.5. An algebraic curve $f(X, Y) = 0$ is said to be *rational* if it admits a rational parametrization.

One can test the rationality of an algebraic curve by computing its genus, which is a natural number and invariant under the birational transformations.

Theorem 2.1. *The algebraic curve $f(X, Y) = 0$ is rational if and only if its genus is zero.*

Definition 2.6. A rational parametrization $(X(t), Y(t))$ of the algebraic curve $f(X, Y) = 0$ is said to be *proper* if for almost every point (x_0, y_0) on the curve there is a unique $t_0 \in \mathbb{C}$ such that $(X(t_0), Y(t_0)) = (x_0, y_0)$.

Theorem 2.2. *Let $(X_1(t), Y_1(t))$ be a proper rational parametrization of the algebraic curve $f(X, Y) = 0$. Then for any rational parametrization $(X_2(t), Y_2(t))$ of $f(X, Y) = 0$ there is a rational function $R(t) \in \mathbb{C}(t)$ such that*

$$(X_2(t), Y_2(t)) = (X_1(R(t)), Y_1(R(t))).$$

In addition, if $(X_2(t), Y_2(t))$ is proper, then $R(t) = \frac{at + b}{ct + d}$ for some $a, b, c, d \in \mathbb{C}$ and $ad - bc \neq 0$.

3. Main results

In this section, we consider the autonomous AODE of order one given by

$$f(y, y') = 0,$$

where $f \in \mathbb{C}[X, Y]$ is an irreducible polynomial and $f(X, Y) = 0$ is a rational algebraic curve. We study a sufficient condition for which the differential equation $f(y, y') = 0$ has a liouvillian solution.

Proposition 3.1. *Let $f(X, Y) = 0$ be a rational algebraic curve over \mathbb{C} . Suppose that $(X_1(t), Y_1(t))$ and $(X_2(t), Y_2(t))$ are two different proper rational parametrizations of the algebraic curve $f(X, Y) = 0$. Then the two differential equations*

$$t' = \frac{Y_1(t)}{\frac{\partial X_1(t)}{\partial t}} \quad \text{and} \quad t' = \frac{Y_2(t)}{\frac{\partial X_2(t)}{\partial t}}$$

have the same liouvillian solvability.

Proof. Since $(X_1(t), Y_1(t))$ and $(X_2(t), Y_2(t))$ are two different proper rational parametrizations of the algebraic curve $f(X, Y) = 0$, there exists a rational function $R(t) = \frac{at + b}{ct + d}$, with $a, b, c, d \in \mathbb{C}$, $ad - bc \neq 0$ such that

$$(X_1(R(t)), Y_1(R(t))) = (X_2(t), Y_2(t)).$$

Assume that the differential equation $t' = \frac{Y_2(t)}{\frac{\partial X_2(t)}{\partial t}}$ has a liouvillian solution t over \mathbb{C} , i.e.,

there exists a liouvillian extension field E of \mathbb{C} containing t . Then

$$t' = \frac{Y_2(t)}{\frac{\partial X_2(t)}{\partial t}} = \frac{Y_1(R(t))}{\frac{\partial X_1(R(t))}{\partial t} \frac{\partial R(t)}{\partial t}}.$$

It follows that $s = R(t)$ is a solution of the differential equation $s' = \frac{Y_1(s)}{\frac{\partial X_1(s)}{\partial s}}$. Since $t \in E$

and R is a rational function over \mathbb{C} , it turns out that $R(t) \in E$, that means $R(t)$ is a liouvillian solution over \mathbb{C} . \square

Theorem 3.1. *Let $f(X, Y) = 0$ be a rational algebraic curve and $(X(t), Y(t))$ be a proper rational parametrization of $f(X, Y) = 0$. If there exists a rational function $Z(t) \in \mathbb{C}(t)$ such that*

$$\frac{\frac{\partial X(t)}{\partial t}}{Y(t)} = \frac{\partial Z(t)}{\partial t} \quad \text{or} \quad \frac{\frac{\partial X(t)}{\partial t}}{Y(t)} = \frac{\frac{\partial Z(t)}{\partial t}}{aZ(t)}$$

for some $a \in \mathbb{C}^*$, then the differential equation $f(y, y') = 0$ has a liouvillian solution, precisely $y(t) = X(t)$, where t is a root of $Z(t) = x$ or $Z(t) = e^{ax}$.

Proof. 1. Assume that there is a rational function $Z(t) \in \mathbb{C}(t)$ such that

$$\frac{\frac{\partial X(t)}{\partial t}}{Y(t)} = \frac{\partial Z(t)}{\partial t},$$

i.e., $\frac{\partial Z(t)}{\partial t} \cdot \frac{Y(t)}{\frac{\partial X(t)}{\partial t}} = 1$. Consider the differential field $(\mathbb{C}(x), ')$ with $x' = 1$, let $Z(t) = x$,

that means t is algebraic over $\mathbb{C}(x)$. Then $\frac{\partial Z(t)}{\partial t} \cdot t' = 1$. It follows that

$$t' = \frac{Y(t)}{\frac{\partial X(t)}{\partial t}}, \quad \text{i.e.,} \quad (X(t))' = Y(t).$$

Since $f(X(t), Y(t)) = 0$, it implies that $y = X(t)$ is a solution of the differential equation $f(y, y') = 0$. Since $X(t)$ is a rational function in t and t is algebraic over $\mathbb{C}(x)$, it follows that t is liouvillian over $\mathbb{C}(x)$.

2. Assume that there is a rational function $Z(t) \in \mathbb{C}(t)$ such that

$$\frac{\frac{\partial X(t)}{\partial t}}{Y(t)} = \frac{\frac{\partial Z(t)}{\partial t}}{aZ(t)}.$$

Consider the differential field $(\mathbb{C}(x), ')$ with $x' = 1$, let $Z(t) = e^{ax}$, i.e., t is algebraic over the field $\mathbb{C}(x)(e^{ax})$. Then

$$\frac{\partial Z(t)}{\partial t} \cdot t' = aZ(t).$$

It follows that

$$t' = \frac{Y(t)}{\frac{\partial X(t)}{\partial t}} \quad \text{i.e.,} \quad (X(t))' = Y(t).$$

Therefore, $y = X(t)$ is a liouvillian solution of $f(y, y') = 0$ over $\mathbb{C}(x)$. □

4 Examples

In this section, we demonstrate two examples according to the two cases in Theorem 3.1.

Example 4.1. Consider the differential equation

$$f(y, y') := -9y^2 + 30y - 12y'^2 + 36y' - 25 + y'^3 = 0.$$

The corresponding algebraic curve

$$f(X, Y) = -9X^2 + 30X - 12Y^2 + 36Y - 25 + Y^3 = 0$$

has a proper rational parametrization

$$(X(t), Y(t)) = \left(\frac{(4t-1)(164t^2-58t+5)}{3(6t-1)^3}, \frac{4t^2}{(6t-1)^2} \right).$$

We have

$$\frac{\frac{\partial X(t)}{\partial t}}{Y(t)} = \frac{34t^2 - 12t + 1}{t^2(6t-1)^2} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{3(6t-1)} - \frac{1}{t} \right).$$

Let $Z(t) = \frac{1}{3(6t-1)} - \frac{1}{t}$ and t be an algebraic function satisfying $Z(t) = x$. Then $y = X(t)$ is a liouvillian solution of $f(y, y') = 0$.

Example 4.2. Consider the differential equation

$$f(y, y') := -9y^2 + 36yy' - 36y^2 + 216y^3 - 432y'y^2 + 288y'^2y - 64y'^3.$$

The corresponding algebraic curve

$$f(X, Y) = -9Y^2 + 36XY - 36X^2 + 216X^3 - 432YX^2 + 288Y^2X - 64Y^3 = 0$$

has a proper rational parametrization

$$(X(t), Y(t)) = \left(\frac{9}{8} \frac{t(1-4t+4t^2)}{36t-54t^2+27t^3-8}, \frac{9}{8} \frac{1-4t+4t^2}{36t-54t^2+27t^3-8} \right).$$

We have

$$\frac{\frac{\partial X(t)}{\partial t}}{Y(t)} = -\frac{2(3t-1)}{(2t-1)(3t-2)} = \frac{\partial}{\partial t} \log \frac{2t-1}{(3t-2)^2}.$$

Let $Z(t) = \frac{2t-1}{(3t-2)^2}$ and let t be a function satisfying $Z(t) = e^x$. Then $y = X(t)$ is a liouvillian solution of $f(y, y') = 0$.

5 Acknowledgements

This research is funded by Vietnam National Foundation for Science and Technology Development (NAFOSTED) under grant number 101.04-2017.312.

REFERENCES

1. J. M. Aroca, J. Cano, R. Feng, and X. S. Gao. *Algebraic general solutions of algebraic ordinary differential equations*. In Proceedings of the 2005 International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation, ISSAC '05, pages 29–36, New York, NY, USA, 2005. ACM.
2. M. Bronstein. *Symbolic integration I*. Springer, 1997.
3. A. Eremenko. *Rational solutions of first order differential equations*. Annales Academiæ Scientiarum Fennicæ Mathematica, 23:181–190, 1998.
4. X-S. Gao R. Feng. *A polynomial time algorithm for finding rational general solutions of first order autonomous ODEs*. Journal of Symbolic Computation, 41:739–762, 2006.
5. L. X. C. Ngo, J. R. Sendra, and F. Winkler. *Classification of algebraic ODEs with respect to rational solvability*. Contemporary Mathematics, 572:193–210, 2012.
6. L. X. C. Ngo, J.R. Sendra, and F. Winkler. *Birational transformations on algebraic ordinary differential equations*. Technical report no. 12-18, JKU, Austria, 2012. RISC Report Series, Research Institute for Symbolic Computation (RISC).
7. L. X. C. Ngo, J.R. Sendra, and F. Winkler. *Birational transformations preserving rational solutions of algebraic ordinary differential equations*. Journal of Computational and Applied Mathematics, 286:114–127, 2015.
8. L. X. C. Ngo and F. Winkler. *Rational general solutions of first order non-autonomous parametrizable ODEs*. Journal of Symbolic Computation, 45:1426–1441, 2010.

9. L. X. C. Ngo and F. Winkler. *Rational general solutions of planar rational systems of autonomous ODEs*. Journal of Symbolic Computation, 46:1173–1186, 2011.
10. J.F. Ritt. *Integration in Finite Terms*. Columbia University Press, 1948.
11. M. Rosenlicht. *Liouville's theorem on functions with elementary integrals*. Pac. J. Math. 24, 153–161, 1968.
12. M. Rosenlicht. *Integration in finite terms*. Am. Math. Monthly 79, 963–972, 1972.
13. M. Rosenlicht. *An analogue of l'Hospital's rule*. Proc. Am. Math. Soc. 37(2) 369–373, 1973.
14. J. R. Sendra, F. Winkler, S. Pérez-Díaz. *Rational algebraic curves - A computer algebra approach*. Springer, 2008.
15. M. Singer. *Elementary solutions of differential equations*. Pac. J. Math. 59, 535–547, 1975.
16. M. Singer. *Formal Solutions of Differential Equations*. J. Symb. Comp. 10, 59-90, 1990.
17. V.R. Srinivasan. *Liouillian solutions of first order nonlineardifferential equations*. J. Pure Appl. Algebra, 221, 411–421, 2017.
18. N. Thieu Vo. *Rational and Algebraic Solutions of First-Order Algebraic ODEs*. Ph.d. thesis, Johannes Kepler University, Linz, Austria, 2016.

TÍNH GIẢ DƯỚI CHÍNH QUY CỦA CÁC ÁNH XẠ ĐA TRỊ

NGUYỄN HỮU TRỌN^{1*}, NGUYỄN VĂN VŨ¹, DƯƠNG THỊ THU THÚY²

¹Khoa Toán, Trường Đại học Quy Nhơn

²Khoa Toán, Trường Đại học Quảng Nam

TÓM TẮT

Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu tính giả dưới chính quy theo hướng cấp cao của các ánh xạ đa trị giữa các không gian Banach. Chúng tôi sẽ cho các đặc trưng mới cho tính chất này qua các đối tượng tựa đạo hàm như độ dốc mạnh, đối đạo hàm, tập tới hạn giới hạn.

Từ khóa: Đối đạo hàm, Tập tới hạn ngặt giới hạn, Tính dưới chính quy mêtric theo hướng, Tính giả dưới chính quy mêtric.

ABSTRACT

Metric Pseudo - Subregularity of Set - Valued Mappings

In this paper, we study directional pseudo metric subregularity of higher order of setvalued mappings between Banach spaces. We shall give new characterizations for this property via derivative-like objects such as strong slope, coderivatives, critical limit sets.

Key words: Coderivative, Limiting strictly critical set, Directional metric sudregularity, Pseudo metric subregularity.

1. Giới thiệu

Tính chính quy mêtric là một khái niệm trung tâm trong Tối ưu và Giải tích biến phân, đóng vai trò quan trọng trong thiết lập điều kiện tồn tại nghiệm của các bài toán Tối ưu, các phương trình (tổng quát); phân tích sự hội tụ của các thuật toán,... Nó có nguồn gốc trong Nguyên lý ánh xạ mở của Banach-Một trong ba nguyên lý cơ bản của Giải tích hàm (1930s), trong Định lý về không gian tiếp xúc của Lyusternik (1934), trong Định lý toàn ánh của Graves (1950s). Các kết quả đặc sắc này sau đó được mở rộng đến các ánh xạ đa trị có đồ thị lồi đóng trong các kết quả của Robinson và Ursescu những năm 1970 - Định lý Robinson-Ursescu. Ngày nay, khái niệm này được xét như một khái niệm trung tâm cho việc nghiên cứu sự tồn tại và dáng điệu nghiệm của các phương trình phi tuyến dưới sự nhiễu nhỏ của dữ kiện đầu vào. Trong những thập niên qua các ý tưởng toán học dựa trên việc sử dụng các kỹ thuật tiên tiến của lý thuyết vi phân tổng quát đã cho phép mở rộng việc nghiên cứu này đến các phương trình tổng quát, nghĩa là các bao hàm thức được xác định bởi các ánh xạ đa trị.

Email: nguyenhuutron@qnu.edu.vn

Ngày nhận bài: 30/10/2017; Ngày nhận đăng: 25/12/2017

Vai trò quan trọng của tính chất này trong Tối ưu và Giải tích biến phân cũng như sự quan tâm nghiên cứu của các chuyên gia trong lĩnh vực này có thể tìm thấy trong nhiều công trình quan trọng [3, 7, 8, 9, 10, 16] và những tài liệu tham khảo trong đó. Theo thời gian và nhu cầu sử dụng, các biến thể của tính chính quy metric được điều chỉnh theo cho thích hợp với các bài toán thực tế. Các phiên bản yếu hơn, mạnh hơn hay các phiên bản tương đương đã được nghiên cứu và đã cho thấy vai trò quan trọng trong các ứng dụng khác nhau trong Toán học, đặc biệt là trong Giải tích biến phân và Tối ưu [9, 10, 16], ...

Một hướng khác trong dòng lịch sử này là xây dựng các mô hình theo hướng cho những đối tượng này mà chúng được nghiên cứu gần đây bởi các tác giả Arutyunov [1], Gfrerer [7], Ngãi-Théra [12], Ngãi-Trọn-Tĩnh [14]. Các đặc trưng của các khái niệm này đã được thiết lập và được áp dụng thành công để nghiên cứu các điều kiện tồn tại nghiệm cho các bài toán quy hoạch toán học, tính toán các nón tiếp xúc,... Động lực từ những ý tưởng được cho trong các công trình ở trên, trong bài báo này chúng tôi nghiên cứu một tính chất có tên gọi là giả dưới chính quy metric được giới thiệu bởi Gfrerer [7]. Nội dung chính là đưa ra các đặc trưng vi phân mới cho tính chất này.

Bài báo này được chia thành bốn phần. Ngoài phần mở đầu, Kết luận, phần hai giới thiệu các kí hiệu toán học và các định nghĩa cơ bản. Trong phần 2, chúng tôi trình bày các kiến thức chuẩn bị quan trọng cần sử dụng và nghiên cứu trong bài báo. Phần tiếp theo trình bày các kết quả chính của bài báo: các đặc trưng của tính giả dưới chính quy metric qua độ dốc mạnh, đối đạo hàm và tập tới hạn ngặt giới hạn. Phần cuối cùng dành cho sự tổng kết kết quả đã nghiên cứu.

2. Kiến thức chuẩn bị

Kiến thức được dùng trong bài báo được trích dẫn chính trong hai cuốn sách chuyên khảo Rockafellar & Wets [16] và Penot [15].

Trong suốt bài báo chúng tôi sẽ làm việc trong bối cảnh của các không gian Banach thực. Nếu X là một không gian Banach, chúng tôi kí hiệu $\|\cdot\|$ chuẩn liên kết và $d(x, \Omega)$ là khoảng cách từ $x \in X$ đến tập hợp con Ω của X , nghĩa là, $d(x, \Omega) := \inf\{\|x - y\| : y \in \Omega\}$. Đối ngẫu tôpô của X được kí hiệu bởi X^* , và $\|\cdot\|_*$ là chuẩn đối ngẫu của $\|\cdot\|$, $B_X = \{x \in X : \|x\| \leq 1\}$ hình cầu đơn vị đóng bởi, $S_X = \{x \in X : \|x\| = 1\}$ là mặt cầu đơn vị, và kí hiệu $\mathbb{B}(x, r)$ là hình cầu mở tâm x và bán kính r , tương ứng.

Một ánh xạ đa trị là một ánh xạ T từ X vào các tập con của không gian Banach khác Y và chúng tôi sử dụng kí hiệu $T : X \rightrightarrows Y$. Đồ thị của T được kí hiệu bởi $\text{Gr } T$ là tập hợp các điểm trong $X \times Y$ sao cho $y \in T(x)$, trong khi $T^{-1} : Y \rightrightarrows X$, ánh xạ ngược của T (luôn luôn tồn tại), được cho bởi

$$(x, y) \in \text{Gr } T \iff (y, x) \in \text{Gr } T^{-1}.$$

Ta nói rằng T là đóng nếu đồ thị của nó là đóng ứng với tô pô tích trên $X \times Y$. Cho một tập $K \subset X$, chúng tôi sử dụng kí hiệu cone K cho bao nón của K , là tập tất cả các tổ hợp nón $\sum_{i=1}^n \lambda_i x_i$ của các điểm K trong đó $\lambda_i \geq 0$ với mỗi chỉ số i .

Cho một hàm giá trị mở rộng $f : X \rightarrow \mathbb{R} \cup \{+\infty\}$ chúng tôi sẽ sử dụng kí hiệu $\text{cl} f$ để

kí hiệu bao nửa liên tục dưới của f được xác định bởi

$$\text{cl}f(x) = \liminf_{u \rightarrow x} f(u),$$

và $\text{Dom } f$ là miền xác định của f , nghĩa là, tập hợp những điểm $x \in X$ sao cho $f(x)$ hữu hạn. Dưới vi phân lồi của f tại $x \in \text{Dom } f$ là tập

$$\partial f(x) := \{x^* \in X^* : \langle x^*, y - x \rangle \leq f(y) - f(x) \text{ for all } y \in X\}.$$

If $f(x) = +\infty$, we set $\partial f(x) = \emptyset$.

Độ dốc mạnh $|\nabla f|(x)$ của hàm f tại $x \in \text{Dom } f$. Đại lượng này được giới thiệu bởi De Giovanni, Marino & Tosques [5] và được xác định bởi:

$$|\nabla f|(x) := \begin{cases} 0 & \text{nếu } x \text{ là một điểm cực tiểu địa phương của } f \\ \limsup_{y \rightarrow x, y \neq x} \frac{[f(x) - f(y)]}{d(x, y)} & \text{ngoài ra.} \end{cases}$$

Nếu $x \notin \text{Dom } f$, người ta đặt $|\nabla f|(x) = +\infty$.

Khi f là một hàm lồi xác định trên một không gian Banach và x không phải là một điểm cực tiểu địa phương thì theo Ioffe [8, Proposition 3.8] (xem Azé & Corvellec [2, Proposition 3.2])

$$|\nabla f|(x) = \sup_{y \neq x} \frac{[f(x) - f(y)]}{\|x - y\|} \quad \text{và} \quad |\nabla f|(x) = d(0, \partial f(x)).$$

Trong các phần sau, chúng tôi sẽ sử dụng toán tử dưới vi phân trừu tượng. Toán tử này được kí hiệu bởi ∂ và thỏa mãn các điều kiện sau:

(C1) Nếu $f : X \rightarrow \mathbb{R}$ là một hàm lồi mà liên tục tại $\bar{x} \in X$ và $\beta : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ là khả vi liên tục tại $t = f(\bar{x})$, thì

$$\partial(\beta \circ f)(x) \subseteq \{\beta'(f(x))x^* \in X^* : \langle x^*, y - x \rangle \leq f(y) - f(x) \quad \forall y \in X\};$$

(C2) $\partial f(x) = \partial g(x)$ nếu $f(y) = g(y)$ với mọi y trong một lân cận của x ;

(C3) Cho $f_1 : X \rightarrow \mathbb{R} \cup \{+\infty\}$ là một hàm nửa liên tục dưới và $f_2, \dots, f_n : X \rightarrow \mathbb{R}$ các hàm Lipschitz địa phương. Nếu $f_1 + f_2 + \dots + f_n$ đạt cực tiểu địa phương tại x_0 , thì với mọi $\varepsilon > 0$, tồn tại $x_i \in x_0 + \varepsilon B_X$, $x_i^* \in \partial f_i(x_i)$, $i \in \overline{1, n}$, sao cho $|f_i(x_i) - f_i(x_0)| < \varepsilon$, $i \in \overline{1, n}$, và

$$\|x_1^* + x_2^* + \dots + x_n^*\| < \varepsilon.$$

Hơn nữa, chúng tôi giả sử rằng ∂ là một toán tử dưới vi phân trên $X \times Y$ mà nó thỏa mãn tính chất tách được theo nghĩa sau:

(C4) Nếu f là tách được xác định trên $X \times Y$, nghĩa là, $f(x, y) := f_1(x) + f_2(y)$, $(x, y) \in X \times Y$, trong đó $f_1 : X \rightarrow \mathbb{R} \cup \{+\infty\}$, $f_2 : Y \rightarrow \mathbb{R} \cup \{+\infty\}$, thì

$$\partial f(x, y) = \partial f_1(x) \times \partial f_2(y), \quad \text{cho mọi } (x, y) \in X \times Y.$$

Ta nhắc lại hàm chỉ ι_C của một tập đóng C trong X là hàm được xác định bởi $\iota_C(x) = 0$ nếu $x \in C$ và $\iota_C(x) = +\infty$, ngoài ra. Cho toán tử dưới vi phân trùu tượng ∂ , tập $N(C, x) = \partial\iota_C(x)$ luôn luôn là một nón, được gọi là nón pháp tuyến của C tại x liên kết với ∂ .

Cho $F : X \rightrightarrows Y$ là một ánh xạ đa trị và $(x, y) \in \text{Gr } F$. Cho một dưới vi phân trùu tượng ∂ và nón pháp tuyến liên kết với ∂ , ánh xạ đa trị $D^*F(\bar{x}, \bar{y}) : Y^* \rightrightarrows X^*$ được định nghĩa bởi

$$D^*F(\bar{x}, \bar{y})(y^*) = \{x^* \in X^* : (x^*, -y^*) \in N(\text{Gr } F, (\bar{x}, \bar{y}))\}$$

được gọi là đối đạo hàm của F tại (x^*, y^*) liên kết với ∂ .

Chú ý rằng dưới vi phân trên các không gian Hilbert, dưới vi phân Fréchet trong các không gian Asplund, các dưới vi phân nhất trong các không gian trơn cũng như dưới vi phân Clarke-Rockafellar của các không gian Banach tổng quát là các dưới vi phân thỏa mãn các điều kiện (C1)-(C4).

Tính chất quan trọng mà chúng nghiên cứu trong bài báo này có tên gọi là tính γ -giả dưới chính quy metric theo hướng được cho bởi định nghĩa sau:

Định nghĩa 1 (Tính giả dưới chính quy, [6]). Cho X, Y là các không gian định chuẩn và cho số $\gamma \geq 1$. Một ánh xạ đa trị $T : X \rightrightarrows Y$ được gọi là γ -giả dưới chính quy metric theo hướng u tại (\bar{x}, \bar{y}) với $(\bar{x}, \bar{y}) \in \text{Gr } T$ với môđun $\tau > 0$ nếu và chỉ nếu tồn tại $\varepsilon > 0$ và $\delta > 0$ sao cho

$$d(x, T^{-1}(\bar{y})) \leq \tau \|x - \bar{x}\|^{1-\gamma} d(\bar{y}, T(x)) \quad (1)$$

với mọi $x \neq \bar{x}$ thuộc $\mathbb{B}(\bar{x}, \varepsilon) \cap (\bar{x} + \text{cone } \mathbb{B}(u, \delta))$.

Tính chất này kéo theo tính dưới chính quy metric theo hướng được cho bởi Ngãi, Trọn, Tinh [14] như sau:

Định nghĩa 2 (Tính dưới chính quy theo hướng, [6]). Cho X, Y là các không gian định chuẩn và cho số $\gamma \in (0, 1]$. Một ánh xạ đa trị $T : X \rightrightarrows Y$ được gọi là γ dưới chính quy metric theo hướng u tại (\bar{x}, \bar{y}) với $(\bar{x}, \bar{y}) \in \text{Gr } T$ với môđun $\tau > 0$ nếu và chỉ nếu tồn tại $\varepsilon > 0$ và $\delta > 0$ sao cho

$$d(x, T^{-1}(\bar{y})) \leq \tau d(\bar{y}, T(x))^\gamma \quad (2)$$

với mọi $x \in \mathbb{B}(\bar{x}, \varepsilon) \cap (\bar{x} + \text{cone } \mathbb{B}(u, \delta))$.

Để tiện cho việc nghiên cứu chúng tôi giới thiệu hai hàm số sau:

$$\rho_T(\cdot) = d(\bar{y}, T(\cdot)) \quad \text{và} \quad \varphi_T = \text{cl } \rho_T.$$

Hơn nữa, ta đặt $S := [\varphi_T \leq 0]$ thì $S = T^{-1}(\bar{y})$. Ngoài ra, nếu $u \in X$ đã cho thì kí hiệu $x \xrightarrow{u} \bar{x}$ được hiểu là $x \rightarrow \bar{x}$ đồng thời $\frac{x-\bar{x}}{\|x-\bar{x}\|} \rightarrow \frac{u}{\|u\|}$ khi $u \neq 0$ và trong tình huống mà $u = 0$ nó đơn giản là tương đương với $x \rightarrow \bar{x}$.

3. Đặc trưng của tính giả dưới chính quy

Sử dụng các đối tượng vi phân giống đạo hàm như độ dốc, dưới vi phân, đối đạo hàm hay tập tới hạn giới hạn, chúng tôi có thể thiết lập các đặc trưng cho tính giả dưới chính quy metric theo hướng của các ánh xạ đa trị.

3.1. Đặc trưng qua độ dốc mạnh

Định lý 1. Cho X là một không gian Banach, Y là một không gian định chuẩn, và cho trước ánh xạ đa trị $T : X \rightrightarrows Y$ cùng một số $\gamma \geq 1$, và điểm $(\bar{x}, \bar{y}) \in \text{Gr } T$. Nếu

$$\liminf_{\substack{x \xrightarrow{u} \bar{x}, x \notin S, \\ \|x - \bar{x}\|^{-\gamma} \varphi_T(x) \rightarrow 0}} \frac{|\nabla \varphi_T|(x)}{\|x - \bar{x}\|^{\gamma-1}} > 0 \quad (3)$$

với một $u \in X$ nào đó thì T là γ -giả dưới chính quy metric theo hướng u tại (\bar{x}, \bar{y}) .

Chứng minh. Giả sử Định lý 1 không đúng. Theo Định nghĩa 2, với một dãy $\tau_k \downarrow 0$, tồn tại các dãy $r_k \downarrow 0$, $\delta_k \downarrow 0$ cùng với dãy (x_k) trong $X \setminus \{\bar{x}\}$ sao cho

$$x_k \in \mathbb{B}(\bar{x}, r_k) \cap (\bar{x} + \text{cone } \mathbb{B}(u, \delta_k)), \quad (4a)$$

$$\tau_k d(x_k, S) > \|x_k - \bar{x}\|^{1-\gamma} d(\bar{y}, T(x_k)) \geq \|x_k - \bar{x}\|^{1-\gamma} \varphi_T(x_k). \quad (4b)$$

Định nghĩa hàm nửa liên tục dưới $\psi_k : X \rightarrow \mathbb{R} \cup \{+\infty\}$ cho bởi

$$\psi_k(x) = \begin{cases} \|x - \bar{x}\|^{1-\gamma} \varphi_T(x), & \text{nếu } x \neq \bar{x}, \\ 0, & \text{nếu } x = \bar{x}. \end{cases} \quad (5)$$

Chú ý rằng $\psi_k(x_k) > 0$ do có ước lượng (4b). Áp dụng nguyên lý biến phân Ekeland [4] cho hàm ψ_k ứng với các tham số $\varepsilon_k := \psi_k(x_k)$, $\lambda_k = \min \left\{ \sqrt{\tau_k} d(x_k, S), \frac{\varepsilon_k}{\tau_k} \right\} > 0$, ta tìm được một điểm $\hat{x}_k \in X$ thỏa mãn các điều kiện sau:

- $\|x_k - \hat{x}_k\| \leq \lambda_k$;
- $\psi_k(x_k) - \frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} \|x_k - \hat{x}_k\| \geq \psi_k(\hat{x}_k)$;
- hàm $\psi_k(\cdot) + \frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} \|\cdot - \hat{x}_k\|$ đạt cực tiểu toàn cục trên X tại \hat{x}_k .

Tiếp theo, chúng tôi sẽ lần lượt thiết lập các khẳng định sau:

- (i) $\hat{x}_k \notin S$;
- (ii) $\hat{x}_k \xrightarrow{u} \bar{x}$;
- (iii) $\lim_{k \rightarrow \infty} \{\|\hat{x}_k - \bar{x}\|^{-\gamma} \varphi_T(\hat{x}_k)\} = 0$;
- (iv) $\liminf_{k \rightarrow \infty} \left\{ \frac{|\nabla \varphi_T|(\hat{x}_k)}{\|\hat{x}_k - \bar{x}\|^{\gamma-1}} \right\} = 0$.

Khẳng định (i) là hệ quả của ước lượng (4b). Thật vậy, nếu ngược lại, thì ta có

$$\tau_k d(x_k, S) \leq \tau_k \|x_k - \hat{x}_k\| \leq \tau_k \lambda_k \leq \varepsilon_k = \psi_k(x_k),$$

nhưng điều này rõ ràng mâu thuẫn với (4b).

Để xác lập (ii), ta đặt $\mu_k := \frac{\|\hat{x}_k - \bar{x}\|}{\|x_k - \bar{x}\|} > 0$. Sử dụng bất đẳng thức tam giác ta có

$$\|x_k - \bar{x}\| - \|\hat{x}_k - x_k\| \leq \|\hat{x}_k - \bar{x}\| \leq \|x_k - \bar{x}\| + \|\hat{x}_k - x_k\|,$$

cho nên

$$1 - \frac{\lambda_k}{\|x_k - \bar{x}\|} \leq \mu_k \leq 1 + \frac{\lambda_k}{\|x_k - \bar{x}\|}.$$

Bởi vì $\lambda_k \leq \sqrt{\tau_k} d(x_k, S) \leq \sqrt{\tau_k} \|x_k - \bar{x}\|$, cho nên dãy (μ_k) hội tụ về 1. Nói riêng, dãy (\hat{x}_k) hội tụ đến \bar{x} trong X . Nếu $u \neq 0$, ta định nghĩa

$$u_k := \frac{x_k - \bar{x}}{\|x_k - \bar{x}\|} - \frac{u}{\|u\|}, v_k := \frac{\|\hat{x}_k - \bar{x}\|}{\|\hat{x}_k - \bar{x}\|} - \frac{u}{\|u\|}.$$

Khi đó theo (4a), $u_k \rightarrow 0$ và hơn nữa v_k biểu diễn được dưới dạng

$$v_k = \left(\frac{1}{\mu_k}\right) u_k + \left(\frac{1}{\mu_k}\right) \frac{\hat{x}_k - x_k}{\|x_k - \bar{x}\|} + \left(\frac{1}{\mu_k} - 1\right) \frac{u}{\|u\|}. \quad (6)$$

Sử dụng tính chất $\|\hat{x}_k - x_k\| \leq \lambda_k = o(\|x_k - \bar{x}\|)$, (6) kéo theo $v_k \rightarrow 0$, nghĩa là $\hat{x}_k \xrightarrow{u} \bar{x}$.

Với (iii), chú ý là $\psi_k(\hat{x}_k) \leq \psi_k(x_k)$, khi đó

$$\begin{aligned} \|\hat{x}_k - \bar{x}\|^{-\gamma} \varphi_T(\hat{x}_k) &= \frac{\psi_k(\hat{x}_k)}{\|\hat{x}_k - \bar{x}\|} \leq \frac{\psi_k(x_k)}{\|\hat{x}_k - \bar{x}\|} \leq \frac{\tau_k d(x_k, S)}{\mu_k \|x_k - \bar{x}\|} \\ &\leq \frac{\tau_k}{\mu_k}, \end{aligned} \quad (7)$$

và điều này chứng minh khẳng định (iii).

Cuối cùng, xét phát biểu (iv). Theo định nghĩa của độ dốc mạnh, tồn tại $\eta_k \leq \tau_k \|\hat{x}_k - \bar{x}\|$ cùng với $\tilde{x}_k \neq x_k \in \mathbb{B}(\hat{x}_k, \eta_k)$ sao cho

$$|\nabla \varphi_T|(\hat{x}_k) \leq \rho_k + \frac{\varphi_T(\hat{x}_k) - \varphi_T(\tilde{x}_k)}{\|\hat{x}_k - \tilde{x}_k\|}, \quad (8a)$$

$$\frac{\|\hat{x}_k - \bar{x}\|^{\gamma-1} - \|\tilde{x}_k - \bar{x}\|^{\gamma-1}}{\|\hat{x}_k - \tilde{x}_k\|} \leq \rho_k + \sigma_k, \quad (8b)$$

với $\rho_k := \varepsilon_k \|\hat{x}_k - \bar{x}\|^{\gamma-1} > 0$, $\sigma_k := |\nabla(\|\cdot - \bar{x}\|^{\gamma-1})|(\hat{x}_k)$. Theo cách chọn \hat{x}_k thì

$$\psi_k(\hat{x}_k) \leq \psi_k(\tilde{x}_k) + \frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} \|\tilde{x}_k - \hat{x}_k\|, \quad (9)$$

cho nên

$$\begin{aligned} \frac{\varphi_T(\hat{x}_k) - \varphi_T(\tilde{x}_k)}{\|\hat{x}_k - \tilde{x}_k\|} &= \frac{\psi_k(\hat{x}_k) \|\hat{x}_k - \bar{x}\|^{\gamma-1} - \psi_k(\tilde{x}_k) \|\tilde{x}_k - \bar{x}\|^{\gamma-1}}{\|\hat{x}_k - \tilde{x}_k\|} \\ &= \|\tilde{x}_k - \bar{x}\|^{\gamma-1} \frac{\psi_k(\hat{x}_k) - \psi_k(\tilde{x}_k)}{\|\hat{x}_k - \tilde{x}_k\|} \\ &\quad + \psi_k(\hat{x}_k) \frac{\|\hat{x}_k - \bar{x}\|^{\gamma-1} - \|\tilde{x}_k - \bar{x}\|^{\gamma-1}}{\|\hat{x}_k - \tilde{x}_k\|} \\ &\leq \frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} \|\tilde{x}_k - \bar{x}\|^{\gamma-1} + \psi_k(\hat{x}_k) (\rho_k + \sigma_k). \end{aligned}$$

Vậy

$$\frac{|\nabla\varphi_T|(\hat{x}_k)}{\|\hat{x}_k - \bar{x}\|^{\gamma-1}} \leq \varepsilon_k + \frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} \left(\frac{\|\tilde{x}_k - \bar{x}\|}{\|\hat{x}_k - \bar{x}\|} \right)^{\gamma-1} + (\rho_k + \sigma_k) \frac{\psi_k(\hat{x}_k)}{\|\hat{x}_k - \bar{x}\|^{\gamma-1}}. \quad (10)$$

Lặp lại các lập luận như với μ_k , có thể kiểm tra được dãy gồm các tham số $\hat{\mu}_k := \frac{\|\tilde{x}_k - \bar{x}\|}{\|\hat{x}_k - \bar{x}\|}$ bị chặn. Hơn nữa, sử dụng một kết quả đã được đưa ra trong [11] thì

$$\sigma_k = (\gamma - 1)\|\hat{x}_k - \bar{x}\|^{\gamma-2} \{|\nabla(\|\cdot - \bar{x}\|)|(\hat{x}_k)\} = (\gamma - 1)\|\hat{x}_k - \bar{x}\|^{\gamma-2}. \quad (11)$$

Cuối cùng, kết hợp (7), (10) và (11) sẽ thu được (iv), vì

$$\frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} = \max \left\{ \frac{\psi_k(x_k)}{\sqrt{\tau_k}d(x_k, S)}, \tau_k \right\} \leq \max \{ \sqrt{\tau_k}, \tau_k \} \rightarrow 0.$$

Bây giờ, từ (i), (ii), (iii) và (3) ta nhận được $\liminf_{k \rightarrow \infty} \left\{ \frac{|\nabla\varphi_T|(\hat{x}_k)}{\|\hat{x}_k - \bar{x}\|^{\gamma-1}} \right\} > 0$. Tuy nhiên điều đó mâu thuẫn với (iv). Chứng minh hoàn thành. \square

3.2. Đặc trưng qua tập tới hạn giới hạn

Định nghĩa 3 (Tập tới hạn ngặt giới hạn,[13, 14]). Cho ánh xạ đa trị $T : X \rightrightarrows Y$ giữa các không gian định chuẩn X và Y và một số thực $\lambda \in (0, 1]$. Ta định nghĩa tập λ -tới hạn ngặt giới hạn (λ -limiting strictly critical set) $\text{SCr}^\lambda T(\bar{x}, \bar{y})(u)$ của T tương ứng theo các dữ kiện $(\bar{x}, \bar{y}) \in \text{Gr} T$ và $u \in X$ như sau: cặp véc tơ $(v, u^*) \in Y \times X^*$ thuộc vào $\text{SCr}^\lambda T(\bar{x}, \bar{y})(u)$ nếu tồn tại các dãy vô hướng $t_k \downarrow 0, \epsilon_k \downarrow 0$ cùng với $u_k \in \text{cone } \mathbb{B}(u, \epsilon_k) \cap \mathbf{S}_X, v_k \xrightarrow{Y} v, v_k^* \in \mathbf{S}_{Y^*}$ và $u_k^* \in D^*T(\bar{x} + t_k u_k, \bar{y} + t_k^{1/\lambda} v_k)(v_k^*)$ sao cho

$$\bar{y} \notin T(\bar{x} + t_k u_k), \frac{\langle v_k^*, v_k \rangle}{\|v_k\|} \rightarrow 1, t_k^{(\lambda-1)/\lambda} \|v_k\|^{\lambda-1} u_k^* \rightarrow u^*. \quad (12)$$

Trường hợp $\lambda = 1$ ta quy ước viết gọn $\text{SCr}T(\bar{x}, \bar{y})(u)$ để chỉ cho tập 1-tới hạn ngặt giới hạn tương ứng.

Định lý 2 (Tính giả dưới chính quy thông qua tập tới hạn ngặt giới hạn). Cho X là một không gian Banach, Y là một không gian định chuẩn, ánh xạ đa trị có đồ thị đóng $T : X \rightrightarrows Y$ với $(\bar{x}, \bar{y}) \in \text{Gr} T$ và xét $u \in X$. Khi đó, nếu $(0, 0) \notin \text{SCr}T(\bar{x}, \bar{y})$ thì ánh xạ T là 1-giả dưới chính quy metric theo hướng u tại điểm (\bar{x}, \bar{y}) .

Phép chứng minh của định lý trên được dựa theo bổ đề sau đây.

Bổ đề 3. Cho X là một không gian Banach, Y là một không gian định chuẩn. Nếu ánh xạ $T : X \rightrightarrows Y$ không là γ -giả dưới chính quy metric theo hướng u tại điểm (\bar{x}, \bar{y}) (với $\gamma \geq 1$) thì tồn tại các dãy số dương $t_k \downarrow 0, \sigma_k \downarrow 0$ cùng với $u_k \in X, v_k \in Y$ sao cho ta có thể tìm được $x_k^* \in X^*, y_k^* \in \mathbf{S}_{Y^*}$ thỏa mãn đồng thời các tính chất:

(i) $x_k^* \in D^*T(\bar{x} + t_k u_k, \bar{y} + (t_k)^\gamma v_k)(y_k^*);$

(ii) $u_k \in \text{cone } \mathbb{B}(u, \sigma_k) \cap \mathbf{S}_X;$

$$(iii) \lim_{k \rightarrow \infty} \|x_k^*\| = 0;$$

$$(iv) \lim_{k \rightarrow \infty} \|v_k\| = 0;$$

$$(v) \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\langle y_k^*, v_k \rangle}{\|v_k\|} = 1.$$

Chứng minh Bổ đề 3. Theo Định lý 1, tồn tại một dãy $x_k \notin S = T^{-1}(\bar{y})$ thỏa mãn đồng thời các tính chất

$$x_k \xrightarrow{u} \bar{x}, \quad (13a)$$

$$\frac{\varphi_T(x_k)}{\|x_k - \bar{x}\|^\gamma} \rightarrow 0, \quad (13b)$$

$$\frac{|\nabla \varphi_T|(x_k)}{\|x_k - \bar{x}\|^{\gamma-1}} \rightarrow 0. \quad (13c)$$

Đề ý là $\alpha_k := \|x_k - \bar{x}\| > 0$ đồng thời $\beta_k := \|x_k - \bar{x}\|^{-\gamma} \varphi_T(x_k) > 0$ bởi vì $x_k \notin T^{-1}(\bar{y})$. Chọn ra các dãy số thực không âm (δ_k) và (η_k) với $\delta_k = o(\alpha_k^\gamma \beta_k)$ đồng thời $\eta_k < \delta_k$. Lấy δ_k và η_k nhỏ hơn nếu cần thiết, ta có thể giả sử rằng

- $2\eta_k + \delta_k < (\alpha_k)^\gamma \beta_k$;
- $d(\bar{y}, T(z)) > \varphi(x_k) - \delta_k$ khi $\|z - x_k\| \leq \eta_k$.

Theo (13c), với mỗi giá trị k có thể lấy $r_k \leq \alpha_k \eta_k$ thỏa mãn điều kiện sau đây:

$$\|z - x_k\| \leq r_k \implies \varphi_T(x_k) - \varphi_T(z) \leq [\delta_k + \sigma_k] (\alpha_k)^{\gamma-1} \|x_k - z\|, \quad (14)$$

với $\sigma_k := \frac{|\nabla \varphi_T|(x_k)}{\|x_k - \bar{x}\|^{\gamma-1}}$. Xét hàm chỉ tiêu $\iota_{\text{Gr}T}(\cdot, \cdot)$ của $\text{Gr}T$, ước lượng $\varphi_T(z) \leq \|\bar{y} - w\| + \iota_{\text{Gr}T}(z, w)$ được thành lập. Từ định nghĩa của φ_T , có thể chọn ra $z_k \in x_k + r_k \mathbb{B}$ cùng với $w_k \in T(x_k)$ thỏa mãn

$$\|\bar{y} - w_k\| \leq \varphi_T(x_k) + (\eta_k)^2. \quad (15)$$

Như vậy, kết hợp (14) và (15) sẽ nhận được

$$z \in \bar{\mathbb{B}}(x_k, r_k) \implies \|\bar{y} - w_k\| \leq \|\bar{y} - w\| + \iota_{\text{Gr}T}(z, w) + \rho_k \|z_k - z\| + \varepsilon_k, \quad (16)$$

ở đây

$$\rho_k := [\delta_k + \sigma_k] (\alpha_k)^{\gamma-1}, \quad \varepsilon_k := (\eta_k)^2 + \rho_k r_k.$$

Định nghĩa hàm $f_k : (z, w) \mapsto \|\bar{y} - w\| + \iota_{\text{Gr}T}(z, w) + \rho_k \|z_k - z\|$ và đặt $\lambda_k := \alpha_k \eta_k$. Áp dụng nguyên lý biến phân Ekeland cho hàm f_k với tham số ε_k và λ_k như trên, tìm được $\bar{z}_k \in X$ cùng với $\bar{w}_k \in Y$ thỏa mãn đồng thời các điều kiện

- $\|(z_k, w_k) - (\bar{z}_k, \bar{w}_k)\| \leq \lambda_k$;
- $f_k(\bar{z}_k, \bar{w}_k) + \frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} \|(z_k, w_k) - (\bar{z}_k, \bar{w}_k)\| \leq f_k(z_k, w_k)$;

- hàm số $(z, w) \mapsto f_k(z, w) + \frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} \|(z, w) - (\bar{z}_k, \bar{w}_k)\|$ đạt cực tiểu toàn cục tại (\bar{z}_k, \bar{w}_k) .

Theo nguyên lý cực trị địa phương của Fermat, điều kiện cuối cùng cho phép ta viết được

$$(0, 0) \in \partial[f_k(\cdot) + \frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} \|(\cdot, \cdot) - (\bar{z}_k, \bar{w}_k)\|](\bar{z}_k, \bar{w}_k). \quad (17)$$

Sử dụng quy tắc tổng mờ (C3) cho dưới vi phân ∂ , tồn tại các điểm $(z_k^i, w_k^i) \in \mathbb{B}((\bar{z}_k, \bar{w}_k), r_k)$ ($i = 1, 2, 3, 4$) nghiệm đúng tính chất sau: với mỗi $i = 1, 2, \dots, 5$ tìm được $(z_k^{i*}, w_k^{i*}) \in X^* \times Y^*$ sao cho

$$(z_k^{1*}, w_k^{1*}) \in \{0\} \times \partial(\|\bar{y} - \cdot\|)(w_k^1) = \{0\} \times J_Y(\bar{y} - w_k^1), \quad (18a)$$

$$(z_k^{2*}, w_k^{2*}) \in N_{\text{Gr}T}(z_k^2, w_k^2), \quad (18b)$$

$$(z_k^{3*}, w_k^{3*}) \in \partial(\|z_k - \cdot\|)(z_k^3, w_k^3) = J_X(z_k - z_k^3) \times \{0\}, \quad (18c)$$

$$(z_k^{4*}, w_k^{4*}) \in \partial(\|(z, w) - (\bar{z}_k, \bar{w}_k)\|)(z_k^4, w_k^4) \subset \bar{\mathbb{B}}_{X^* \times Y^*}, \quad (18d)$$

$$(0, 0) = (z_k^{1*}, w_k^{1*}) + (z_k^{2*}, w_k^{2*}) + \rho_k(z_k^{3*}, w_k^{3*}) + \frac{\varepsilon_k}{\lambda_k}(z_k^{4*}, w_k^{4*}) + \varepsilon_k(z_k^{5*}, w_k^{5*}), \quad (18e)$$

$$(z_k^{5*}, w_k^{5*}) \in \bar{\mathbb{B}}_{X^* \times Y^*}, \quad (18f)$$

ở đây J_X ký hiệu cho ánh xạ đối ngẫu của không gian Banach X được xác định bởi

$$J_X := \{x^* \in X^* : \|x^*\| = 1, \langle x^*, x \rangle = \|x\|\}.$$

Hệ thức (18e) cho ta

$$\begin{cases} z_k^{2*} &= -\rho_k z_k^{3*} - \frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} z_k^{4*} - \varepsilon_k z_k^{5*}, \\ w_k^{2*} &= -w_k^{1*} - \frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} w_k^{4*} - \varepsilon_k w_k^{5*}, \end{cases}$$

và điều này đưa đến

$$\|z_k^{2*}\| \leq \rho_k \|z_k^{3*}\| + \frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} \|z_k^{4*}\| + \varepsilon_k \|z_k^{5*}\| \leq \rho_k + \frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} + \varepsilon_k, \quad (19a)$$

$$\|w_k^{2*}\| \leq \|w_k^{1*}\| + \frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} \|w_k^{4*}\| + \varepsilon_k \|w_k^{5*}\| \leq 1 + \frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} + \varepsilon_k, \quad (19b)$$

$$\|w_k^{2*}\| \geq \|w_k^{1*}\| - \frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} \|w_k^{4*}\| - \varepsilon_k \|w_k^{5*}\| \geq 1 - \frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} - \varepsilon_k. \quad (19c)$$

Để ý $\frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} \rightarrow 0$, nên khi k đủ lớn $w_k^{2*} \neq 0$. Định nghĩa các phần tử

$$x_k^* := \|w_k^{2*}\|^{-1} z_k^{2*} \quad \text{và} \quad y_k^* := -\|w_k^{2*}\|^{-1} w_k^{2*}.$$

Theo bất đẳng thức tam giác

$$\begin{aligned} \|z_k^i - x_k\| &\leq \|z_k^i - \bar{z}_k\| + \|\bar{z}_k - z_k\| + \|z_k - x_k\| \\ &\leq r_k + \lambda_k + r_k \leq 3\alpha_k \eta_k, \quad i = 1, 2, 3, 4, \end{aligned} \quad (20)$$

cho nên

$$\|z_k^2 - \bar{x}\| \geq |-\|z_k^2 - x_k\| + \|x_k - \bar{x}\|| = |-\|z_k^2 - x_k\| + \alpha_k| > 0$$

ngoại trừ một vài chỉ số k đầu tiên. Đối chiếu với (20), ta suy ra $\|z_k^2 - x_k\| \leq 3\alpha_k\eta_k < \eta_k$ khi k đủ lớn. Một hệ quả của điều này là

$$\|\bar{y} - w_k^2\| \geq d(\bar{y}, T(z_k^2)) \geq \varphi(x_k) - \theta_k > 2\eta_k. \quad (21)$$

Tiếp đến, ta đặt

$$t_k := \|z_k^2 - \bar{x}\| > 0, u_k := (t_k)^{-1}(z_k^2 - \bar{x}), v_k := (t_k)^{-\gamma}(w_k^2 - \bar{y}). \quad (22)$$

Với x_k^*, y_k^*, u_k, v_k và t_k như trên, các tính chất (i) cũng như (iii) là rõ ràng. Chúng tôi sẽ lần lượt kiểm tra các khẳng định (ii), (iv), (v).

Với mục tiêu chỉ ra σ_k thỏa mãn (ii), chúng ta chú ý rằng $x_k \xrightarrow{u} \bar{x}$. Do đó, nếu $u = 0$ thì có thể lấy dãy $\sigma_k \downarrow 0$ tùy ý, do $u_k = \|z_k^2 - \bar{x}\|^{-1}(z_k^2 - \bar{x}) \in \mathbf{S}_X$ đồng thời lúc đó $\text{cone } \mathbb{B}(u, \sigma_k) = X$. Giả thiết $u \neq 0$. Định nghĩa với mỗi k vecto phụ $u'_k = \frac{x_k - \bar{x}}{\|x_k - \bar{x}\|} - \frac{u}{\|u\|}$. Khi đó $\|u'_k\| \rightarrow 0$ khi $k \rightarrow \infty$ (theo điều kiện (13a)). Ngoài ra, ta có

$$\bar{x} = x_k - \|x_k - \bar{x}\| \left(u'_k + \frac{u}{\|u\|} \right),$$

mà theo đó ta sẽ nhận được

$$\frac{\|u\|t_k}{\|x_k - \bar{x}\|} u_k = \frac{\|u\|}{\|x_k - \bar{x}\|} (z_k^2 - \bar{x}) = \left[\frac{\|u\|}{\|x_k - \bar{x}\|} (z_k^2 - x_k) + \|u\|u'_k \right] + u. \quad (23)$$

Định nghĩa

$$\sigma_k = \frac{2\|u\|}{\|x_k - \bar{x}\|} \|z_k^2 - x_k\| + 2\|u\|\|u'_k\|, \quad (24)$$

thì chỉ cần kiểm tra $\sigma_k \rightarrow 0$ là đủ. Tuy nhiên, đó là một hệ quả của (20), bởi vì như đã biết $\eta_k = o(\|x_k - \bar{x}\|)$. Nói cách khác, phát biểu ở (ii) đã được chứng minh.

Từ định nghĩa của v_k ta có

$$\|v_k\| = \|z_k^2 - \bar{x}\|^{-\gamma} \|w_k^2 - \bar{y}\|.$$

Nhưng vì $\|z_k^2 - x_k\| \leq 3\alpha_k\eta_k$ (xem (20)) đồng thời $\|x_k - \bar{x}\| = \alpha_k$, bất đẳng thức tam giác cho ta $\|z_k^2 - \bar{x}\| \geq \alpha_k(1 - 3\eta_k) > 0$, và như thế

$$\|v_k\| = \|z_k^2 - \bar{x}\|^{-\gamma} \|w_k^2 - \bar{y}\| \leq (\alpha_k)^{-\gamma} (1 - 3\eta_k)^{-\gamma} \|w_k^2 - \bar{y}\|. \quad (25)$$

Do $\|w_k^2 - \bar{y}\| \leq 2r_k + (\eta_k)^2 + \varphi(x_k)$ đồng thời $r_k = o(\eta_k)$, $\eta_k = o(\alpha_k^\gamma\beta_k)$, $\varphi(x_k) = (\alpha_k)^\gamma\beta_k$, ước lượng trong (25) kéo theo $\|v_k\| \rightarrow 0$.

Cuối cùng, chúng tôi chứng minh (v). Chú ý là

$$\begin{aligned} (t_k)^\gamma \langle y_k^*, v_k \rangle &= (t_k)^\gamma \|w_k^{2*}\|^{-1} \langle -w_k^{2*}, v_k \rangle = \|w_k^{2*}\|^{-1} \langle -w_k^{2*}, w_k^2 - \bar{y} \rangle \\ &= \|w_k^{2*}\|^{-1} (\langle w_k^{1*}, w_k^1 - \bar{y} \rangle + \langle w_k^{1*}, w_k^2 - w_k^1 \rangle + \langle -w_k^{2*} - w_k^{1*}, w_k^2 - \bar{y} \rangle). \end{aligned}$$

Từ (18a) ta suy ra $\|w_k^{1*}\| = 1$ cũng như $\langle w_k^{1*}, \bar{y} - w_k^1 \rangle = -\|\bar{y} - w_k^1\|$. Nhắc lại rằng $(z_k^i, w_k^i) \in \mathbb{B}((\bar{z}_k, \bar{w}_k), r_k)$, có thể khẳng định $\|w_k^2 - w_k^1\| \leq 2r_k$, và từ đây suy ra

$$\|\bar{y} - w_k^1\| \geq \|\bar{y} - w_k^2\| - \|w_k^2 - w_k^1\| \geq (t_k)^\gamma \|v_k\| - 2r_k.$$

Mặt khác, để ý $w_k^{2*} + w_k^{1*} = \frac{\varepsilon_k}{\lambda_k} w_k^{4*} + \varepsilon_k w_k^{5*}$, ta có ước lượng sau:

$$\|w_k^{2*} + w_k^{1*}\| \leq \varepsilon_k/\lambda_k + \varepsilon_k.$$

Bởi vậy,

$$\begin{aligned} (t_k)^\gamma \langle y_k^*, v_k \rangle &\geq \|w_k^{2*}\|^{-1} (\|w_k^1 - \bar{y}\| - \|w_k^2 - w_k^1\| - \|w_k^{2*} + w_k^{1*}\| \|w_k^2 - \bar{y}\|) \\ &\geq \frac{(t_k)^\gamma \|v_k\| - 2r_k - 2r_k - (\varepsilon_k + \varepsilon_k/\lambda_k) [(t_k)^\gamma \|v_k\|]}{1 + \varepsilon_k + \varepsilon_k/\lambda_k} \\ &= \frac{[1 - \varepsilon_k + \varepsilon_k/\lambda_k] (t_k)^\gamma \|v_k\| - 4r_k}{1 + \varepsilon_k + \varepsilon_k/\lambda_k}. \end{aligned}$$

Dựa trên dãy các đánh giá vừa rồi, ta nhận được

$$(t_k)^\gamma (\|v_k\| - \langle y_k^*, v_k \rangle) \leq \frac{2[\varepsilon_k + \varepsilon_k/\lambda_k] (t_k)^\gamma \|v_k\| + 4r_k}{1 + \varepsilon_k + \varepsilon_k/\lambda_k}, \quad (26)$$

mà từ đó dẫn đến

$$\begin{aligned} 0 \leq 1 - \frac{\langle y_k^*, v_k \rangle}{\|v_k\|} &\leq \frac{2[\varepsilon_k + \varepsilon_k/\lambda_k]}{1 + \varepsilon_k + \varepsilon_k/\lambda_k} + \frac{4}{1 + \varepsilon_k + \varepsilon_k/\lambda_k} \cdot \frac{r_k}{(t_k)^\gamma \|v_k\|} \\ &\leq \frac{2[\varepsilon_k + \varepsilon_k/\lambda_k]}{1 + \varepsilon_k + \varepsilon_k/\lambda_k} + \frac{4}{1 + \varepsilon_k + \varepsilon_k/\lambda_k} \cdot \frac{r_k}{\|w_k^2 - \bar{y}\|}. \end{aligned} \quad (27)$$

Nhớ lại $r_k = o(\eta_k)$ từ cách chọn r_k , ta suy ra giới hạn trong (v) từ việc kết hợp các ước lượng ở (27) và (21). \square

Chứng minh Định lý 2. Ta chứng minh định lý bằng phương pháp phản chứng, giả sử ánh xạ T trong định lý đang đề cập không là 1-giả dưới chính quy metric theo hướng u tại (\bar{x}, \bar{y}) . Áp dụng Bổ đề 3, ta tìm được các dãy $t_k \downarrow 0$, $\sigma_k \downarrow 0$ cùng với $u_k \in X$, $v_k \in Y$, $x_k^* \in X^*$, $y_k^* \in S_{Y^*}$ sao cho

- $x_k^* \in D^*T(\bar{x} + t_k u_k, \bar{y} + t_k v_k)(y_k^*)$;
- $u_k \in \text{cone } \mathbb{B}(u, \sigma_k) \cap S_X$;
- $\lim_{k \rightarrow \infty} \|x_k^*\| = 0$;
- $\lim_{k \rightarrow \infty} \|v_k\| = 0$;
- $\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\langle y_k^*, v_k \rangle}{\|v_k\|} = 1$.

Đổi chiếu Định nghĩa 3 ta suy ra $(0, 0) \in \text{SCr}T(\bar{x}, \bar{y})(u)$. Điều này mâu thuẫn. Định lý được chứng minh. \square

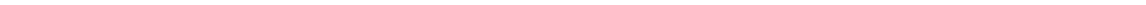
4 Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi đã thiết lập các đặc trưng mới qua các đối tượng vi phân như độ dốc mạnh, tập tối hạn giới hạn cho tính giả dưới chính quy metric theo hướng của các ánh xạ đa trị xác định trên các không gian Banach thực. Kỹ thuật cơ bản mà chúng tôi sử dụng để chứng minh các kết quả trên là hai nguyên lý cơ bản và quan trọng trong Giải tích biến phân là Nguyên lý biến phân Ekeland nổi tiếng và luật tổng dưới vi phân xấp xỉ cho các ánh xạ nửa liên tục dưới.

REFERENCES

1. A. V. Arutyunov, E. R. Avakov, and A. F. Izmailov., *Directional regularity and metric regularity*, SIAM J. Optim., 18(3):810-833, 2007.
2. D. Azé and J.-N. Corvellec., *Characterizations of error bounds for lower semicontinuous functions on metric spaces*, ESAIM Control Optim. Calc. Var., 10(3), 409-425, 2004.
3. J. M. Borwein., *Stability and regular points of inequality systems*, J. Optim. Theory Appl., 48(1):9-52, 1986.
4. J. M. Borwein and Q. J. Zhu., *Techniques of Variational Analysis*, CMS Books on Mathematics. Springer New York, 2005.
5. E. De Giorgi, A. Marino, and M. Tosques., *Problems of evolution in metric spaces and maximal decreasing curve*, Atti Accad. Naz. Lincei Rend. Cl. Sci. Fis. Mat. Natur. (8), 68(3):180-187, 1980.
6. H. Gfrerer., *On directional metric subregularity and second-order optimality conditions for a class of nonsmooth mathematical programs*, SIAM Journal on Optimization, 23(1):632-665, 2013.
7. H. Gfrerer., *On metric pseudo-(sub)regularity of multifunctions and optimality conditions for degenerated mathematical programs*, Set-Valued Var. Anal., 22(1):79-115, 2014.
8. A. D. Ioffe., *Convexity and variational analysis*, In Computational and analytical mathematics, volume 50 of Springer Proc. Math. Stat., 411-444, Springer, New York, 2013.
9. A. D. Ioffe., *Metric regularity - a survey Part 1. Theory*, J. Aust. Math. Soc., 101(2):188-243, 2016.
10. A. D. Ioffe., *Metric regularity - a survey Part II. Applications*, J. Aust. Math. Soc., 101(3):376-417, 2016.
11. H. V. Ngai and M. Théra., *Error bounds in metric spaces and application to the perturbation stability of metric regularity*, SIAM J. Optim., 19(1):1-20, 2008.

12. H. V. Ngai and M. Théra., *Directional metric regularity of multifunctions*, Math. Oper. Res., 40(4):969-991, 2015.
13. H. V. Ngai and P. N. Tinh., *Metric subregularity of multifunctions: First and second order infinitesimal characterizations*, Mathematics of Operations Research, 1-22, 2015.
14. H. V. Ngai, N. H. Tron, and P. N. Tinh., *Directional Hölder metric subregularity and application to tangent cones*, J. Convex Anal., 24(2):417-457, 2017.
15. J.-P. Penot., *Calculus Without Derivatives*, Graduate Texts in Mathematics. Springer Verlag, Berlin, 2013.
16. R. T. Rockafellar and Roger J.-B. Wets., *Variational Analysis*, Springer, Berlin, 1998.



NGHIÊN CỨU DIDACTIC VỀ KHÁI NIỆM GIỚI HẠN DÃY SỐ Ở TRƯỜNG PHỔ THÔNG

NGUYỄN THỊ MINH VÂN
Khoa Toán, Trường Đại học Quy Nhơn

TÓM TẮT

Didactic là một khoa học đặc biệt quan tâm tới vấn đề xây dựng kiến thức ở người học và những điều kiện trong đó việc dạy-học một tri thức được thực hiện. Nghiên cứu didactic về một khái niệm toán học chỉ ra: môi trường ở đó khái niệm nảy sinh, hình thành, phát triển và những chướng ngại khoa học luận tồn tại trong nó; những khó khăn của người học khi tiếp thu khái niệm; những ràng buộc của thể chế dạy học đối với khái niệm và những gợi ý giúp tạo ra tình huống cho phép đem lại một nghĩa đúng cho khái niệm. Trong bài báo này, chúng tôi tiến hành một nghiên cứu didactic về khái niệm giới hạn dãy số, kế thừa một số kết quả từ những nghiên cứu đã có, từ đó đưa ra một tình huống dạy học giúp học sinh tiếp cận khái niệm giới hạn dãy số theo ngôn ngữ $\varepsilon - N$.

Từ khóa: Didactic, giới hạn dãy số, chướng ngại khoa học luận.

ABSTRACT

Didactical Research on the Notion of Limit of a Sequence in Schools

Didactic is a science concerning specially about the construction of knowledge in learners and the conditionson which the teaching-learning of this knowledge is taken. A didactical research on a mathematical concept presents: milieu in that the concept derives, grows andepistemological obstaclesexist in it; difficulties encountered in learning the concept; constraints of teaching institutions on concepts and suggestions for constructing situations allowing to attain a proper meaning of the concept. In this paper, we present a didactical research on the notion of limit of a sequenceusing some of known results and construct a situation for teaching the $\varepsilon - N$ definition of notion of limit of a sequence.

Key words: Didactic, limit of sequence, epistemological obstacles.

1. Mở đầu

Ngày nay, sự phát triển không ngừng của khoa học đã giúp cho việc học trở nên dễ dàng. Xu hướng máy tính hóa những công việc trong học tập toán ở bậc phổ thông có thể đem lại hiệu quả trực quan, nhanh chóng nhưng cũng khiến người học thờ ơ với các định nghĩa và bản chất các khái niệm toán học. Quan điểm đại số hóa Hình học, và cả Giải tích một mặt đem lại sự dễ dàng trong các tính toán nhưng mặt khác làm mất đi phần nào ý nghĩa của các khái niệm.

Khái niệm giới hạn dãy số là khái niệm mở đầu của chương trình Giải tích ở phổ thông. Vị trí của nó ở phổ thông có một chênh lệch đáng chú ý so với bậc đại học: định nghĩa không sử dụng ngôn ngữ $\varepsilon - N$; giới hạn hữu hạn được định nghĩa qua giới hạn 0; giới hạn hàm số phải định nghĩa qua giới hạn dãy số.

Việc giải thích sự chênh lệch này đòi hỏi một nghiên cứu khoa học luận (épistémologie), vì nó sẽ giúp “hiểu rõ hơn mối liên hệ giữa việc xây dựng tri thức trong cộng đồng các nhà bác học với việc dạy và học tri thức này” (J –L. Dorrier, 1996, tr.21 -trích A. Bessot, C. Comiti, Lê Thị Hoài Châu, Lê Văn Tiến, 2009, tr.263), giúp giáo viên có cái nhìn “không hoàn toàn bị bó hẹp trong nội tại hệ thống dạy học, không chỉ xem xét nó dưới lăng kính của chương trình và sách giáo khoa” (A. Bessot, C. Comiti, Lê Thị Hoài Châu, Lê Văn Tiến, 2009, tr. 265).

Nhiều nghiên cứu khoa học luận về khái niệm giới hạn (dãy số và hàm số) được đúc kết, trình bày bởi Nguyễn Thành Long (2004); E.K. Moru (2006); A. Kumsa, K. Petterson, P. Andrews (2017); G.T. Bagni (2005). Trong bài báo này, chúng tôi tiến hành một nghiên cứu riêng về khái niệm giới hạn dãy số, đồng thời trích ra từ những nghiên cứu trên những kết quả liên quan, từ đó xây dựng một tình huống dạy học giúp học sinh tiếp cận khái niệm giới hạn dãy số theo quan điểm xấp xỉ, tức theo ngôn ngữ $\varepsilon - N$.

2. Nghiên cứu khoa học luận khái niệm giới hạn dãy số

2.1. Lịch sử hình thành và phát triển

Theo Moru (2006), khái niệm giới hạn nảy sinh do nhu cầu giải quyết các bài toán: tỉ lệ thay đổi tức thời; tiếp tuyến và pháp tuyến của đường cong; độ dài, diện tích, thể tích, trọng tâm của bề mặt; sự hội tụ và tổng của một chuỗi vô hạn (tr.28). Một phương pháp tính diện tích, thể tích cổ xưa nổi tiếng là phương pháp vét cạn (method of exhaustion) của Eudoxus (408 - 355, trước Công Nguyên), mà người sử dụng hiệu quả là Archimedes (287-212, trước Công Nguyên). Khi giải bài toán cầu phương (quadrature of parabol) “Cho A, B là hai điểm tùy ý thuộc một parabol. Gọi C là điểm nằm trên cung (AB) sao cho khoảng cách từ C đến đoạn AB là dài nhất. Điểm C như vậy được gọi là đỉnh của miền parabol ABC . Chứng minh rằng diện tích của miền parabol ABC bằng $\frac{4}{3}$ diện tích tam giác ABC ”, sau n bước “vét cạn”, Archimedes đạt được diện tích miền parabol ABC là $S = S_0 + \frac{1}{4}S_0 + \left(\frac{1}{4}\right)^2 S_0 + \dots + \left(\frac{1}{4}\right)^{n-1} S_0$, với S_0 là diện tích tam giác ABC . Để tìm ra S , ông cho rằng khi số lượng các số hạng tăng lên thì phần dư $\frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4^{n-1}} S_0$ sẽ nhỏ như mong muốn. Do đó, ông thêm vào tổng phần dư này và thu được $S = \frac{4}{3}S_0$ (Boyer, 1949, tr. 52).

Có thể nói rằng, từ phương pháp của Archimedes, ta có chuỗi số đầu tiên, chính là mầm mống nảy sinh khái niệm giới hạn dãy số. Mặc dù Archimedes hay người Hy Lạp cổ chưa đạt được bước chuyển qua khái niệm giới hạn nhưng xem như khái niệm giới hạn dãy số đã xuất hiện một cách ngầm ẩn qua việc cộng thêm vào tổng một phần dư được xem là “nhỏ như mong muốn” khi n tăng lên.

Gregory of St. Vincent (1584 - 1667) khi nghiên cứu về một cấp số nhân (geometric series) liên quan đến nghịch lí *Achilles đuổi rùa* đã đưa ra một kết luận “giới hạn” (terminus) của một chuỗi là kết quả cuối cùng của chuỗi, là giá trị mà dù tiếp tục đến vô hạn chuỗi vẫn không đạt tới được nhưng có thể tiến đến càng lúc càng gần với sai khác nào đó”¹(Kline, 1972, p.437 trích dịch Bagni, 2005). Nghịch lí Achilles đưa ta đến một chuỗi số và định nghĩa “giới hạn” của Gregory đã giúp đưa đến khái niệm giới hạn trong lịch sử.

Tiếp tục những nghiên cứu về tổng của chuỗi số, Cauchy (1789 - 1857) đã cho rằng “ý nghĩa của $\sum_{k=0}^{\infty} u_k$ là khá mơ hồ. Nó đòi hỏi một định nghĩa chính xác để xác định không chỉ giá trị mà còn sự tồn tại thực sự của nó” (W. Dunham. *The calculus gallery*, 2005). Do đó, ông đã đưa vào khái niệm dãy các tổng riêng:

$$S_1 = u_0, S_2 = u_0 + u_1, S_3 = u_0 + u_1 + u_2, \dots, S_n = \sum_{k=0}^{n-1} u_k.$$

Để tính được tổng của chuỗi hay xét sự hội tụ của chuỗi, cần thiết phải xét đến giới hạn và sự hội tụ của dãy các tổng riêng. Cauchy đã đưa ra định nghĩa khái niệm giới hạn “Khi các giá trị lần lượt của một biến tiến đến một cách vô hạn tới một giá trị cố định sao cho đến cuối cùng sai khác nó bằng một lượng nhỏ như mong muốn, giá trị cuối cùng này được gọi là giới hạn của tất cả những giá trị đó. Ví dụ, một số vô tỉ là giới hạn của dãy các số hữu tỉ xấp xỉ càng lúc càng gần nó... Ta nói một đại lượng biến thiên là vô cùng bé khi giá trị số của nó giảm một cách vô hạn theo cách là hội tụ đến giới hạn 0”² (Kline, 1972, tr. 951 trích Bagni, 2005). Dãy số trong định nghĩa này chính là dãy các giá trị lần lượt của một biến. Đồng thời, Cauchy cũng đưa ra một tiêu chuẩn hội tụ nổi tiếng về sau này mang tên ông “Điều kiện cần và đủ để một dãy hội tụ đến một giới hạn là $|S_p - S_q|$ với bất kì giá trị nào của p, q lớn hơn n có thể được làm nhỏ hơn bất kì lượng cho trước nào bằng cách lấy n đủ lớn” (Boyer, 1949, tr. 281).

Nếu như ở trên ta thấy khái niệm giới hạn dãy số nảy sinh do nhu cầu tính tổng của chuỗi vô hạn, thì đến đây ta thấy nó đã được định nghĩa và sự tồn tại của nó cũng đã được xem xét. Có thể nói, giới hạn dãy số đã là một đối tượng nghiên cứu. Và quay ngược lại, chính nó lại giúp xét sự hội tụ của một chuỗi và tính tổng của chuỗi. Để chứng minh tiêu chuẩn hội tụ trên, Cauchy cần đến định nghĩa tập số thực, định nghĩa số vô tỉ. Tuy nhiên định nghĩa số vô tỉ của Cauchy ở trên đưa đến một sự lúng túng trong lí luận. Trở ngại này đã mở đường cho những nghiên cứu xa hơn về tập số thực. Nỗ lực định nghĩa số vô tỉ không dựa vào khái niệm giới hạn đã thành công nhờ vào Weierstrass (1815 - 1897), Georg Cantor (1845 - 1918) và Richard Dedekind (1831 - 1916). Và cũng từ đây, khái niệm giới hạn tiến đến một định nghĩa mới, định nghĩa theo ngôn ngữ $\varepsilon - \delta$ (đối với hàm số) và $\varepsilon - N$ (đối với dãy số).

Về phương diện công cụ, vai trò của khái niệm giới hạn dãy số thể hiện ở khái niệm đạo hàm và tích phân xác định. Khái niệm vận tốc tức thời khi ra đời không phải là khái niệm dễ hiểu, vấn đề được giải quyết với sự ra đời của khái niệm đạo hàm, dựa trên khái niệm giới hạn dãy số “Bằng cách xét những giá trị lần lượt của tỉ số $\frac{\Delta s}{\Delta t}$, ta được một dãy vô hạn $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n, \dots$. Khi giá trị khoảng Δt càng nhỏ thì r_n càng gần với một giá trị cố định L, và khi lấy n đủ lớn thì giá trị $|L - r_n|$ có thể làm nhỏ tùy ý. Và ta gọi L là giới hạn của dãy vô hạn trên, hay đạo hàm $f'(t)$ của hàm số $f(t)$, hay vận tốc tức thời của vật thể chuyển động” (Boyer, 1949, tr. 9). Nếu những nhà Toán học từ thời cổ đại đã khá thành công với các phương pháp hình học tính diện tích các hình cong, thể tích các khối tròn xoay thì khi khái niệm giới hạn xuất hiện, cộng với sự ra đời của Hình học giải tích, các bài toán tính diện tích, thể tích đã được giải quyết dễ dàng “Diện tích của hình có thể định nghĩa như giới hạn của dãy vô hạn của tổng $S_n = \sum_{i=1}^n f(x_i)\Delta x_i$ khi số lần chia n tăng lên vô hạn và khoảng Δx_i dần tới 0” (Boyer, 1949, tr. 9).

2.2. Chướng ngại và khó khăn

Khái niệm giới hạn trước khi có định nghĩa chính thức của Cauchy (giới hạn dãy số hay giới hạn của 1 biến), nó đã được khám phá bởi J. Wallis³ (1616 - 1703) (giới hạn của một hàm số, xem Bagni (2005), p.458) và được làm rõ hơn bởi P. Mengoli⁴ (1635 - 1686). Nhưng ý tưởng mầm mống cho khái niệm giới hạn lại có từ thời Cổ đại, với khó khăn đặt ra từ các khái niệm vô hạn, liên tục của Zeno (495 - 430 trước Công Nguyên); những đại lượng không thể so sánh được của Pythagore và trường phái của ông (thế kỉ 6 trước Công Nguyên). Quá trình thai nghén trải qua một thời gian dài, trải qua nhiều thế hệ, nhiều nền văn hóa khác nhau đã chứa trong nó những chướng ngại khoa học luận ngăn cản sự hình thành của khái niệm giới hạn. Moru (2006), trang 14 đã chỉ ra những chướng ngại⁵ sau:

- Thất bại trong việc liên kết hình học với số;
- Khái niệm vô cùng lớn và vô cùng bé;
- Khía cạnh siêu hình của khái niệm giới hạn;
- Giới hạn có đạt được hay không?

Trong nghiên cứu “*Obstacles to students’ understanding of the limit concept*”, A. Kumsa, K. Petterson, P. Andrews (2017) đã chỉ ra những chướng ngại mà người học gặp phải khi học khái niệm giới hạn:

- Chướng ngại khoa học luận: tồn tại trong lịch sử phát triển và hình thành chính xác khái niệm giới hạn; trong các khái niệm được dùng và bản chất đối ngẫu của các khái niệm đó; trong việc kí hiệu hóa khái niệm.

- Chướng ngại nhận thức: nảy sinh từ sự trừu tượng trong định nghĩa chính thức của giới hạn; từ sự không tương thích giữa hình ảnh khái niệm và định nghĩa khái niệm; từ những kiến thức đã biết trước đó và từ *procept*⁶ của khái niệm giới hạn.

- Chướng ngại sự phạm (didactic): nảy sinh từ môi trường dạy học gồm giáo viên, học sinh, sự gián đoạn giữa những cái định dạy và những cái được dạy và sự thiếu giao tiếp.

Những chướng ngại trên gây ra khó khăn cho việc tiếp thu khái niệm giới hạn và do đó gây khó khăn cho việc học môn Giải tích. Theo Bagni (2005), khó khăn chính đối với người học khi học định nghĩa $\varepsilon - \delta$ là đặc điểm tĩnh của lí thuyết hình thức và đặc điểm động của tiếp cận nhận thức (tr.459). Lịch sử đã chỉ ra nhiều khó khăn để thực hiện bước chuyển từ quan điểm động sang quan điểm tĩnh của khái niệm giới hạn, nó đòi hỏi sự thấu hiểu về các khái niệm vô hạn, liên tục và một định nghĩa chính xác về số vô tỉ. Vì “phản ứng của học sinh đôi lúc tương tự với phản ứng của các nhà toán học trong quá khứ (Tall & Vinner, 1981, trích Bagni, 2005, tr. 455) nên việc nắm vững các chướng ngại trên sẽ cho phép giáo viên dự đoán và tìm cách giải quyết những khó khăn mà học sinh sẽ gặp phải.

2.3. Các quan điểm tiếp cận khái niệm giới hạn

Theo Nguyễn Thành Long (2004), có những quan điểm tiếp cận khái niệm giới hạn là: Quan điểm xấp xỉ, quan điểm động và quan điểm đại số hóa. Sự khác nhau giữa quan điểm động và quan điểm tĩnh ở chỗ nếu trong quan điểm động, chính biến kéo theo hàm số thì trong quan

điểm tĩnh chính độ xấp xỉ của hàm số kéo theo sự xấp xỉ của biến (tr. 28). Ở quan điểm đại số, người ta quan tâm đến việc tính toán các giới hạn bằng các định lý, quy tắc hơn là định nghĩa hay bản chất của nó.

3. Quan hệ thể chế

Nguyễn Thành Long (2004), Bùi Thành Vinh (2013) và Nguyễn Anh Quốc (2014) đã phân tích chi tiết cách trình bày khái niệm giới hạn dãy số cũng như các tổ chức toán học liên quan đến nó. Ở đây, chúng tôi chỉ quan tâm đến cách xây dựng định nghĩa và những kiểu nhiệm vụ liên quan đến quá trình hình thành khái niệm giới hạn dãy số cũng như các bài tập đem lại ý nghĩa thực tế cho khái niệm giới hạn.

Ở bậc đại học, giới hạn dãy số được trình bày theo ngôn ngữ $\varepsilon - N$ sau khi những kiến thức về số thực được cung cấp đầy đủ. Và kể từ đó, ngoài những tính chất được chứng minh thì giới hạn dãy số hầu như được tiếp cận theo quan điểm đại số, nghĩa là chỉ cần tính được các giới hạn bằng cách áp dụng các định lý và kỹ thuật biến đổi. Không hề có một kiểu nhiệm vụ nào liên quan đến sự hình thành khái niệm. Dãy số và giới hạn của nó có thể dùng để định nghĩa giới hạn hàm số hoặc không; được dùng để xét sự hội tụ và tính tổng của một chuỗi vô hạn, một quá trình ngược với lịch sử hình thành.

Những sinh viên không theo ngành Toán vẫn thường hỏi, học giới hạn để làm gì. Rõ ràng với quan điểm đại số hóa, ta chỉ có thể giải thích là khái niệm này dùng để định nghĩa khái niệm kế tiếp. Trong khi quan điểm động dễ dàng chỉ ra hình ảnh khái niệm thì quan điểm xấp xỉ với kí hiệu của nó khiến người ta có một cảm giác mơ hồ về việc “tồn tại một số $N = N(\varepsilon)$ suy từ bất đẳng thức $|u_n - a| < \varepsilon$ nhưng trong định nghĩa thì $N = N(\varepsilon)$ có trước $|u_n - a| < \varepsilon$ ”, một quy trình ngược với quan điểm động.

Nhằm tìm kiếm ý nghĩa thực tế ẩn trong các tính toán giới hạn dãy số, chúng tôi tìm kiếm thêm trong tài liệu “*Giải tích toán học, tập I*” của G. M. Fichtengon. Một vài ví dụ được tìm thấy đủ để giải thích cho nhà tỉ phú trong Đồ vui “*Một hào đổi lấy năm xu?*”: $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{2^n} = 0$, $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2^n}{n!} = 0$ (tr. 22 - 23). Một giới hạn đặc biệt $\lim_{n \rightarrow \infty} (1 + \frac{1}{n})^n = e$ vừa là đối tượng nghiên cứu vừa là công cụ để nghiên cứu các đối tượng khác, được trình bày chi tiết trong các tài liệu mà 3 tác giả trên tham khảo, tuy nhiên nguồn gốc của dãy số này vẫn là một ẩn số.

Như vậy, một tiếp cận nghiên cứu khoa học luận của khái niệm dãy số đối với sinh viên sư phạm là điều cần thiết nhằm “trả lại tính lịch sử cho khái niệm toán học mà việc dạy học thường có khuynh hướng trình bày nó như những đối tượng phổ biến đồng thời trong thời gian và trong không gian” (M. Artigue, 1990, tr. 243, trích A. Bessot, C. Comiti, Lê Thị Hoài Châu, Lê Văn Tiến 2009, tr. 265).

Ở bậc phổ thông, khái niệm giới hạn dãy số cũng được trình bày theo ngôn ngữ $\varepsilon - N$, tức theo quan điểm xấp xỉ nhưng giấu đi hai kí hiệu $\varepsilon - N$ mà thay vào đó là những từ “số dương nhỏ tùy ý”, “kể từ một số hạng nào đó trở đi”. Một trình bày phù hợp với tiến trình lịch sử đó là chương trình đã định nghĩa vô cùng bé - giới hạn 0 trước khi định nghĩa giới hạn hữu hạn, và giới hạn hữu hạn được định nghĩa theo giới hạn 0. Những dãy số có giới hạn 0 dễ dàng liên kết với những hình

ảnh đã có về khái niệm như “chia cho một số rất lớn thì xem như bằng 0” hay “lũy thừa của một số dương bé hơn 1 càng bé khi số mũ càng lớn” như $\frac{1}{n}, \frac{(-1)^n}{n}, \frac{1}{2^n} \dots$

Sách giáo khoa nâng cao chương trình hiện hành đã biểu diễn các giá trị của dãy số lên trục số để tạo hình ảnh về 1 sự “chụm lại” quanh giá trị 0 và kết luận “khoảng cách $|u_n| = \frac{1}{n}$ từ điểm u_n đến điểm 0 trở nên nhỏ bao nhiêu cũng được miễn là n đủ lớn” (tr. 127). Sách giáo khoa chuẩn cũng có cách làm tương tự. Những cụm từ “nhỏ bao nhiêu cũng được”, “miễn là n đủ lớn” đem lại khó khăn không nhỏ cho học sinh khi tiếp cận khái niệm giới hạn dãy số. Khi những khó khăn trong tiếp cận định nghĩa theo quan điểm xấp xỉ được khắc phục phần nào nhờ hình ảnh hình học, quan điểm động và nhanh chóng được quên đi nhờ quan điểm đại số thì cơ hội để học sinh hiểu một định nghĩa xấp xỉ chính xác là không cao. Vì vậy, một tình huống dạy học nhằm giúp học sinh hiểu định nghĩa giới hạn dãy số theo ngôn ngữ $\varepsilon - N$ là cần thiết.

Những tình huống làm nảy sinh khái niệm giới hạn ở chương trình phổ thông trước khi cho học sinh học về khái niệm giới hạn là không tồn tại. Ở sách giáo khoa chuẩn, nghịch lý *Achilles đuổi rùa* được đưa vào để nhằm tăng động cơ cho học sinh để bước vào học khái niệm giới hạn. Tuy nhiên, nghịch lý này chỉ được giải thích ở bài đọc thêm (tr.120) sau những bài học về giới hạn dãy số. Điều này không đảm bảo rằng giáo viên sẽ lấy nó làm nội dung giảng dạy chính thức và cũng không có gì đảm bảo rằng học sinh sẽ đọc nội dung đó.

Nếu ở bậc đại học, không tồn tại kiểu nhiệm vụ “Tính tổng của một cấp số nhân lùi vô hạn” liên quan đến sự hình thành khái niệm giới hạn thì ở phổ thông, kiểu nhiệm vụ này đã được chú ý nhiều hơn. Các bài tập 8, 10 hay bài đọc thêm “Đoán nhận giới hạn của một dãy số thực bằng hình học” (tr. 135 - 136) ở sách giáo khoa nâng cao cho thấy điều đó. Ngoài ra thì các kiểu nhiệm vụ ứng dụng kỹ thuật đại số vẫn chiếm ưu thế. Nếu ở sách giáo khoa chuẩn, tồn tại một biểu diễn hình học hay đồ thị của dãy số trong mặt phẳng tọa độ (tr. 88) thì sách giáo khoa nâng cao không có một trình bày nào liên quan đến nội dung này.

Trong định nghĩa giới hạn dãy số, giá trị giới hạn đã được chỉ ra. Vậy học sinh sẽ tìm giá trị đó như thế nào khi mà chưa có công cụ để tính giới hạn của một dãy? Do giáo viên nói ra, do việc biểu diễn các giá trị trên trục và thấy rằng các giá trị u_n “chụm lại” quanh giá trị đó (mà việc này là do giáo viên yêu cầu) hay bằng những hình ảnh trực giác đã có. Khái niệm hàm số chứa trong định nghĩa dãy số có vai trò gì? Những câu hỏi và những phân tích trên đưa chúng tôi đến với tình huống sau đây.

4. Thực nghiệm

Từ những phân tích trên, chúng tôi đi đến một giả thuyết:

Quan điểm động và hình ảnh hình học sẽ tạo điều kiện tiếp cận khái niệm giới hạn dãy số theo quan điểm xấp xỉ.

Để kiểm chứng giả thuyết trên, chúng tôi tiến hành xây dựng một tình huống tiếp cận khái niệm giới hạn và tiến hành thực nghiệm ở học sinh.

4.1. Tình huống và phân tích tiên nghiệm

Hành trình vô tận

Trên một hành tinh phẳng, một ông vua (V) có phép thuật sống với một người hầu (NH). Nhà vua hay làm toán và hay yêu cầu người hầu thực hiện các phép tính. Mỗi lần người hầu một tính sai vua lại phạt anh ta bằng một trò gì đó, lần này vua phạt như sau:

V: Nhà ngươi sẽ tính các giá trị $u_n = \frac{n+3}{n}$, $n = 1, 2, 3, \dots$ và biểu diễn các điểm $M_n(n, u_n)$ lên mặt phẳng ta đang sống có gắn hệ trục như sau và nhà ngươi chỉ được bước đi lần lượt tại các điểm $M_n(n, u_n)$ đó, bắt đầu từ $M_1(1, u_1)$, nếu đi sai ta sẽ cho nỏ tung.

NH: Nhưng mỗi bước đi cũng lệch điểm đó đôi chút chứ.

V: Ta sẽ khoanh vùng quanh điểm đó với bán kính nhỏ hơn ε (ep-si-lon), ra ngoài khu vực an toàn đó, ngươi sẽ tiêu đời.

NH: Nhưng sau mỗi bước đi lại phải tính giá trị tung độ u_n , mà n thì ngày càng lớn, tính mãi sao nổi.

V: Vậy khi đã tính toán mệt rồi thì ta cho phép ngươi thay các điểm M_n còn lại bằng các điểm có cùng hoành độ, còn tung độ thì dễ tìm, không phải tính toán. Và khi đã đi điểm thay thế thì phải đi đúng điểm đó, không được phép sai lệch nữa.

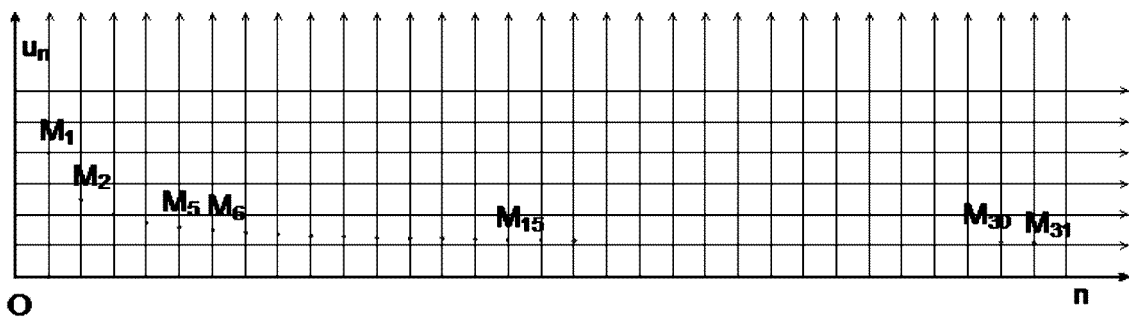
NH: Vậy tôi biết sẽ đi đường nào rồi. Nhưng chả lẽ đi mãi tới vô tận à?

V: Khi nào nhà ngươi đi đúng những điểm đi an toàn còn lại thỏa mãn các yêu cầu của ta mà không phải tính toán thì ta sẽ cho ngừng.

Câu hỏi cho học sinh

1. Em hãy tìm tọa độ các điểm từ M_1 đến M_{32} , nhận xét về tung độ của các điểm này? Theo em, khi n càng lớn thì giá trị u_n sẽ như thế nào?
2. Với $\varepsilon = 0,5$, theo em, người hầu sẽ đi một hành trình nào an toàn cho đến vô tận thỏa mãn yêu cầu của nhà vua mà không phải tính toán quá nhiều. Hãy chỉ ra tọa độ tất cả các điểm đi. Giải thích vì sao?
3. Thời điểm sớm nhất để người hầu có thể ngừng đi là khi nào? Thời điểm ấy có phụ thuộc vào ε không?
4. Tương tự câu hỏi 2) và 3) với $\varepsilon = 0,1$.
5. Tương tự câu hỏi 2) và 3) với $\varepsilon = 0,001$.
6. Tương tự câu hỏi 2) và 3) với ε là số dương bé tùy ý.

Trò chơi được mô hình hóa như sau:



Dãy số $u_n = \frac{n+3}{n}$ có biểu diễn hình học là dãy các điểm $M_1, M_2, M_3, \dots, M_n, \dots$ trên mặt phẳng Ox .

Việc tính toán các giá trị u_n để xác định các điểm đi làm tốn thời gian nên nảy sinh nhu cầu thay thế chuỗi các điểm đi yêu cầu bằng một chuỗi điểm khác, cách hành trình cũ 1 khoảng nhỏ hơn ε .

Căn cứ vào dãy các giá trị u_n đã tính và tung độ các điểm định thay thế, bằng 1, học sinh sẽ đưa ra các điểm thay thế bắt đầu từ M_7 , các điểm thay thế là $P_n(n, 1), n \geq 7$ và khẳng định $M_n P_n < 0,5$.

Sau khi kết thúc tình huống, với câu hỏi khoảng cách $M_n P_n$ được tính như thế nào, giáo viên sẽ trình bày kết quả: với $\varepsilon = 0,5, |u_n - 1| < \varepsilon$ với mọi $n \geq 7$, với $7 > \frac{3}{0,5}$.

Tương tự cho các trường hợp khác của ε , từ đó giáo viên phát biểu định nghĩa về giới hạn dãy số.

Vì thời điểm thực nghiệm là cuối năm học nên chúng tôi nhắm đến đối tượng thực nghiệm là học sinh lớp 10, chưa học về giới hạn dãy số và do vậy tình huống được trình bày với ngôn ngữ thông thường tránh dùng các từ dãy số, biểu diễn hình học của dãy số, qua đó chúng tôi muốn hướng học sinh đến kỹ năng mô hình hóa, một kỹ năng cần thiết trong đời sống.

Kịch bản thực nghiệm

Màn 1: Làm việc cá nhân dưới sự hướng dẫn của giáo viên để hiểu đề bài.

Gv cần một màn hình máy tính với phần mềm Geometer's Sketchpad. Cho học sinh đọc hiểu đề, giáo viên minh họa trên màn hình các bước đi của người hầu. Tuy nhiên vì điều kiện không cho phép chúng tôi chỉ thực nghiệm với hệ trục trên giấy.

Học sinh làm việc cá nhân ở câu hỏi 1, nhằm giúp các em quan sát giá trị các số trong dãy số, giáo viên yêu cầu tính u_n ra số thập phân, với 3 chữ số sau số thập phân.

Sau khi đã tính toán xong, giáo viên yêu cầu học sinh chỉ ra một vài hành trình đi thay thế phù hợp với yêu cầu nhà vua mà người hầu không phải tính toán quá nhiều. Việc này giúp học sinh tìm ra hành trình thay thế tối ưu nhất.

Màn 2: Làm việc nhóm.

Khi làm việc nhóm giúp học sinh thảo luận và quyết định phương án tối ưu và giải thích vì sao.

Màn 3: Làm việc tập thể.

Học sinh các nhóm trình bày kết quả của mình và lí giải tại sao.

Màn 4: Hợp thức hóa.

Giáo viên tóm lại kết quả và trình bày định nghĩa về giới hạn.

Thực nghiệm của chúng tôi chỉ thực hiện đến màn 2 vì điều kiện không cho phép hơn nữa học sinh chưa học khái niệm dãy số.

Phân tích tiên nghiệm

Chiến lược trả lời Câu hỏi 2

S1: “thử”: học sinh sẽ tính các giá trị u_n , xác định các điểm $M_n(n, u_n)$. Khi tính đến u_{n_0-1} học sinh bắt đầu liên hệ với ε , nhận thấy u_n giảm và lớn hơn 1, nên từ $n = n_0$, có thể chọn đi tại các điểm có tung độ bằng 1 thay vì đi theo biểu diễn hình học của dãy số mà vẫn an toàn.

S2: “khoảng cách”: nhận thấy khoảng cách từ M_n đến đường thẳng $y = 1$ càng ngày càng nhỏ, có thể nhỏ hơn ε nên chọn điểm nằm trên đường thẳng $y = 1$, bắt đầu từ $n = 7$.

S3: “khoảng cách - bất đẳng thức”: chọn được tung độ điểm thay thế, bằng 1, áp dụng công thức khoảng cách và giải bất đẳng thức, tìm ra $n \geq n_0$ nên chọn được thời điểm thay thế.

Chiến lược trả lời Câu hỏi 3

S'1: “thử”: suy ra từ câu hỏi 2 và nêu thời điểm thay thế n_0 .

S'2: “phân tích”: phân tích $u_n = 1 + \frac{3}{n}$ và cho u_n bằng với $1 + \varepsilon$.

S'3: “khoảng cách - bất đẳng thức”: tương tự S3.

Biến didactic⁷

V1: Độ lớn của ε : không quá nhỏ, rất nhỏ hoặc bất kì.

Khi độ lớn ε không quá nhỏ tạo điều kiện cho chiến lược S1, S2; S'1.

Khi ε rất nhỏ hoặc bất kì sẽ tạo điều kiện cho chiến lược S3, S'2, S'3.

V2: “giới hạn” của dãy là số nguyên hay không nguyên.

Khi giới hạn dãy số không nguyên thì giá trị đó không thể có mặt trên lưới tọa độ vì lộ rõ ý đồ nhưng nếu không có mặt thì khó mà hình dung, vì để hình dung cần biết đưa dãy số về dạng $u_n = 1 + \frac{3}{n}$ mà kỹ năng này chỉ có khi đã học các định lý về giới hạn. Khi giới hạn là nguyên thì chiến lược S1, S'1 được tạo điều kiện vì giá trị tung độ thay thế bằng 1 là dễ tìm. Hơn nữa, chiến lược S'2 cũng được tạo điều kiện.

V3: Tốc độ hội tụ của dãy là nhanh hay chậm.

Tốc độ hội tụ nhanh sẽ tạo niềm tin và tạo điều kiện cho chiến lược S1, S'1.

Biến tình huống⁸

- Chỉ rõ hoành độ điểm thay thế hoặc không.

- Mặt phẳng tọa độ có lưới hoặc không.

- Độ dài trục hoành lớn hay nhỏ.

- Tung độ điểm thay thế nói rõ là dễ tìm, không phải tính toán hoặc không nói gì.

- Lưới tọa độ thể hiện các điểm M_n hay không.

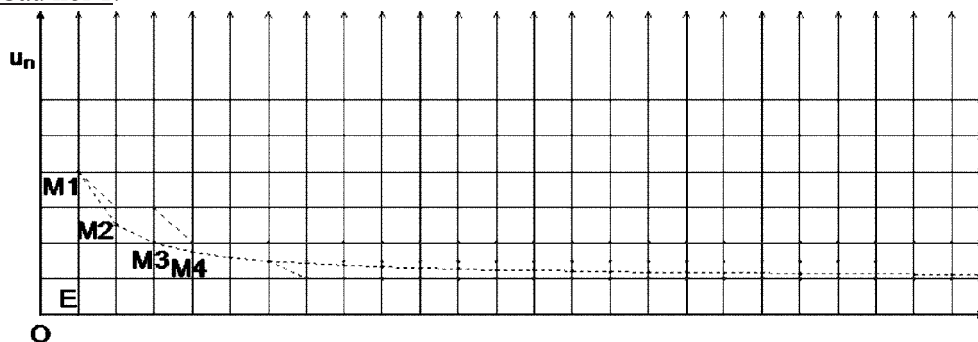
- Rõ ràng biến V2 cũng được xem là một biến tình huống

Tình huống của chúng tôi được lựa chọn như sau:

Biến didactic	Biến tình huống
V1: không quá nhỏ, rất nhỏ và tùy ý cho 4 trường hợp	- Chỉ rõ hoành độ điểm thay thế, tung độ yêu cầu là dễ tìm không phải tính toán.
V2: Giới hạn là số nguyên dương dễ thấy	- Hệ trục có trục hoành đủ dài, có lưới và biểu diễn sẵn các điểm M_n .
V3: Tốc độ hội tụ nhanh	

Những cái có thể quan sát, những câu trả lời có thể

Câu hỏi 1:



Học sinh lên bảng chỉ ra những dãy điểm có thể thay thế cho dãy điểm M_n , cho 3-4 học sinh lên chọn nhằm giúp học sinh hiểu đề và tạo ra môi trường để tìm ra phương án tối ưu.

Nhờ phần mềm, có thể kéo dài hệ trục hoành đến “vô cùng”.

Câu hỏi 2:

C1: Học sinh thấy $u_6 = 1,5$ cách 1 là $0,5 = \varepsilon$; $u_7 = 1,43$ từ đó hành trình thay thế là $M_{1 \rightarrow 6}$ và $M'_{n \geq 7}(n, 1)$ và giải thích theo các chiến lược:

S1: vì từ u_7 , các giá trị u_n đều nhỏ hơn 1,5 và lớn 1 nên khoảng cách giữa $M_n(n, u_n)$ và điểm thay thế $M'_n(n, 1)$ luôn nhỏ hơn 0,5.

S2: ta thấy trên hình vẽ, khoảng cách từ các điểm M_n đến các điểm cùng hoành độ trên đường thẳng $y = 1$ ngày càng nhỏ và nhỏ hơn ε khi $n > 6$ hay $n \geq 7$.

S3: Gọi điểm thay thế $M'_n(n, 1)$, giải bất phương trình $M_n M'_n < 0,5 \Leftrightarrow |u_n - 1| < 0,5$ suy ra $n \geq 7$.

C2: học sinh chọn các điểm M'_n thỏa mãn đúng yêu cầu nhà vua nhưng không theo 1 quy luật cho đến vô cùng mà chọn lần lượt từng điểm nào đó, ví dụ $M_4(4; 1,75)$ thì chọn điểm thay thế là $M_4(4; 1,3), \dots$ không đề ý là phải thỏa đến vô cùng.

C3: Học sinh vẽ vòng tròn quanh các điểm M_n và chỉ một điểm nào đó trong vùng an toàn.

Câu hỏi 3:

C1: Dùng chiến lược S'1 và không thấy liên quan đến ε .

C2: Kết luận có phụ thuộc nhờ suy luận sau khi xét các trường hợp của ε , tính n_0 bằng chiến lược S'2: $u_n = 1 + \frac{3}{n} = 1 + \varepsilon$.

C3: dùng S'3 $|u_n - 1| < \varepsilon \Leftrightarrow n > \frac{3}{\varepsilon}$.

4.2. Phân tích hậu nghiệm

Lần thực nghiệm cuối cùng với tình huống diễn ra trong một nhóm 11 học sinh Trường Trung học Phổ thông Hùng Vương, thành phố Quy Nhơn; diễn ra chiều ngày 22/5/2017. Trước khi thực nghiệm lần cuối cùng này, chúng tôi đã thực nghiệm 2 lần trước đó. Tình huống thực nghiệm hai lần trước không khác lần này về nội dung nhưng cách chọn biến tình huống chưa phù hợp dẫn đến việc hiểu tình huống chưa tốt đòi hỏi giải thích nhiều. Tuy nhiên, những chiến lược học sinh sử dụng, những kết quả thu được khuyến khích chúng tôi tiếp tục theo đuổi tình huống này.

11 học sinh được chia thành các nhóm 2 học sinh nhưng một số cá nhân làm riêng nên chúng tôi có 3 nhóm đôi và 5 bạn làm cá nhân - xem là 8 nhóm.

Các nhóm được mã hóa N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7, N8.

Kết quả thu được như sau:

Câu hỏi 1:

Sau khi tính toán dãy giá trị thấy gần 1, luôn lớn hơn 1 và nhìn hình vẽ được cung cấp, kết quả mong đợi là học sinh nhận ra hành trình tối ưu là hành trình đi qua đường thẳng $y = 1$ bắt đầu từ giá trị nào đó của n . Có 3/8 nhóm sớm nhận ra hành trình tối ưu và vẽ lên mặt phẳng tọa độ. Tuy nhiên chỉ có 2 học sinh chỉ rõ là $u_n > 1$.

Các nhóm còn lại mặc dù nhận ra hành trình tối ưu nhưng vẫn còn nhầm lẫn giữa hoành độ và tung độ vì hệ trục tọa độ đã cho có tên không quen thuộc với học sinh.

Câu hỏi 2:

Sau khi nhận ra hành trình tối ưu, học sinh bắt đầu trình bày và giải thích cho sự lựa chọn của mình:

Chiến lược S1: có 7/8 nhóm đi theo chiến lược này

N1: Hành trình an toàn của người hầu từ M_7 đến M_n ứng với từng n thì u_n sẽ bằng $1M_7(7,1)$, $M_8(8,1), \dots, M_n(n,1)$. ~~Vì từ M_7 , khoảng cách từ M_n đến điểm an toàn thỏa mãn bé hơn $\epsilon = 0,5$ thì $u_n = 1$.~~ Gọi F_n là điểm an toàn... vậy $u_n = 1$.

N3: Người hầu sẽ bắt đầu hành trình an toàn từ $M_1 \rightarrow M_6$, sau đó từ $M_7 \rightarrow M_n$ sẽ thay bằng các điểm $A_n(n,1)$. Vì ta thấy từ M_7 đến M_n $u - 1 < \epsilon$

N4: $M_{7 \rightarrow \infty}(n,1)$.

- Vì khi một số tự nhiên cộng với 3 và chia cho chính nó tất cả sẽ lớn hơn 1 nên sẽ thỏa mãn được.

- Vì khi bắt đầu từ M_7 thì các hoành độ sẽ luôn nhỏ hơn 1,5 mà vua cho có thể lệch đi 0,5 nên có thể áp dụng được.

- Sau khi thay từ $M_{7 \rightarrow \infty}$ sẽ thỏa được tất cả các yêu cầu.

N5, N6: ... ta thay từ M_7 thì điểm có hoành độ bằng 1 vì hoành độ từ M_7 tới $M_{vô\ c\infty\ g}$ đều nhỏ hơn 1,5.

N7: ... hành trình an toàn sẽ thay đổi từ M_7 trở đi vì $M_7(7; 1,428) \rightarrow M'_7(7,1)$, $M_7(8; 1,38) \rightarrow M'_8(8,1) \dots$ vì $u_n = \frac{n+3}{n} > 1$.

N8: Ta thay từ M_7 , ta lấy $y = 1$ và x tăng dần 1 giá trị từ $M_7(7,1)$, $M_8(8,1), \dots, M_{12}(12,1)$.

Chiến lược S2:

N2: Để người hầu không phải tính toán nhiều thì tọa độ các điểm đi sẽ là: giữ nguyên M_1 , M_2 , M_3 , M_4 , M_5 , M_6 ; với $\epsilon = 0,5$, ta chọn M_7, \dots, M_{32} có u_7, \dots, u_{32} là 1, giữ nguyên n . Vì khi dịch chuyển ta vẫn đảm bảo khoảng cách dịch chuyển đường mới và đường cũ bé hơn $\epsilon = 0,5$ và tung độ bằng 1.

Nhóm 1 sau khi gạch bỏ giải thích ban đầu đã cố gắng giải thích sự lựa chọn của mình nhưng sự giải thích quá khó hiểu.

Ngoài ra N7 và N8 không giải thích được lí do chọn lựa.

Chiến lược S3: không có học sinh nào trả lời.

Khi thay đổi ε , chỉ một số nhóm học sinh kịp giải quyết:

Nhóm 1 nói được thời điểm thay là M_{30} , M_{3000} và $M_{\frac{3}{i}}$ với $\varepsilon = i$ cách thời điểm chính xác 1 đơn vị. Nhóm 4 nêu đúng được thời điểm M_{31} , M_{3001} nhưng khi ε bất kì thì không giải quyết được.

Câu hỏi 3:

Đa số học sinh trả lời được thời điểm sớm nhất xác định được điểm đi mà không cần tính toán là M_7 khi $\varepsilon = 0,5$. Tuy nhiên, nó có phụ thuộc vào ε hay không khiến các em suy nghĩ.

Chiến lược S'1: có 6/8 nhóm theo chiến lược này.

N1: Thời điểm sớm nhất người hầu có thể ngừng đi là M_7 ; thời điểm ấy ~~không~~ phụ ε vào ε ... Thời điểm sớm nhất người hầu có thể ngừng là M_{30} vẫn phụ thuộc vào ε ...

N2: Thời điểm sớm nhất để người hầu có thể ngừng đi là: người hầu đến điểm $M_7(7,1)$ vì khi đến M_7 và từ $M_7 \rightarrow$ vô cùng thì tung độ các điểm đều là 1. Nếu đi tiếp thì cũng chỉ đi trên đường thẳng vì vậy người hầu chỉ cần đi đến điểm M_7 .

N3: Thời điểm sớm nhất để người hầu ngừng đi là bắt đầu từ điểm M_7 . Vì từ M_7 ta tìm được những điểm thay thế an toàn. Thời điểm ấy có phụ thuộc vào ε vì khi ta biết ε ta tìm ra những điểm an toàn thay quy luật mà không phải tính toán nhiều nên khi đó người hầu có thể ngừng đi.

N4: Thời điểm sớm nhất người hầu dừng lại là M_7 . Nó sẽ ~~không phụ thuộc vào~~ ε . Nó phụ thuộc vào ε vì khi $\varepsilon = 0,1$ thì sẽ thay thế ở điểm M_{31} chứ không thể vào M_7 vì nó không thỏa yêu cầu của nhà vua... (tương tự khi $\varepsilon = 0,1/0,001$)

N6: Thời điểm sớm nhất để người hầu ngừng đi là M_{10} vì từ $M_7 \rightarrow M_{\text{vô hạn}}$ đều có hoành độ bằng 1, mà M_{10} là điểm gần nhất và chắc chắn nhất. Điểm ấy không phụ thuộc vào ε .

N7: Thời điểm sớm nhất để người hầu ngừng đi là từ M_7 vì từ M_7 trở đi ta có thể thay đổi đều có tung độ bằng 1 khi $\varepsilon = 0,5$. Thời điểm ấy phụ thuộc ε vì khoảng cách từ $M_n \rightarrow M_{n+1}$ phải bé hơn ε .

Chiến lược S'2:

N1: $1,001 = \frac{n+3}{n} \Rightarrow 1,001n = n + 3 \Rightarrow n = 3000 \Rightarrow M_{3000}$ - thời điểm sớm nhất có thể ngừng vẫn phụ thuộc vào ε ... $\varepsilon = iM_{n_0} = \frac{3}{1+i}$ (nháp)... $\varepsilon = i > 0, \dots$ thời điểm sớm nhất là $M_{\frac{3}{i}}$, phụ thuộc vào ε .

Chiến lược S'3: không có câu trả lời nào.

Ngoài ra có hai nhóm học sinh không đưa được câu trả lời.

Ở đây, chúng tôi thấy rằng, việc học sinh tính nhiều giá trị u_n là cần thiết, học sinh thấy được sự “vận động” của u_n khi n ngày càng tăng và biểu diễn của những điểm $M_n(n, u_n)$ trên mặt phẳng tọa độ cho thấy sự kết nối giữa các giá trị số và hình ảnh hình học. Rõ ràng hành trình đi qua mọi điểm $M_n(n, u_n)$ là tiệm cận với đường thẳng $y = 1$ khi n tăng đến vô cùng. Hình ảnh đó cho phép học sinh lựa chọn hành trình tối ưu, tọa độ các điểm sẽ thay thế và xác định thời điểm chính xác để thay thế dựa vào giá trị của u_n .

Thực nghiệm trên giấy chưa cho phép thấy được sự vô tận, do đó còn một số học sinh vẫn còn ảnh hưởng bởi chương ngại “vô cùng lớn”. Với kết quả phân tích trên thực nghiệm này cho phép kiểm chứng được giả thuyết đã đặt ra. Trong quá trình dạy học, giáo viên có thể hoàn thành hai màn còn lại của kịch bản, từ đó đưa đến định nghĩa giới hạn của dãy số theo ngôn ngữ $\varepsilon - N$.

5. Kết luận

Xuất phát từ việc sinh viên trong quá trình học nghiệp vụ sư phạm đã rất khó khăn để giảng khái niệm giới hạn dãy số, nghiên cứu của chúng tôi đi tìm câu trả lời cho câu hỏi “một tình huống nào có thể mang lại nghĩa đúng cho khái niệm giới hạn dãy số”. Trải qua một khoảng thời gian dài tìm hiểu lịch sử hình thành khái niệm giới hạn, các nghiên cứu đã có về khái niệm giới hạn, sự tồn tại của khái niệm giới hạn trong chương trình đại học và phổ thông, chúng tôi nhận ra rằng một sự kết hợp giữa quan điểm động và trực giác hình học sẽ cho phép tiếp cận quan điểm xấp xỉ về khái niệm giới hạn. Thực nghiệm cho thấy học sinh dễ dàng chỉ ra thời điểm N , phụ thuộc ε trong định nghĩa giới hạn theo ngôn ngữ $\varepsilon - N$ mà không cần tiến hành giải bất phương trình $|u_n - a| < \varepsilon$, điều đó thuận lợi cho tiến trình phát biểu định nghĩa. Thực nghiệm cũng tạo cơ hội cho việc hiểu phát biểu “khoảng cách từ u_n đến a sẽ nhỏ tùy ý khi n đủ lớn” khi nói một cách đơn giản về định nghĩa giới hạn dãy số.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. A. Bessot, C. Comiti, Lê Thị Hoài Châu, Lê Văn Tiên. *Những yếu tố cơ bản của didactic Toán*, Nxb ĐHQG TP. HCM, (2009).
2. G.M. Fichtengon, *Giải tích toán học: tập 1*, Nxb ĐH & THCN, (1977).
3. Nguyễn Thành Long, *Nghiên cứu didactic về khái niệm giới hạn trong dạy học Toán ở trường THPT*, Luận văn thạc sĩ Trường Đại học Sư phạm TP. HCM, (2004).
4. Bùi Thành Vinh, *Sự nối khớp giữa dạy học khái niệm giới hạn ở trường THPT và ở trường ĐHSP*, Luận văn thạc sĩ Trường Đại học Sư phạm TP. HCM, (2013).
5. Nguyễn Anh Quốc, *Dạy học khái niệm giới hạn dãy số trong môi trường Sketchpad*, Luận văn thạc sĩ Trường Đại học Sư phạm TP. HCM, (2014).
6. C. B. Boyer, *The history of the calculus and its conceptual development*, Dover Publications, Inc., New York, (1949).
7. G.T. Bagni, *The historical roots of the limit notion: Cognitive development and the development of representation registers*, Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education, 5:4, 453 - 468, (2005).
8. W. Dunham, *The calculus gallery-Masterpieces from Newton to Lebesgue*, Princeton University Press, (2005).
9. A. Kumsa, K. Petterson, P. Andrews. *Obstacles to students' understanding of the limit concept*. Paper for the tenth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education, (2017).
10. E.K. Moru. *Epistemological obstacles in coming to understand the limit concept at undergraduate level: A case of the national university of Lesotho*, PhD thesis, University of the Western Cape, (2006).
11. <http://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/mengoli-pietro> (truy cập ngày 27/5/2017).

PHỤ LỤC

¹. “The terminus of a progression is the end of the series to which the progression does not attain, even if continued to infinity, but to which it can approach more closely than by any given interval”.

². “When the successive values attributed to a variable approach indefinitely a fixed value so as to end by differing from it by as little as one wishes, this last is called the limit of all the others. Thus, for example, an irrational number is the limit of diverse fractions which furnish closer and closer approximate values of it... One say that a variable quantity becomes infinitely small when its numerical value decreases indefinitely in such way to converge to the limit 0”.

³. But (which for us here suffices) they continually approach more closely to the required ratio, in such a way that at length the difference becomes less than any assignable quantity.

⁴. A variable quantity that can be greater than any assignable number is called “quasi-infinite”; a variable quantity that can be smaller than any positive number is “quasi-nil”; and a variable quantity that can be both smaller than any number larger than a given positive number a and greater than any number smaller than a is “quasi- a .”([11]).

⁵. The failure to link geometry with number; The notion of infinitely large and infinitely small; The metaphysical aspect of the notion of limit; A question of whether the limit is attain or not.

⁶. Aprocept is an amalgam of three components: a **process** which produces a mathematical **object** and a **symbol** which is used to represent either process or object. It derives from the work of Eddie Gray and David O. Tall, and is a much used construct in mathematics education research.

⁷. Biến didactic hay còn gọi là biến dạy học, là thuật ngữ được G.Brousseau đưa ra, trích từ tài liệu tham khảo thứ nhất, trang 175 “Một hệ thống các vấn đề có thể nảy sinh từ một tình huống khi ta thay đổi giá trị của một số biến, các biến này đến lượt chúng sẽ làm thay đổi đặc trưng của những chiến lược giải (tốn kém công sức, hợp thức, tính phức tạp,...) [...]. Chỉ có những thay đổi tác động đến thứ bậc của các chiến lược là nên được xem xét (những biến đích thực) và trong biến đích thực này, những biến mà giáo viên có thể thao tác, sẽ được quan tâm một cách đặc biệt: đó là biến dạy học; những biến này là đích thực đối với một lứa tuổi nào đó, theo nghĩa là chúng điều khiển những cách ứng xử khác nhau. Đó là những biến dạy học, nghĩa là khi tác động lên chúng, ta có thể tạo ra những sự thích nghi và những điều chỉnh: tạo ra việc học tập”.

⁸. Biến tình huống: theo trình bày trên về biến didactic, biến tình huống và giá trị của nó sẽ làm thay đổi đặc trưng của những chiến lược giải nhưng không tác động đến thứ bậc của các chiến lược. Việc lựa chọn biến tình huống là ý đồ của giáo viên, giúp đi đến được mục tiêu dạy học, có thể khiến việc tiếp nhận tình huống là dễ dàng hay khó khăn.

NGHIÊN CỨU CHIẾT TÁCH VÀ XÁC ĐỊNH THÀNH PHẦN HÓA HỌC CỦA CHẤT MÀU TÁCH TỪ THÂN RỄ NGHỆ VÀNG (*CURCUMA DOMESTICA* VALET.) Ở NHƠN PHÚ, BÌNH ĐỊNH

VÕ THỊ THANH TUYỀN
Khoa Hóa, Trường Đại học Quy Nhơn

TÓM TẮT

Bài báo này nghiên cứu về thành phần hóa học của chất màu tách từ thân rễ nghệ vàng trồng ở Nhơn Phú, Bình Định. Chất màu của nghệ vàng thu được bằng cách chiết nhiều lần với dung môi etanol. Chất màu thu được chiếm hàm lượng 0,25%. Thành phần hóa học của chất màu được xác định bằng phương pháp UV-Vis, HPLC-MS. Chất màu là hỗn hợp của bisdemethoxycurcumin (6,27%), demethoxycurcumin (24,60%) và curcumin (69,13%). Chất màu này gây độc dòng tế bào ung thư gan với giá trị $IC_{50} = 8,103\mu\text{g/ml}$.

Từ khóa: Curcumin, Nghệ vàng, *Curcuma domestica* Valet.

ASBTRACT

A Study on the Chemical Components of the Color Substance Extracted from Turmeric (*curcuma domestica* valet.) Grown in Nhon Phu, Binh Dinh

This paper is to study the chemical components of the color substance extracted tumeric (*Curcuma domestica* Valet.) grown in Nhon Phu, Binh Dinh. The color substance was extracted several times from tumeric with ethanol. The color substance extracted accounts for 0,25%. The chemical components of the color substance were analyzed with UV-Vis, HPLC-MS. The chemical composition of the color substance are bisdemethoxycurcumin (6,27%), demethoxycurcumin (24,60%) and curcumin (69,13%). This color substance is toxic to the Hep-G2 at the value IC_{50} of $8,103\mu\text{g/ml}$.

Key words: Curcumin, Turmeric, *Curcuma domestica* Valet.

1. Đặt vấn đề

Nghệ vàng có tên khoa học là *Curcuma domestica* Valet., thuộc họ *Zingiberaceae*, chi *Curcuma*. Nó thuộc loại cây thảo và được trồng ở nhiều nơi. Củ nghệ vàng có nhiều hoạt tính sinh học quý như giúp chống oxy hóa, kháng viêm, thường được sử dụng trong hỗ trợ điều trị viêm gan B, C, HIV và ngăn tế bào ung thư phát triển. Màu vàng của nghệ là chất màu thiên nhiên được Dược điển công nhận với mã số E.100 để nhuộm màu thực phẩm, dược phẩm thay thế dần những chất màu tổng hợp như tartrazin E.102. Ngoài ra, màu vàng của nghệ còn được dùng trong công nghiệp nhuộm len, lụa, da mịn... [1-3].

Nghệ vàng là loại cây trồng phổ biến, có nhiều ứng dụng nên đã có nhiều công trình trong và ngoài nước nghiên cứu về loại cây này. Qua nghiên cứu cho thấy, hai thành phần quan trọng nhất tạo nên các dược tính của nghệ vàng là tinh dầu và curcumin. Nhằm đóng góp vào việc khai

thác, sử dụng một cách hợp lý loại cây trồng này tại địa phương, tôi đã tiến hành chiết tách và xác định thành phần hóa học của chất màu tách từ thân rễ nghệ vàng ở Nhơn Phú, Bình Định. Nó là cơ sở khoa học cho những nghiên cứu ứng dụng của cây thuốc quý này.

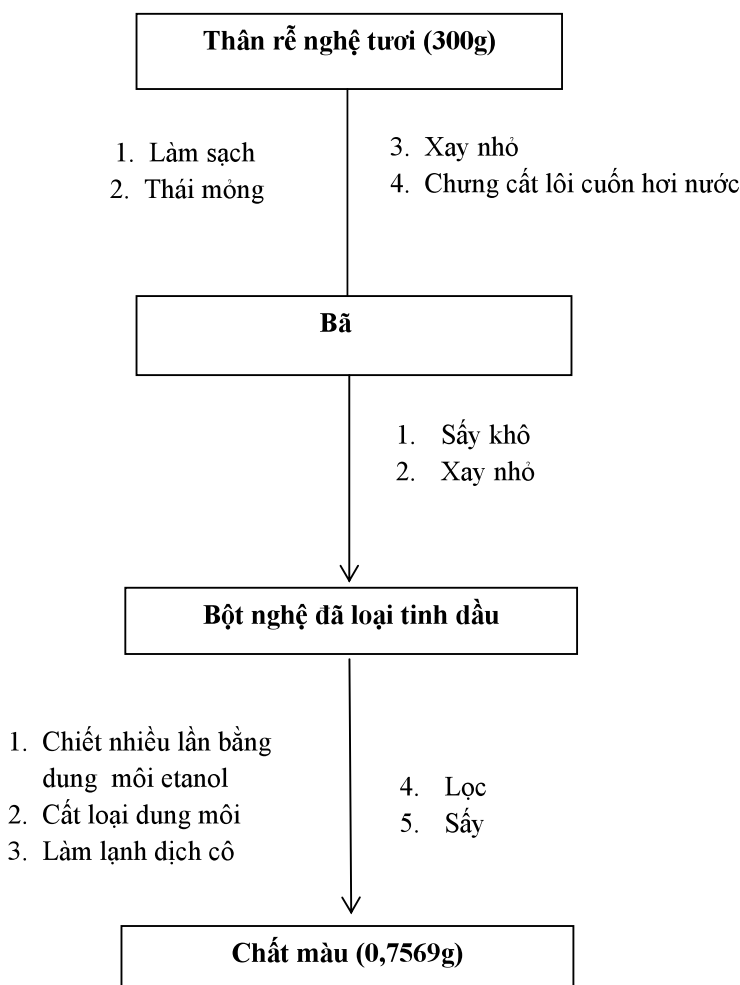
2. Thực nghiệm

2.1. Lấy mẫu, xử lý mẫu

Thân rễ nghệ vàng được lấy ở huyện Nhơn Phú, tỉnh Bình Định. Khi đó cây nghệ vàng được mười hai tháng tuổi. Thân rễ nghệ vàng sau khi loại bỏ phần rễ con, rửa bằng nước nhiều lần, làm sạch vỏ, đem xay nhỏ để làm nguyên liệu cho giai đoạn chiết tách tinh dầu.

2.2. Chiết tách chất màu

Trước khi chiết tách chất màu, tôi tiến hành chưng cất lôi cuốn hơi nước thân rễ nghệ vàng để loại tinh dầu. Bã thu được đem sấy khô ở nhiệt độ 60°C, sau đó xay nhỏ, thu được bột nghệ đã loại tinh dầu. Bột nghệ này được đem chiết nhiều lần với dung môi etanol. Sau đó cất loại dung môi, làm lạnh dịch cô, tách ra các tinh thể hình kim, lọc, sấy khô thu được chất màu.



Hình 1. Sơ đồ tách chất màu từ thân rễ nghệ vàng

2.3. Xác định thành phần hóa học của chất màu

Thành phần hóa học của chất màu tách từ thân rễ nghệ vàng được xác định bằng phương pháp phổ tử ngoại - khả kiến (UV-Vis) và sắc ký lỏng hiệu năng cao ghép khối phổ (HPLC-MS), nhờ thiết bị của Phòng Cấu trúc, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

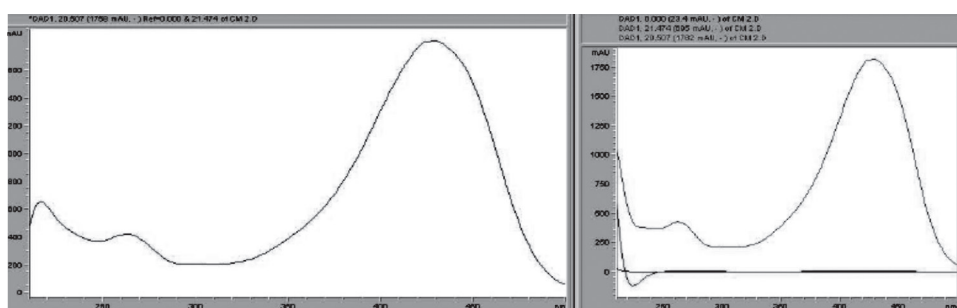
2.4. Thử hoạt tính của chất màu

Chất màu tách từ thân rễ nghệ vàng được đem thử hoạt tính gây độc dòng tế bào gây ung thư gan (Hep-G2) theo phương pháp Skehan, Likhiwitayawuid tại Phòng sinh học thực nghiệm, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

3. Kết quả nghiên cứu

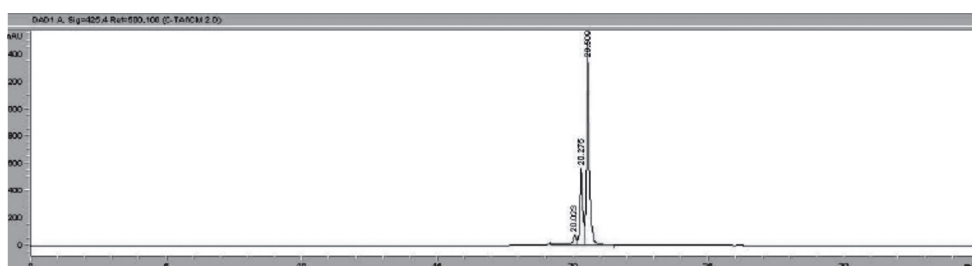
3.1. Thành phần chất màu tách từ thân rễ nghệ vàng

Chất màu tách từ thân rễ nghệ vàng có màu vàng, ánh tím, tinh thể hình kim, tan trong một số dung môi hữu cơ như clorofom, axeton, etanol,... Hàm lượng chất màu trong thân rễ nghệ vàng 12 tháng tuổi ở Nhom Phú, Bình Định là 0,25% tính theo nghệ tươi.



Hình 1. Phổ UV-Vis của curcumin chuẩn và phổ UV-Vis của chất màu tách từ thân rễ nghệ vàng

Từ hình 1 cho thấy phổ UV-Vis của chất màu tách từ thân rễ nghệ vàng và phổ UV-Vis chuẩn của curcumin đều có λ_{\max} tại 425nm. Giá trị λ_{\max} của chất màu nhận được giống như kết quả nghiên cứu theo tài liệu [4].

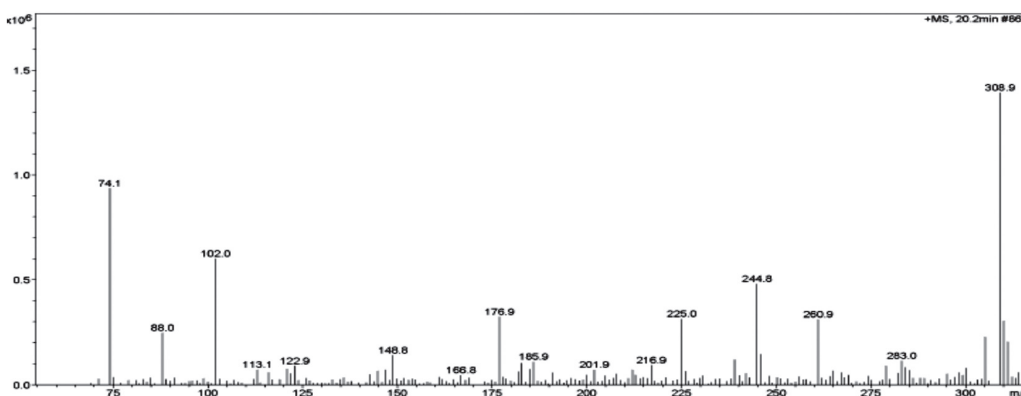


Hình 2. Phổ HPLC của chất màu tách từ thân rễ nghệ vàng

Bảng 1. Kết quả đo phổ HPLC của chất màu tách từ thân rễ nghệ vàng

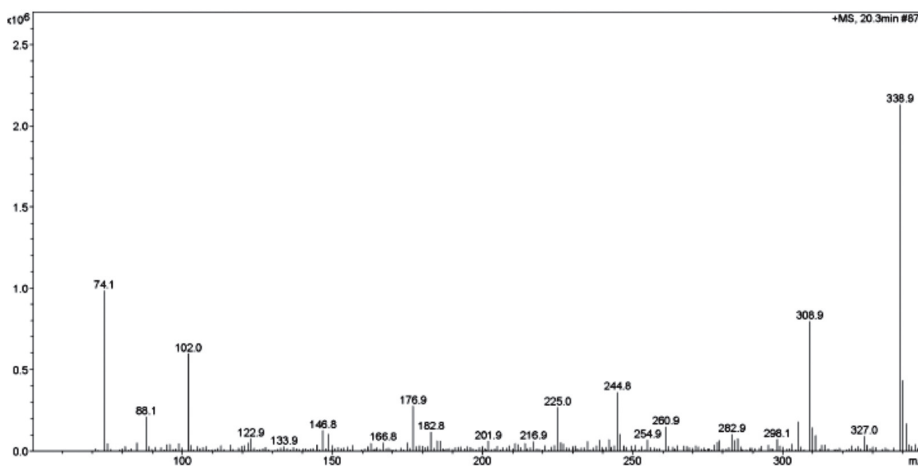
STT	Thời gian lưu (phút)	Hàm lượng (%)
1	20,023	6,27
2	20,275	24,60
3	20,509	69,13

Qua phân tích phổ HPLC cho thấy chất màu tách từ thân rễ nghệ vàng là một hỗn hợp gồm ba chất, trong đó chất ứng với thời gian lưu 20,023 phút chiếm hàm lượng là 6,27%, chất ứng với thời gian lưu 20,275 phút chiếm hàm lượng là 24,60% và chất ứng với thời gian lưu 20,509 phút chiếm hàm lượng là 69,13%.



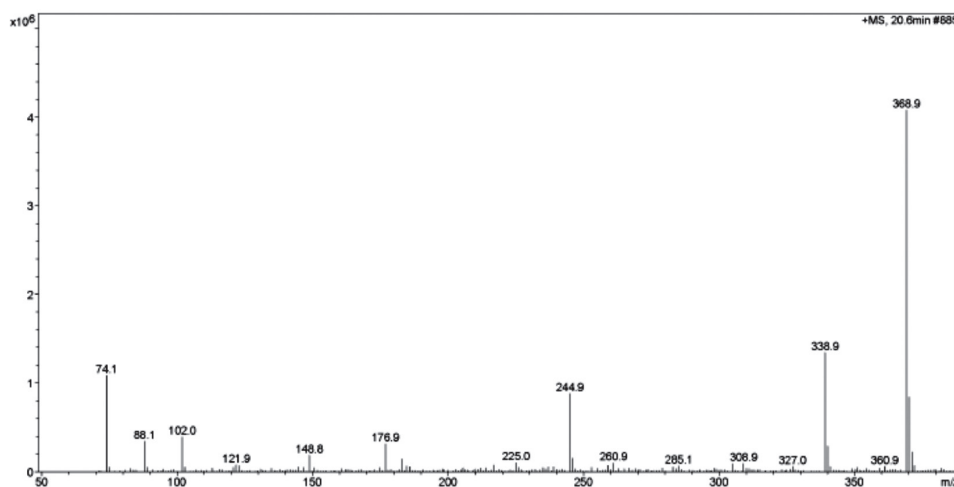
Hình 3. Phổ MS của chất ứng với thời gian lưu 20,023 phút

Trên hình 3 có pic m/z $[M+H]^+ = 308,9$ với cường độ lớn, cho thấy chất ứng với thời gian lưu 20,023 phút có giá trị phân tử khối là 308 phù hợp với công thức $C_{19}H_{16}O_4$.



Hình 4. Phổ MS của chất ứng với thời gian lưu 20,275 phút

Trên hình 4 có pic m/z $[M+H]^+ = 338,9$ với cường độ lớn, cho thấy chất ứng với thời gian lưu 20,275 phút có giá trị phân tử khối là 338 phù hợp với công thức $C_{20}H_{18}O_5$.

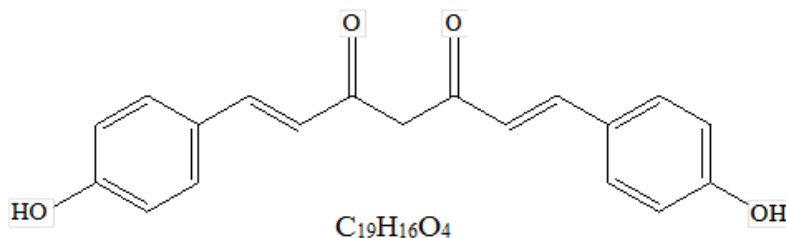


Hình 5. Phổ MS của chất ứng với thời gian lưu 20,509 phút

Trên hình 5 có pic m/z $[M+H]^+ = 368,9$ với cường độ lớn, cho thấy chất ứng với thời gian lưu 20,509 phút có giá trị phân tử khối là 368 phù hợp với công thức $C_{21}H_{20}O_6$.

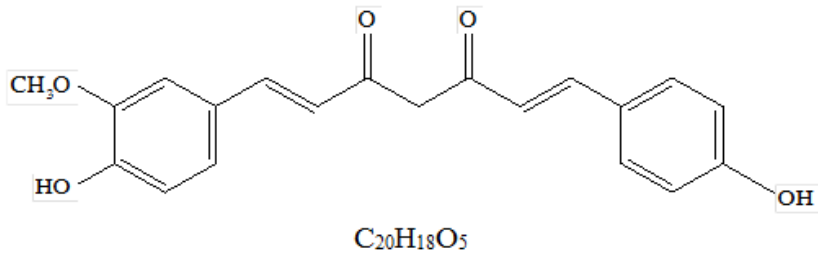
Mặt khác, so sánh phổ MS của các chất ứng với thời gian lưu 20,023 phút, 20,275 phút và 20,509 phút với phổ MS trong tài liệu [4-6] cho thấy có các pic thành phần m/z tương ứng với phổ MS của bisdemethoxycurcumin ($C_{19}H_{16}O_4$), demethoxycurcumin ($C_{20}H_{18}O_5$) và curcumin ($C_{21}H_{20}O_6$).

Từ các kết quả nghiên cứu trên cho phép kết luận chất màu tách từ thân rễ nghệ vàng là hỗn hợp của bisdemethoxycurcumin (6,27%), demethoxycurcumin (24,60%) và curcumin (69,13%), trong đó curcumin là chất chiếm hàm lượng cao nhất trong chất màu. Kết quả nghiên cứu này là phù hợp với các công trình đã công bố [7-9].

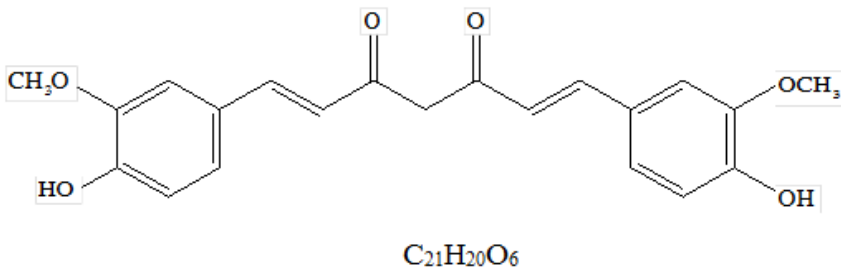


1,7-bis(4-hydroxyphenyl)hepta-1,6-dien-3,5-dion

hay bisdemethoxycurcumin



1-(4-hydroxyphenyl)-7-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)hepta-1,6-dien-3,5-dion
hay demethoxycurcumin



1,7-bis(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)hepta-1,6-dien-3,5-dion hay curcumin

3.2. Hoạt tính của chất màu tách từ thân rễ nghệ vàng

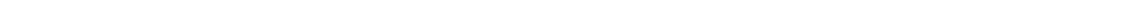
Kết quả thử hoạt tính gây độc dòng tế bào ung thư gan (Hep-G2) cho thấy ứng với giá trị $IC_{50} = 8,103 \mu\text{g/ml}$ của chất màu tách từ thân rễ nghệ vàng thì có $(8,669 \pm 0,290)\%$ tế bào ung thư gan còn sống sót.

4. Kết luận

- Đã tách được chất màu từ thân rễ nghệ vàng giai đoạn 12 tháng tuổi ở Nhơn Phú, Bình Định với hàm lượng 0,25% theo khối lượng nghệ tươi.
- Chất màu tách được từ thân rễ nghệ vàng là hỗn hợp của bisdemethoxycurcumin (6,27%), demethoxycurcumin (24,60%) và curcumin (69,13%).
- Chất màu tách từ thân rễ nghệ vàng có khả năng gây độc dòng tế bào ung thư gan ứng với giá trị $IC_{50} = 8,103 \mu\text{g/ml}$.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Xing Chen, Li-Qiang Zou, Jing Niu, Wei Liu, Sheng-Feng Peng and cheng-Mei Liu, *The stability, sustained release and cellular antioxidant activity of curcumin nanoliposomes*, Molecular 20, 14293 - 14311 (2015).
2. <https://www.selfhacked.com/blog/curcumin-cures-top-15-scientifically-proven-health-benefits-with-references/>
3. <https://www.healthline.com/nutrition/top-10-evidence-based-health-benefits-of-turmeric>
4. B. Avula, Yan-Hong Wang, I.A. Khan, Avula et al., *Quantitative determination of curcuminoids from the roots of curcuma longa, curcuma species and dietary supplements using an UPLC-UV-MS method*, J. Chromatograph Separat Technique 2012, 3(1), 1 - 6 (2012).
5. A. Liu, H. Loua, L. Zhaob, P. Fan, *Validated LC/MS/MS assay for curcumin and tetrahydrocurcumin in rat plasma and application to pharmacokinetic study of phospholipid complex of curcumin*, Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis 40, 720 - 727 (2006).
6. J. Wanga, Q. Guoa, P. Tua, W. Ma, *Simultaneous determination of doxorubicin and curcumin in rat plasma by LC-MS/MS and its application to pharmacokinetic study*, Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis 111, 215 - 221 (2015).
7. L.P.Allmeida, A.P.F. Cherubino, R.J.Alves, L.Dufosse, M.B.A.Gloria. *Separation and determination of the physico-chemical characteristics of curcumin, demethoxycurcumin and bisdemethoxycurcumin*, Food Research International 38, 1039 - 1044 (2005).
8. Clair Heffeman, Marko Ukrainczyk, Rama Krishna Gamidi, B. Kieran hodnett, and Ake C.Ramuson. *Extraction and purification of curcuminoid from crude curcumin by a combination of crystallization and chromatography*, Organic Process Research & Development 21(6), 821 - 826 (2017).
9. K.J.Lee, Y.S. Kim and J.Y.Ma, *Seperation and identification of curcuminoids from Asian Turmeric (Curcuma longa L.) using RP-HPLC and LC-MS*, Asian Journal of Chemistry, 25(2), 909 - 912 (2013).



NGHIÊN CỨU CÁC ĐIỀU KIỆN CHO QUÁ TRÌNH NHIỆT PHÂN SINH KHỐI THEO HƯỚNG THU SẢN PHẨM LỎNG

PHAN THỊ THÙY DUNG¹, NGUYỄN CÔNG HOANG², PHẠM THỊ LOAN²,
HUỠNH VĂN NAM^{2*}, TRƯƠNG THANH TÂM²

¹Viện Sốt rét - Ký sinh trùng - Côn trùng Quy Nhơn

²Khoa Hóa, Trường Đại học Quy Nhơn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu quá trình nhiệt phân sinh khối theo hướng thu sản phẩm lỏng. Nguyên liệu được sử dụng của quá trình nhiệt phân là bã mía - nguồn sinh khối rẻ tiền và có sẵn ở địa phương. Ảnh hưởng của nhiệt độ đã được khảo sát để tìm nhiệt độ tối ưu thu được hiệu suất sản phẩm lỏng cao nhất; Các nghiên cứu so sánh hiệu suất, thành phần hóa học và một số tính chất cơ bản của sản phẩm lỏng trong quá trình nhiệt phân không xúc tác và có mặt của xúc tác FCC tái sinh cũng đã được thực hiện.

Từ khóa: Bã mía, dầu nhiệt phân, nhiệt phân sinh khối, xúc tác FCC.

ABSTRACT

Study on the Conditions of Biomass Pyrolysis Process to Receive Liquid Products

The article presents the results of research in the biomass pyrolysis process towards collecting liquid products. The used feed is bagasse, which is available and cheap in the locality. The effects of temperature were investigated to find out the optimum temperature performance for the earning of highest liquid products. The study compares the performance, chemical composition and some basic properties of the liquid products of pyrolysis without catalyst, and the presence of FCC catalyst regeneration was also implemented.

Key words: Bagasse, biomass pyrolysis, catalytic FCC, pyrolysis oil.

1. Mở đầu

Trong những năm gần đây sự quan tâm phát triển năng lượng sinh học từ sinh khối đang là giải pháp xanh mà con người hướng đến. Năng lượng sinh học cũng đang có những bước phát triển vượt bậc góp phần đa dạng hóa các nguồn năng lượng, thúc đẩy kinh tế, giảm thiểu ô nhiễm môi trường.

Các nước đi đầu như Mỹ, Brazil, EU, Canada đã có những bước tiến trong việc sử dụng nhiên liệu sinh học, nhiên liệu tái tạo phục vụ đời sống và phát triển kinh tế. Cụ thể, Mỹ dự kiến đến năm 2022, nhiên liệu tái tạo phục vụ giao thông ở Mỹ mỗi năm phải đạt tới 36 tỷ gallon (1gallon = 3,785 lít); Liên minh Châu Âu (EU) thực hiện mục tiêu thay thế 10% nhiên liệu dùng trong vận tải bằng các nhiên liệu tái tạo; Tại Brazil có tới 90% các ô tô mới đã được lắp thiết bị sử dụng xăng ethanol và hướng tới cung cấp 64 tỷ lít nhiên liệu xanh vào năm 2019. Theo sau các

*Email: huynhvannam@qnu.edu.vn

Ngày nhận bài: 13/6/2017; Ngày nhận đăng: 19/8/2017

cường quốc nhiên liệu sinh học trên thế giới, thị trường nhiên liệu sinh học ở khu vực Đông Nam Á đang trên đà phát triển mạnh. Hiện nay, Thái Lan đang là thị trường nhiên liệu sinh học phát triển nhất tại Đông Nam Á với nguồn nhiên liệu sinh học dồi dào từ cây sắn. Nhà máy ethanol TPK lớn nhất nước đặt tại Nakhon Ratchasima có công suất lên tới 500.000 lít [1, 2].

Chính phủ các nước ở khu vực đã ban hành nhiều quy định yêu cầu pha trộn nhiên liệu sinh học theo những tỷ lệ khác nhau để thúc đẩy việc sử dụng nhiên liệu sinh học tại quốc gia của họ. Tuy nhiên, việc sản xuất ethanol sinh học chủ yếu từ nguồn tinh bột sắn, gây ảnh hưởng đến an ninh lương thực quốc gia cũng như vấn đề gây ô nhiễm môi trường (đất bạc màu, xử lý chất thải rắn, lỏng từ nhà máy sản xuất ethanol,...). Một trong những quá trình sản xuất nhiên liệu sinh học khả thi là quá trình nhiệt phân sinh khối đi từ phụ phẩm hoặc phế thải trong sản xuất, sinh hoạt có nguồn gốc hữu cơ, phế thải nông lâm nghiệp (rơm rạ, trấu, bã mía, thân ngô, mùn cưa, gỗ vụn,...) do nguồn nguyên liệu này phong phú và không ảnh hưởng tới vấn đề an ninh lương thực [3].

Nhiệt phân sinh khối là quá trình cracking hợp chất lignoxenlulozơ nhằm tạo ra dầu thô sinh học (bio-oil), khí và than. Hiện nay, bio-oil được xem như là một trong những nguồn nhiên liệu tiềm năng thay thế dần cho nguồn nhiên liệu hóa thạch. Tuy vậy quá trình sản xuất và sử dụng bio-oil còn nhiều hạn chế vì hiệu suất thu hồi bio-oil thấp và các tính chất của bio-oil như nhiệt trị thấp, khả năng oxy hóa cao, tính axit ăn mòn kim loại, khả năng bay hơi không hoàn toàn, không thể pha trộn với các nhiên liệu dầu mỏ, tính không bền nhiệt và bền hóa so với dầu khoáng là những hạn chế đáng kể trong việc sử dụng chúng [4]. Để có thể sử dụng được bio-oil vào trong công nghiệp và đời sống thì vấn đề cấp thiết cần phải giải quyết đó là: nâng cao hiệu suất thu hồi sản phẩm lỏng (bio-oil) và nâng cấp chất lượng bio-oil tạo ra nhiên liệu sinh học (bio-fuels) đạt tính chất tương đương với nhiên liệu hóa thạch bằng các quá trình chế biến sâu hơn [5].

Hướng đi có tính khả thi nhất hiện nay nhằm nâng cao hiệu suất và chất lượng của sản phẩm lỏng (bio-oil) là nghiên cứu và sử dụng xúc tác phù hợp có thể điều khiển được quá trình chuyển hóa sinh khối tạo ra sản phẩm có giá trị như mong muốn. Xúc tác sử dụng cho quá trình nhiệt phân sinh khối thực chất là xúc tác cracking [6]. Trong công nghệ lọc dầu, xúc tác cracking đã được thương mại hóa là xúc tác FCC. Lượng xúc tác này thải ra từ các nhà máy lọc hóa dầu ở Việt Nam là rất lớn (15 - 20 tấn/ngày).

Trong nội dung bài báo này, nhóm nghiên cứu tiến hành khảo sát nhiệt độ tối ưu của quá trình nhiệt phân bã mía trong 2 trường hợp không có xúc tác và có xúc tác nhằm thu sản phẩm lỏng đạt hiệu suất cao nhất. Đồng thời thực hiện các thí nghiệm đánh giá chất lượng của sản phẩm lỏng thu được sau nhiệt phân như: tính axit, hàm lượng pha hữu cơ, thành phần hóa học. Từ đó làm cơ sở cho những định hướng tiếp theo nhằm nâng cao hiệu suất thu hồi và nâng cấp chất lượng sản phẩm lỏng bằng cách nghiên cứu sử dụng xúc tác phù hợp.

2. Nội dung

2.1. Thực nghiệm

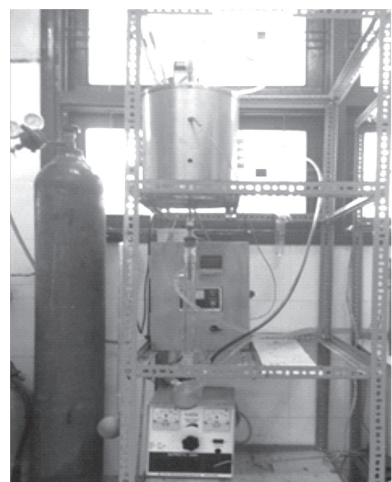
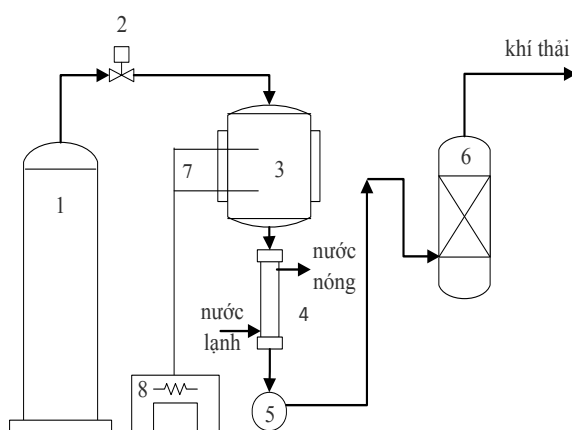
2.1.1. Xử lý nguyên liệu

Nguồn nguyên liệu sinh khối là bã mía được lấy từ nhà máy đường KCP Sơn Hòa, Phú Yên.

Bã mía sau khi rửa sạch để loại bỏ các tạp chất cơ học được phơi khô (dưới ánh nắng mặt trời), sau đó sấy ở nhiệt độ 120°C trong 36 giờ và xay thành bột với kích thước khoảng 0,01 đến 1 mm.

2.1.2. Quy trình nhiệt phân bã mía

Hệ thống thiết bị phản ứng nhiệt phân được trình bày ở hình 1. Cho 20,0 gam bã mía vào giữa ống phản ứng, hai đầu được cố định bằng bông thủy tinh. Tốc độ thổi khí N_2 vào ống phản ứng là 120 mL/ phút, tốc độ gia nhiệt khoảng 50°C/ phút, thời gian tiến hành phản ứng nhiệt phân khoảng 2 giờ [5].



Hình 1. Hệ thống thiết bị phản ứng nhiệt phân

1: Bình chứa khí N_2 , 2: Van điều chỉnh lưu lượng khí N_2 , 3: Thiết bị phản ứng dạng lò ống, 4: Ống sinh hàn, 5: Thiết bị thu hồi sản phẩm lỏng, 6: Bộ phận hấp thụ khí, 7: Cặp nhiệt điện, 8: Bộ phận gia nhiệt.

2.1.3. Tái sinh FCC thải

Xúc tác FCC thải được lấy từ Nhà máy lọc dầu Dung Quất, sau khi sấy khô ở 100°C trong 2 giờ được tái sinh bằng phương pháp đốt loại bỏ cốc trong lò phản ứng. Thời gian đốt cốc 3 giờ ở 650°C, lưu lượng khí oxy 120 ml/ phút, tốc độ cấp nhiệt 10°C/ phút. FCC thải sau khi loại bỏ cốc được gọi là FCC tái sinh (FCC-TS) [7].

2.1.4. Phân tích nguyên liệu và sản phẩm

2.1.4.1. Phân tích thành phần nguyên liệu

Thành phần hóa học của bã mía được phân tích theo phương pháp chuẩn TAPPI (Hiệp hội công nghiệp giấy và bột giấy toàn cầu) [8], các phép cân có độ chính xác 0,0001 g. Phương pháp này cho phép xác định chính xác hàm lượng xenlulozo, lignin, hemixenlulozo, lượng ẩm và các hợp chất khác trong nguyên liệu sinh khối.

Thực nghiệm: Kết quả phân tích phổ thành phần hóa học của bã mía được thực hiện tại phòng thí nghiệm Công nghệ và vật liệu xúc tác hóa dầu, Trường Đại học Quy Nhơn.

2.1.4.2. Phương pháp phân tích phổ IR (Phổ hồng ngoại) [9, 10]

Phổ IR là một trong các đặc tính quan trọng của một hợp chất hóa học, nó cho biết đặc trưng các liên kết và nhóm chức trong cấu tạo của hợp chất hóa học thông qua độ hấp thụ ánh sáng tại các bước sóng khác nhau của các liên kết hóa học.

Thực nghiệm: Kết quả phân tích phổ IR của mẫu sản phẩm lỏng và rắn được thực hiện tại phòng máy quang phổ, Trường Đại học Quy Nhơn.

2.1.4.3. Phương pháp phân tích sắc ký khí ghép khối phổ GC/MS [2, 4]

Sắc ký khí ghép khối phổ (GC/MS_Gas Chromatography Mass Spectrometry) là một trong những phương pháp sắc ký hiện đại nhất hiện nay với độ nhạy và độ đặc hiệu cao. Thiết bị GC/MS được cấu tạo thành 2 phần: phần sắc ký khí (GC) dùng để phân tích hỗn hợp các chất và tìm ra chất cần phân tích, phần khối phổ (MS) mô tả các hợp phần riêng lẻ bằng cách mô tả số khối. Bằng sự kết hợp 2 kỹ thuật này có thể đánh giá, phân tích định tính và định lượng với chất phân tích.

Thực nghiệm: Kết quả phân tích GC/MS của mẫu dầu nhiệt phân được đo tại phòng thí nghiệm Trường Đại học Quốc gia Hà Nội.

2.2. Kết quả và thảo luận

2.2.1. Thành phần nguyên liệu bã mía

Thực hiện quy trình theo phương pháp chuẩn TAPPI (Hiệp hội công nghiệp giấy và bột giấy toàn cầu) [8], kết quả phân tích các thành phần cơ bản trong bã mía được thể hiện trên bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học của bã mía

Hàm lượng	Phần trăm (%)
Hơi ẩm	8,06
Xenlulozo	40,63
Lignin	16,35
Hemixenlulozo	13,47
Các hợp chất trích ly	11,56
Tro	9,93
Tổng	100

Hàm lượng xenlulozo, hemixenlulozo và lignin chiếm chủ yếu hơn 70%, hơi ẩm chiếm khoảng 8%, còn lại là các hợp chất trích ly, tro và các hợp chất khác. Do đó, xenlulozo, hemixenlulozo và lignin ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng sản phẩm của quá trình nhiệt phân bã mía, đặc biệt là xenlulozo.

Tiến hành phân tích thành phần nguyên tố của bã mía, kết quả thu được trong bảng 2.

Bảng 2. Thành phần nguyên tố của bã mía

Nguyên tố	C	H	O	Chất khác
Thành phần (% khối lượng)	47,06	6,53	44,02	2,39

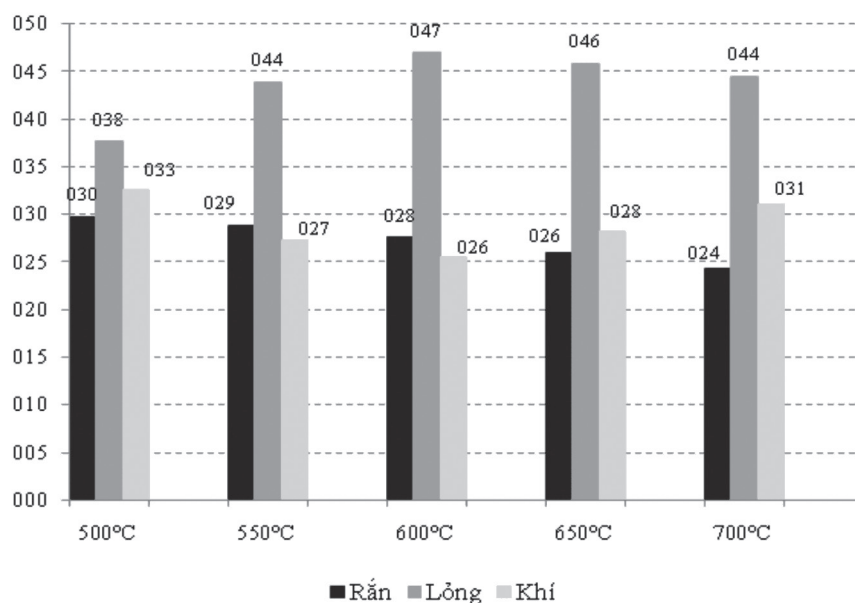
Kết quả cho thấy thành phần chủ yếu của bã mía là C, H và O chứng tỏ bã mía được hình thành chủ yếu từ các chất hữu cơ. Hàm lượng O trong bã mía cao gần bằng hàm lượng C nên điều này có thể dự đoán trong sản phẩm bio-oil thu được sau quá trình nhiệt phân sẽ chứa nhiều hợp chất chứa oxy. Đây là một trong những nhược điểm chung của bio-oil sinh ra từ quá trình nhiệt phân biomass cần nghiên cứu khắc phục và nâng cấp.

2.2.2. Quá trình nhiệt phân bã mía thành nhiên liệu lỏng

2.2.2.1. Khảo sát nhiệt độ tối ưu thu sản phẩm lỏng

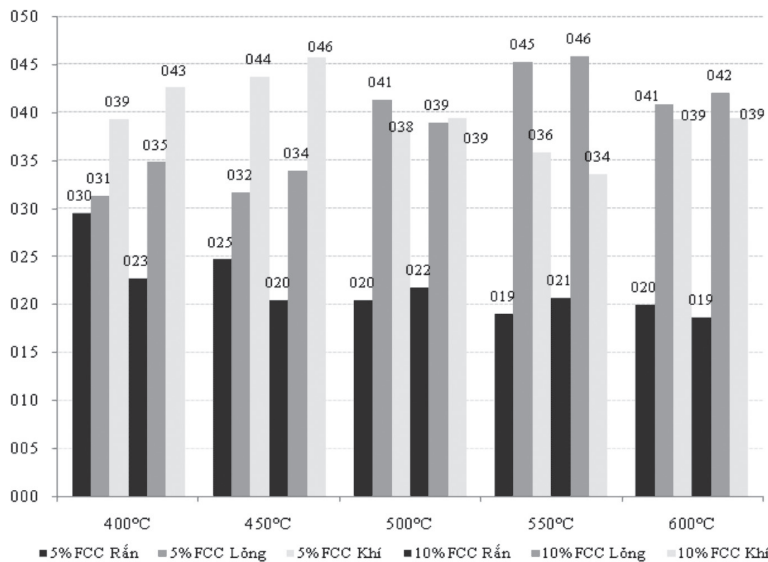
Tiến hành quá trình nhiệt phân không xúc tác với 20,0g bã mía, lưu lượng khí N_2 120 ml/phút, tốc độ gia nhiệt $50^\circ C/\text{phút}$ và giữ ở các nhiệt độ khác nhau trong 2 giờ. Kết quả hiệu suất các sản phẩm rắn, lỏng, khí thu được thể hiện trên đồ thị hình 2.

Như vậy, hiệu suất sản phẩm lỏng đạt giá trị cao nhất ở nhiệt độ $600^\circ C$ với 46,93%, đồng thời lượng chất rắn thu được (than) sau quá trình nhiệt phân giảm khi nhiệt độ tăng, còn hiệu suất khí thay đổi ngược lại so với hiệu suất lỏng, khi tăng nhiệt độ từ $500^\circ C$ đến $600^\circ C$ thì hiệu suất khí giảm, từ $600^\circ C$ đến $700^\circ C$ thì hiệu suất khí tăng lên. Điều này chứng tỏ khi nhiệt độ càng tăng cao, quá trình nhiệt phân xảy ra sâu hơn, triệt để hơn nên hàm lượng sản phẩm rắn giảm, các phân tử sản phẩm bị bẻ gãy tạo ra nhiều khí nhẹ nên hàm lượng khí tăng lên và hàm lượng lỏng giảm đi.



Hình 2. Đồ thị biểu diễn sự thay đổi thành phần sản phẩm theo nhiệt độ nhiệt phân

Thực hiện quá trình nhiệt phân trong các điều kiện tương tự như trên nhưng có mặt của xúc tác FCC tái sinh (FCC-TS). Hiệu suất các sản phẩm rắn, lỏng, khí thu được trên đồ thị hình 3.



Hình 3. Đồ thị biểu diễn sự thay đổi thành phần sản phẩm theo nhiệt độ và hàm lượng xúc tác nhiệt phân

Từ đồ thị hình 3 cho thấy, khi nhiệt độ phản ứng tăng từ 400°C đến 550°C thì hiệu suất sản phẩm lỏng tăng và đạt giá trị cực đại tại 550°C với hiệu suất sản phẩm lỏng là 45,80%. Nếu tiếp tục tăng nhiệt độ đến 600°C thì hiệu suất lỏng giảm xuống còn 42,00%. Khi nhiệt độ tăng 400°C đến 600°C thì hiệu suất sản phẩm rắn giảm từ 22,65% đến 18,60%. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến sự phân bố sản phẩm được giải thích tương tự như nhiệt phân không xúc tác. Nhưng sự khác biệt là ở chỗ, nếu so sánh hiệu suất sản phẩm khí nhiệt phân ở cùng 550°C thì khi không có xúc tác hiệu suất sản phẩm rắn cao hơn, điều này có thể do lignin mới bị nhiệt phân một phần do đây là thành phần khó nhiệt phân nhất trong các hợp chất có trong bã mía. Vai trò của xúc tác FCC với các tâm axit làm cho quá trình nhiệt phân hiệu quả hơn, đặc biệt là với lignin dẫn đến hiệu suất sản phẩm rắn giảm, sản phẩm lỏng tăng. Từ các phân tích trên cho thấy nhiệt độ tối ưu để thực hiện phản ứng nhiệt phân bã mía trong điều kiện sử dụng 10% xúc tác FCC-TS so với nguyên liệu là 550°C. Điều đặc biệt đáng quan tâm khi sử dụng xúc tác hiệu suất sản phẩm lỏng ở 550°C đạt được tương đương với nhiệt phân không xúc tác ở 600°C. Như vậy nhiệt độ nhiệt phân giảm được 50°C, điều này rất có ý nghĩa thực tiễn và kinh tế khi triển khai trong thực tế.

2.2.3. Phân tích sản phẩm lỏng

Chọn mẫu sản phẩm lỏng đạt hiệu suất thu hồi cao nhất của quá trình nhiệt phân không xúc tác ở 600°C (M2-600) và nhiệt phân có 10% xúc tác FCC-TS ở 550°C (M3-550) để tiến hành phân tích.

2.2.3.1. Xác định tính axit

Kết quả đo pH và xác định trị số axit cho thấy các mẫu lỏng tạo thành có tính axit và giá

trị chênh lệch nhau không nhiều (bảng 3). Nguyên nhân tính axit cao là do trong nguyên liệu có hợp chất chứa oxy khi cracking bị oxy hóa tạo axit. Do đó, vấn đề tiếp theo đặt ra cho quá trình nghiên cứu là cải thiện tính axit của sản phẩm lỏng bằng cách phát triển hệ xúc tác cracking mới hoặc nâng cấp sản phẩm lỏng bằng quá trình oxy dehydro hóa (HDO).

Bảng 3. Kết quả hàm lượng axit của sản phẩm lỏng

Mẫu sản phẩm lỏng	Độ pH	Trị số axit TAN (mgKOH/g mẫu)
M2-600	2,39	121,71
M3-550	2,25	115,38

2.2.3.2. Phân tích hàm lượng hữu cơ trong sản phẩm lỏng

Dùng dung môi diclometan để tách chiết phần hữu cơ không phân cực hoặc phân cực yếu tan trong dung môi ra khỏi phần các hợp chất vô cơ và hợp chất phân cực mạnh. Kết quả thu được sau khi cho bay hơi dung môi trong pha hữu cơ thể hiện ở bảng 4.

Bảng 4. Kết quả hàm lượng hữu cơ trong sản phẩm

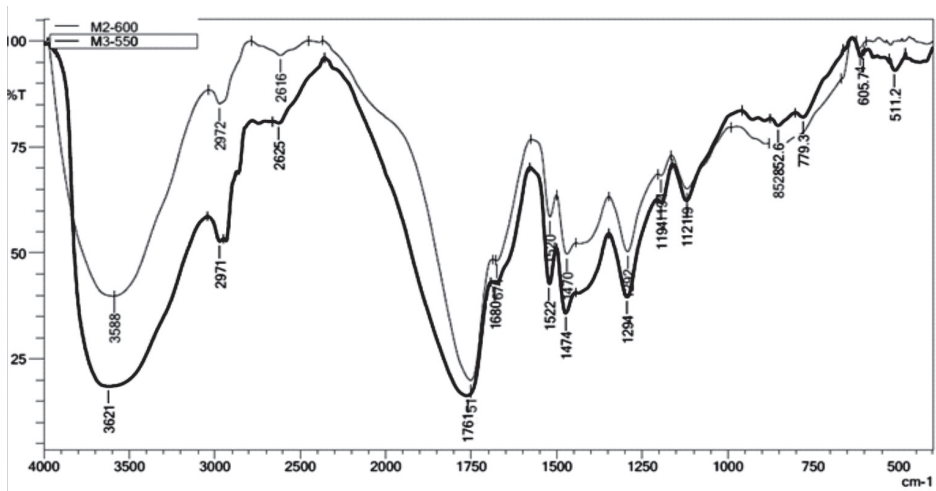
Mẫu	Phần trăm pha hữu cơ
M2-600	23,7%
M3-550	28,1%

Như vậy, hiệu suất sản phẩm hữu cơ trong trường hợp không xúc tác thấp hơn so với khi sử dụng xúc tác. Điều này có thể được giải thích là do cơ chế hoạt động của tâm hoạt tính xúc tác tạo điều kiện nhiệt phân xảy ra hoàn toàn hơn và hiệu quả hơn, sản phẩm chứa nhiều hợp chất hydrocacbon hơn.

2.2.3.3. Phổ hồng ngoại (IR) của sản phẩm lỏng

Phân tích phổ IR của mẫu trên xúc tác và không xúc tác để xác định thành phần các nhóm chức trong sản phẩm lỏng.

Trên cả hai phổ hồng ngoại của sản phẩm dầu nhiệt phân cho thấy sự có mặt của đám phổ ở vùng 3500 - 3600 cm^{-1} với cường độ mạnh thể hiện dao động hóa trị của nhóm O-H tự do không có liên kết hydro. Xuất hiện dao động hóa trị của nhóm $-\text{CH}_2$, $-\text{CH}_3$ (2972 cm^{-1}), dao động hóa trị của nhóm C=O trong andehit (1757 cm^{-1}), dao động biến dạng của các liên kết $-\text{CH}_2$, $-\text{CH}_3$ (1520 cm^{-1}), dao động hóa trị của nhóm C=C (1470 cm^{-1}). Đặc biệt, trong phổ IR của mẫu sản phẩm dầu nhiệt phân có mặt xúc tác FCC-TS xuất hiện rõ vùng phổ có bước sóng 700 - 900 cm^{-1} đặc trưng cho dao động biến dạng của nhóm C-H trong vòng thơm.



Hình 4. Phổ IR mẫu dầu nhiệt phân M2-600 và M3-550

Từ kết quả phân tích phổ nhận thấy trong mẫu dầu có thành phần hợp chất hữu cơ andehit, xeton, O-H không có liên kết hydro kết hợp với C-H trong vòng thơm có thể được dự đoán nhóm OH này gắn vào vòng thơm, chứng tỏ sự có mặt của các hợp chất của phenol. Đặc biệt xuất hiện rõ ràng hơn trong mẫu sản phẩm thu được từ quá trình nhiệt phân có mặt của xúc tác FCC-TS. Nghĩa là xúc tác FCC-TS đã có tác dụng trong việc thơm hóa sản phẩm trong quá trình nhiệt phân so với quá trình nhiệt phân không xúc tác.

2.2.3.4. Sắc ký khí ghép khối phổ (GS/MS) của sản phẩm lỏng

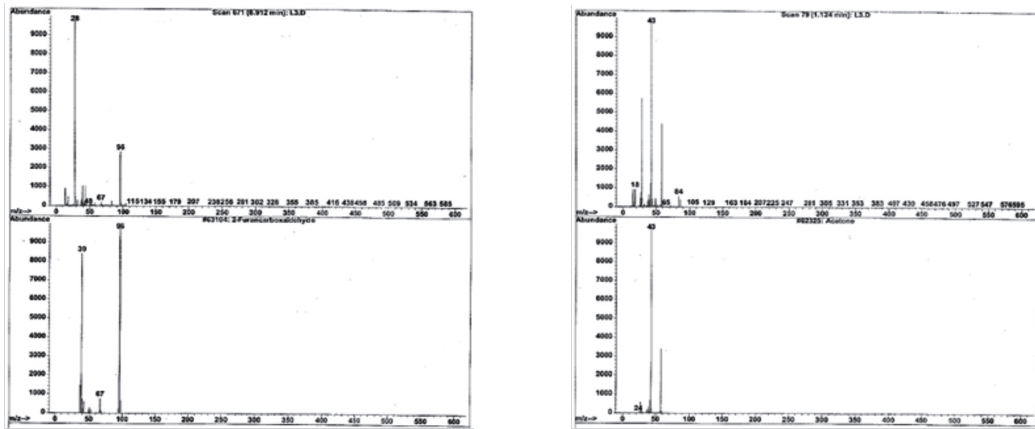
Để xác định chính xác thành phần và cấu tạo hóa học của các hợp chất hữu cơ trong sản phẩm lỏng, chúng tôi đã tiến hành đo phổ GS/MS trên hai mẫu sản phẩm lỏng M2-600 và M3-550. Kết quả được trình bày ở hình 5 và hình 6.

Bảng 5. Tổng hợp kết quả các hợp chất chính trong sản phẩm lỏng

Nhiệt phân không xúc tác	Nhiệt phân có xúc tác FCC-TS
2- furancarboxaldehyt	1,4-dimethoxy benzen
Axeton	1-(2,5-dihydroxyphenyl) ethanone
3- furandehyt	3-ethyl phenol
	Phenol
	2,4-dimethyl phenol
	2,6-dimethoxy phenol
	3,4-dimethoxy phenol

Như vậy, đúng như dự đoán trên cơ sở phổ IR, qua phân tích phổ GS/MS cho thấy quá trình nhiệt phân không xúc tác chỉ thu được các hợp chất andehyt, xeton và hợp chất vòng 5 cạnh furan. Quá trình nhiệt phân có mặt của xúc tác FCC-TS thu được nhiều hợp chất chứa vòng thơm

benzen, phenol và các đồng đẳng của phenol. Điều đó chứng tỏ sự có mặt của xúc tác đã làm thay đổi rất lớn cơ chế của phản ứng nhiệt phân xenlulozo và các hợp chất có trong bã mía.

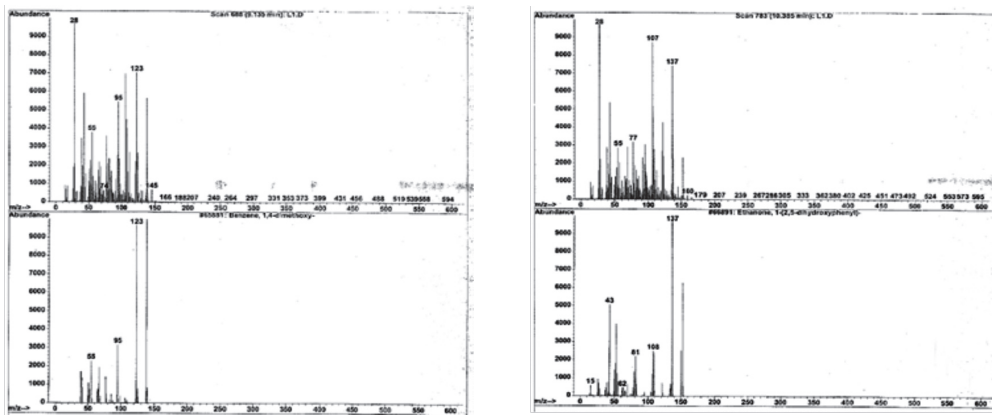


a)

b)

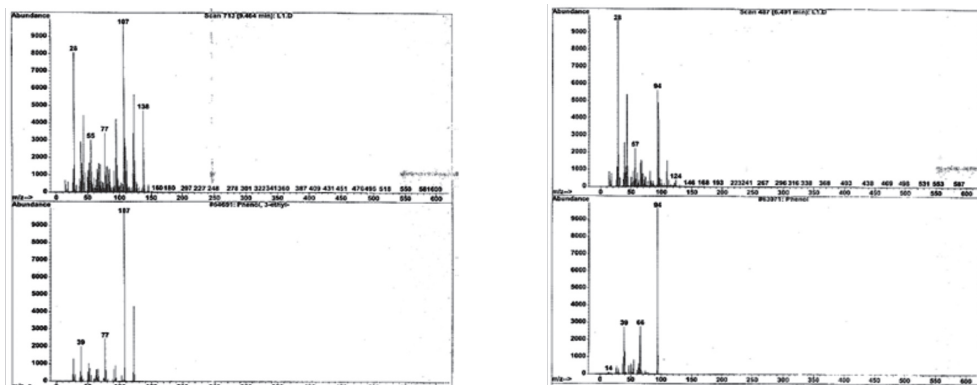
Hình 5. Phổ GC/MS của mẫu dầu nhiệt phân không xúc tác ở 600°C (phổ bên trên)

a) Ghép khối phổ của 2-furancarboxaldehyt; b) Ghép khối phổ của axeton



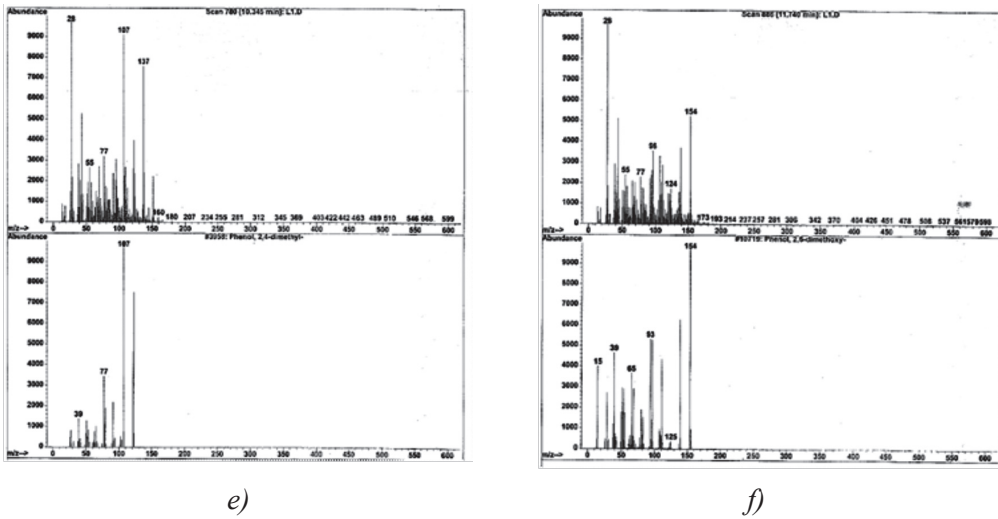
a)

b)



c)

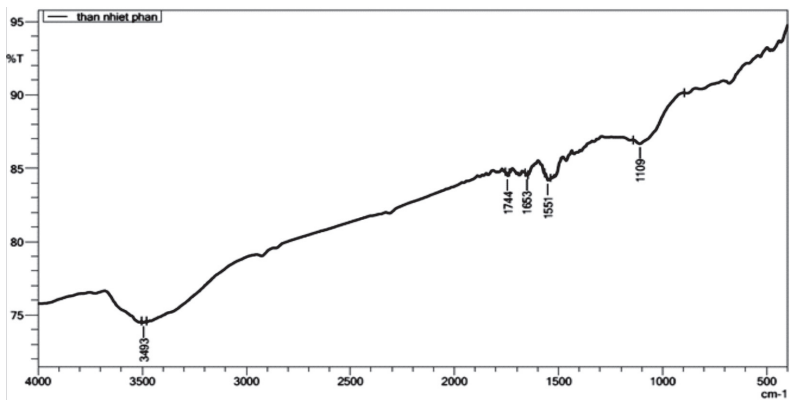
d)



Hình 6. Phổ GC/MS của mẫu dầu nhiệt phân có xúc tác FCC-TS ở 550°C (phổ bên trên)
 a) Ghép khối phổ của 1,4-dimethoxy benzen; b) Ghép khối phổ của 1-(2,5-dihydroxyphenyl) ethanone; c) Ghép khối phổ của 3-ethyl phenol; d) Ghép khối phổ của Phenol; e) Ghép khối phổ của 2,4-dimethyl phenol; f) Ghép khối phổ của 2,6-dimethoxy phenol

2.2.4. Phổ hồng ngoại (IR) của sản phẩm rắn sau nhiệt phân

Kết quả phổ hồng ngoại xuất hiện liên kết –OH tự do (3493 cm⁻¹), liên kết -C=O của andehit và axit cacboxylic (1600 – 1800 cm⁻¹), không xuất hiện các liên kết C-C. Điều này chứng tỏ quá trình nhiệt phân xảy ra hoàn toàn. Sự xuất hiện liên kết –OH tự do và liên kết -C=O có thể do than hấp phụ hơi ẩm trong không khí và được giả thiết là do trên bề mặt than có tồn tại nhóm chức –COOH của axit cacboxylic được tạo ra.



Hình 7. Phổ IR mẫu sản phẩm rắn sau nhiệt phân

3. Kết luận

Trên cơ sở thực nghiệm và kết quả thu được, chúng tôi rút ra một số kết luận sau:

- Thành phần hóa học của bã mía là xenlulozo, hemixenlulozo và lignin chiếm chủ yếu trên 70%, thành phần nguyên tố chủ yếu là cacbon và oxy chiếm khoảng 91%.

- Đã xác định được nhiệt độ tối ưu thu được hiệu suất sản phẩm lỏng cao nhất với quá trình nhiệt phân không xúc tác là 600°C và nhiệt phân có mặt xúc tác FCC-TS là 550°C.

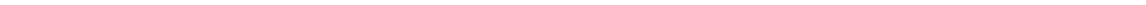
- Hàm lượng pha hữu cơ ở mẫu sản phẩm lỏng nhiệt phân có xúc tác FCC-TS cao hơn, điều này chứng tỏ quá trình nhiệt phân có xúc tác FCC-TS xảy ra hiệu quả hơn.

- Sản phẩm lỏng xuất hiện các hợp chất của phenol, furan, các thành phần hợp chất hữu cơ khác của andehit, xeton, axit,... Đặc biệt hàm lượng hợp chất chứa vòng thơm trong sản phẩm lỏng nhiệt phân xúc tác có hàm lượng lớn hơn so với nhiệt phân không xúc tác. Như vậy có thể khẳng định vai trò quan trọng của xúc tác FCC-TS trong quá trình nhiệt phân biomass.

Tuy nhiên, sản phẩm lỏng có tính axit cao, hàm lượng các hợp chất chứa oxy lớn, hàm lượng pha hữu cơ còn thấp. Do đó, hướng phát triển tiếp theo của nhóm nghiên cứu là biến tính và phát triển hệ xúc tác mới nhằm khắc phục những hạn chế nêu trên của sản phẩm lỏng, từng bước cải thiện các tính chất và thành phần hóa học của dầu nhiệt phân đảm bảo các tiêu chuẩn chất lượng dầu nhiên liệu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Charles A. Mullen, Akwasi A. Boateng, *Chemical composition of bio-oil produced by pyrolysis of two energy crop*, Energy & Fuels, 22, 2104 - 2109, (2008).
2. <http://disanxanh.cinet.vn/ArticleDetail.aspx?articleid=60774&sitepageid=28>.
3. George W. Huber, Sara Iborra and Avelino Corma, *Synthesis of Transportation Fuels from Biomass*, Chemistry, Catalysts and Engineering, Chem. Rev, 106, 4044 - 4098, (2006).
4. Naveenji Arun, Rajesh V. Sharma, Ajay K. Dalai, *Green diesel synthesis by hydrodeoxygenation of bio-based feedstocks: Strategies for catalyst design and development*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 48, 240 - 255, (2015).
5. Luo ZY, Wang SR, Liao YF, et al, *Research on biomass fastpyrolysis for liquid fuel*, Biomass Bioenergy, 26:455 - 62, (2004).
6. Đinh Thị Ngô, Nguyễn Khánh Diệu Hồng, *Nhiên liệu sạch và các quá trình xử lý trong hóa dầu*, Nxb Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, (2008).
7. Phạm Thị Thu Giang, Vũ Minh Tân, Đặng Tuyết Phương, Nguyễn Kế Quang, *Nghiên cứu quá trình tái sinh và biến tính xúc tác FCC thải của Nhà máy lọc dầu Dung Quất sử dụng để chuyển hóa rom ra thành dầu sinh học*, Tạp chí Khoa học - Công nghệ, số 15, tr. 31 - 34, (2013).
8. TCVN 7071:2002, *Bột giấy - xác định alpha-, beta- và gamma - xenlulozo*, Hà Nội, (2013).
9. Từ Văn Mặc, *Phân tích hóa lý: Phương pháp phổ nghiệm nghiên cứu cấu trúc phân tử*, Nxb Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, (2003).
10. Đào Đình Thức, *Một số phương pháp phổ ứng dụng trong hóa học*, Nxb Đại học Quốc gia Hà Nội, (2007).



ĐIỀU CHẾ XÚC TÁC QUANG HÓA ZnO-SiO₂ VÀ ỨNG DỤNG ĐỂ PHÂN HỦY PHẨM MÀU RHODAMINE B

LÊ THỊ THANH THÚY*, NGUYỄN XUÂN DŨNG

Khoa Hóa, Trường Đại học Quy Nhơn

TÓM TẮT

Xúc tác kẽm oxit gắn lên silic đioxit (ZnO-SiO₂) được tổng hợp thành công bằng phương pháp đồng kết tủa. Hợp chất này được đặc trưng bởi nhiễu xạ tia X (XRD), phổ UV-Vis, kính hiển vi điện tử quét (SEM), kính hiển vi điện tử truyền qua (TEM), phổ hồng ngoại (IR), phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX) và BET. Hoạt tính của vật liệu được khảo sát thông qua quá trình phân hủy phẩm màu rhodamine B (RhB) dưới ánh sáng khả kiến. Các kết quả chỉ ra rằng chất xúc tác ZnO-SiO₂ cho hiệu quả quang xúc tác cao nhất và có khả năng tái chế. Lượng xúc tác tối ưu là 2,5 g/L đối với sự phân hủy rhodamine B (20 mg/L).

Từ khóa: Xúc tác quang, Kẽm oxit, Silic đioxit, rhodamine B.

ABSTRACT

Preparation ZnO-SiO₂ Photocatalyst and Application in the Degradation of Rhodamine B

Zinc oxide catalyst coated on silicon dioxide (ZnO-SiO₂) was successful by co-precipitation method. The composite was characterized by X-ray diffraction (XRD), Uv-vis spectroscopy, scanning electron microscopy (SEM), transmission electron microscopy (TEM), infrared spectroscopy (IR), energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) and BET. The performances of the supported catalysts have been evaluated for the degradation of rhodamine B (RhB) solution under visible-light irradiation. The results indicated that ZnO-SiO₂ catalyst demonstrated the highest photocatalytic efficiency and a perspective recyclable potential. The optimum dose of the photocatalyst was 2,5 g/L for the degradation of rhodamine B (20 mg/L).

Key words: Photo-catalyst, Zinc oxide, Silicon dioxide, rhodamine B.

1. Giới thiệu

Ngày nay, xúc tác quang đã và đang trở thành một lĩnh vực quan trọng. Nó thu hút sự quan tâm nghiên cứu của các nhà khoa học trong việc giải quyết các vấn đề về môi trường. Trong các chất bán dẫn được nghiên cứu ứng dụng làm vật liệu xúc tác quang thì ZnO gần đây được lựa chọn nghiên cứu nhiều bởi ZnO có hoạt tính xúc tác quang cao, không độc hại, giá thành thấp và có thể tái sử dụng nhiều lần. Tuy nhiên ZnO chỉ hoạt động trong vùng sáng tử ngoại (năng lượng vùng cấm khoảng 3,37 eV ở nhiệt độ phòng). Nhiều nghiên cứu cho thấy, khi độ rộng vùng cấm của ZnO giảm xuống thì hoạt tính quang xúc tác của nó trong vùng khả kiến tăng đáng kể. Để làm giảm độ rộng vùng cấm của ZnO, người ta có thể làm giảm kích thước hạt, biến tính ZnO hoặc tạo composite ZnO với một số oxit khác. Ngoài ra ZnO có tính linh động của điện tử cao, sự ổn định

*Email: lethithanhthuy@qnu.edu.vn

Ngày nhận bài: 16/8/2017; Ngày nhận đăng: 26/10/2017

vật lý và hóa học, tỷ lệ diện tích bề mặt lớn và dễ dàng tổng hợp đã cho thấy nhiều tiềm năng ứng dụng của vật liệu này. Tổng hợp các vật liệu nano ZnO với hình thái và độ rộng vùng cấm có thể kiểm soát được hiện đang là chủ đề nghiên cứu trên toàn thế giới [1,2].

Việt Nam là một nước nông nghiệp với truyền thống trồng lúa đã gắn liền với đời sống của người dân nông thôn. Sau mỗi vụ thu hoạch, vỏ trấu từ quá trình xay xát lúa được người dân chôn lấp, đổ đồng thành phân bón hoặc tận dụng làm chất đốt, trộn với đất sét làm gạch,... Vỏ trấu sau khi cháy, các thành phần hữu cơ bị phân hủy và thu được tro trấu. Tro trấu là một trong những nguyên liệu giàu SiO₂ nhất, đạt khoảng 90 đến 98% về khối lượng nên nó là nguồn nguyên liệu lý tưởng để tổng hợp vật liệu SiO₂ [3].

Trong bài báo này, chất xúc tác ZnO được tổng hợp bằng phương pháp nhiệt phân kẽm oxalat trên chất mang SiO₂, đây là một phương pháp đơn giản, chi phí thấp cho hiệu suất cao. Cấu trúc của vật liệu được đặc trưng bằng XRD, IR, SEM, TEM, UV-Vis, BET,... Hoạt tính xúc tác quang của vật liệu được khảo sát thông qua quá trình phân hủy phẩm màu rhodamine B dưới ánh sáng khả kiến.

2. Thực nghiệm

2.1. Tổng hợp vật liệu

2.1.1. Hóa chất

Natri hiđroxit (NaOH 99%), axit clohidric (HCl 37%), axit oxalic (C₂H₂O₄·2H₂O 99,5%), kẽm nitrat (Zn(NO₃)₂·6H₂O 99%).

2.1.2. Tổng hợp mẫu SiO₂

Vỏ trấu được rửa sạch, sấy khô, đem nung ở nhiệt độ 600°C trong thời gian 4 giờ thu được tro trấu có màu trắng xám. Tro trấu để nguội đem nghiền mịn bằng cối thủy tinh. Lấy 10 gam tro trấu cho vào 100 ml dung dịch NaOH 6 M, khuấy trộn đều và gia nhiệt hỗn hợp phản ứng trong 4 giờ ở 100°C. Lọc lấy dung dịch và axit hóa bằng dung dịch HCl 4 M cho đến khi dung dịch có môi trường axit đạt giá trị pH ~ 3. Lọc, rửa kết tủa nhiều lần bằng nước cất và etanol, sau đó sấy khô ở 100°C trong 12 giờ. Cuối cùng bột màu trắng được nung ở 550°C trong 2 giờ, thu được sản phẩm SiO₂.

2.1.3. Tổng hợp mẫu ZnO

Đun sôi 2 cốc: dung dịch Zn(NO₃)₂ 0,4M (100 mL) và dung dịch H₂C₂O₄ 0,6M (100 mL). Đổ từ từ cốc dung dịch H₂C₂O₄ vào cốc dung dịch Zn(NO₃)₂. Khuấy hỗn hợp cho đến khi nguội về nhiệt độ phòng, thu được kết tủa kẽm oxalat. Lọc và rửa kết tủa bằng nước cất đến môi trường trung tính. Sấy khô kết tủa ở 100°C trong 3 giờ, sau đó nung ở 400°C trong 1 giờ thu được sản phẩm ZnO.

2.1.4. Tổng hợp xúc tác ZnO-SiO₂

Đun sôi 2 cốc 100 ml dung dịch Zn(NO₃)₂ 0,4 M và 100 ml dung dịch H₂C₂O₄ 0,6 M. Đổ nhanh dung dịch H₂C₂O₄ vào dung dịch Zn(NO₃)₂. Cho tiếp vào hỗn hợp SiO₂ tương ứng với hàm lượng SiO₂ trong vật liệu ZnO là 3%; 4%; 5%; 6%; 8%. Tiếp tục khuấy hỗn hợp cho đến khi nguội

về nhiệt độ phòng, sẽ thu được kết tủa kẽm oxalat. Kết tủa được lọc và rửa bằng nước cất đến môi trường trung tính. Kết tủa được sấy khô ở 100°C trong 3 giờ, sau đó nung ở 400°C trong 1 giờ thu được sản phẩm ZnO-SiO_2 .

2.2. Thí nghiệm khảo sát hoạt tính của xúc tác

Hoạt tính xúc tác quang của vật liệu được khảo sát thông qua việc phân hủy dung dịch rhodamine B 20 mg/L (RhB) dưới ánh sáng khả kiến. Đèn compact (36 W) được sử dụng thay cho ánh sáng tự nhiên (có bước sóng trong khoảng 400 nm đến 700 nm). Lấy 100 ml dung dịch RhB cho vào cốc dung tích 250 mL, sau đó thêm vào một lượng xúc tác thay đổi từ 0,2 g đến 0,3 g. Khuấy dung dịch ở tốc độ không đổi trong bóng tối 30 phút để đạt cân bằng hấp phụ, sau đó đem chiếu sáng. Nồng độ RhB còn lại được xác định bằng phương pháp trắc quang.

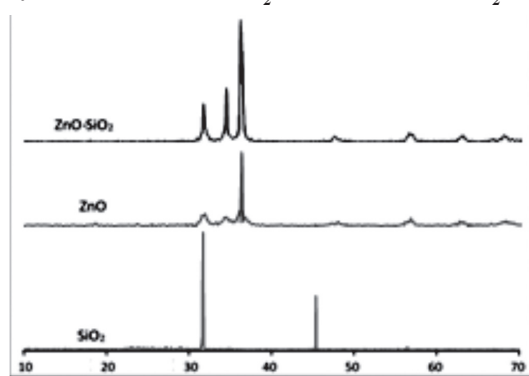
2.3. Phương pháp phân tích

Thành phần pha của ZnO và SiO_2 được xác định bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (D8 Advance - Bruker). Khảo sát hình ảnh bề mặt bằng phương pháp hiển vi điện tử quét SEM (Hitachi S4800 electron Microscope) và hiển vi điện tử truyền qua TEM (JEOL JEM-1010 Electron Microscope). Khả năng hấp thụ ánh sáng của các hệ xúc tác được đặc trưng bằng phổ hấp thụ UV-Vis DRS (Tasco-V670 photospectrometer). Thành phần nguyên tố trong mẫu được xác định bằng phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX) (Energy-dispersive X-ray spectroscopy). Liên kết trong vật liệu được xác định bằng phổ hồng ngoại IR. Nồng độ RhB được xác định bằng phương pháp trắc quang tại bước sóng 553 nm (UV-Vis JASCO V-730, Nhật Bản).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc trưng vật liệu

3.1.1. Giảm đồ nhiễu xạ tia X của mẫu SiO_2 , ZnO và ZnO-SiO_2

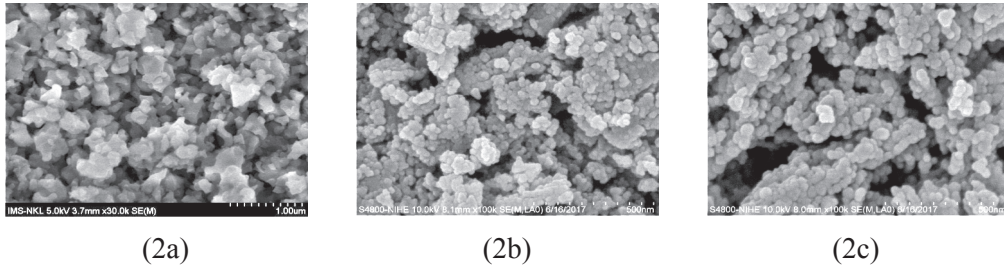


Hình 1. Giảm đồ nhiễu xạ tia X của SiO_2 , ZnO và ZnO-SiO_2

Từ giảm đồ nhiễu xạ tia X (Hình 1) cho thấy, các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng cho pha lục giác cấu trúc wurtzite của ZnO tại các vị trí $2\theta = 31,87^{\circ}; 34,36^{\circ}; 36,25^{\circ}; 47,92^{\circ}; 56,62^{\circ}; 62,89^{\circ}; 68,08^{\circ}$ tương ứng với các họ mặt (100); (002); (101); (102); (110); (103); (112) với hằng số mạng là $a = 3,24982 \text{ \AA}$ và $c = 5,20661 \text{ \AA}$, đây cũng là cấu trúc phổ biến nhất và có hoạt tính quang xúc tác cao nhất của ZnO . Ở mẫu ZnO-SiO_2 thì tại pic 31,66 do có sự kết hợp thêm pha của SiO_2 nên

cường độ pic cao hơn và pic 45,37° của SiO₂ trong mẫu ZnO-SiO₂ bị mất đi. Điều này có thể do sự thay đổi cấu trúc của SiO₂ khi tạo composite với ZnO. Kết quả cho thấy cấu trúc của ZnO cũng không bị thay đổi trong mẫu ZnO-SiO₂.

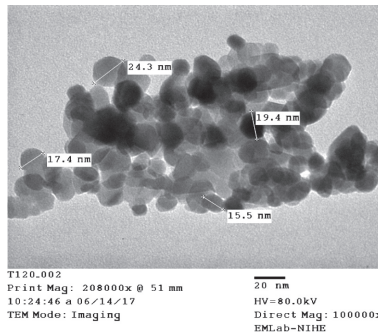
3.1.2. Ảnh hiển vi điện tử quét SEM của mẫu SiO₂, ZnO và ZnO-SiO₂



Hình 2. Ảnh SEM của mẫu SiO₂ (2a), ZnO (2b) và ZnO-SiO₂ (2c).

Kết quả ảnh hiển vi điện tử quét (Hình 2) cho thu được cho thấy mẫu SiO₂ có cấu trúc xốp, mẫu ZnO và ZnO-SiO₂ ở tinh thể dạng hạt khá đồng đều và bề mặt tương đối đồng nhất.

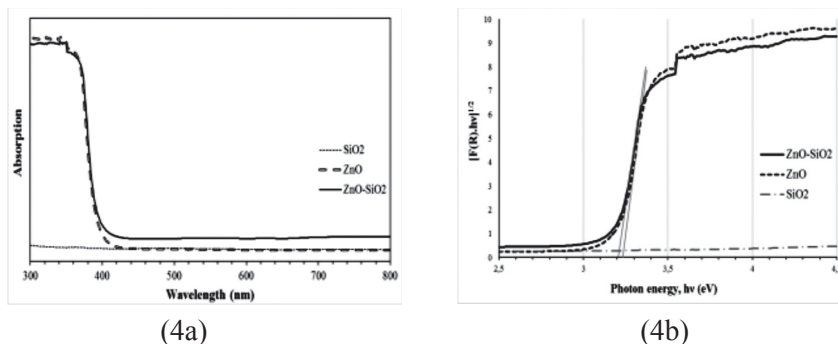
3.1.3. Ảnh hiển vi điện tử truyền qua TEM của mẫu ZnO-SiO₂



Hình 3. Kết quả ảnh TEM của mẫu ZnO-SiO₂

Kết quả ảnh TEM (Hình 3) cho thấy sự tạo thành ZnO trên SiO₂ với kích thước hạt trung bình khoảng 19 nm. Kết quả này xấp xỉ với kết quả tính kích thước hạt từ công thức Debye - Scherrer. Qua đó chứng minh mẫu ZnO-SiO₂ thu được có kích thước nano.

3.1.4. Phổ UV-vis mẫu vật liệu SiO₂, ZnO và ZnO-SiO₂

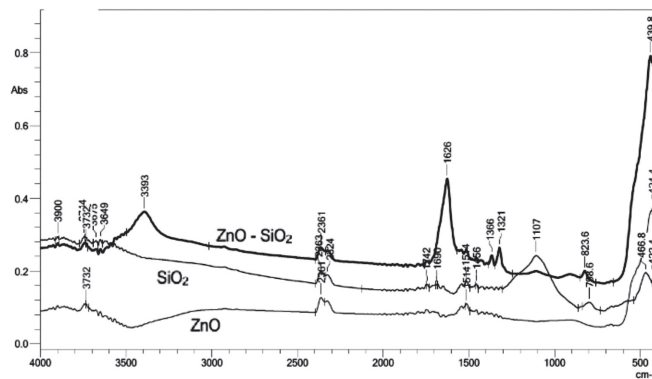


Hình 4. Phổ UV-Vis (4a) và đồ thị năng lượng vùng cấm (4b) của mẫu SiO₂, ZnO và ZnO-SiO₂

Từ kết quả phổ UV-Vis cho thấy vùng hấp thụ của ZnO-SiO₂ được mở rộng hơn về vùng ánh sáng khả kiến hơn so với mẫu ZnO và độ hấp thụ trong vùng ánh sáng khả kiến của ZnO-SiO₂ cũng cao hơn. Qua đó cho thấy một dịch chuyển đỏ của xúc tác ZnO-SiO₂ so với ZnO, điều này hứa hẹn ứng dụng khả năng của vật liệu xúc tác quang ZnO-SiO₂ dưới tác dụng của ánh sáng mặt trời. Kết quả năng lượng vùng cấm giảm từ 3,22 eV của mẫu ZnO xuống còn 3,20 eV với mẫu ZnO-SiO₂.

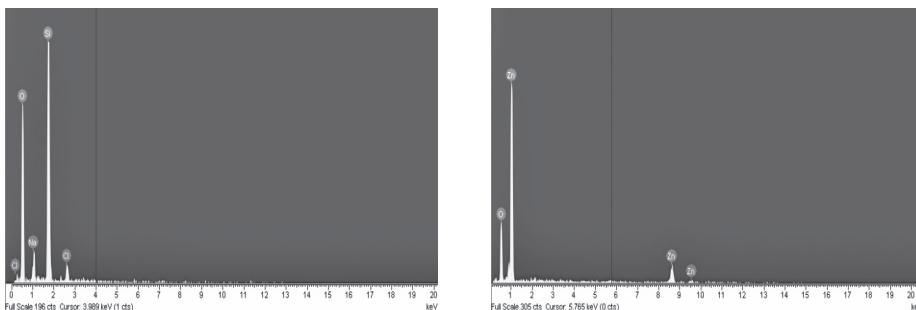
3.1.4. Phổ hồng ngoại IR của mẫu SiO₂, ZnO và ZnO-SiO₂

Từ kết quả phổ hồng ngoại IR (Hình 5) cho thấy mẫu SiO₂ có pic đặc trưng cho dao động Si-O-Si tại 1107 cm⁻¹ [4]. Trong 2 mẫu ZnO và ZnO-SiO₂ có sự xuất hiện pic 3732 cm⁻¹ được gán cho các nhóm hydroxyl [5], các nhóm này giúp cho vật liệu có khả năng oxi hóa và phân hủy các hợp chất hữu cơ. Dải rộng giữa 3200 - 3600 cm⁻¹ trung tâm ở 3393 cm⁻¹ tương ứng với sự dao động hóa trị của liên kết hydro liên phân tử (O-H) tồn tại giữa phân tử nước hấp phụ và oxy của oxit kẽm. Pic ở 424 cm⁻¹ và 439 cm⁻¹ với cường độ dao động mạnh hơn ở mẫu ZnO-SiO₂ đặc trưng cho dao động hóa trị của liên kết Zn-O [6]. Vùng ở 1366 cm⁻¹ tương ứng với đỉnh ZnO [7]. Tại pic 1626 cm⁻¹ được cho là do dao động biến dạng của O-H trong phân tử nước còn trong xúc tác [8]. Ngoài ra cả 3 mẫu đều có pic 2361 cm⁻¹ do dao động biến dạng O=C=O của CO₂ trong không khí [9]. Kết quả phân tích IR đã cho thấy sự thành công trong tổng hợp vật liệu SiO₂, ZnO và ZnO-SiO₂.



Hình 5. Phổ IR của SiO₂, ZnO và ZnO-SiO₂

3.1.5. Kết quả phân tích EDX

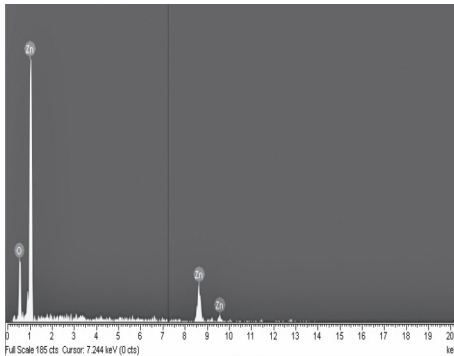


Element	Weight %	Atomic %
O	56,19	69,13
Na	4,93	4,22
Si	34,81	24,39
Cl	4,07	2,26
Totals	100,00	10,00

(6a)

Element	Weight %	Atomic %
O	25,01	57,68
Zn	74,99	42,32
Totals	100,00	100,00

(6b)



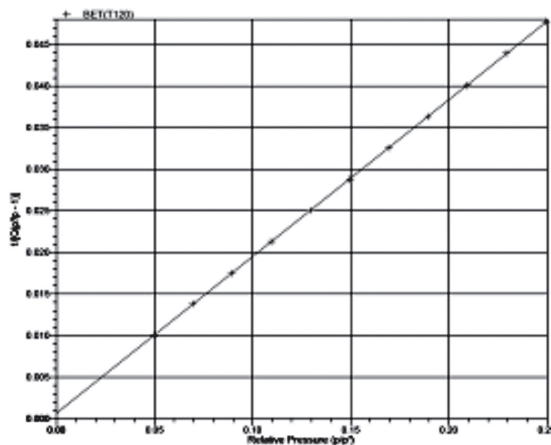
Element	Weight %	Atomic %
O	20,87	51,87
Zn	79,13	48,13
Totals	100,00	100,00

(6c)

Hình 6. Phổ EDX của mẫu xúc tác SiO_2 (6a), ZnO (6b), ZnO-SiO_2 (6c).

Từ các kết quả được thể hiện trên phép phân tích phổ EDX (Hình 6) cho thấy trong mẫu SiO_2 ngoài thành phần chủ yếu là Si và O còn có Na và Cl sót lại trong quá trình tổng hợp. Với 2 mẫu còn lại đều chỉ thấy sự có mặt của Zn và O với 74,99% Zn và 25,01% O trong mẫu ZnO, tỷ lệ phần trăm về khối lượng của Zn trong mẫu ZnO-SiO₂ cao hơn (79,13% Zn và 20,87% O). Điều này có thể cho thấy có sự tạo composite giữa ZnO và SiO₂ nên đã làm thay đổi đáng kể thành phần của chúng.

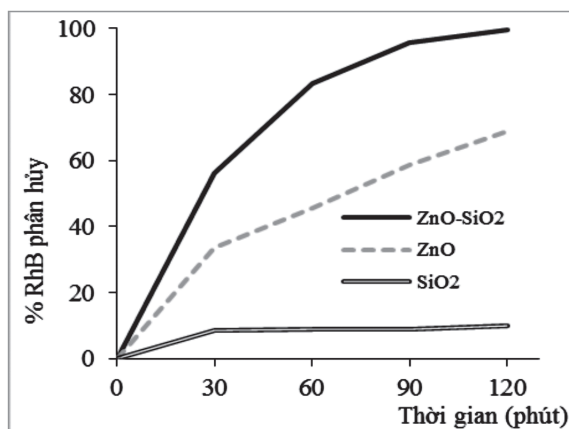
3.1.6. Kết quả phân tích đẳng nhiệt hấp phụ - khử hấp phụ nitơ (BET)



Hình 7. Diện tích bề mặt riêng của ZnO-SiO_2

Kết quả diện tích bề mặt BET tính được từ phép đo là $23,0273 \pm 0,0299$ (m^2/g). Xúc tác ZnO-SiO₂ tổng hợp được có diện tích bề mặt tương đối lớn, tăng nhiều so với ZnO là $9,5 \text{ m}^2/\text{g}$ [10]. Điều này có thể giải thích là do ZnO tạo thành gắn lên bề mặt các tinh thể SiO₂ làm giảm kích thước hạt nên diện tích bề mặt tăng và góp phần tăng hoạt tính xúc tác của vật liệu.

3.2. Khảo sát hoạt tính xúc tác quang của vật liệu SiO₂, ZnO và ZnO-SiO₂ trên sự phân hủy phẩm màu Rhodamine B dưới ánh sáng khả kiến

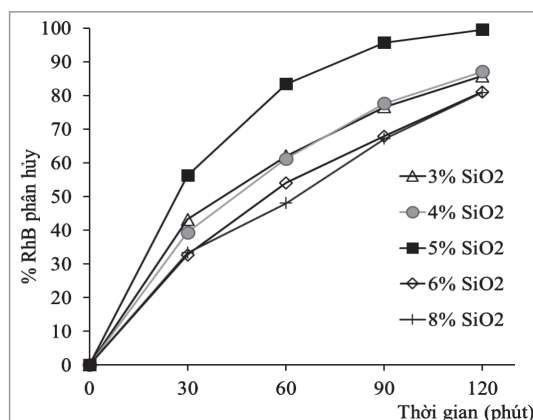


Hình 8. Hiệu suất phân hủy RhB theo thời gian chiếu sáng của mẫu SiO₂, ZnO và ZnO-SiO₂

Từ kết quả thu được ở hình 8 cho thấy đối với vật liệu SiO₂ hầu như không xảy ra quá trình phân hủy RhB. Hiệu suất phân hủy RhB dưới điều kiện ánh sáng khả kiến của các mẫu xúc tác ZnO-SiO₂ cao hơn so với ZnO. Với vật liệu ZnO-SiO₂ thì sau khi quá trình hấp phụ đạt cân bằng (30 phút trong bóng tối), quá trình phân hủy RhB vẫn tiếp tục xảy ra mạnh hơn. Kết quả này phù hợp với các kết quả rút ra được từ đặc trưng vật liệu ở trên. Điều này đã cho thấy vai trò của xúc tác khi đưa lên SiO₂.

3.3. Khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình tổng hợp vật liệu ZnO-SiO₂

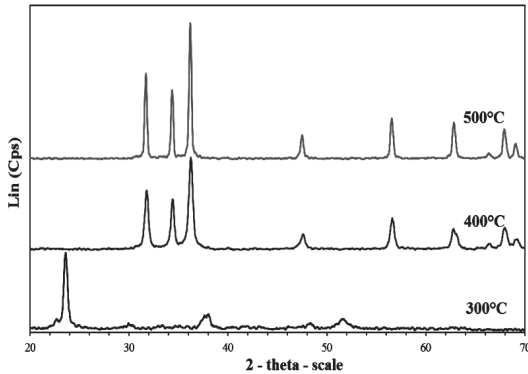
3.3.1. Khảo sát ảnh hưởng của lượng SiO₂ đến quá trình tổng hợp vật liệu ZnO-SiO₂



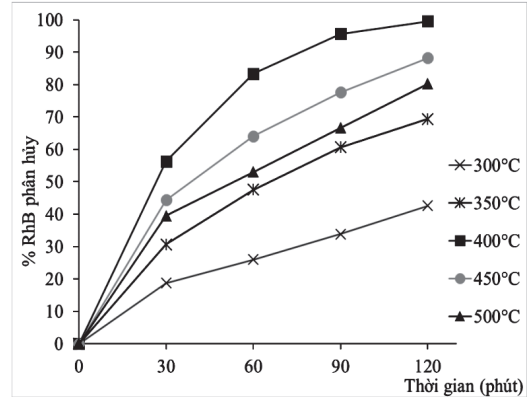
Hình 9. Ảnh hưởng của lượng SiO₂ trong vật liệu tới hiệu suất phân hủy RhB

Kết quả Hình 9 cho thấy lượng SiO_2 tối ưu cho quá trình tổng hợp xúc tác là 5% SiO_2 trong vật liệu ZnO-SiO_2 . Khi lượng SiO_2 quá lớn cũng sẽ gây ra sự che lấp các tâm hoạt động của xúc tác và ngăn cản ánh sáng truyền đến ZnO nên làm giảm hiệu quả xử lý.

3.3.2. Khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ nung đến quá trình tổng hợp vật liệu ZnO-SiO_2



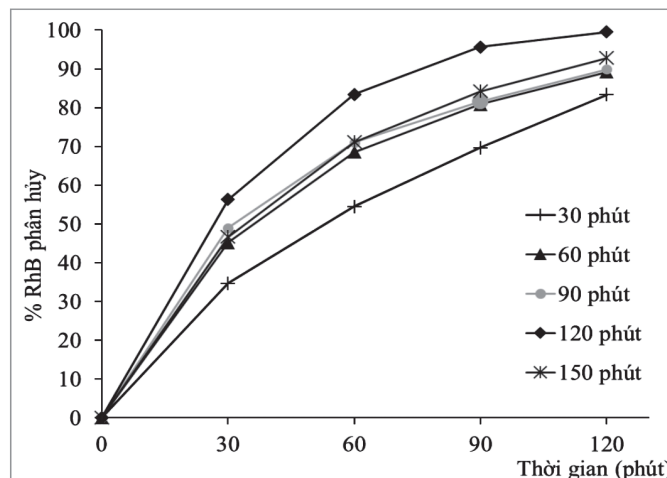
Hình 10. Giảm độ nhiễu xạ tia X của các mẫu nung ở 300°C, 400°C và 500°C



Hình 11. Ảnh hưởng của nhiệt độ nung tới hiệu suất phân hủy RhB

Từ kết quả giảm độ nhiễu xạ tia X (hình 10) cho thấy các mẫu được nung ở nhiệt độ trên 400°C đều ở dạng pha lục giác cấu trúc wurtzite. Mẫu nung ở nhiệt độ 300°C có độ kết tinh thấp và chưa hình thành pha lục giác cấu trúc wurtzite của ZnO . Ngoài ra hiệu suất xử lý RhB tăng khi nhiệt độ nung tăng từ 300°C đến 400°C và hiệu suất giảm khi nhiệt độ nung thay đổi từ 400°C tới 500°C. Điều này có thể được giải thích do sự tăng nhiệt độ nung, các hạt có khuynh hướng gắn với nhau để tạo thành các hạt lớn hơn gây ra sự tăng kích thước hạt và các hạt lớn ZnO sẽ không thể đi vào các lỗ xốp của SiO_2 nên hiệu quả xử lý giảm. Kết quả Hình 11 cho thấy nhiệt độ nung tối ưu cho quá trình tổng hợp xúc tác là 400°C.

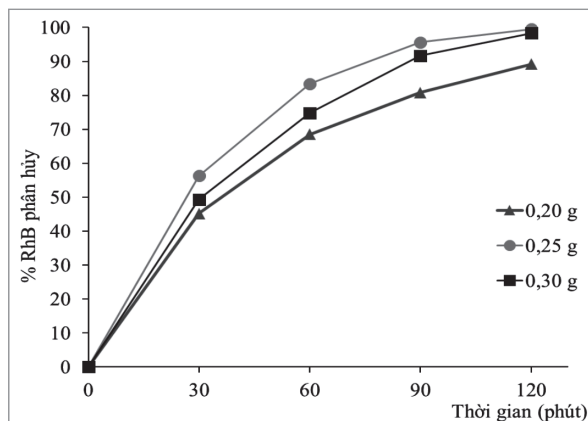
3.3.3. Khảo sát ảnh hưởng của thời gian nung đến quá trình tổng hợp vật liệu ZnO-SiO_2



Hình 12. Ảnh hưởng của thời gian nung vật liệu tới hiệu suất phân hủy RhB

Từ kết quả Hình 12 cho thấy thời gian nung cũng đã ảnh hưởng đến hoạt tính quang xúc tác của vật liệu và đã làm thay đổi hiệu suất xử lý RhB. Với thời gian nung cho quá trình tổng hợp xúc tác là 2,0 giờ cho sản phẩm vật liệu có hiệu suất xử lý RhB cao nhất.

3.4. Khảo sát ảnh hưởng của lượng chất xúc tác ZnO-SiO₂ đến khả năng phân hủy RhB

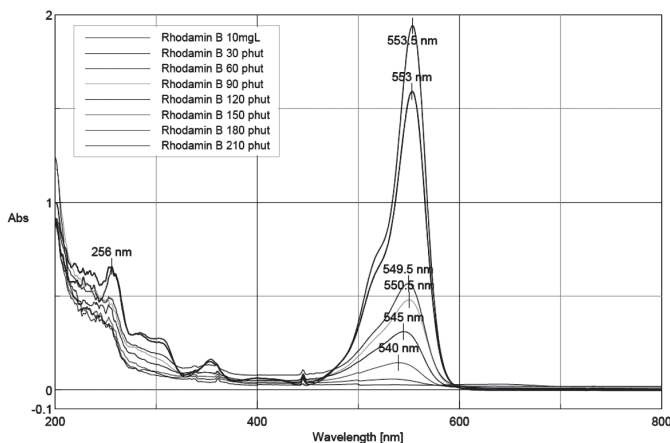


Hình 13. Ảnh hưởng của lượng xúc tác ZnO-SiO₂ tới hiệu suất phân hủy RhB

Hiệu suất phân hủy RhB cao nhất ở lượng chất xúc tác là 0,25 g. Điều này có thể do khi tăng lượng chất xúc tác làm tăng độ đục của dung dịch, gây ra sự cản ánh sáng và phân tán ánh sáng nên hiệu suất phân hủy giảm.

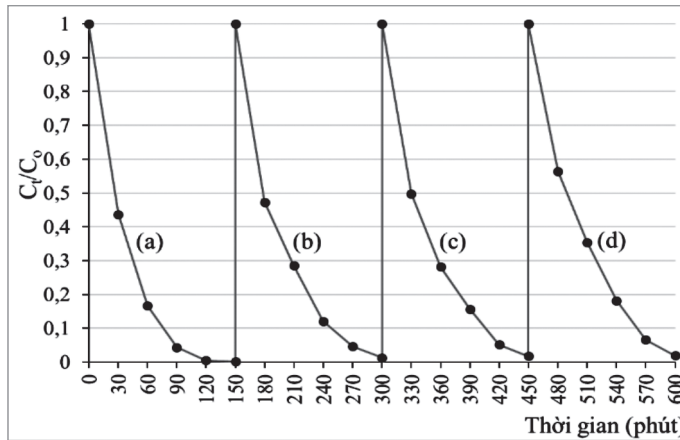
3.5. Kết quả phân tích UV-vis của RhB và sản phẩm theo thời gian phân hủy

Kết quả phân tích phổ UV-vis của dung dịch RhB theo thời gian xử lý bởi xúc tác ZnO-SiO₂ (Hình 14) cho thấy RhB đã có sự mất màu và phân theo thời gian. Dung dịch RhB ban đầu (20 mg/l) ứng với pic đặc trưng tại 553 nm đã được chuyển hóa hoàn toàn thành các hợp chất hữu cơ trung gian với cường độ pic giảm dần. Pic của các sản phẩm trung gian sau 3,5 giờ xử lý gần bằng không. Điều này cho thấy xúc tác tham gia vào quá trình chuyển hóa RhB khác với các quá trình hấp phụ thông thường.



Hình 14. Kết quả phân tích UV-Vis của dung dịch RhB bị phân hủy theo thời gian

3.6. Khảo sát khả năng thu hồi và tái sử dụng xúc tác



Hình 15. Hiệu suất phân hủy RhB của xúc tác ZnO-SiO₂ sử dụng: lần 1 (a); lần 2 (b); lần 3 (c); lần 4 (d)

Độ bền của xúc tác trong quá trình phân hủy RhB dưới ánh sáng khả kiến được thể hiện qua Hình 15. Xúc tác sau mỗi lần sử dụng được tách khỏi dung dịch, rửa bằng nước cất và sấy ở 100°C trong 3 giờ. Kết quả cho thấy xúc tác vẫn thể hiện hoạt tính cao sau 4 lần sử dụng. Qua nghiên cứu này đã cho thấy xúc tác ZnO-SiO₂ là một vật liệu xúc tác quang hóa có độ bền cao, phù hợp về mặt kinh tế khi ứng dụng vào thực tế.

4. Kết luận

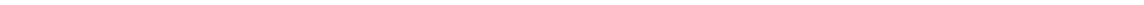
Đã tổng hợp thành công vật liệu nano ZnO-SiO₂ theo phương pháp kết tủa. Việc đưa ZnO lên chất mang SiO₂ giúp xúc tác chuyển vùng hoạt động từ tử ngoại sang khả kiến, không làm thay đổi cấu trúc ZnO và làm tăng hoạt tính xúc tác trong việc xử lý phẩm màu rhodamine B. Điều kiện tối ưu cho quá trình tổng hợp xúc tác là 5% khối lượng SiO₂, nung ở 400°C trong 2 giờ. Lượng xúc tác tối ưu cho quá trình phân hủy RhB (20 mg/l) là 2,5 g/l. Nghiên cứu này đã cho thấy xúc tác ZnO lên chất mang SiO₂ là một vật liệu xúc tác quang hóa có tiềm năng ứng dụng để phân hủy của các chất hữu cơ độc hại dưới ánh sáng tự nhiên.

Lời cảm ơn. Các tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ một phần từ dự án Team of VLIR-UOS với mã số ZEIN2016PR431

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. R. J. Ramalingam, J. Vijaya, H. A. Al-Lohedan, M. A. Munusamy, *Synthesis and characterization of doped and undoped ZnO nanowire/nanorods coating on various substrate (AlN, SiO₂ and FTO) for photovoltaic hydrogen sensor applications*, Journal of Ovonic Research, 13, Pages 13 - 23, (2017).
2. Anupam Nandi, Rittwik Majumder, Pratanu Nag, Swapan K. Datta, Hiranmay Saha, Sanhita Majumdar, *Precursor dependent tailoring of morphology and bandgap of zinc oxide nanostructures*, Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 14, Pages 1 - 8, (2017).

3. Van Hai Le, Chi Nhan Ha Thuc and Huy Ha Thuc, *Synthesis of silica nanoparticles from Vietnamese rice husk by sol-gel method*, Nanoscale Research Letters, 8(1), Pages 58 - 67, (2013).
4. Li-Wei Sun, Han-Qiao Shi, Wan-Nan Li, Hong-Mei Xiao, Shao-Yun Fu, Xing-Zhong Cao and Zhuo-Xin Li, *Lanthanum-doped ZnO quantum dots with greatly enhanced fluorescent quantum yield*, Journal of Materials Chemistry, 17, Pages 8221 - 8227, (2012).
5. J. F. Chen, H. M. Ding, J. X. Wang, L. Shao. (2003), *Preparation and characterization of porous hollow silic dioxit nanoparticles for drug delivery application*, Biomaterials, 25(3), Pages 723 - 727.
6. A. Geetha, R. Sakthivel and J. Mallika, *A Single pot Green synthesis of ZnO nanoparticles using aqueous gum exudates of Azadirachta indica and its antifungal activity*, International Research Journal of Engineering and Technology, 3(9), Pages 300 - 306, (2016).
7. Ambiga Devi J, Ashwin S, Balaji Dhandapani, *Application of Synthesized (Ni^{2+} , Ag^{2+}) doped ZnO Nanocatalyst for degradation of Acid Blue 113 by Advanced Oxidation Process*, Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences, 9(1), Pages 318 - 322, (2016).
8. Ali Mahyar, Mohammad Ali Behnajady and Naser Modirshahla, *Characterization and photocatalytic activity of SiO_2 - TiO_2 mixed oxide nanoparticles prepared by sol-gel method*, Indian Journal of Chemistry, 49A, Pages 1593 - 1600, (2010).
9. Nguyen Tu, K.T. Nguyen, D.Q. Trung, N.T. Tuan, V. Nam Do, P.T. Huy, *Effects of carbon on optical properties of ZnO powder*, Journal of Luminescence, 174, Pages 6 - 10, (2016).
10. Anne Aimable, Maria Teresa Buscaglia, Vincenzo Buscaglia, Paul Bowen, *Polymer-assisted precipitation of ZnO nanoparticles with narrow particle size distribution*, Journal of the European Ceramic Society, 30, Pages 591 - 598, (2010).



TÍNH CHẤT ĐIỆN SẮC CỦA DÂY NANO ĐỘ XÓP CAO CẤU TRÚC LỖI - VỎ TiO_2 - WO_3

NGUYỄN MINH VƯƠNG*, HOÀNG NHẬT HIẾU, NGUYỄN VĂN NGHĨA

Khoa Vật lý, Trường Đại học Quy Nhơn

TÓM TẮT

Dây nano TiO_2 - WO_3 với cấu trúc lõi - vỏ sử dụng nghiên cứu tính chất điện sắc được chế tạo bằng quá trình lắng đọng phun xạ các kim loại titan và tungsten trên khuôn mẫu là các ống nano carbon đơn lớp. Hệ mẫu thu được sau đó được oxy hóa nhiệt trong môi trường không khí tại 500°C . Cấu trúc hình thái bề mặt và chất lượng tinh thể của các mẫu chế tạo được nghiên cứu bằng cách sử dụng phép đo kính hiển vi điện tử quét (SEM), kính hiển vi điện tử truyền qua (TEM) và nhiễu xạ tia X (XRD). Các tính chất điện hóa và điện sắc của các mẫu chế tạo được nghiên cứu sử dụng hệ điện hóa ba điện cực. Các cấu trúc dạng màng mỏng TiO_2 - WO_3 cũng như các cấu trúc dây nano riêng lẻ TiO_2 và WO_3 cũng được nghiên cứu và so sánh trong công trình này. Tính chất quang học của các cấu trúc đã chế tạo được nghiên cứu bằng phép đo phổ truyền qua UV-Vis. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng các dây nano cấu trúc lõi vỏ TiO_2 - WO_3 cung cấp một diện tích bề mặt lớn nên có khả năng chèn proton cao, do đó cải thiện hiệu suất nhuộm màu. Thời gian hồi đáp nhuộm màu và thời gian tẩy trắng của các cấu trúc cũng được tính toán và thảo luận một cách chi tiết.

Từ khóa: Cấu trúc lõi - vỏ, TiO_2 , WO_3 , tính chất điện sắc, hiệu suất nhuộm màu.

ABSTRACT

Electrochromic Properties of Highly Porous TiO_2 - WO_3 Core - Shell Nanowire Structures

A core - shell TiO_2 - WO_3 nanowire structure for an electrochromic investigation were fabricated by sputter deposition of titanium and tungsten on a porous single wall carbon nanotube template. The obtained samples were oxidized during 2h in the air at 500°C . The morphology and crystalline quality of these samples were characterized by scanning electron microscopy (SEM), transmission electron microscopy (TEM) and X-ray diffraction (XRD). The electrochemical and electrochromic properties were also studied using three-electrode system. The thin TiO_2 - WO_3 composite films as well as individual TiO_2 and WO_3 nanowire structures were investigated and compared in this work. The optical property of fabricated samples was studied by UV-Vis spectral transmittance measurement. The results of this study showed that the core - shell TiO_2 - WO_3 nanowire structures improved proton intercalation capacity due to rough surface compare to other structures. The coloration and bleaching times of these samples were also calculated and discussed in detail.

Key words: Core - shell structure, TiO_2 , WO_3 , electrochromic property, coloration efficiency.

1. Giới thiệu

Các vật liệu điện sắc thể hiện sự thay đổi màu sắc của nó khi một hiệu điện thế được đặt vào. Chúng được nghiên cứu cho nhiều mục đích ứng dụng khác nhau như màn hình hiển thị, linh

*Email: nmvuongk23@gmail.com

Ngày nhận bài: 02/11/2017; Ngày nhận đăng: 20/1/2018

kiện tiết kiệm năng lượng, cửa sổ thông minh, kính chiếu hậu tự động mờ trong các xe ô tô... Cơ chế nhuộm màu của vật liệu điện sắc được giải thích bởi quá trình chèn và chiết của các ion có kích thước nhỏ như H^+ hoặc Li^+ cùng với các electron. Điều này làm thay đổi cấu trúc dải điện tử, dẫn đến làm thay đổi tính chất truyền qua của vật liệu [1, 2].

Nhiều vật liệu oxit kim loại đã được nghiên cứu cho lĩnh vực ứng dụng này như WO_3 , TiO_2 , MoO_3 ... Trong số đó vật liệu WO_3 đã và đang nghiên cứu rộng rãi nhất do nó có những tính chất điện sắc nổi trội như hiệu suất nhuộm màu cao, tiêu thụ năng lượng thấp, ổn định, tốc độ chuyển giữa trạng thái nhuộm màu và tẩy trắng nhanh. Ở trạng thái nhuộm màu, vật liệu này có màu xanh khi một điện thế âm đặt vào [2, 3]. Bên cạnh đó vật liệu WO_3 có nhiều nhược điểm. Hiệu suất nhuộm màu của vật liệu WO_3 phụ thuộc vào độ kết tinh của vật liệu. Cấu trúc vô định hình thể hiện một hiệu suất nhuộm màu cao hơn nhiều so với cấu trúc tinh thể. Tuy nhiên cấu trúc vô định hình dễ bị phân hủy sau vài lần đo trong môi trường axit. Hơn nữa, vật liệu WO_3 có độ bám dính kém với đế dẫn [4-6].

Vật liệu TiO_2 cũng được nghiên cứu nhiều cho ứng dụng điện sắc. Nó đã được chứng minh rằng, hiệu ứng điện sắc xuất hiện là do sự thay đổi cấu trúc điện tử trong dải năng lượng khi các electron và ion được chèn vào trong mạng tinh thể của nó. Ở đây, một trạng thái điện tử định xứ dưới dải dẫn khoảng 0,7 eV khi các electron được chèn vào trong mạng TiO_2 dẫn đến khả năng hấp thụ dải điện tử trong vùng ánh sáng nhìn thấy [7]. Độ bám dính của TiO_2 so với đế dẫn là rất tốt. Sự đa dạng về cấu trúc cũng thu được cho vật liệu này. Tuy nhiên nhược điểm của vật liệu TiO_2 là hiệu suất nhuộm màu và độ tương phản thấp.

Trong những năm gần đây, tính chất điện sắc của hệ vật liệu hai thành phần TiO_2 và WO_3 đã được nghiên cứu nhằm mục đích khai thác những ưu điểm của từng vật liệu riêng lẻ đồng thời làm giảm bớt những điểm bất thuận lợi của chúng. Song và các cộng sự [7] đã tiến hành nghiên cứu linh kiện điện sắc của các ống nano TiO_2 biến tính bề mặt bởi các hạt nano WO_3 . Nah và các cộng sự [8] cũng đã tiến hành chế tạo và nghiên cứu hệ vật liệu $TiO_2 - WO_3$ bằng phương pháp điện hóa a-nốt từ hợp chất TiW. Tất cả các nghiên cứu trên đều cho thấy rằng một sự cải thiện của quá trình chèn ion và tính chất điện sắc đều thu được cho hệ hai vật liệu này. Trong nghiên cứu này, chúng tôi phát triển một phương pháp chế tạo hệ vật liệu dây nano độ xốp cao $TiO_2 - WO_3$ có cấu trúc lõi - vỏ sử dụng các ống nano carbon như khuôn mẫu và nghiên cứu tính chất điện sắc của chúng. Kết quả cho thấy rằng hiệu suất nhuộm màu trong vùng ánh sáng nhìn thấy, thời gian nhuộm màu và tẩy trắng được cải thiện một cách đáng kể so với các vật liệu thành phần. Cấu trúc màng mỏng của hệ hai vật liệu cũng được chế tạo, nghiên cứu và so sánh.

2. Thực nghiệm

Các đế ITO (indium tin oxide) được xử lý rung siêu âm lần lượt trong các môi trường acetone, methanol và nước khử ion với thời gian là 15 phút mỗi bước. Các đế sau đó được thổi khô bằng khí nitơ sạch. Sau đó các đế này được gắn bên trong buồng phóng điện hồ quang để tổng hợp các ống nano carbon đơn lớp (SWCNTs). Các SWCNTs được tổng hợp trong môi trường hydrogen với áp suất 400 torr ở điều kiện mật độ dòng 40 A/cm² trong suốt thời gian 4

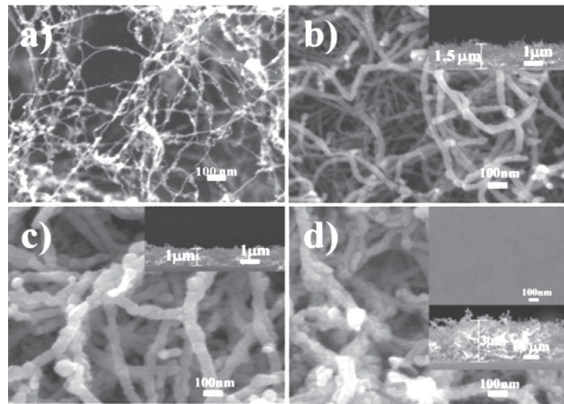
phút. Nguồn carbon sử dụng để tổng hợp SWCNTs là một thanh graphite rỗng chứa các dây kim loại sắt, nickel và molybdenum làm xúc tác. Các đế ITO chứa các SWCNTs được xử lý nhiệt tại 400°C trong môi trường không khí ở nhiệt độ 400°C trong thời gian 2 giờ nhằm khử carbon vô định hình từ SWCNTs. Các SWCNTs đã được tổng hợp có độ xoắn cao và sử dụng như các khuôn để chế tạo các dây nano bán dẫn oxit kim loại [9]. Các kim loại Ti và W lần lượt được lắng đọng trên các dây SWCNTs bằng phương pháp phún xạ để hình thành các dây nano kim loại Ti/W. Quá trình phún xạ các kim loại Ti và W được thực hiện tại nhiệt độ phòng trong môi trường khí argon tại điều kiện áp suất $3,8 \times 10^{-2}$ torr với công suất tương ứng là 76 và 100 W. Thời gian phún xạ Ti và W lần lượt là 30 và 25 giây tương ứng với bề dày phẳng là 30 và 25 nm. Các đế SWCNTs/ITO được nhúng trong môi trường methanol trước khi oxy hóa nhằm tăng độ bám dính giữa các dây nano và đế. Quá trình oxy hóa được thực hiện tại nhiệt độ 500°C trong môi trường không khí trong suốt thời gian 2 giờ để hình thành nên cấu trúc lõi - vỏ TiO_2 - WO_3 . Quá trình chế tạo dây nano có độ xoắn cao cấu trúc lõi - vỏ TiO_2 - WO_3 đã được nghiên cứu lần đầu tiên bởi nhóm chúng tôi trong nghiên cứu trước đây [10]. Trong công trình này, chúng tôi tiếp tục nghiên cứu sâu hơn về tốc độ nhuộm màu và tẩy trắng tại nhiệt độ ưu tiên 500°C. Các dây nano riêng lẻ TiO_2 và WO_3 cũng được chế tạo theo phương thức trên. Đồng thời cấu trúc màng TiO_2 - WO_3 cũng được chế tạo không sử dụng khuôn mẫu SWCNTs phục vụ cho quá trình nghiên cứu so sánh.

Hình thái bề mặt và tính chất cấu trúc của các vật liệu chế tạo được nghiên cứu sử dụng kính hiển vi điện tử quét (SEM), kính hiển vi điện tử truyền qua (TEM, HR-TEM), nhiễu xạ tia X (XRD). Tính chất điện hóa của vật liệu được nghiên cứu bởi phép đo quét thế vòng tuần hoàn (CV) và phép đo dòng - thời (CA). Tính chất quang của vật liệu được khảo sát bằng phép đo phổ truyền qua UV-Vis.

3. Kết quả và thảo luận

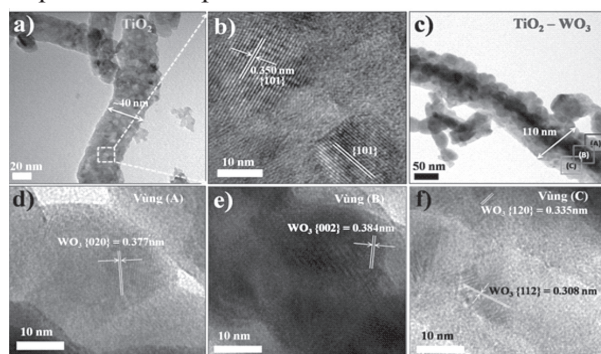
3.1 Hình thái và tính chất cấu trúc

Hình 1(a) hiển thị ảnh SEM của SWCNTs được sử dụng như khuôn mẫu để chế tạo các dây nano oxit kim loại. Một sự phân bố ngẫu nhiên với khoảng cách lớn giữa các SWCNTs (hàng trăm nanomet). Các SWCNTs có đường kính khoảng từ 1,3 ÷ 1,7 nm được xác định từ phổ Raman như trong nghiên cứu trước đây của chúng tôi [11]. Tính chất không gian mở của SWCNTs khá ổn định trong suốt quá trình lắng đọng kim loại và kể cả sau khi oxy hóa nhiệt (Hình 1b, c và d). Ta thấy rằng các kim loại được lắng đọng một cách dễ dàng xung quanh các SWCNTs để hình thành nên các dây nano kim loại. Tính chất độ xoắn cao vẫn được duy trì trong suốt quá trình hình thành dây TiO_2 , WO_3 và cấu trúc lõi vỏ TiO_2 - WO_3 . Đường kính của các dây nano oxit kim loại khá đồng đều đối với từng mẫu và được xác định khoảng 40, 70 và 100 nm lần lượt cho các cấu trúc TiO_2 , WO_3 và TiO_2 - WO_3 . Bề dày của màng chứa dây TiO_2 , WO_3 và TiO_2 - WO_3 lần lượt là ~1,5, 1,0 và 3 μm (hình chèn trong 1b, c và d). Màng mỏng TiO_2 - WO_3 với cấu trúc kết chặt như được nhìn thấy trong hình chèn 1d (bên trên).

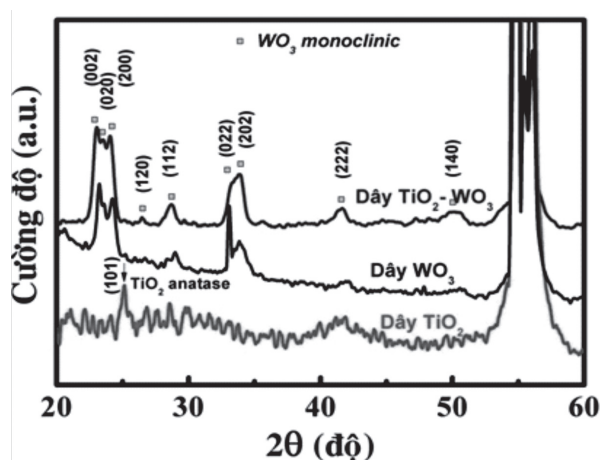


Hình 1. Ảnh SEM của SWCNTs (a), dây TiO_2 (b), dây WO_3 (c) và cấu trúc dây lõi - vỏ $TiO_2 - WO_3$ (d). Các hình chèn thể hiện ảnh SEM mặt cắt ngang tương ứng cho các mẫu. Hình chèn trong hình d (bên trên) thể hiện ảnh SEM của mẫu màng $TiO_2 - WO_3$.

Hình 2 hiển thị các ảnh TEM và HR-TEM của các cấu trúc TiO_2 và $TiO_2 - WO_3$. Đường kính của các dây nano được xác định khá trùng khớp như trong ảnh SEM ở trên. Một cấu trúc lõi TiO_2 được bao bọc bởi một lớp vỏ WO_3 khá đều đặn được nhìn thấy rõ trong ảnh TEM. Ảnh HR-TEM hiển thị độ kết tinh tốt của TiO_2 và WO_3 . Khoảng cách giữa hai mặt mạng lân cận nhau trong Hình 2b được xác định 0,35 nm phù hợp với họ mặt mạng $\{101\}$ đối với pha anatase của TiO_2 [JCPDS file no. 86-1157]. Trong khi đó khoảng cách giữa hai mặt mạng xác định ở các vùng khác nhau đối với mẫu $TiO_2 - WO_3$ đều tương ứng với pha đơn tà của WO_3 [JCPDS file no. 43-1035] (Hình 2d-f), pha anatase của cấu trúc TiO_2 không được tìm thấy ở đây. Điều này cho thấy rằng TiO_2 bị chôn bên dưới lớp WO_3 . Kết quả thu được chứng tỏ rằng dây nano cấu trúc lõi - vỏ $TiO_2 - WO_3$ đã được chế tạo thành công khi sử dụng phương pháp phun xạ hai bước lần lượt các kim loại Ti và W sử dụng khuôn mẫu SWCNTs theo sau bởi quá trình oxy hóa nhiệt. Tính chất cấu trúc của các mẫu TiO_2 , WO_3 và $TiO_2 - WO_3$ cũng được xác định bằng phép đo XRD như được nhìn thấy trong Hình 3. Kết quả cho thấy một đỉnh của pha anatase TiO_2 tại góc nhiễu xạ $2\theta = 25,30$ và các đỉnh tương ứng với cấu trúc đơn tà của WO_3 (JCPDS file no. 43-1035). Kết quả này rất phù hợp với kết quả TEM như phân tích ở trên.



Hình 2. (a) Ảnh TEM và (b) HR-TEM của mẫu dây nano TiO_2 . (c) Ảnh TEM của mẫu $TiO_2 - WO_3$. (d), (e) và (f) lần lượt là các ảnh HR-TEM độ phân giải cao của các vùng (A), (B) và (C) tương ứng trong hình (c).



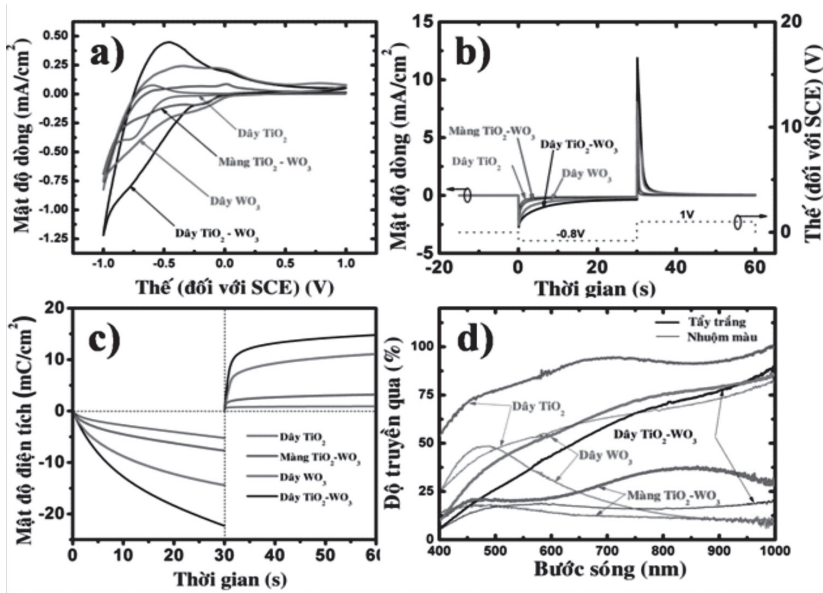
Hình 3. Ảnh XRD của các mẫu dây nano đã chế tạo

3.2. Tính chất điện hóa và điện sắc

Để xác định tính chất điện hóa của vật liệu đã chế tạo, chúng tôi tiến hành thực hiện các phép đo CV. Đây là phép đo mà chúng ta có thể xác định được quá trình chèn và chiết của các ion trong mạng tinh thể của vật liệu. Hay nói cách khác có thể xác định được tính chất nhuộm màu và tẩy trắng của vật liệu. Hình 4a hiển thị kết quả đo CV của mẫu màng và các cấu trúc dây nano có độ xốp cao. Thế điện cực (đối với điện cực so sánh caomel bão hòa) được quét từ 1,0 đến -1,0 với tốc độ quét là 20 mV/s trong dung dịch điện phân H_2SO_4 có nồng độ 0,1 M. Đối với mẫu dây nano TiO_2 , thế mở cho quá trình nhuộm màu (dòng ca-tốt) được xác định tại -0,4 V và các đỉnh dòng ca-tốt và a-nốt thu được lần lượt tại -0,75 V và -0,6 V. Dòng ca-tốt xuất hiện là do quá trình chèn proton vào trong mạng TiO_2 trong khi đó dòng a-nốt là do quá trình chiết proton ra khỏi nên vật liệu TiO_2 theo phương trình sau: $\text{TiO}_2 + e^- + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{TiOOH}$ [7]. Đối với mẫu dây nano WO_3 , phương trình phản ứng có thể diễn tả tương tự như sau: $\text{WO}_3 + xe^- + x\text{H}^+ \leftrightarrow \text{H}_x\text{WO}_3$ [3]. Dòng ca-tốt đối với vật liệu này mở tại thế -0,05 V. Điều này cho thấy quá trình chèn proton vào trong nền WO_3 bắt đầu tại thế nhỏ hơn so với TiO_2 . Dòng a-nốt xuất hiện với 2 đỉnh tại -0,35 và 0,0 V. Kết quả này phù hợp với một số kết quả nghiên cứu trước đây [7, 8] và nó được cho là do quá trình chèn các proton tại các vị trí bẫy khác nhau trong cấu trúc vật liệu WO_3 .

Đối với mẫu dây nano cấu trúc lõi - vỏ $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3$, đỉnh dòng ca-tốt xảy ra tại -0,2 V, ngược lại các đỉnh dòng a-nốt xảy ra tại -0,45 và 0,0 V. Ta thấy rằng, đỉnh dòng ca-tốt tại -0,2 V và đỉnh dòng a-nốt tại 0,0 V đến từ vật liệu WO_3 . Tuy nhiên đỉnh dòng a-nốt tại -0,45 V được xem như là sự dịch chuyển từ -0,35 V (cho WO_3) về phía -0,6 V (cho TiO_2). Ngoài ra mật độ dòng tại đỉnh a-nốt -0,45 V cũng tăng lên rất nhiều (Hình 3a). Kết quả này cho thấy rằng có một hiệu ứng kết hợp giữa lớp vỏ WO_3 và lõi TiO_2 . Trong nghiên cứu trước đây, song và các cộng sự [7] cũng thu được một sự dịch chuyển đỉnh tương tự như trên đối với cấu trúc ống nano TiO_2 biến tính bề mặt bởi các hạt WO_3 . Hiệu ứng kết hợp với sự tăng mật độ dòng (hay mật độ điện tích) lần đầu tiên thu được bởi nhóm chúng tôi cho cấu trúc lõi - vỏ $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3$. Tuy nhiên hiệu ứng kết hợp này không thu được đối với cấu trúc lai hóa $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3$ kiểu màng mỏng như nhìn thấy ở Hình 3a. Thậm chí

cấu trúc lai hóa kiểu màng mỏng này cho thấy một quá trình trao đổi proton kém hơn cả cấu trúc dây WO_3 . Sự tăng mật độ dòng cũng như hiệu ứng kết hợp thu được trong cấu trúc lõi - vỏ $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3$ được giải thích là do sự hình thành các hạt nano WO_3 bao phủ quanh dây TiO_2 với diện tích bề mặt lớn dẫn đến quá trình chèn và chiết proton một cách dễ dàng.



Hình 4. Đường cong CV (a), CA (b), tích phân mật độ dòng theo thời gian (c) và phổ truyền qua ở hai trạng thái nhuộm màu và tẩy trắng (d) của các mẫu đã chế tạo.

Để xác định một cách định lượng mật độ điện tích trong quá trình chèn (trạng thái nhuộm màu) và chiết (trạng thái tẩy trắng) của proton trong vật liệu. Chúng tôi tiến hành với phép đo CA. Hình 3b hiển thị sự phụ thuộc của mật độ dòng theo thời gian khi áp vào vật liệu các bước thế -0,8 và 1,0 V (đối với điện cực so sánh). Mật độ điện tích trong quá trình chèn (Q_{ca}) và chiết (Q_a) được tính toán bằng cách lấy tích phân mật độ dòng theo thời gian như được vẽ trong hình 3c. Các giá trị tính toán được tổng kết trong bảng 1. Tính chất thuận nghịch của phản ứng điện sắc được xác định dựa vào tỉ số Q_a/Q_{ca} . Sự thay đổi độ truyền qua quang học giữa hai trạng thái nhuộm màu và tẩy trắng cũng được đo (hình 4c) và tổng kết trong bảng 1. Hiệu suất nhuộm màu CE (cm^2C^{-1}) tại một bước sóng cho trước được xác định bằng biểu thức:

$$CE = \frac{\Delta(OD)}{Q_{in}} = \frac{A_c - A_b}{Q_{in}} = \frac{1}{Q_{in}} \times \text{Log} \left(\frac{T_b}{T_c} \right)$$

Ở đây, $\Delta(OD)$ là độ chênh lệch mật độ quang, Q_{in} là mật độ điện tích chèn vào vật liệu. T_b và T_c (hoặc A_b và A_c) lần lượt là độ truyền qua (hoặc hệ số hấp thụ) trong các trạng thái tẩy trắng và nhuộm màu. Hiệu suất nhuộm màu cao chứng tỏ rằng cấu trúc vật liệu thể hiện một sự thay đổi quang lớn với một sự chèn điện tích nhỏ. Hiệu suất nhuộm màu của các mẫu được tính toán như trong bảng 1. Kết quả cho thấy rằng: (1) Các dây nano WO_3 có hiệu suất nhuộm màu tốt hơn nhiều so với cấu trúc dây nano TiO_2 . Điều này đã được biết với tính chất điện sắc nổi bật của vật liệu WO_3 . (2) Dây nano có cấu trúc lõi - vỏ $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3$ cải thiện được nhiều đặc tính so với cấu

trúc màng mỏng của nó chẳng hạn như: mật độ chèn proton cao hơn, hiệu suất nhuộm màu tăng và tính thuận nghịch tốt hơn. Điều này có thể giải thích là do cấu trúc dây lõi - vỏ có độ xốp cao, diện tích bề mặt lớn. (3) Dây nano có cấu trúc lõi - vỏ TiO_2 - WO_3 thể hiện nhiều tính chất tốt hơn so với các cấu trúc TiO_2 và WO_3 riêng lẻ. Hình thái cấu trúc dị thể TiO_2 - WO_3 với các hạt tinh thể nano WO_3 phân bố liên tục xung quanh dây nano TiO_2 cung cấp diện tích bề mặt lớn với nhiều sai hỏng và do đó quãng đường khuếch tán dài hơn cho quá trình chèn và chiết proton.

Thời gian nhuộm màu và thời gian tẩy trắng cũng được phân tích trong nghiên cứu này. Thời gian nhuộm màu (hoặc tẩy trắng) được định nghĩa là thời gian cần thiết để cho lượng mật độ điện tích chèn vào (hoặc chiết ra) để đạt được 63% của (từ) mức trạng thái bão hòa trong suốt phản ứng ca-tốt (a-nốt). Như đã đề cập ở trên, mật độ điện tích được xác định bằng cách tích phân mật độ dòng theo thời gian từ phép đo CA (Hình 3c). Kết quả phân tích thời gian nhuộm màu và tẩy trắng cho các mẫu đã chế tạo được tổng kết trong bảng 1. Kết quả cho thấy, thời gian nhuộm màu và tẩy trắng của cấu trúc màng mỏng TiO_2 - WO_3 nhỏ hơn so với cấu trúc dây nano lõi vỏ TiO_2 - WO_3 . Điều này có thể là do cấu trúc dây nano lõi - vỏ với diện tích và sai hỏng bề mặt lớn, do đó quãng đường khuếch tán của proton trong cấu trúc này dài hơn, chính vì vậy ảnh hưởng đến thời gian nhuộm màu và tẩy trắng.

Các kết quả thu được ở trên cho thấy rằng hình thái các dây nano có cấu trúc lõi - vỏ cung cấp một diện tích bề mặt cao, điều này cải thiện được khả năng trao đổi điện tích, tính chất thuận nghịch trong suốt quá trình phản ứng điện hóa và chính vì vậy nâng cao hiệu suất nhuộm màu. Tuy nhiên, cấu trúc xốp này hầu như không cải thiện được thời gian nhuộm màu và tẩy trắng của vật liệu.

Bảng 1. Dữ liệu tính toán cho mật độ điện tích trong suốt quá trình phản ứng ca-tốt (Q_{ca}) và a-nốt (Q_a), thời gian nhuộm màu (τ_{col}) và thời gian tẩy trắng (τ_{ble}), và hiệu suất nhuộm màu (CE) của các mẫu khác nhau

Mẫu	Q_{ca} (C/cm ²)	Q_a (C/cm ²)	Q_a/Q_{ca}	τ_{col} (s)	τ_{ble} (s)	CE (cm ² /C)	
						650 nm	950 nm
Dây TiO_2	-5,23	1,22	0,23	14	0,2	11,90	6,29
Dây WO_3	-16,39	10,44	0,64	10,6	2,1	26,40	59,8
Màng TiO_2/WO_3	-7,71	3,44	0,45	11,7	1,4	19,10	35,90
Dây TiO_2/WO_3	-22,29	15,20	0,68	11,9	1,6	31,20	43,50

4. Kết luận

Cấu trúc dây nano lõi - vỏ TiO_2 - WO_3 với độ xốp cao đã được chế tạo bằng phương pháp phun xạ lần lượt các kim loại Ti và W sử dụng SWCNTs làm khuôn mẫu theo sau đó là quá trình ô xy hóa nhiệt. Cấu trúc lõi - vỏ độ xốp cao này được mong chờ để tăng bề mặt tiếp xúc với dung dịch chất điện phân từ đó nâng cao khả năng trao đổi proton cũng như tăng hiệu suất nhuộm màu của tính chất điện sắc. Kết quả đã cho thấy rằng, cấu trúc này cải thiện được tính chất điện sắc so với các cấu trúc dây nano TiO_2 và WO_3 riêng lẻ, cũng như so với cấu trúc màng mỏng TiO_2/WO_3 . Tuy nhiên, thời gian nhuộm màu và tẩy trắng của vật liệu điện sắc cấu trúc lõi - vỏ vẫn chưa được

cải thiện so với các cấu trúc khác. Trong tương lai, việc điều khiển độ dày của lớp vỏ WO_3 bằng cách thay đổi thời gian phun xạ lớp kim loại W bên ngoài Ti nhằm tìm được cấu trúc tối ưu cho các tính chất điện sắc cần được nghiên cứu sâu hơn.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện với sự hỗ trợ về kinh phí từ Đề tài Khoa học và Công nghệ cấp Trường Đại học Quy Nhơn theo mã số đề tài T2016.512.18.

Các tác giả chân thành cảm ơn đến Giáo sư Dojin Kim - Khoa Khoa học và Kỹ thuật Vật liệu - Trường Đại học Quốc gia Chungnam - Hàn Quốc, đã tạo điều kiện giúp đỡ thực hiện quá trình chế tạo mẫu, các phép đo SEM, TEM và XRD.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Granqvist, G.G., *Handbook of Inorganic Electrochromic Materials* Elsevier, Amsterdam, (2002).
2. Monk, P.M.S., R.J. Mortimer, and D.R. Rosseinsky, *Electrochromism: Fundamentals and Applications*. VCH, Weinheim, (1995).
3. Granqvist, C.G., *Electrochromic tungsten oxide films: Review of progress 1993 - 1998*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2000. **60**(3): p. 201 - 262.
4. Zhang, J., et al., *Enhanced electrochromic performance of macroporous WO_3 films formed by anodic oxidation of DC-sputtered tungsten layers*. Electrochimica Acta, 2010. **55**(23): p. 6953 - 6958.
5. Deb, S.K., *Opportunities and challenges in science and technology of WO_3 for electrochromic and related applications*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2008. **92**(2): p. 245 - 258.
6. Wang, W., Y. Pang, and S.B. Hodgson, *Preparation, characterisation and electrochromic property of mesostructured tungsten oxide films via a surfactant templated sol-gel process from tungstic acid*. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 2010. **54**(1): p. 19 - 28.
7. Song, Y.-Y., et al., *Multistage Coloring Electrochromic Device Based on TiO_2 Nanotube Arrays Modified with WO_3 Nanoparticles*. Advanced Functional Materials, 2011. **21**(10): p. 1941 - 1946.
8. Nah, Y.-C., et al., *TiO_2 - WO_3 Composite Nanotubes by Alloy Anodization: Growth and Enhanced Electrochromic Properties*. Journal of the American Chemical Society, 2008. **130**(48): p. 16154 - 16155.
9. Vuong, N.M., et al., *Realization of an open space ensemble for nanowires: a strategy for the maximum response in resistive sensors*. Journal of Materials Chemistry, 2012. **22**(14): p. 6716 - 6725.
10. Vuong, N.M., D. Kim, and H. Kim, *Electrochromic properties of porous WO_3 - TiO_2 core-shell nanowires*. Journal of Materials Chemistry C, (2013).
11. Vuong, N.M., H.N. Hieu, and D. Kim, *An edge-contacted pn-heterojunction of a p-SWCNT/n- WO_3 thin film*. Journal of Materials Chemistry C, 2013. **1**(33): p. 5153 - 5160.

ẢNH HƯỞNG CỦA BENZYL ADENINE (BA) VÀ NAPHTHALENE ACETIC ACID (NAA) ĐẾN SỰ HÌNH THÀNH CHỒI VÀ RỄ CỦA CÂY CỎ NGỌT (*STEVIA REBAUDIANA BERTONI*) TRONG NUÔI CẤY *IN VITRO*

HỒ TÂN*, NGUYỄN THỊ Y THANH

Khoa Sinh-Kỹ thuật Nông nghiệp, Trường Đại học Quy Nhơn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của các nồng độ BA và NAA khác nhau đến khả năng hình thành chồi và rễ của cây Cỏ ngọt trong nuôi cấy *in vitro*. Kết quả nghiên cứu cho thấy môi trường tốt nhất cho sự hình thành chồi là khi bổ sung 0,5 mg/l BA với số chồi đạt cao nhất là 2,63 (chồi) sau 28 ngày nuôi cấy và tình trạng chồi khỏe, lá xanh thẫm. Môi trường tốt nhất để tạo rễ là khi bổ sung 0,5 mg/l NAA đã cho số lượng rễ và chiều dài rễ cao nhất lần lượt là 4,55 (rễ) và 3,96 (cm) với tình trạng rễ khỏe sau 28 ngày nuôi cấy.

Từ khóa: Cây Cỏ ngọt, nhân chồi, tạo rễ, chất điều hòa sinh trưởng BA, NAA.

ASBTRACT

The Effects of BA and NAA on the Shoot and Root Formation of *in vitro* Sweet Herb (*stevia rebaudiana bertonii*) Culture

The study was performed in order to evaluate the effects of different concentrations of BA and NAA on the ability of shoot and root formation of sweet herb in vitro culture. The results showed that the supplemented medium with 0.5 mg/l BA is optimal for shoot formation with the highest shoot number of 2.63 shoots after 28 days of culture and healthy shoots, dark green leaves. The medium containing 0.5 mg/l NAA is best for rooting with highest root number of 4.55 roots and highest root length of 3.96 cm, and healthy roots after 28 days of culture.

Key words: Sweet herb, shoot and root formation, growth regulator BA, NAA

1. Đặt vấn đề

Cây Cỏ ngọt có tên khoa học là *Stevia rebaudiana Bertoni*, thuộc họ Cúc (Asteraceae) được phát hiện và sử dụng cách đây 1500 năm ở Nam Mỹ, nhưng mãi đến thời gian gần đây mới được cả thế giới quan tâm vì sự kì diệu của nó. Cây Cỏ ngọt chứa hàm lượng Steviozit cao, chất này có độ ngọt gấp 300 lần đường sucrose, ít năng lượng, không lên men, kháng khuẩn, có khả năng duy trì hàm lượng đường trong máu, cải thiện tiêu hóa, điều tiết hoạt động của hệ mạch, rất có triển vọng dùng để thay đường trong chế độ ăn kiêng và hỗ trợ trong căn bệnh tiểu đường. Do đó, Cỏ ngọt được xem là nguồn nguyên liệu tự nhiên quý giá trong tương lai (Rafiq M và cộng tác viên, 2007) [3].

Cây Cỏ ngọt thích hợp với khí hậu nhiệt đới, nhiệt độ từ 15 - 30°C và độ ẩm 70 - 80%. Cây Cỏ ngọt có thể nhân giống bằng hạt, giâm cành hoặc cấy mô tế bào thực vật. Tuy nhiên, nhân

*Email: hotan@qnu.edu.vn

Ngày nhận bài: 05/7/2017; Ngày nhận đăng: 22/01/2018

giống bằng hạt có tỉ lệ nảy mầm thấp và bị phân ly tính trạng, khó giữ lại được các tính trạng quý, ưu việt của cây bố mẹ. Giâm cành có hệ số nhân thấp, cây dễ bị nhiễm bệnh từ cây mẹ. Tái sinh cây Cỏ ngọt từ mô sẹo nhằm tạo cây giống đầu dòng sạch bệnh, an toàn về chất lượng, kiểm soát được dịch bệnh, cung cấp cây giống theo hướng nông nghiệp công nghệ cao.

Cây Cỏ ngọt được trồng phổ biến nhiều nơi trên thế giới và được nhập vào Việt Nam năm 1988. Hiện nay, nước ta đang trồng khảo nghiệm ở nhiều vùng khác nhau như: Hà Giang, Cao Bằng, Hưng Yên, Nghệ An, Lâm Đồng, Đắk Lắk,... kết quả ban đầu thu được rất khả quan, lợi nhuận thu từ Cỏ ngọt khoảng 380 - 400 triệu/1 ha/1 năm. Tuy nhiên, việc nhân giống và chọn ra nguồn giống tốt, có năng suất cao, ổn định và sạch bệnh đối với cây Cỏ ngọt còn nhiều hạn chế. Vì vậy, chúng tôi thực hiện đề tài “*Ảnh hưởng của Benzyl adenine (BA) và Naphthalene acetic acid (NAA) đến sự hình thành chồi và rễ của cây Cỏ ngọt (Stevia rebaudiana Bertoni) trong nuôi cấy in vitro*”, nhằm mục đích góp phần vào việc tạo nguồn cây con đồng nhất cho sản xuất.

2. Nội dung và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Sử dụng giống Cỏ ngọt được mua từ trại cây giống ở Đà Lạt.

Mẫu cây là các chồi ngọn có kích thước từ 1 - 1,5 cm được cấy vào môi trường có các nồng độ BA và NAA khác nhau để tiến hành theo dõi.

2.2. Thời gian, địa điểm nghiên cứu

Thời gian: Nghiên cứu được thực hiện từ tháng 04/2016 đến tháng 02/2017.

Địa điểm: Thí nghiệm được tiến hành tại phòng thí nghiệm Nuôi cấy mô tế bào, Trường Đại học Quy Nhơn.

2.3. Nội dung nghiên cứu

- Nghiên cứu ảnh hưởng của các nồng độ BA đến khả năng hình thành chồi của cây Cỏ ngọt trong điều kiện *in vitro*.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ NAA khác nhau đến sinh trưởng và khả năng ra rễ của chồi cây Cỏ ngọt trong điều kiện *in vitro*.

2.4. Phương pháp nghiên cứu

2.4.1. Môi trường nuôi cấy

Môi trường nền được sử dụng là môi trường cơ bản MS (Murashige và Skoog, 1962), bổ sung Saccarose 30 g/l, agar 11 g/l, chuẩn pH 5,8. Tùy thí nghiệm, bổ sung thêm các chất điều hòa sinh trưởng vào môi trường nuôi cấy gồm BA và NAA. Rót 50 ml môi trường vào bình rồi đậy nắp nhựa kín và chuyển vào nồi hấp khử trùng ở nhiệt độ 121°C, áp suất 1atm trong thời gian 30 phút.

2.4.2. Bố trí thí nghiệm

Nghiên cứu được thực hiện bao gồm 2 thí nghiệm như sau:

Thí nghiệm 1: Ảnh hưởng của nồng độ BA đến khả năng hình thành chồi của cây Cỏ ngọt trong điều kiện *in vitro*.

Mục đích: Xác định được nồng độ BA có ảnh hưởng tốt nhất đến sự hình thành chồi và sinh trưởng của chồi Cỏ ngọt.

Thí nghiệm được bố trí theo phương pháp hoàn toàn ngẫu nhiên gồm 5 công thức, mỗi công thức lặp lại 3 lần, mỗi lần lặp lại 3 bình, mỗi bình cấy 4 chồi.

Các công thức thí nghiệm:

- + Công thức 1: MS (ĐC)
- + Công thức 2: MS + 0,2 mg/l BA
- + Công thức 3: MS + 0,5 mg/l BA
- + Công thức 4: MS + 1 mg/l BA
- + Công thức 5: MS + 1,5 mg/l BA

Thí nghiệm 2: Ảnh hưởng của nồng độ NAA đến sự sinh trưởng và khả năng ra rễ của cây Cỏ ngọt trong điều kiện *in vitro*.

Mục đích: Xác định được nồng độ NAA có ảnh hưởng tốt nhất đến sự sinh trưởng và ra rễ của chồi Cỏ ngọt *in vitro*.

Thí nghiệm được bố trí theo phương pháp hoàn toàn ngẫu nhiên gồm 5 công thức, mỗi công thức lặp lại 3 lần, mỗi lần lặp lại 3 bình, mỗi bình cấy 4 chồi.

Các công thức thí nghiệm:

- + Công thức 1: MS (ĐC)
- + Công thức 2: MS + 0,5 mg/l NAA
- + Công thức 3: MS + 1 mg/l NAA
- + Công thức 4: MS + 1,5 mg/l NAA
- + Công thức 5: MS + 2 mg/l NAA

2.4.3. Chỉ tiêu theo dõi

Các chỉ tiêu được ghi nhận qua các thời điểm 7, 14, 21 và 28 ngày sau khi cấy

- Số chồi: Đếm số chồi gia tăng qua các thời điểm sau khi cấy.
- Chiều cao chồi: Tính từ đáy chồi đến lá cao nhất.
- Số lá: Đếm số lá gia tăng qua các thời điểm sau khi cấy.
- Số rễ: Đếm tất cả các rễ được hình thành.
- Chiều dài rễ: Đo chiều dài rễ hình thành dài nhất.

2.4.4. Xử lý số liệu

Tất cả các số liệu của thí nghiệm được phân tích thống kê bằng phần mềm MSTATC và so sánh các giá trị trung bình bằng phương pháp kiểm định LSD ở mức ý nghĩa 5%.

3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

3.1. Thí nghiệm 1: Ảnh hưởng của nồng độ BA đến khả năng hình thành chồi của cây Cỏ ngọt trong *in vitro*

3.1.1. Sự gia tăng số chồi

Kết quả thu được ở Bảng 1 cho thấy, ở thời điểm 7 ngày sau khi cấy (NSKC), số chồi dao động từ 0,08 đến 0,97 (chồi) và có sự khác biệt qua phân tích thống kê ở mức ý nghĩa 5%. Trong đó, công thức có bổ sung 0,5 mg/l BA cho số chồi tạo thành cao nhất (0,97 chồi), khác biệt có ý nghĩa thống kê so với đối chứng không bổ sung BA và các công thức có bổ sung BA khác. Ở công

thức đối chứng có số chồi tạo thành thấp nhất (0,08 chồi), tuy nhiên không khác biệt so với các công thức có bổ sung 0,2 và 1,5 mg/l BA.

Ở thời điểm 14 NSKC, công thức có bổ sung 0,5 mg/l BA vẫn cho số chồi tạo thành cao nhất (1,55 chồi), khác biệt ý nghĩa thống kê ở mức 5% so với công thức đối chứng không bổ sung BA và các công thức có bổ sung BA khác. Số chồi tạo thành thấp nhất là ở công thức đối chứng không bổ sung BA (0,11 chồi) và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với 3 công thức còn lại (Bảng 1).

Bảng 1. Số chồi gia tăng dưới ảnh hưởng của các nồng độ BA qua các thời điểm sau khi cấy

Nồng độ BA (mg/l)	Số chồi qua các thời điểm sau khi cấy			
	7 ngày	14 ngày	21 ngày	28 ngày
0,0 (ĐC)	0,08 ^c	0,11 ^d	0,19 ^d	0,2 ^d
0,2	0,13 ^c	0,44 ^c	0,47 ^c	0,77 ^b
0,5	0,97 ^a	1,55 ^a	2,53 ^a	2,63 ^a
1,0	0,33 ^b	0,69 ^b	0,91 ^b	0,94 ^b
1,5	0,11 ^c	0,33 ^c	0,42 ^c	0,47 ^c
Mức ý nghĩa	*	*	*	*
CV (%)	16,6	8,27	12,57	12,10
LSD _{0,05}	0,10	0,20	0,20	0,22

(Trong cùng một cột các chữ theo sau giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê;

*: khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%)

Đến thời điểm 21 NSKC, công thức có số chồi tạo thành cao nhất vẫn là công thức có bổ sung 0,5 mg/l BA (2,53 chồi) và khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% so với công thức đối chứng không bổ sung BA và các công thức còn lại. Số chồi hình thành thấp nhất vẫn là công thức đối chứng, chỉ đạt 0,19 chồi.

Tương tự đến thời điểm 28 NSKC, công thức có số chồi tạo thành cao nhất vẫn là công thức có bổ sung 0,5 mg/l BA đạt (2,63 chồi) và khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% so với công thức đối chứng không bổ sung BA (0,2 chồi) và các công thức còn lại. Giữa hai công thức có bổ sung 0,2 và 1,0 mg/l BA không có sự khác biệt về số chồi gia tăng qua phân tích thống kê.

Kết quả này phù hợp với kết quả nghiên cứu của Nguyễn Đức Lượng và Lê Thị Thuỷ Tiên (2006) [1] cho rằng, bản chất của các hợp chất điều hoà sinh trưởng khi bổ sung nồng độ phù hợp sẽ cho kết quả gia tăng chồi cao nhưng khi tăng ở nồng độ quá cao hay ở nồng độ thấp thì khả năng gia tăng số chồi sẽ giảm. Vậy công thức bổ sung 0,5 mg/l BA là thích hợp nhất để nhân chồi cây Cỏ ngọt.

3.1.2. Sự gia tăng chiều cao chồi

Số liệu ở Bảng 2 cho thấy, ở thời điểm 7 NSKC, chiều cao chồi ở các công thức có sự khác biệt qua phân tích thống kê ở mức ý nghĩa 5%. Sự gia tăng chiều cao của chồi Cỏ ngọt dao động từ 0,84 cm đến 1,84 cm. Trong đó, ở công thức có bổ sung 0,2 mg/l BA sự gia tăng chiều cao chồi Cỏ ngọt đạt cao nhất (1,84 cm), khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% so với công thức đối chứng không bổ sung BA và các công thức có bổ sung BA khác. Chiều cao chồi gia tăng giữa công thức đối chứng và các công thức có bổ sung BA còn lại không có sự khác biệt qua phân tích thống kê.

Bảng 2. Chiều cao chồi gia tăng dưới ảnh hưởng của các nồng độ BA qua các thời điểm

Nồng độ BA (mg/l)	Chiều cao chồi (cm) qua các thời điểm sau khi cấy			
	7 ngày	14 ngày	21 ngày	28 ngày
0,0 (ĐC)	1,13 ^b	1,79 ^b	2,53 ^b	3,63 ^{bc}
0,2	1,84 ^a	2,89 ^a	3,66 ^a	5,39 ^a
0,5	0,88 ^b	1,32 ^c	1,77 ^c	3,43 ^{bc}
1,0	0,87 ^b	1,44 ^{bc}	2,45 ^b	4,01 ^b
1,5	0,84 ^b	1,42 ^{bc}	2,25 ^b	2,96 ^c
Mức ý nghĩa	*	*	*	*
CV (%)	17,73	14,39	10,10	11,28
LSD _{0,05}	0,36	0,46	0,46	0,8

(Trong cùng một cột các chữ theo sau giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê;

*: khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%)

Ở thời điểm 14 NSKC, sự gia tăng chiều cao chồi Cỏ ngọt vẫn có sự khác biệt qua phân tích thống kê ở mức ý nghĩa 5%. Sự gia tăng chiều cao chồi đạt giá trị cao nhất ở công thức bổ sung 0,2 mg/l BA (2,89 cm), khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các công thức khác. Sự gia tăng chiều cao chồi Cỏ ngọt đạt giá trị thấp nhất ở công thức có bổ sung 0,5 mg/l BA (1,32 cm), khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các công thức còn lại (Bảng 2).

Ở thời điểm 21 NSKC, sự gia tăng chiều cao chồi vẫn tiếp tục đạt giá trị cao nhất ở công thức bổ sung 0,2 mg/l BA (3,66 cm), khác biệt có ý nghĩa thống kê so với công thức đối chứng không bổ sung BA (2,53 cm) và các công thức có bổ sung BA khác. Sự gia tăng chiều cao chồi Cỏ ngọt đạt giá trị thấp nhất ở công thức bổ sung 0,5 mg/l BA (1,77 cm), khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các công thức còn lại. Chiều cao chồi gia tăng giữa công thức đối chứng và các công thức bổ sung 1,0 mg/l và 1,5 mg/l BA khác biệt không có ý nghĩa qua phân tích thống kê.

Đến thời điểm 28 NSKC, sự gia tăng chiều cao chồi Cỏ ngọt ở các công thức vẫn có sự khác biệt qua phân tích thống kê ở mức ý nghĩa 5%. Trong đó, sự gia tăng chiều cao chồi ở công thức bổ sung 0,2 mg/l BA đạt giá trị cao nhất (5,39 cm), khác biệt có ý nghĩa thống kê so với công thức đối chứng không bổ sung BA (3,69 cm) và các công thức có bổ sung BA khác. Sự gia tăng chiều cao chồi đạt giá trị thấp nhất là ở công thức bổ sung 1,5 mg/l BA (2,96 cm), khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các công thức còn lại.

3.1.3. Sự gia tăng số lá

Kết quả ghi nhận ở Bảng 3 cho thấy, ở thời điểm 7 NSKC số lá ở các công thức có sự khác biệt qua phân tích thống kê ở mức ý nghĩa 5%. Trong đó, sự gia tăng số lá của chồi Cỏ ngọt đạt cao nhất ở công thức có bổ sung 0,5 mg/l BA (8,55 lá), khác biệt có ý nghĩa thống kê với công thức đối chứng không bổ sung BA (2,14 lá), công thức có bổ sung 0,2 mg/l BA (4,67 lá), 1mg/l BA (4,88 lá) và công thức có bổ sung 1,5 mg/l BA (1,94 lá).

Bảng 3. Số lá gia tăng dưới ảnh hưởng của các nồng độ BA qua các thời điểm

Nồng độ BA (mg/l)	Số lá qua các thời điểm sau khi cấy			
	7 ngày	14 ngày	21 ngày	28 ngày
0,0 (ĐC)	2,14 ^c	3,77 ^d	5,61 ^d	7,80 ^e
0,2	4,67 ^b	9,74 ^b	10,64 ^b	13,16 ^b
0,5	8,55 ^a	11,33 ^a	13,47 ^a	14,66 ^a
1,0	4,88 ^b	6,27 ^c	8,30 ^c	10,36 ^c
1,5	1,94 ^c	3,97 ^d	6,47 ^d	9,08 ^d
Mức ý nghĩa	*	*	*	*
CV (%)	9,57	6,75	6,82	6,21
LSD _{0,05}	0,77	3,07	1,10	1,24

(Trong cùng một cột các chữ theo sau giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê;

*: khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%)

Ở thời điểm 14 NSKC, ở công thức có bổ sung 0,5 mg/l BA có sự gia tăng số lá đạt giá trị cao nhất (11,33 lá), khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% so với công thức đối chứng không bổ sung BA (3,77 lá) và các công thức có bổ sung BA khác. Số lá gia tăng thấp nhất là ở công thức đối chứng không bổ sung BA (3,77 lá) và công thức bổ sung 1,5 mg/l BA (3,97 lá), khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% so với các công thức có bổ sung BA còn lại.

Ở thời điểm 21 NSKC, ở công thức có bổ sung 0,5 mg/l BA vẫn có sự gia tăng số lá đạt cao nhất (13,47 lá), khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% so với công thức đối chứng không bổ sung BA (5,61 lá) và các công thức có bổ sung BA khác. Số lá gia tăng ít nhất là ở công thức đối chứng không bổ sung BA (5,61 lá), và công thức bổ sung 1,5 mg/l BA (6,47 lá), khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% so với các công thức có bổ sung BA còn lại.

Tương tự đến thời điểm 28 NSKC, số lá gia tăng cao nhất vẫn là ở công thức có bổ sung 0,5 mg/l BA (14,66 lá), khác biệt có ý nghĩa thống kê so với công thức đối chứng không bổ sung BA (7,80 lá) và các công thức có bổ sung BA khác. Số lá gia tăng ít nhất là ở công thức đối chứng không bổ sung BA (7,80 lá), khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% so với các công thức có bổ sung BA còn lại.

Theo quan sát thấy, ở công thức đối chứng không bổ sung BA chồi Cỏ ngọt phát triển kém, các chồi đều nhỏ, lá bé và có màu xanh nhạt. Khi bổ sung nồng độ BA từ 0,2 - 1 mg/l BA, thì sự phát triển của chồi Cỏ ngọt được cải thiện rõ rệt, chồi phát triển tốt, khỏe và lá có màu xanh đậm. Trong đó, đặc biệt là công thức có bổ sung 0,5 mg/l BA cho chất lượng chồi tốt nhất. Tuy nhiên, khi tăng nồng độ BA vượt quá 0,5 mg/l thì chồi Cỏ ngọt phát triển kém dần và chất lượng chồi bị giảm sút, một số chồi bắt đầu có những biểu hiện thay đổi về hình thái bên ngoài như: chồi nhỏ, lá bị cong mọng nước, xuất hiện các khối callus màu xanh nhạt.

Vậy môi trường thích hợp cho giai đoạn nhân nhanh cây Cỏ ngọt là: MS + 0,5 mg/l BA, với gia tăng chồi đạt 2,63 chồi, gia tăng chiều cao chồi đạt 5,39 cm và số lá gia tăng là 14,66 lá và tình trạng chồi khỏe, lá màu xanh thẫm ở 28 NSKC.

3.2. Thí nghiệm 2: Ảnh hưởng của nồng độ NAA đến sự sinh trưởng và khả năng ra rễ của chồi cây Cỏ ngọt trong *in vitro*.

3.2.1. Số rễ và chiều dài rễ

Các chồi Cỏ ngọt *in vitro* được hình thành ở thí nghiệm 1 có hình dáng một cụm chồi (gồm nhiều chồi/gốc). Các chồi được tách đơn lẻ để cấy vào môi trường có bổ sung NAA nồng độ từ 0,0 - 2,0 mg/l. Theo dõi ảnh hưởng của nồng độ NAA đến khả năng kích thích tạo rễ của chồi Cỏ ngọt *in vitro* sau 28 ngày nuôi cấy, kết quả thu được trình bày ở Bảng 4.

Kết quả thu được ở Bảng 4 cho thấy, tất cả các công thức thí nghiệm đều ra rễ đạt tỷ lệ 100%. Chứng tỏ rằng, chồi Cỏ ngọt có thể ra rễ ngay trong môi trường nền không có NAA và môi trường có bổ sung NAA nồng độ từ 0,5 mg/l đến 2,0 mg/l. Tuy nhiên, số rễ và chiều dài rễ có sự khác biệt qua phân tích thống kê ở mức ý nghĩa 5% giữa các công thức có và không bổ sung NAA.

Bảng 4. Số rễ và chiều dài rễ của chồi Cỏ ngọt dưới ảnh hưởng của các nồng độ NAA

Nồng độ NAA (mg/l)	Số rễ (rễ)	Chiều dài rễ (cm)
0,0 (ĐC)	2,25 ^d	2,08 ^e
0,5	4,55 ^a	3,96 ^a
1,0	2,54 ^c	2,92 ^b
1,5	2,78 ^b	2,79 ^b
2,0	1,36 ^e	2,16 ^e
Mức ý nghĩa	*	*
CV (%)	3,39	3,76
LSD _{0.05}	0,20	0,19

(Trong cùng một cột các chữ theo sau giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê;

*: khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%)

Số liệu ở Bảng 4 cho thấy, khi bổ sung NAA vào môi trường nuôi cấy ở các nồng độ khác nhau, quá trình ra rễ của chồi Cỏ ngọt có sự thay đổi rõ rệt. Sau 28 ngày nuôi cấy, số rễ ở các công thức dao động từ 1,36 (rễ) đến 4,55 (rễ). Trong đó, công thức có bổ sung 0,5 mg /l NAA có số rễ tạo thành cao nhất (4,55 rễ), khác biệt có ý nghĩa thống kê so với công thức đối chứng không bổ sung NAA và các công thức có bổ sung NAA khác. Số rễ hình thành ít nhất là ở công thức bổ sung 2,0 mg/l NAA chỉ đạt 1,36 rễ, khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các công thức còn lại. Kết quả này cũng phù hợp với kết quả nghiên cứu của Phạm Trọng và ctv., (2013) [2] cho rằng số rễ đạt cao nhất là khi bổ sung 0,5 mg/l NAA vào môi trường nuôi cấy.

Về chiều dài rễ, sau 28 ngày nuôi cấy chiều dài rễ ở các công thức dao động từ 2,08 (cm) đến 3,96 (cm) và giữa các công thức có sự khác biệt qua phân tích thống kê ở mức ý nghĩa 5%.

Công thức có bổ sung 0,5 mg/l NAA có chiều dài rễ dài nhất đạt 3,96 (cm), khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% so với các công thức khác. Chiều dài rễ thấp nhất là ở công thức đối chứng không bổ sung NAA chỉ đạt 2,08 cm và công thức bổ sung 2,0 mg/l NAA đạt 2,16 cm.

3.2.2. Sự gia tăng chiều cao chồi

Kết quả ở Bảng 5 cho thấy, ở thời điểm 7 NSKC chiều cao chồi ở các công thức có sự khác biệt qua phân tích thống kê ở mức ý nghĩa 5%. Trong đó, công thức bổ sung 1,0 mg/l NAA cho sự gia tăng chiều cao chồi đạt cao nhất (2,53 cm), khác biệt có ý nghĩa thống kê so với công thức đối chứng không bổ sung NAA (1,02 cm) và các công thức có bổ sung NAA khác. Chiều cao chồi gia tăng thấp nhất là ở công thức bổ sung 2,0 mg/l NAA (0,46 cm), khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các công thức có bổ sung NAA còn lại.

Bảng 5. Chiều cao chồi gia tăng dưới ảnh hưởng của các nồng độ NAA khác nhau

Nồng độ NAA (mg/l)	Chiều cao chồi (cm) gia tăng qua các thời điểm sau khi cấy			
	7 ngày	14 ngày	21 ngày	28 ngày
0,0 (ĐC)	1,02 ^c	1,50 ^c	2,03 ^c	2,57 ^c
0,5	1,39 ^b	2,14 ^b	3,20 ^b	4,23 ^b
1,0	2,53 ^a	3,48 ^a	4,48 ^a	5,46 ^a
1,5	0,87 ^c	1,60 ^c	1,98 ^c	2,48 ^c
2,0	0,46 ^d	0,89 ^d	1,06 ^d	1,35 ^d
Mức ý nghĩa	*	*	*	*
CV (%)	11,83	11,13	5,45	4,68
LSD _{0,05}	0,27	0,39	0,25	0,27

(Trong cùng một cột các chữ theo sau giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê;

*: khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%)

Ở thời điểm 14 NSKC, sự gia tăng chiều cao chồi ở các công thức dao động từ 0,89 (cm) đến 3,48 (cm). Trong đó, chiều cao chồi gia tăng cao nhất là ở công thức có bổ sung 1,0 mg /l NAA (3,48 cm), khác biệt có ý nghĩa thống kê so với công thức đối chứng không bổ sung NAA (1,50 cm) và các công thức có bổ sung NAA khác. Công thức có bổ sung 2,0 mg/l NAA có chiều cao chồi gia tăng thấp nhất chỉ đạt 0,89 cm, khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% so với các công thức còn lại.

Tương tự ở thời điểm 21 và 28 NSKC, sự gia tăng chiều cao chồi vẫn đạt cao nhất là ở công thức có bổ sung 1,0 mg/l NAA lần lượt là 4,48 cm và 5,46 cm, khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% so với công thức đối chứng và các công thức có bổ sung NAA khác. Sự gia tăng chiều cao chồi đạt thấp nhất là ở công thức bổ sung 2,0 mg/l NAA chỉ 1,35 cm, khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các công thức còn lại. Kết quả này phù hợp với tài liệu mà tác giả tham khảo của Nguyễn Đức Lượng và Lê Thị Thủy Tiên, (2006) [1] cho rằng, bản chất của các hợp chất điều hòa sinh trưởng, khi bổ sung nồng độ phù hợp sẽ cho kết quả gia tăng chiều cao chồi nhưng khi tăng ở nồng độ quá cao hay ở nồng độ thấp thì khả năng gia tăng chiều cao chồi sẽ giảm.

3.2.3. Sự gia tăng số lá

Kết quả ghi nhận ở Bảng 6 cho thấy, ở thời điểm 7 NSKC số lá ở các công thức có sự khác biệt qua phân tích thống kê ở mức ý nghĩa 5%. Trong đó, sự gia tăng số lá của chồi Cỏ ngọt đạt cao nhất là ở công thức có bổ sung 0,5 mg/l NAA (3,52 lá) và công thức 1,0 mg/l NAA (3,80 lá), khác biệt có ý nghĩa thống kê so với công thức đối chứng và các công thức bổ sung NAA khác. Số lá gia tăng thấp nhất là ở công thức bổ sung 2,0 mg/l NAA (0,92 lá). Giữa công thức đối chứng và công thức có bổ sung 1,5 mg/l NAA có số lá gia tăng khác biệt không có ý nghĩa qua phân tích thống kê.

Bảng 6. Số lá gia tăng dưới ảnh hưởng của các nồng độ NAA qua các thời điểm

Nồng độ NAA (mg/l)	Số lá (lá) gia tăng qua các thời điểm sau khi cấy			
	7 ngày	14 ngày	21 ngày	28 ngày
0,0 (ĐC)	1,83 ^b	2,81 ^c	3,17 ^d	5,06 ^c
0,5	3,52 ^a	5,72 ^a	7,72 ^a	9,94 ^a
1,0	3,80 ^a	5,78 ^a	7,78 ^a	10,01 ^a
1,5	1,97 ^b	4,03 ^b	5,80 ^b	7,78 ^b
2,0	0,92 ^c	2,17 ^d	4,06 ^c	5,08 ^c
Mức ý nghĩa	*	*	*	*
CV (%)	15,72	6,7	2,98	2,47
LSD _{0,05}	0,69	0,5	0,31	0,34

(Trong cùng một cột các chữ theo sau giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê;
*: khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%)

Ở thời điểm 14 NSKC, công thức có bổ sung 0,5 mg/l và 1,0 mg/l NAA có sự gia tăng số lá đạt cao nhất lần lượt là (5,72 lá) và (5,78 lá), khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% so với công thức đối chứng không bổ sung NAA (2,81 lá) và các công thức có bổ sung 1,5 mg/l NAA (4,03 lá), 2,0 mg/l NAA (2,17 lá). Số lá gia tăng thấp nhất vẫn là công thức bổ sung 2,0 mg/l NAA.

Ở thời điểm 21 NSKC, số lá gia tăng cao nhất vẫn là ở công thức bổ sung 0,5 mg/l NAA (7,72 lá) và 1,0 mg/l NAA (7,78 lá), khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các công thức khác. Số lá gia tăng ít nhất là ở công thức đối chứng không bổ sung NAA chỉ đạt (3,17 lá), khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% so với các công thức còn lại.

Tương tự ở thời điểm 28 NSKC, số lá gia tăng cao nhất vẫn là ở công thức bổ sung 0,5 mg/l NAA (9,94 lá) và 1,0 mg/l NAA (10,01 lá), khác biệt có ý nghĩa thống kê so với công thức đối chứng không bổ sung NAA (5,06 lá) và các công thức có bổ sung 1,5 mg/l NAA và 2,0 mg/l NAA. Số lá gia tăng ít nhất là ở công thức đối chứng không bổ sung NAA và công thức có bổ sung 2,0 mg/l NAA, các giá trị lần lượt là 5,06 (lá) và 5,08 (lá), khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% so với các công thức khác.

Kết quả thí nghiệm trên cho thấy, trên môi trường không bổ sung NAA chồi cây Cỏ ngọt vẫn có khả năng ra rễ tuy nhiên tỷ lệ chồi ra rễ thấp, thời gian ra rễ kéo dài, rễ nhỏ và không đồng đều. Khi nồng độ NAA tăng lên đến 2,0 mg/l thì sinh trưởng của cây *in vitro* bắt đầu giảm

như thân cây gầy, số rễ/cây giảm, rễ phát triển không đều. Đây là những đặc điểm không có lợi cho cây *in vitro* khi đưa ra ngoài tự nhiên. Vậy ở giai đoạn tạo cây hoàn chỉnh trong nhân giống *in vitro* cây Cỏ ngọt, bổ sung 0,5 mg/l NAA đến 1 mg/l NAA vào môi trường nuôi cấy là cho hiệu quả tối ưu nhất.

4. Kết luận

Môi trường tốt nhất cho sự hình thành chồi Cỏ ngọt *in vitro* là khi bổ sung 0,5 mg/l BA với số chồi đạt cao nhất là 2,63 (chồi) sau 28 ngày nuôi cấy và tình trạng chồi khỏe, lá xanh thẫm.

Môi trường tốt nhất để tạo rễ Cỏ ngọt *in vitro* là khi bổ sung 0,5 mg/l NAA với số lượng rễ và chiều dài rễ cao nhất lần lượt là 4,55 (rễ) và 3,96 (cm) với tình trạng rễ khỏe.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Đức Lượng và Lê Thị Thủy Tiên, *Công nghệ tế bào*, Nxb Đại học quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, (2006).
2. Phạm Trọng, Mai Đức Dũng và Nguyễn Đức Thiện, *Nhân giống in vitro cây cỏ ngọt (Stevia rebaudiana)*, Đồ án tốt nghiệp công nghệ sinh học, Trường Đại học công nghiệp TP. HCM, (2013).
3. Rafiq M, Dahotd MU, Mangrio SM, Naqvi HA and Qarshi I, *In vitro* clonal propagation and biochemical analysis of field established *Stevia rebaudiana* Bertoni. Pak. J. Bot, 3 9 (7): 2468-2473, (2007).

ĐỀ XUẤT ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ GIẢM NHIỀU ĐA KÊNH (ADRC) TRÊN FPGA CHO HỆ TRUYỀN ĐỘNG SERVO

ĐỖ VĂN CÂN*, THÂN VĂN THÔNG

Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn

TÓM TẮT

Ngày nay, FPGA đã được sử dụng nhiều trong các hệ thống điều khiển. Nó có thể thực hiện các cấu trúc điều khiển song song một cách độc lập, dựa trên thiết kế phần cứng. Việc xây dựng các hệ thống điều khiển bằng phần mềm có nhiều lợi thế trong việc thực hiện các thuật toán phức tạp, khối lượng tính toán lớn. Ngược lại, xây dựng các hệ thống điều khiển trên phần cứng mang lại đáp ứng nhanh và đồng thời hơn so với phần mềm. Trong máy CNC, hệ thống điều khiển vị trí thường yêu cầu đáp ứng nhanh và đồng thời cho hệ truyền động servo riêng biệt. Trong bài viết này, nhóm tác giả đề xuất cấu trúc điều khiển vị trí đa kênh dựa trên nền FPGA cho hệ truyền động Servo. Với cấu trúc này, hệ thống điều khiển cho phép thực hiện nhiều kênh điều khiển vị trí mà không phụ thuộc vào vòng quét chương trình và giảm tải cho CPU. Kết quả mô phỏng cho thấy, ứng dụng FPGA vào điều khiển vị trí đa kênh cho máy công cụ CNC là phù hợp.

Từ khóa: Máy công cụ, ADRC, FPGA, Điều khiển vị trí, CNC.

ABSTRACT

Proposed Active Disturbance Rejection Controller Based on FPGA for Servo Drive

Today, FPGAs are used in control systems. It can perform multiple concurrent control structures based on hardware design. The construction of the software control system has many advantages in the development of complex algorithms, a large volume of calculations. In contrast, building hardware control systems delivers faster and more responsive response than software. In the CNC machine, the position control system requires a fast and simultaneous response to each servo drive. In this article, the authors proposed a multichannel position control structure based on FPGA. With this structure, the control system allows implementation of multiple channels position control without depending on the scanning program loop and CPU offload. Simulation results showed that FPGA applications in multichannel position control for CNC machine tools are suitable.

Key words: Machine Tools, ADRC, FPGA, Position Control, CNC.

1. Đặt vấn đề

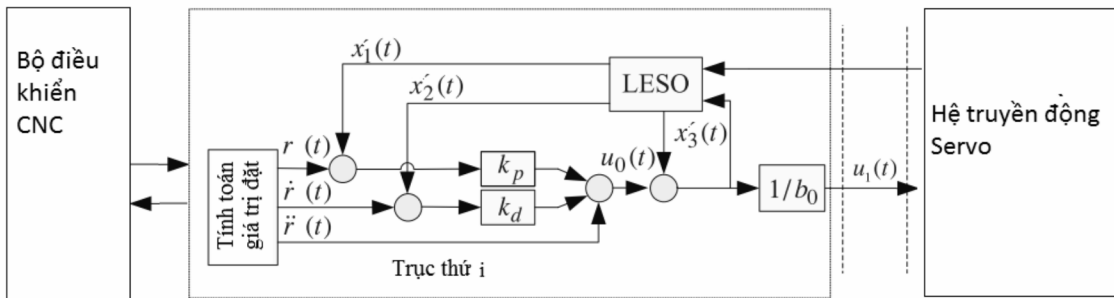
Trong các lĩnh vực điều khiển chuyên mạch van yêu cầu đáp ứng hệ thống nhanh và đồng thời [1], [2], [3]. Trong truyền động các máy công cụ nhất là máy CNC nhiều trục, hệ thống điều khiển vị trí yêu cầu các trục phải thực hiện đồng bộ và đồng thời, nhằm nâng cao chất lượng gia công bề mặt và tăng độ chính xác quỹ đạo chuyển động của dao cụ [4].

Trước đây điều khiển vị trí phần lớn được thực hiện bằng các thuật toán phần mềm dựa trên bộ vi xử lý [1], [5]... Trong những năm gần đây, FPGA đã được ứng dụng vào lĩnh vực điều khiển. Nhiều nghiên cứu đã sử dụng FPGA nhằm giải quyết các yêu cầu tốc độ, tính đồng thời cho các cấu trúc điều khiển [6], [7], [8]. Các công trình nghiên cứu trên cho thấy vẫn còn vài hạn chế trong điều khiển vị trí như đáp ứng chậm, tính tuần tự, chất lượng điều khiển phụ thuộc vào các vòng quét CPU và chưa cho phép phát triển các thuật toán mới trên bộ điều khiển hiện có.

*Email: dovancan@gnu.edu.vn

Ngày nhận bài: 19/10/2017; Ngày nhận đăng: 22/12/2017

Trong gia công nhiều trục máy CNC, bộ điều khiển PID phản hồi rất ổn định và mạnh mẽ ngay cả khi có sự biến động đầu vào [5]. Tuy nhiên, bộ điều khiển PID không thể tránh được sai lệch quỹ đạo, dẫn đến kết quả bề mặt gia công kém, phần nào làm hạn chế tốc độ gia công. Nghiên cứu sử dụng bộ điều khiển FPGA trong máy CNC đã được thực hiện kết hợp giữa phần mềm và phần cứng trên cùng một thiết bị điều khiển, việc sử dụng đa cấu trúc điều khiển trên lõi mềm Nios cũng đề cập trong phần kết luận ở tài liệu [9]. Tuy vậy, bộ điều khiển xây dựng trên Nios gặp một số khó khăn, khi điều khiển đa kênh và quản lý nhiều chức năng khác của máy CNC. Trong bài viết này, nhóm tác giả xây dựng cấu trúc giảm nhiễu đa kênh (ADRC) trên nền FPGA như Hình 1 cho hệ truyền động Servo. Khi đó ADRC cho phép thực hiện đa cấu trúc điều khiển và giảm nhiễu động nhờ cấu trúc linh hoạt FPGA

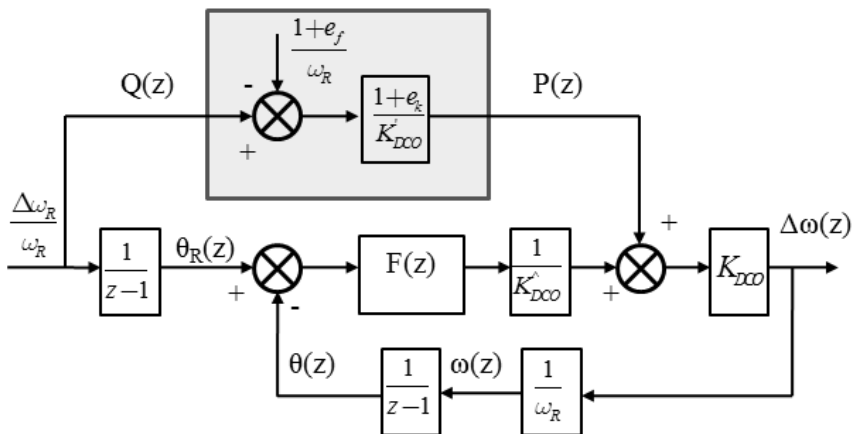


Hình 1. Đề xuất cấu trúc điều khiển vị trí đa kênh giảm nhiễu (ADRC) máy CNC

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Đề xuất khối tính toán giá trị đặt feed-forward cho bộ điều khiển ADRC

Mục đích của phương pháp tính toán feed-forward là kiểm soát đầu ra, cho phép theo dõi quỹ đạo đường đi với quỹ đạo mong muốn nhằm giảm thiểu sai số quỹ đạo. Khối tính toán feed-forward trực tiếp cung cấp dữ liệu đầu vào điều khiển cho vòng lặp bên trong, bỏ qua vòng lặp bên ngoài, vì phản hồi của vòng lặp bên trong nhanh hơn vòng ngoài của cấu trúc vòng kín. Do đó, khối tính toán feed-forward cải thiện được đặc tính đáp ứng của vòng ngoài.



Hình 2. Đề xuất feed-forward cho truyền động servo

Khác với các đề xuất feed-forward trước đây ở tài liệu [10], [11], phương pháp đề xuất trên Hình 2 sử dụng nền tảng FPGA cho phép nâng cao tốc độ làm việc của bộ feed-forward và tái thay đổi các tham số cũng như tái cấu trúc hệ thống điều khiển. Các ký hiệu mô tả trên Hình 2 bao gồm:

$FF = P(z)/Q(z)$ là khối tính toán feed-forward

K_{DCO} là hàm truyền đối tượng có khâu phản hồi vòng.

$\Delta\omega_R/\omega_R$ là tốc độ đặt đầu vào theo tỷ lệ

θ_R là vị trí (góc) đặt đầu vào

θ là đầu ra của vị trí (góc)

$\Delta\omega$ là đầu ra sai lệch tốc độ đáp ứng (vận tốc)

$F(z)$ Bộ điều khiển số hệ thống truyền động

Quan hệ vào ra của khối tính toán feed-forward được đề xuất như phương trình (1)

$$P(z) = \left[Q(z) - \frac{(1 + e_f)}{\omega_R} \right] \frac{1 + e_k}{K'_{DCO}} \quad (1)$$

Tham số điều khiển K'_{DCO} , e_f là bù sai lệch "offset" và e_k bù sai lệch chuẩn. Các giá trị này được xác định khi chạy ở tốc độ tự do nhằm tăng khả năng dự báo đáp ứng. Tất cả các giá trị đặt được sử dụng trong điều khiển feed-forward đều đã biết trước hoặc có thể lấy từ chính vòng lặp của hệ thống. Cụ thể, cần phải có ba tham số cho điều khiển feed-forward lần lượt là: ω_R là tốc độ đặt, e_k là bù sai lệch chuẩn, K'_{DCO} hệ số khuếch đại theo tỷ số $K'_{DCO} = K_{DCO}/\hat{K}_{DCO}$.

Từ giá trị trên, điều khiển feed-forward tính toán bù sai lệch giá trị đặt và giá trị phản hồi. Phần tử đầu tiên, tốc độ đặt ω_R là một tham số được xác định bởi người thiết kế và được biết trước cài đặt trong bộ điều khiển. Giá trị K'_{DCO} hoặc K_{DCO} cũng được chỉ định bởi người thiết kế và có thể được chỉ định cụ thể thông qua tốc độ đặt ω_R .

Ở đây, tốc độ đặt đầu vào ($\Delta\omega_R/\omega_R$), còn được gọi là điều khiển tốc độ, và hệ số bù tốc độ $1/\omega_R$ được chuyển sang "0". Điều này có thể được thực hiện bằng cách vô hiệu hóa bộ cộng, hoặc ghép kênh trong đầu vào "0" cho bộ cộng. Tiếp theo, bộ phản hồi cũng được đặt lại thành "0", sau một khoảng thời gian tham chiếu bằng cách cập nhật $\Delta\omega$. Theo tài liệu [12] hệ thống điều khiển được tổng hợp khi chưa có điều khiển feed-forward như sau:

$$\Delta\omega = \frac{F(z).K'_{DCO}}{\omega_R.(z-1) + F(z).K'_{DCO}} \frac{\Delta\omega_R}{\omega_R} \quad (2)$$

Các tham số được biết trước, hàm truyền bên phải phản ứng với bất kỳ thay đổi tốc độ đầu vào ($\Delta\omega_R/\omega_R$). Và hệ thống được tổng hợp có điều khiển feed-forward (Hình 2), bỏ qua các sai lệch e_f và e_k :

$$\Delta\omega \left(1 + \frac{F(z).K_{DCO}}{\omega_R.(z-1).K'_{DCO}} \right) = \frac{\Delta\omega_R}{\omega_R} \cdot \frac{F(z).K_{DCO}}{(z-1).K'_{DCO}} + \frac{\Delta\omega_R}{\omega_R} \cdot \frac{K_{DCO}}{K'_{DCO}} - \frac{K_{DCO}}{\omega_R.K'_{DCO}} \quad (3)$$

Đối với chế độ hoạt động bình thường điều chỉnh nhiễu động số (DCO) được thiết kế $K'_{DCO} = \omega_R$ thay thế điều này vào kết quả (3) ta được:

$$\Delta\omega = \omega_R \frac{\Delta\omega_R}{\omega_R} = \Delta\omega_R \quad (4)$$

Trong các tài liệu tham khảo [10], [11], [12], $\Delta\omega_R/\omega_R$ về cơ bản là đồng nhất và chỉ cung cấp thời gian tỷ số $\omega/\omega_R=1$ hoặc tỷ số giữa tốc độ đầu ra dự kiến và tốc độ tham chiếu đầu vào. Tuy nhiên, trong thực tế không thể xác định chính xác tốc độ DCO và sự xuất hiện DCO trong K'_{DCO} và khi chúng ta xem xét những sai lệch e_f và e_k thì mô hình điều khiển biểu diễn như sau ($K^{\Lambda}_{DCO} = \omega_R$):

$$\frac{\Delta\omega_R}{\omega_R} \cdot \omega_R + \frac{\Delta\omega_R}{\omega_R} \omega_R \frac{e_k \cdot (z-1) \cdot \omega_R}{\omega_R \cdot (z-1) + F(z) \cdot K'_{DCO}} - \frac{(e_k + e_f + e_k \cdot e_f)(z-1) \cdot \omega_R}{(z-1) \cdot \omega_R + F(z) \cdot K'_{DCO}} \quad (5)$$

Về bên phải của phương trình (5) bao gồm 3 phần: Mệnh đề thứ nhất là bù feed-forward, phần tiếp theo là kết quả bù DCO và phần cuối là các sai lệch e_f và e_k . Vì nó chỉ phụ thuộc vào tốc độ chạy tự do là không đổi, vòng lặp sẽ tự động bù cho phần này khi tự động khởi động. Sau khi nó được bù sẽ không còn ảnh hưởng đến chuyển mạch tiếp theo của tốc độ đầu vào.

Sai số dự báo của các đặc tính DCO được thể hiện qua phần thứ hai, nó tỷ lệ với thay đổi tham chiếu đầu vào $\Delta\omega_R/\omega_R$ và được diễn đạt như sau: Thứ nhất, nó chỉ phụ thuộc vào sai lệch dự đoán tăng của DCO và không phải trên hiệu suất tốc độ của DCO. Điều này, có nghĩa là ngay cả khi tốc độ chạy tự do không được ước tính chính xác, nó không ảnh hưởng đến tính năng chuyển đổi của DCO trong quá trình thay đổi tốc độ. Thứ hai, chức năng chuyển vị của nhóm thứ hai trong (5) tương tự với mệnh đề bên phải trong (2) và phụ thuộc hàm $F(z)$ của bộ lọc.

$$F(z) = K \frac{\prod_{i=1}^m (z - Z_i)}{\prod_{j=1}^n (z - P_j)} = K \frac{(z - Z_1) \cdot (z - Z_2) \dots (z - Z_m)}{(z - P_1) \cdot (z - P_2) \dots (z - P_n)} \quad (6)$$

Trong đó:

K là độ lợi của bộ lọc,

$Z_i (i = 1 \dots m)$ là các điểm không của bộ lọc

$P_j (j = 1 \dots n)$ là các điểm cực của bộ lọc

Từ phương trình (3) và (6) ta có phương trình (7):

$$\Delta\omega = \omega_R \frac{(e_k + 1) \cdot (z-1) \cdot \omega_R \cdot \prod_{j=1}^n (z - P_j) + K \cdot \prod_{i=1}^m (z - Z_i) \cdot K'_{DCO}}{(z-1) \cdot \omega_R \cdot \prod_{j=1}^n (z - P_j) + K \cdot \prod_{i=1}^m (z - Z_i) \cdot K'_{DCO}} \quad (7)$$

Từ phương trình (7), ta thấy rằng sự ổn định của một hệ thống phụ thuộc vào đặc tính hàm truyền, có thể kết luận rằng việc bổ sung điều khiển feed-forward không ảnh hưởng đến sự ổn định ban đầu và không phụ thuộc vào tốc độ cũng như băng thông của tốc độ xung trong truyền động servo.

2.2. Đề xuất phương pháp điều khiển giảm nhiễu đa kênh - ADRC

Đối với máy công cụ việc điều khiển nhiều trục cùng một lúc và đồng bộ là cần thiết cho quỹ đạo chuyển động dao cụ CNC, mỗi trục cần chuyển động chính xác đã được đề xuất giải pháp tính toán feed-forward.

Hệ thống điều khiển đa kênh ADRC cung cấp việc theo dõi đường viên với độ chính xác cao dưới các điều kiện làm việc khác nhau với sự có mặt của tải khác nhau, sự bất định của tham số và nhiễu phi tuyến mạnh mẽ. Phù hợp với vấn đề được nêu ra, một số tài liệu cung cấp nhiều cách tiếp cận khác nhau cho cách giải quyết của chúng. Có nhiều cách tiếp cận dựa vào một mô hình hệ thống [1], ở đó một phương pháp điều khiển thích nghi mạnh mẽ dựa trên thông tin vị trí phản hồi để đạt được độ chính xác mong muốn. Bộ điều khiển truyền động servo tổng quát cho hệ thống chuyển động đa kênh được đề xuất như tài liệu [2].

Xét hệ thống MIMO có m trục với đầu vào $u_i(t)$ và đầu ra $\theta_i(t)$ với $i = 1, 2, \dots, m$. Phương trình truyền động trục thứ i được mô tả như sau:

$$\frac{d^2\theta_i}{dt} = g_i \left(\frac{d^2\Phi}{dt}, \frac{d\Phi}{dt}, \Phi \right) + \omega_i(t) + b_i(t)u_i(t) \quad (8)$$

Trong đó:

$u_i(t)$ và $\theta_i(t)$ là đầu vào và đầu ra của hệ truyền động thứ i ,

g_i là hàm phi tuyến động lực học hệ truyền động thứ i , $\Phi = [\theta_1(t), \theta_2(t), \dots, \theta_m(t)]$.

Nhiều tải được mô tả bằng $\omega_i(t)$ và tham số bất định của các trục $b_i(t)$.

$$b_i(t) = b_{0i} + \Delta b_i(t) \quad (9)$$

Trong đó: b_{0i} là tham số ước lượng gần nhất của trục thứ i và $\Delta b_i(t)$ là giá trị nhiễu tải:

Khi đó, phương trình (8) được viết lại.

$$\ddot{\theta}_i(t) = b_{0i}u_i(t) + g_i(\ddot{\Phi}, \dot{\Phi}, \Phi) + \omega_i(t) + \Delta b_i(t)u_i(t) = b_{0i}u_i(t) + f_i(t) \quad (10)$$

Trong đó: $f_i(t)$ tổng nhiễu của trục thứ i .

Đặt các biến trạng thái:

$$x_1(t) = \theta(t), \quad x_2(t) = \dot{\theta}(t), \quad x_3(t) = f(t)$$

Khi đó, mô hình không gian trạng thái của (10) được hình thành như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ b_0 \\ 0 \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \dot{f}(t) \quad (11)$$

$$\text{Đặt } A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ b_0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad E = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{Khi đó, } \theta(t) = [1 \ 0 \ 0] [x_1(t) \ x_2(t) \ x_3(t)]^T = Cx$$

Phương trình trạng thái tuyến tính mở rộng dưới dạng khâu quan sát.

$$\dot{x}' = A \begin{bmatrix} x'_1(t) \\ x'_2(t) \\ x'_3(t) \end{bmatrix} + Bu(t) + L(\theta(t) - x'_1(t)) \quad (12)$$

Có thể thấy rằng quan sát trạng thái tuyến tính hóa theo Luenberger, có thể thấy tất cả các cực giống nhau.

$$\lambda(s) = (s + \omega_{obs})^3 \quad (13)$$

Trong đó:

$\lambda(s)$ là đa thức của quan sát trạng thái tuyến tính (LESO), ω_{obs} là băng thông, khi đó các hệ số quan sát xác định như sau:

$$l_1 = 3\omega_{obs}, l_2 = 3\omega_{obs}^2, l_3 = 3\omega_{obs}^3 \quad (14)$$

Tổng nhiễu có thể được khử nhờ, sử dụng ước lượng từ $x'_3(t)$

$$u(t) = \frac{u_0(t) - x'_3(t)}{b_0} \quad (15)$$

Thay thế (15) vào (10) ta có hệ thống được xấp xỉ để có cấu trúc tích hợp bậc 2:

$$\ddot{\theta}(t) = b_{0i} \frac{u_0(t) - x'_3(t)}{b_0} + f_i(t) \approx b_{0i} \frac{u_0(t) - f(t)}{b_0} + f_i(t) = u_0(t) \quad (16)$$

Luật điều khiển $u_0(t)$ được mô tả như sau:

$$u_0(t) = \ddot{r}(t) + k_p (r_i - x'_1(t)) + k_d (\dot{r}(t) - x'_2(t)) \quad (17)$$

Trong đó: $r(t)$ là đầu vào tham chiếu và $\dot{r}(t)$, $\ddot{r}(t)$ các đạo hàm tương ứng và điều khiển loại trừ nhiễu tải (ADRC) mô tả như sau:

$$u(t) = \frac{k_p (r(t) - x'_1(t)) + k_d (\dot{r}(t) - x'_2(t)) + \ddot{r}(t) - x'_3}{b_0} \quad (18)$$

Với sai lệch trạng thái động, lựa chọn tham số điều khiển như sau:

$$k_p = \omega_c^2, k_d = 2\omega_c \text{ và } \omega_c \text{ là băng thông vòng kín} \\ \omega_{obs} = (3 \sim 10)\omega_c \quad (19)$$

2.3. Xây dựng bài toán mô phỏng

Để kiểm tra đánh giá kết quả đề xuất trên, nhóm tác giả xây dựng bài toán mô phỏng với các tham số dựa trên công trình [13], [14] cụ thể: Hệ truyền động servo các bộ điều khiển dòng PI, điều khiển tốc độ PI và điều khiển vị trí P [15]. Đối tượng có các tham số như trong bảng B. 1, bộ bù xung feed-forward kết hợp với P trong hệ thống điều khiển vị trí được nhóm tác giả đề xuất ở trên. Mô hình trạng thái của đối tượng được mô tả trong hệ phương trình (20)

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + B\lambda \\ y = Cx \end{cases} \quad (20)$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_{sd}} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{R_s}{L_{sq}} & -p\Phi_f \\ 0 & \frac{p}{J}\Phi_f & -\frac{f}{J} \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_{sd}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_{sq}} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Trong đó: x là biến trạng thái, y là đầu ra.

$$x = [i_{sd} \quad i_{sq} \quad \omega]^T; \quad y = [i_{sd} \quad \omega]^T \quad (22)$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_d \\ \lambda_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{sd} + \omega L_q i_{sq} \\ u_{sq} - \omega L_d i_{sd} \end{bmatrix} \quad (23)$$

Phương trình số hóa được mô tả như sau:

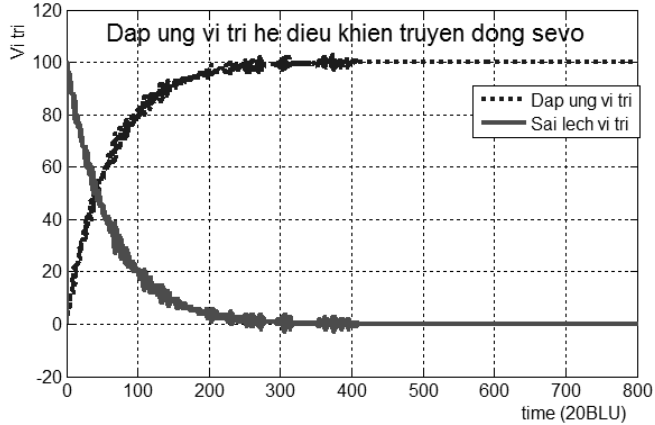
$$\begin{cases} x(k+1) = A_d x(k) + B_d \lambda(k) \\ y(k+1) = Cx(k+1) \end{cases} \quad (24)$$

$$\begin{cases} A_d = e^{A T} \\ B_d = A^{-1} (e^{A T} - I_{3 \times 3}) B \end{cases} \quad (25)$$

Bảng 1. Tham số đối tượng dùng mô phỏng theo [14]

Tham số	Giá trị
Điện trở stator R	4,8 Ω
Điện cảm dọc trục L	0,02 H
Hệ số động cơ K	0,4 Nm/A
Số đôi cực p	4
Từ thông kích từ B_m	0,00002 Nms/rad
Moomen quán tính J	1,6 kgcm
Điện áp u	300 V
Chu kỳ trích mẫu T_s	1
K_{is}	6
K_{ps}	2
Độ phân giải clock	20

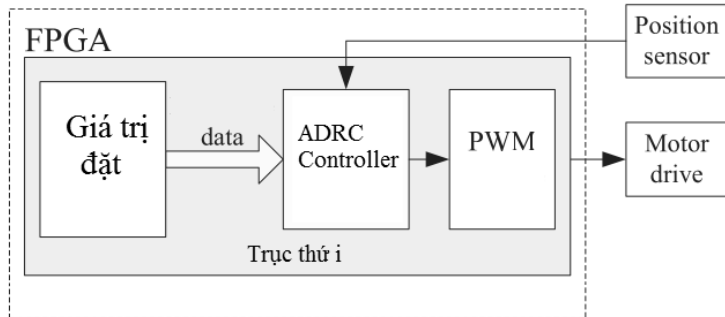
Giá trị đặt cho đáp ứng vị trí là $u_1=100$ và kết quả mô phỏng hệ thống theo luật điều khiển phương trình (18) bằng Matlab như trên Hình 3. Kết quả này cho thấy đáp ứng của hệ thống điều khiển tốt, thời gian đáp ứng được đánh giá qua $400 \text{ BLU} \times 20 \text{ ps} = 8 \text{ ns}$. Như vậy hệ thống ổn định sau 40 chu kỳ xung so với [14] lên đến 60 chu kỳ xung và $1,5 \text{ s} / 0,001 = 1500$ chu kỳ xung [10].



Hình 3. Kết quả mô phỏng đáp ứng điều khiển feed-forward cho hệ truyền động servo

2.4. Xây dựng bộ điều khiển giảm nhiễu đa kênh (ADRC) trên nền FPGA

Như đã biết FPGA cho phép can thiệp cấu trúc phần cứng và tái cấu trúc lại từng phần, điều đó cho phép người dùng xây dựng nhiều bộ điều khiển bằng phần cứng [11]. Việc xây dựng phần cứng được thực hiện đồng thời dựa trên kiến trúc song song, so với thực hiện trên phần mềm theo kiến trúc tuần tự, cho phép xử lý nhiều chức năng cùng một thời điểm và giảm tải cho CPU. Sử dụng ngôn ngữ mô tả phần cứng ta có thể tùy biến cấu trúc như thay đổi tham số P, I, D và thay đổi số bit dữ liệu. Dữ liệu được xây dựng trong trường hợp này 32 bit. Cấu trúc hệ thống điều khiển vị trí đa kênh cho máy CNC được mô tả trên Hình 4.



Hình 4. Kiến trúc phần cứng trên FPGA

Để thực hiện trên FPGA ta tiến hành số hóa phương trình trạng thái hệ thống (11) và luật điều khiển của phương trình (18) ta có:

$$x'_1(k) = x'_1(k-1) + x'_2(k-1)T_s + x'_3(k-1)\frac{T_s^2}{2} + u(k-1)b_0\frac{T_s^2}{2} + e(k-1)l_{p1}$$

$$x'_2(k) = x'_2(k-1) + x'_3(k-1)T_s + u(k-1)b_0T_s + e(k-1)l_{p2}$$

$$x'_3(k) = x'_3(k-1) + e(k-1)l_{p3}$$

$$u(k) = \left[k_p(x'_1(k) - r(k)) + k_d(x'_2(k) - \dot{r}(k)) + (x'_3(k) - \ddot{r}(k)) \right] / b_0$$

$$e(k) = \theta(k) - x'_1(k)$$

Trong đó:

l_{p1}, l_{p2}, l_{p3} là hệ số khuếch đại của khâu quan sát rời rạc, được xác định:

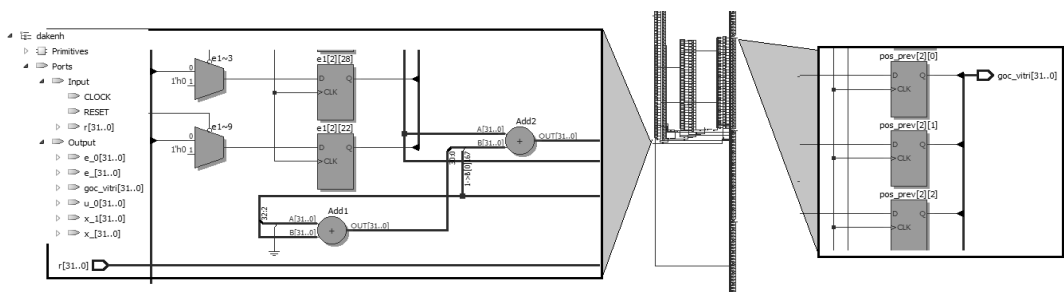
$$\begin{aligned}
 l_{p1} &= 3(1 - \beta), \\
 l_{p2} &= \frac{(\beta^3 + 3\beta^2 - 9\beta + 5)}{2T_s}, \\
 l_{p3} &= \frac{1/T_s^2}{(1 - \beta)^3}
 \end{aligned}
 \tag{26}$$

Với:

$$\beta = e^{-\omega_{obs}T_s}, \quad r(k) = A \sin(\omega k T_s), \quad \dot{r}(k) = A \omega \cos(\omega k T_s),$$

$$\ddot{r}(k) = -A \omega^2 \sin(\omega k T_s),$$

Khi đó, hệ thống số hóa xây dựng trên FPGA được biểu diễn trên Hình 5.



Hình 5. Kết quả thiết kế hệ thống điều khiển đa kênh ADRC được xây dựng trên FPGA

Thực hiện mô phỏng hệ thống điều khiển ADRC với luật điều khiển đầu vào $u(k)$ sử dụng bộ lọc nhân quả FIR qua 2 bước trên FPGA (dữ liệu định dạng số nguyên 32 bit), các tham số đối tượng như bảng B. 1 và các tham số cài đặt FPGA như ở bảng B. 2.

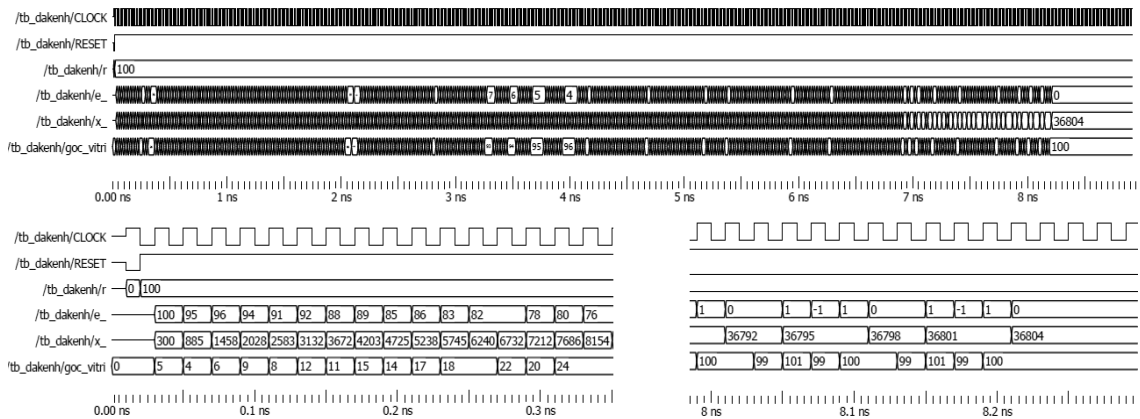
Như vậy, dựa trên thiết kế hệ thống điều khiển ADRC, nhóm tác giả tiến hành xây dựng cấu trúc điều khiển ADRC trên nền FPGA bằng ngôn ngữ Verilog có sử dụng tính toán feed-forward của bộ điều khiển vị trí cho hệ truyền servo máy CNC. Kết quả mô phỏng trên bộ điều khiển vị trí trên nền FPGA bằng phần mềm ModelSim được thể hiện trên Hình 6.

Bảng 2. Tham số cài đặt trên FPGA

Tham số mô phỏng FPGA	Giá trị
Tần số xung nhịp clk	20ps
Thanh ghi dữ liệu (data)	32bit
Hệ số từ bậc 2 đối tượng	17
Hệ số từ bậc 1 đối tượng	-7
Hệ số mẫu bậc 2 đối tượng	1000
Hệ số mẫu bậc 1 đối tượng	1780
Hệ số mẫu bậc 0 đối tượng	900
Giá trị đặt	100

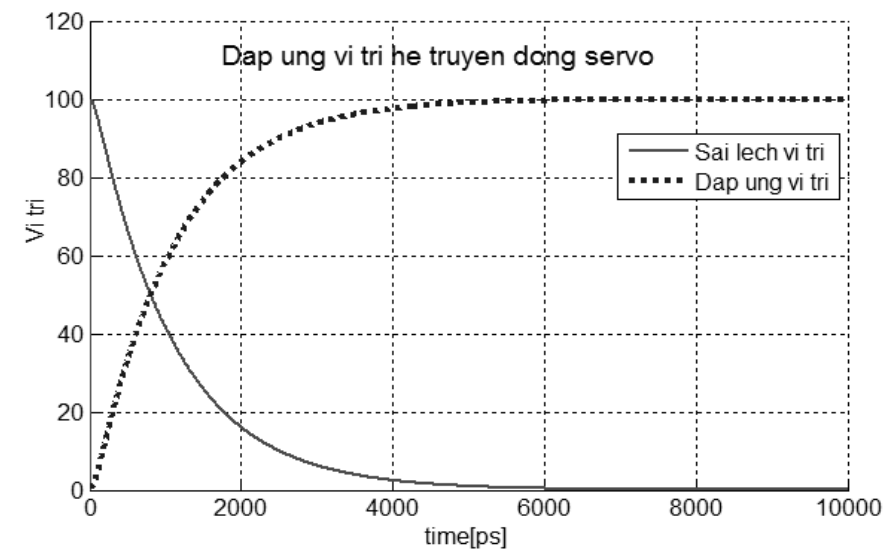
Kết quả này cho thấy bộ điều khiển ổn định trong khoảng thời gian 8,2ns (với chu kỳ clock 20ps). Giá trị đặt là 100, giá trị xác lập vị trí góc là 100 tương ứng biến trạng thái 36804 sai lệch vị trí là 0.

Như vậy, kết quả mô phỏng này phản ánh đúng với lý thuyết xây dựng trên và phù hợp với kết quả mô phỏng ở Hình 3, điều đó cho thấy hệ thống đáp ứng tốt và ổn định khi xây dựng hệ thống điều khiển truyền động servo của máy công cụ. Đối với xây dựng trên FPGA cho phép thực hiện nhanh và thực hiện đa kênh đồng thời, tái cấu trúc điều khiển một cách dễ dàng.



Hình 6. Kết quả mô phỏng bộ điều khiển vị trí đa kênh feed-forward kết hợp PID trên nền FPGA

Biểu diễn kết quả mô phỏng ở Hình 6 một cách trực quan, ta thấy hệ thống đáp ứng ổn định như Hình 7 về thời gian đáp ứng (8ns), biên độ và sai lệch là trùng khớp giữa lý thuyết mô phỏng trên matlab, trên ModelSim và biểu diễn giá trị trên FPGA.



Hình 7. Kết quả biểu diễn quỹ đạo vị trí trên FPGA

3. Kết luận

Với nội dung thực hiện ở trên, bài báo đã đưa ra được các vấn đề sau đây:

- Đề xuất giải pháp sử dụng feed-forward kết hợp ADRC trong điều khiển vị trí cho các hệ truyền động servo mang lại thời gian đáp ứng tốt hơn so với các bộ điều khiển trước đây. Kết quả mô phỏng là 40 chu kỳ máy so với 60 chu kỳ máy ở tài liệu [14] và 1500 chu kỳ máy ở tài liệu [10].

- Đề xuất sử dụng cấu trúc ADRC trên nền FPGA mang lại ưu điểm hơn so với các cấu trúc phần mềm trước đây như: thực hiện đa kênh điều khiển đồng thời, khả năng kháng nhiễu tải và người dùng có thể cài đặt các thuật toán mới vào cấu trúc điều khiển.

- Bảng kết quả mô phỏng trên phần mềm ModelSim trên FPGA cho kết quả phù hợp với mô phỏng Matlab và các lý thuyết nguyên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. M. Curkovic, K. Jezernik, and R. Horvat, "FPGA-based predictive sliding mode controller of a three-phase inverter," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 2, pp. 637–644, (2013).
2. O. Gulbudak and E. Santi, "FPGA-Based Model Predictive Controller for Direct Matrix Converter," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 63, no. 7, pp. 4560–4570, (2016).
3. M. Kumar and R. Gupta, "Stability and Sensitivity Analysis of Uniformly Sampled DC-DC Converter with Circuit Parasitics," *IEEE Trans. Circuits Syst. I Regul. Pap.*, vol. 63, no. 11, pp. 2086–2097, (2016).
4. J. R. Rivera-Guillen, J. De Jesus Rangel-Magdaleno, R. De Jesus Romero-Troncoso, R. A. Osornio-Rios, and R. G. Guevara-Gonzalez, "An open-access educational tool for teaching motion dynamics in multi-axis servomotor control", *IEEE Trans. Educ.*, vol. 55, no. 2, pp. 218–225, (2012).
5. P. Ponce, A. Molina, G. Tello, L. Ibarra, B. MacCleery, and M. Ramirez, "Experimental study for FPGA pid position controller in CNC Micro-machines," *IFAC Proc. Vol.*, vol. 48, no. 3, pp. 2203–2207, (2015).
6. M. Aboelaze and M. G. Shehata, "Implementation of Multiple PID Controllers on," *978-1-5090-0246-7/15/2015 IEEE*, pp. 446–449, (2015).
7. L. Kong, L. Zhu, L. Zhang, H. Bao, and C. Rao, "Real-Time Controller Based on FPGA and DSP for Solar Ground Layer Adaptive Optics Prototype System at 1-m NVST," *IEEE Photonics J.*, vol. 9, no. 2, pp. 1–11, (2017).
8. B. D. Reddy, N. K. Anish, M. P. Selvan, and S. Moorthi, "Embedded control of n-level DC-DC-AC inverter," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 30, no. 7, pp. 3703–3711, (2015).
9. H. Huang and W. Chou, "Hysteresis Switch Adaptive Velocity Evaluation and High-Resolution Position Subdivision Detection Based on FPGA", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 64, no. 12, pp. 3387–3395, (2015).
10. X. Ling, Q. Li, T. Wang, J. Dong, Z. Tang, and Y. Ding, "Research and Design of motion controller for CNC based on fuzzy PID algorithm with feedforward control", *Control. Autom. Syst. Eng. (CASE), 2011 Int. Conf.*, pp. 1–4, (2011).

11. T. Fongjun and K. Tanta-Ngai, “Improving efficiency of FPGA position control system”, *ECTI-CON 2011 - 8th Electr. Eng. Electron. Comput. Telecommun. Inf. Technol. Assoc. Thail. - Conf. 2011*, pp. 597–600, (2011).
12. W. Chaivipas, A. Matsuzawa, and P. C. Oh, “Feed-forward compensation technique for all digital phase locked loop based synthesizers”, *Proc. ISCAS 2006*, pp. 3209–3212, (2006).
13. A. Lagrioui, H. Mahmoudi, and B. Boussoufi, “Discrete Linear Predictive Control of Permanent Magnet Synchronous Motor (Pmsm)”, *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 31, no.1, pp. 21-28, (2011).
14. N. Katal, S. K. Singh, and M. Agrawal, “Optimizing response of PID controller for servo DC motor by genetic algorithm”, *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. Internatio, no.11 SUPPL., pp. 1464-1466, (2012).
15. L. Jarzebowicz, A. Opalinski, and M. Cisek, “Improving Control Dynamics of PMSM Drive by Estimating Zero-Delay Current Value”, pp. 20-23, (2015).

ĐÁNH GIÁ CHUYÊN VỊ MỤC TIÊU CỦA QUY TRÌNH PHÂN TÍCH TÍNH PHI TUYẾN TRONG THIẾT KẾ KHÁNG CHẤN

TRẦN THANH TUẤN*, NGUYỄN THỊ KHÁNH NGÂN, PHẠM THỊ LAN
Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn

TÓM TẮT

Bài báo này đánh giá chuyên vị mục tiêu cho nhà cao tầng trong quy trình phân tích tĩnh phi tuyến sử dụng các dạng tải ngang theo tiêu chuẩn FEMA-356 và phân tích đẩy dần theo dạng dao động (Modal Pushover Analysis) cho ba khung thép phẳng một nhịp 3, 6 và 9 tầng chịu tác động của hai bộ động đất với tần suất xảy ra là 2% và 10% trong 50 năm

Từ khóa: Phân tích tĩnh phi tuyến, phân tích đẩy dần, chuyên vị mục tiêu.

ABSTRACT

Evaluation of the Target Displacement of Nonlinear Static Analysis for Seismic Design

This paper is to estimate the target displacement for high-rise buildings in FEMA-356 Nonlinear Static Procedure (NSP) and Modal Pushover Analysis (MPA) procedure when it is applied to one-bay steel frames of 3, 6 and 9 stories. Each frame was analyzed by two set of 10 ground motions, and records were assembled representing probabilities of exceedance of 2% and 10% in 50 years.

Key words: Nonlinear static procedure, modal pushover analysis, target displacement.

1. Tổng quan

Phương pháp phân tích phi tuyến theo gián đồ gia tốc NL-RHA (Nonlinear Response History Analysis) là một công cụ mạnh trong đánh giá tác động của động đất đến công trình, ứng xử của kết cấu khi chịu động đất có thể được ước tính một cách chính xác. Tuy nhiên, phương pháp có một số hạn chế như: thời gian mô hình, chuẩn bị đầu vào, thời gian tính toán và việc giải thích kết quả làm cho việc sử dụng phương pháp phân tích như vậy không thực tế. Chính vì lý do này, nhiều nhà nghiên cứu đã đề xuất các phương pháp và các mô hình đơn giản hơn để ước tính tác động của động đất đến công trình. Các đề xuất đưa ra để đơn giản hóa quy trình phân tích thường dựa vào việc thay hệ nhiều bậc tự do-MDOF (multi-degree-of-freedom) thành hệ một bậc tự do tương đương-SDOF system (single-degree-of-freedom system) – đây chính là phép phân tích modal (modal analysis).

Phân tích tĩnh phi tuyến, hay phân tích đẩy dần đã được phát triển trong nhiều năm qua và đã trở thành một phương pháp được sử dụng phổ biến trong thiết kế và đánh giá động đất cho công trình. Nhiều công trình nghiên cứu khác nhau về các phương pháp phân tích của các tác giả đã được công bố: phương pháp phổ khả năng-CSM (Capacity Spectrum Method) được trình bày trong ATC-40 (Applied Technology Council, 1996) [1], phương pháp hệ số chuyển vị-DCM (Displacement Coefficient Method) được trình bày trong FEMA-356 (Federal Emergency

*Email: tranthanhtuan@qnu.edu.vn

Ngày nhận bài: 17/10/2017; Ngày nhận đăng: 20/12/2017

Management Agency) [2], và phương pháp phân tích đẩy dần MPA (Modal Pushover Analysis) [3, 4] do Chopra và Goel đề xuất.

Phương pháp hệ số chuyển vị DCM trình bày trong FEMA-356 [2] là một phương pháp xấp xỉ dựa trên hệ số hiệu chỉnh chuyển vị. Chuyển vị lớn nhất của hệ nhiều bậc tự do được hiệu chỉnh thành chuyển vị của hệ một bậc tự do tương đương bằng một số các hệ số. Theo FEMA-356 [2], phản ứng địa chấn của kết cấu được tính toán bằng phương pháp tĩnh phi tuyến, trong đó kết cấu chịu tác động của tải bất biến không đổi theo chiều cao đến khi đạt chuyển vị mục tiêu. Các dạng tải được đề xuất trong FEMA-356 là tải phân bố tương đương (Equivalent lateral force (ELF) distribution), tải phân bố theo dạng dao động cơ bản (Fundamental mode distribution), tải phân bố đều (Uniform distribution),...

Trong phản ứng của công trình dưới tác động của động đất, dạng dao động đầu tiên là phản ứng chủ yếu của kết cấu, điều này là phù hợp cho các công trình thấp tầng, có dao động trong khoảng 1 giây và đường cong khả năng được xây dựng từ dạng dao động đầu tiên của công trình. Tuy nhiên, với những công trình cao tầng, khi sự đóng góp của những dao động tiếp theo là đáng kể thì phương pháp tĩnh phi tuyến không còn chính xác. Để khắc phục hạn chế này, một phương pháp cải tiến phương pháp tĩnh phi tuyến, được gọi là phương pháp phân tích tĩnh sử dụng lực ngang dựa trên dạng dao động có xét đến đóng góp của các dạng dao động cao MPA (phương pháp phân tích đẩy dần theo dạng chính), được đề xuất bởi Chopra và Goel (2002). Phản ứng địa chấn trong MPA được xác định từ phân tích đẩy dần, dùng phân phối lực quán tính ứng với mỗi dạng dao động nhằm xác định chuyển vị mục tiêu. Sau đó, các đáp ứng đỉnh của phân phối lực $\mathbf{s}_n^* = \mathbf{m}\phi_n$ và phân tích động lực học ở dao động thứ n của hệ SDF không đàn hồi, được kết hợp bằng cách sử dụng một quy tắc tổ hợp căn bậc hai của tổng bình phương - SRSS để bao hàm được tất cả đáp ứng.

Trong nghiên cứu này, phương pháp phân tích đẩy dần theo dạng dao động MPA và theo các dạng tải ngang khác nhau được đề xuất trong FEMA-356 được đề xuất để đánh giá ứng xử của kết cấu chịu động đất. Các kết quả về chuyển vị mục tiêu được đưa ra để đánh giá sai lệch và độ chính xác của các phương pháp đối với khung thép chịu tác động động đất. Qua đó có thể đánh giá sự đóng góp của phương pháp này trong thiết kế công trình thực tế chịu động đất.

2. Các phương pháp phân tích

2.1. Phân tích phi tuyến theo miền thời gian NL-RHA

Phương trình thể hiện phản ứng của công trình chịu tải trọng động đất với gia tốc nền $\ddot{u}_g(t)$ như sau:

$$\mathbf{m}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{c}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{f}_s(\mathbf{u}, \text{sign } \dot{\mathbf{u}}) = -\mathbf{m}\ddot{u}_g(t) \quad (1)$$

Trong đó:

- \mathbf{u} là vector của chuyển vị.
- \mathbf{m} , \mathbf{c} , và \mathbf{k} là ma trận khối lượng, ma trận hệ số cản ban đầu, và ma trận độ cứng của hệ.
- $\mathbf{1}$ là vector ảnh hưởng với mỗi phần tử bằng một đơn vị.

Vế phải của phương trình (1) được xem là lực động đất:

$$\mathbf{p}_{\text{eff}}(t) = -\mathbf{m}\ddot{u}_g(t) \quad (2)$$

Lực động đất có thể xác định:

$$\mathbf{p}_{\text{eff}}(t) = \sum_{n=1}^N \mathbf{p}_{\text{eff},n} = \sum_{n=1}^N -\mathbf{s}_n \ddot{u}_g(t) \quad (3)$$

Với \mathbf{s}_n là lực phân phối cho hàm dạng thứ n

$$\mathbf{s}_n = \Gamma_n \mathbf{m} \phi_n \quad (4)$$

Và

$$\mathbf{m}\mathbf{1} = \sum_{n=1}^N \mathbf{s}_n = \sum_{n=1}^N \Gamma_n \mathbf{m} \phi_n \quad (5)$$

Trong đó ϕ_n là hàm dạng dao động thứ n của công trình, và

$$\Gamma_n = \frac{L_n}{M_n}, L_n = \phi_n^T \mathbf{m}\mathbf{1}, M_n = \phi_n^T \mathbf{m} \phi_n \quad (6)$$

Lực động đất ở hàm dạng thứ n trình bày ở phương trình (3) có thể được viết lại như sau:

$$\mathbf{p}_{\text{eff},n} = -\mathbf{s}_n \ddot{u}_g(t) \quad (7)$$

Đóng góp của lực động đất $\mathbf{p}_{\text{eff},n}$ đến đáp ứng của hệ MDOF không đàn hồi là của toàn bộ n dạng dao động.

Các phân tích dạng dao động cơ bản thì không đi sâu vào vùng dẻo vì sự kết hợp của các dạng dao động nhằm làm dẻo kết cấu. Các dạng dao động khác dạng dao động thứ n cũng sẽ đóng góp đến đáp ứng của hệ:

$$\mathbf{u}_n(t) = \sum_{r=1}^N \phi_r q_r(t) \quad (8)$$

Tuy nhiên, Chopra và Goel (2002) đã chứng minh rằng sự đóng góp của các dạng dao động khác dao động thứ n là tương đối nhỏ. Mở rộng chuyển vị của hệ không đàn hồi được giới hạn bởi các dạng dao động tự nhiên của hệ tuyến tính tương ứng, chúng ta có:

$$\mathbf{u}(t) = \sum_{n=1}^N \phi_n q_n(t) \quad (9)$$

Thay phương trình (9) vào phương trình (1), và cùng nhân cả hai vế với ϕ_n^T , sau đó sử dụng trực giao khối lượng và hệ số cản của dạng dao động ta được:

$$\ddot{q}_n + 2\zeta_n \omega_n \dot{q}_n + \frac{F_{sn}}{M_n} = -\Gamma_n \ddot{u}_g(t), \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

Phương trình (10) đại diện cho N phương trình trong hệ cân bằng hàm dạng q_n . Không giống như hệ tuyến tính đàn hồi, những phương trình này là sự kết hợp cho hệ không đàn hồi.

2.2. Phân tích đẩy dần theo dạng dao động MPA (NSP-2)

Phương pháp MPA thực hiện việc tính toán tác động của động đất lên công trình theo hai giai đoạn:

Giai đoạn 1: thực hiện việc tính toán đẩy dần cho từng dạng dao động khác nhau của kết cấu có nhiều bậc tự do (ví dụ các dạng dao động 1, 2, 3...) để xác định đáp ứng của các dạng tương ứng ở các chuyển vị mục tiêu.

Giai đoạn 2: xác định đáp ứng toàn phần của hệ kết cấu bằng cách tổ hợp các phản ứng thành phần theo một trong các phương pháp tổ hợp các phản ứng lớn nhất của các dạng chính, ví dụ tổ hợp dạng căn bậc hai của tổng các bình phương (SRSS).

Phần dưới đây giới thiệu ngắn gọn chi tiết các bước tính toán của phương pháp MPA, đã được Chopra và Goel (2002) trình bày, bao gồm các bước sau:

1. Tính các tần số dao động tự nhiên, ω_n , và các vectơ dạng dao động (mode shape), ϕ_n , cho các dạng dao động đàn hồi tuyến tính của công trình.

2. Đối với dạng dao động thứ n, xây dựng đường cong đẩy dần biểu diễn mối quan hệ giữa lực cắt đáy-chuyển vị mái ($V_{bn} - u_m$) bằng cách phân tích tĩnh phi tuyến công trình, dùng lực phân phối $s_n^* = \mathbf{m}\phi_n$ với \mathbf{m} là ma trận khối lượng.

3. Lý tưởng hóa đường cong đẩy dần như một đường cong song tuyến tính (Hình 1a).

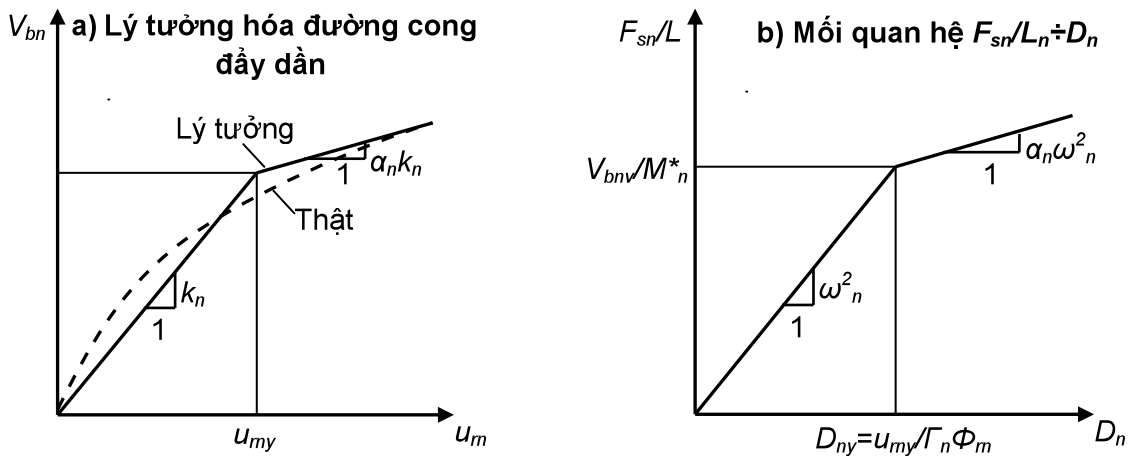
4. Chuyển đổi các đường cong lý tưởng đẩy dần qua mối quan hệ giữa lực ÷ biến dạng ($F_{sn} / L_n \div D_n$) của dạng dao động thứ n của hệ một bậc tự do không đàn hồi tương đương (Hình 1b) và xác định tần số dao động đàn hồi ω_n , và biến dạng dẻo D_{ny} . Dạng dao động thứ n của hệ một bậc tự do không đàn hồi tương đương được xác định bởi đường cong biểu diễn mối quan hệ lực - biến dạng (Hình 1b) (với hệ số độ cứng post-yield α_n) và hệ số cản ζ_n dành cho dạng dao động thứ n.

Với $M_n^* = \Gamma_n L_n$ là khối lượng tác động, $L_n = \phi_n^T \mathbf{m} \mathbf{l}$, $\Gamma_n = \frac{\phi_n^T \mathbf{m} \mathbf{l}}{\phi_n^T \mathbf{m} \phi_n}$ và mỗi phần tử véc

tơ ảnh hưởng \mathbf{l} là bằng véc tơ đơn vị.

5. Tính biến dạng đỉnh, $D_n = \max |D_n(t)|$, của dạng dao động thứ n của hệ một bậc tự do không đàn hồi với mối quan hệ lực - chuyển vị của Hình 1b do lực động đất $\ddot{u}_g(t)$ bằng cách giải phương trình phi tuyến:

$$\ddot{D}_n + 2\zeta_n \omega_n \dot{D}_n + \frac{F_{sn}(D_n, \dot{D}_n)}{L_n} = -\ddot{u}_g(t) \quad (11)$$



Hình 1. Lý tưởng hóa đường cong song tuyến tính

6. Tính toán chuyển vị đỉnh mục tiêu của hệ nhiều bậc tự do, u_{rno} kết hợp với dạng dao động thứ n hệ một bậc tự do không đàn hồi từ phương trình (12):

$$u_{rno} = \Gamma_n \phi_n D_n \text{ với } \Gamma_n = \frac{\phi_n^T m \mathbf{1}}{\phi_n^T m \phi_n} \quad (12)$$

7. Rút ra kết quả mong muốn, r_{no} , từ dữ liệu đường cong đẩy dãn khi chuyển vị đỉnh bằng chuyển vị u_{rno} .

8. Lập lại bước 2 đến bước 7 cho nhiều dạng dao động.

9. Xác định đáp ứng tổng r_{MPA} bằng cách kết hợp phản ứng của nhiều dạng dao động bằng cách sử dụng tổ hợp các phản ứng lớn nhất của các dạng chính dao động, ví dụ, căn bậc hai của tổng bình phương chuyển vị đỉnh được biểu diễn ở công thức (13):

$$r_{MPA} = \sqrt{\sum_{n=1}^j r_{no}^2} \quad (13)$$

Với j là số dạng dao động tham gia.

2.3. Phân tích tĩnh phi tuyến theo FEMA-356

Quy trình tĩnh phi tuyến trình bày trong Fema-356 được áp dụng cho kết cấu với dạng dao động đầu tiên chiếm ưu thế, không xét đến các dạng dao động cao hơn. Để giảm ảnh hưởng của dao động cao hơn đến kết cấu, hai quy trình phân tích phổ phản ứng được đưa ra: (1) xét các dao động chiếm 90% tổng khối lượng, và (2) sử dụng dạng dao động cơ bản.

Quy trình thực hiện gồm các bước sau:

a. Xác định đường cong khả năng:

Đường cong khả năng được thể hiện trong mối quan hệ chuyển vị đỉnh, u_m và lực cắt đáy, V_{bn} . Đường cong khả năng được xác định bởi lực tĩnh của kết cấu với tải ngang phân phối

theo một quy luật nhất định. Xác định chuyển vị đỉnh, u_m và lực cắt đáy, V_{bn} cho đến khi kết cấu xuất hiện điểm chảy dẻo đầu tiên. Tải trọng được gia tăng cho đến khi kết cấu xuất hiện khớp dẻo và đường cong khả năng được vẽ.

Các dạng tải được trình bày sau đây:

- Tải phân bố đều $\mathbf{s}_j^* = \mathbf{m}_j$, trong đó \mathbf{m}_j là khối lượng và \mathbf{s}_j^* là lực phân bố tại tầng j. Lưu ý rằng lực phân bố là như nhau tại tất cả các tầng nếu khối lượng các tầng là như nhau. (NSP-1)

- Tải tam giác phân bố theo chiều cao $\mathbf{s}_j^* = \mathbf{m}_j h_j^k$, trong đó \mathbf{s}_j^* và h_j^k là lực và chiều cao tại tầng j, trong đó $k=1$ nếu $T_1 \leq 0.5s$, $k=2$ nếu $T_1 \leq 2.5s$ và các giá trị khác nội suy. Dạng tải này được sử dụng trong trường hợp hơn 75% khối lượng tham gia dạng dao động cơ bản. (NSP-3)

b. Chuyển vị mục tiêu:

Chuyển vị mục tiêu được xác định qua công thức:

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_c}{2\pi} \right)^2 g \quad (14)$$

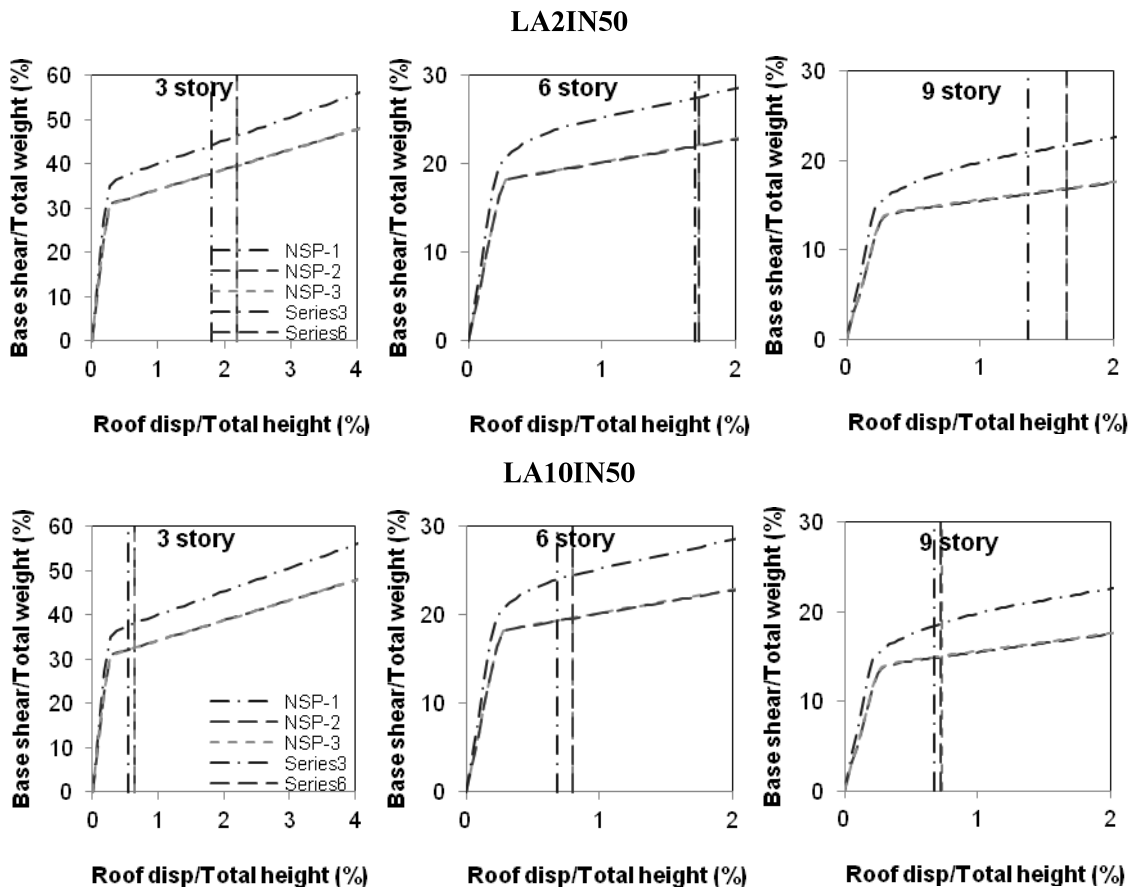
Trong đó:

- C_0 - hệ số hiệu chỉnh dựa trên phổ chuyển vị của hệ SDOF tương đương với chuyển vị đỉnh của hệ MDOF;
- C_1 - hệ số tương quan giữa biến dạng cực đại của hệ không đàn hồi và biến dạng của hệ đàn hồi tuyến tính;
- C_2 - hệ số có kể đến ảnh hưởng của vòng lặp trễ (pinch), sự suy biến độ cứng và sự giảm độ bền trên đáp ứng chuyển vị cực đại và hệ số hiệu chỉnh;
- C_3 - hệ số có kể đến hiệu ứng P- Δ , bỏ qua hệ số độ cứng (post-yeild).

3. Kết quả

Kết quả nghiên cứu cho khung thép một nhịp 3, 6 và 9 tầng (trong dự án SAC) chịu tác động của 20 trận động đất được chia thành 2 bộ, mỗi bộ có 10 trận động đất có tần suất là 10% trong 50 năm (LA10IN50) và 10 trận động đất có tần suất là 2% trong 50 năm (LA2IN50), nghĩa là xảy ra 1 lần trong 2475 năm và 475 năm [5].

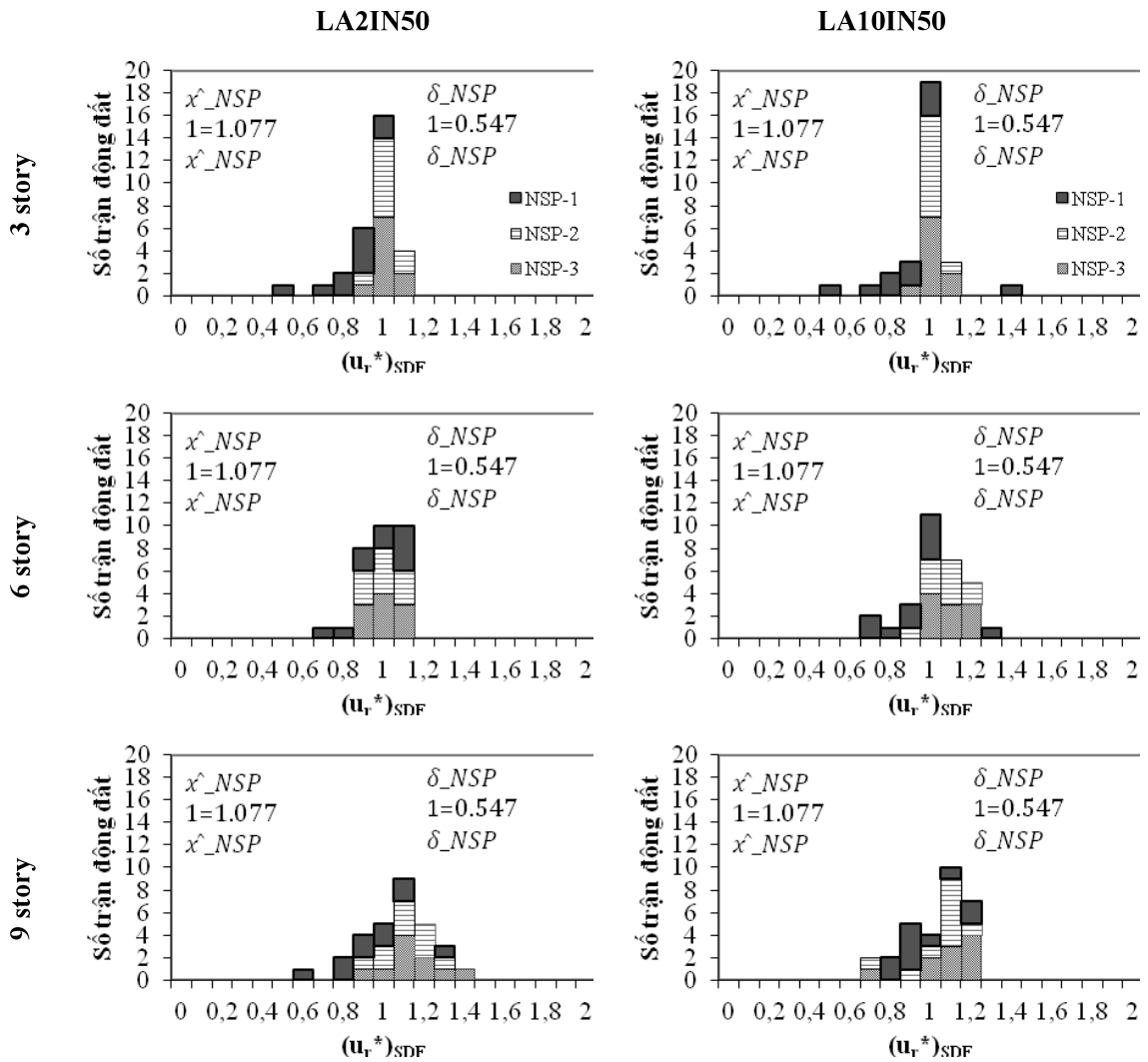
- Giá trị trung bình của chuyển vị mục tiêu được xác định từ các phương pháp được trình bày trong Hình 2.



Hình 2. Giá trị trung bình chuyển vị mục tiêu của các hệ khung

Khi so sánh độ chính xác chuyển vị đỉnh được xác định từ phương pháp đẩy dần theo dạng dao động NSP-2 và phân tích đẩy dần theo FEMA-356 chịu tải phân bố đều NSP-1, tải trọng tam giác NSP-3 so với nghiệm chính xác NL-RHA được thống kê theo hai bộ động đất. Độ chính xác của chuyển vị đỉnh được kiểm tra bằng cách xác định tỷ số giữa chuyển vị đỉnh dự đoán của hệ SDF và chuyển vị đỉnh được xác định từ phương pháp NL-RHA:

$(u_r^*)_{NSP} = (u_r)_{NSP} / (u_r)_{NL-RHA}$. Tỷ số $(u_r^*)_{NSP}$ càng gần 1 thì kết quả càng chính xác. Biểu đồ phân tán của tỷ số này được trình bày ở Hình 3.



Hình 3. Biểu đồ tỷ số $(u_r^*)_{NSP}$ của các hệ khung ứng với hai bộ động đất

Từ biểu đồ tỷ số $(u_r^*)_{NSP}$, tác giả có một số nhận xét như sau:

* Với mỗi bộ trận động đất khác nhau, độ lệch chuẩn và giá trị trung bình của chuyển vị đỉnh là khác nhau ở cùng một hệ khung. Với cùng một hệ khung, độ lệch chuẩn và giá trị trung bình của chuyển vị đỉnh là khác nhau ở hai bộ các trận động đất.

* Độ lệch chuẩn của chuyển vị đỉnh được xác định bằng phương pháp NSP-1 lớn hơn nhiều so với phương pháp NSP-2 và NSP-3 ở từng trận động đất cho từng hệ khung.

* Giá trị trung bình $(u_r^*)_{NSP}$ được xác định theo phương pháp NSP-1 là nhỏ nhất so với hai phương pháp còn lại.

Một cách biểu diễn khác của giá trị chuyển vị đỉnh: nếu lấy giá trị chuyển vị từ kết quả phương pháp NL-RHA là chuẩn, ta xem xét tập hợp điểm kết quả chuyển vị mái của các

phương pháp NSP-1, NSP-2 và NSP-3 ứng với hai bộ trận động đất được chọn sẽ hội tụ như thế nào đến đường chuẩn. Tập hợp các giá trị $(u_r^*)_{NSP}$ trên đường chuẩn $(u_r^*)_{NLRHA}$ có hệ số góc bằng 1 được trình bày tại Hình 4.

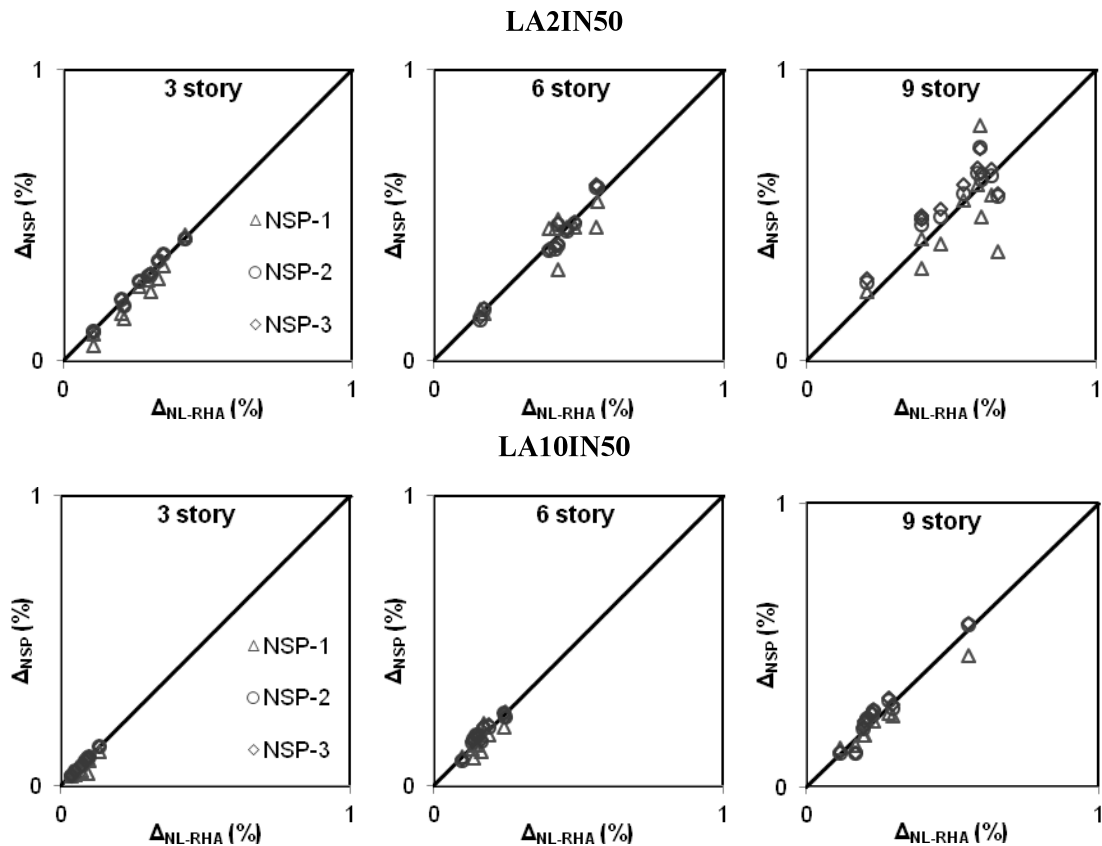
* Tập hợp những điểm chuyển vị đỉnh của mỗi hệ khung được xác định bằng các phương pháp chịu hai bộ các trận động đất luôn bám sát theo đường chuẩn.

* Độ phân tán những điểm chuyển vị đỉnh cho các trận động đất LA2/50 đối với mỗi hệ khung lớn hơn so với các trận động đất LA10/50 cho từng phương pháp.

* Với mỗi bộ các trận động đất, ở các hệ khung càng cao thì tập hợp các điểm chuyển vị đỉnh được xác định bởi các phương pháp càng phân tán, tách rời khỏi đường chuẩn.

* Đối với các trận động đất LA10/50, giá trị chuyển vị đỉnh trung bình của NSP-1 nằm dưới đường chuẩn ở các hệ khung 3, 6, 9 tầng, tức là giá trị chuyển vị đỉnh ước tính nhỏ hơn. Giá trị này càng chênh lệch với các hệ khung càng cao.

* Đối với mỗi hệ khung, tập hợp chuyển vị đỉnh của phương pháp NSP-2 và NSP-3 bám sát với đường chuẩn hơn so với phương pháp NSP-1.



Hình 4. Tập hợp các điểm chuyển vị đỉnh của các hệ khung

Kết quả sai lệch chuyển vị đỉnh của hệ khung ứng với mỗi bộ các trận động đất được trình bày trong bảng sau:

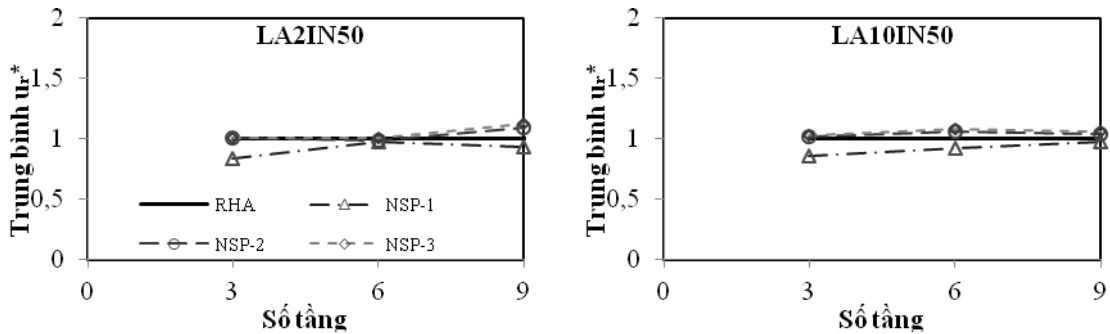
Bảng 1. Giá trị trung bình và sai lệch $(u_r^*)_{NSP}$ của các hệ khung

Hệ khung	LA2IN50						LA10IN50					
	NSP-1		NSP-2		NSP-3		NSP-1		NSP-2		NSP-3	
	\hat{x}	δ	\hat{x}	δ	\hat{x}	δ	\hat{x}	δ	\hat{x}	δ	\hat{x}	δ
3 tầng	0.835	0.202	1.007	0.048	1.011	0.046	0.863	0.290	1.014	0.027	1.025	0.030
6 tầng	0.979	0.144	0.986	0.068	1.003	0.062	0.924	0.175	1.062	0.096	1.086	0.092
9 tầng	0.930	0.238	1.094	0.122	1.130	0.122	0.977	0.138	1.036	0.151	1.064	0.149

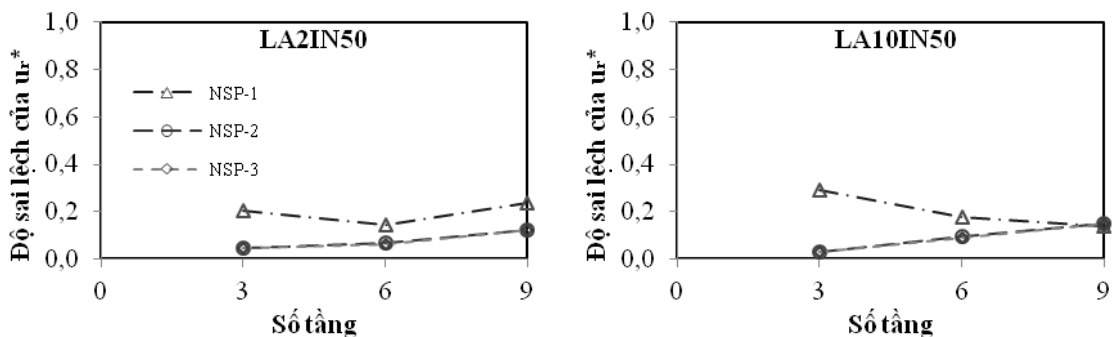
- Với cùng một bộ các trận động đất, với các hệ khung càng cao thì kết quả độ lệch chuẩn của phương pháp NSP-2 và NSP-3 càng tăng. Kết quả này đối với NSP-1 thì ngược lại ở hệ khung 9 tầng.

- Với cùng một hệ khung, độ lệch chuẩn của hệ khung ở các trận động đất LA2/50 lớn hơn nhiều so với trận động đất LA10/50.

Hình 5 và Hình 6 thể hiện giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của các hệ khung được xác định bởi các phương pháp NSP-1, NSP-2, NSP-3 so với nghiệm chính xác NL-RHA.



Hình 5.1. Giá trị trung bình chuyển vị đỉnh của các hệ khung được xác định bằng các phương pháp so với phương pháp NL-RHA



Hình 6.2. Sai lệch chuyển vị đỉnh của các hệ khung được xác định bằng các phương pháp so với phương pháp NL-RHA

4. Kết luận, kiến nghị

- Giá trị trung bình chuyển vị đỉnh được xác định bằng các phương pháp ở mỗi bộ động đất là khác nhau.

- Độ lệch chuẩn chuyển vị đỉnh của các hệ khung ứng với mỗi bộ các trận động đất được xác định bởi các phương pháp khác nhau thì khác nhau và có sự tách biệt giữa một nhóm là NSP-2, NSP-3 và nhóm còn lại là NSP-1. Độ lệch chuẩn của phương pháp NSP-1 lớn hơn nhiều so với phương pháp NSP-2 VÀ NSP-3 ở hai bộ động đất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ATC-40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Redwood City, California, (1996).
2. FEMA-356, Prestandard and Commentary for the Rehabilitation of Buildings, (2000).
3. Goel, R. K., and A. K. Chopra, *Evaluation of MPA Procedure Using SAC Buildings*, Journal of Structural Engineering, ASCE, submitted for publication, (2002).
4. Chopra A.K. and Goel R.K., *A Modal Pushover Analysis Procedure to Estimating Seismic Demands for Buildings: Theory and Preliminary Evaluation*, PERR Report 2001/03, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
5. Somerville, P. et al., *Development of Ground Motion Time Histories for Phase 2 of the FEMA/SAC Steel Project*. SAC Background Document Report No. SAC/BD-9/04, SAC Joint Venture, 555 University Ave., Sacramento, California, (1997).

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HÀM LƯỢNG VÀ CÁCH BỐ TRÍ CỐT THÉP ĐẾN ĐỘ CỨNG CHỐNG XOẮN CỦA SÀN

NGUYỄN MAI CHÍ TRUNG*, LÊ THỊ MAI TRANG, NGUYỄN THỊ KHÁNH NGÂN,
HOÀNG CÔNG VŨ, NGUYỄN NGỌC THẮNG
Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày một nghiên cứu về ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép, cách bố trí cốt thép đẳng hướng và trục hướng đến độ cứng chống xoắn của sàn bê tông cốt thép, bằng thực nghiệm và mô phỏng số. Độ cứng chống xoắn của sàn trước khi bê tông nứt và sau khi bê tông nứt đến thời điểm cốt thép bắt đầu chảy dẻo được xác định. Các kết quả thí nghiệm, kết quả mô phỏng số (FEA) và lời giải giải tích được so sánh với nhau.

Từ khóa: Độ cứng chống xoắn, phân tích phi tuyến, mô phỏng số.

ABSTRACT

A Study on the Effect of Steel Ratio and Steel Arrangement on Torsional Stiffness of RC Slabs

This paper presents a study on the effect of steel ratio and steel arrangement on the torsional stiffness of reinforced concrete slabs (RC Slabs), by experiment and finite element analysis. Torsional stiffness of slabs at pre-cracking stage and post-yielding of steel stage is determined. The test results are good in comparison with FEA and the analytical solution results.

Key words: Torsional stiffness, non-linear analysis, FEA.

1. Đặt vấn đề

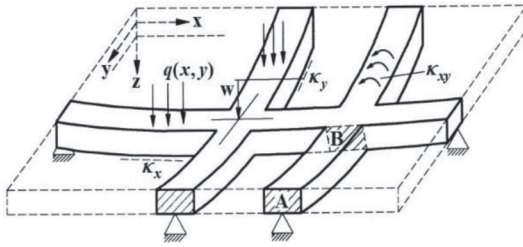
Xét một ô bản chữ nhật làm việc hai phương, bốn cạnh liên kết đơn giản. Chịu tải trọng phân bố đều q (kN/m²). Để thấy rõ hiệu ứng xoắn trong bản, xét một dải bản theo phương y , chứa các mặt cắt A và B , hình 1. Dưới tác dụng của tải trọng phân bố trên bề mặt bản, tại một vị trí y bất kỳ, thì tiết diện B đã bị thay đổi góc theo phương y so với tiết diện A , dẫn đến hiệu ứng xoắn trong bản. Nói một cách khác, sự xoắn trong bản chính là sự thay đổi góc φ_x theo phương y , hình 2.

Độ cứng của sàn phụ thuộc vào nhiều yếu tố: cường độ của vật liệu, kích thước của sàn, hàm lượng cốt thép, cách bố trí cốt thép và tải trọng tác dụng. Ứng xử của sàn rất khác nhau trước và sau khi bê tông nứt. Đặc biệt sau khi bê tông nứt và cốt thép bắt đầu chảy dẻo thì độ cứng của sàn giảm rất nhiều.

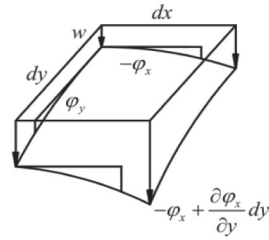
Theo đề nghị của CEB [2], khi nứt chủ yếu do uốn, độ cứng chống xoắn nên lấy bằng 25% của độ cứng đàn hồi ban đầu, và khi nứt chủ yếu do cắt hoặc xoắn, thì độ cứng chống xoắn lấy bằng khoảng 10% của độ cứng đàn hồi. Độ cứng chống xoắn của sàn trong giai đoạn đàn hồi,

* Email: nmctrung@ftt.edu.vn

Ngày nhận bài: 30/10/2017; Ngày nhận đăng: 05/01/2018



Hình 1. Hiệu ứng xoắn trong sàn [1]



Hình 2. Sự thay đổi góc φ_x theo phương y

$D_{xy,II}$, có thể xác định từ lời giải giải tích [3, 4, 5]. Tuy nhiên, độ cứng chống xoắn của sàn sau khi bê tông nứt và cốt thép bắt đầu chảy dẻo, $D_{xy,II}$ thì không thực sự rõ ràng. Khi sàn chủ yếu chịu uốn, tỷ số độ cứng uốn trước và sau khi bê tông nứt $D_I/D_{II} \approx 3-5$ có thể chấp nhận được, nhưng khi sàn chủ yếu chịu xoắn thì tỷ số này không còn hợp lý [6].

Có thể kể đến vài nghiên cứu thực nghiệm về ứng xử của sàn BTCT chịu xoắn, điển hình là Marti và cộng sự [7] đã nghiên cứu ứng xử của các tấm BTCT vuông chịu xoắn và trình bày phương pháp dự báo *tải trọng-biến dạng* của sàn. Gần đây nhất có Lopes và cộng sự [6] đã nghiên cứu độ cứng của sàn BTCT chịu xoắn trước và sau khi bê tông nứt, tuy nhiên kết quả chưa cho thấy rõ được ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép đến độ cứng chống xoắn của sàn.

Để nghiên cứu sự ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép đến độ cứng chống xoắn của sàn, đồng thời khảo sát sự giảm độ cứng chống xoắn trước và sau khi bê tông nứt, nhóm nghiên cứu đã làm các thí nghiệm cho hai tấm sàn vuông BTCT chịu xoắn, được bố trí cốt thép đẳng hướng, có hàm lượng cốt thép khác nhau. Kết quả thí nghiệm được dùng làm cơ sở để xây dựng mô hình phần tử hữu hạn (PTHH). Từ mô hình PTHH đã được khẳng định, ảnh hưởng của việc bố trí cốt thép trục hướng đến độ cứng chống xoắn được khảo sát. Các kết quả được trình bày ở mục 5.

2. Chương trình thí nghiệm

2.1. Mục đích

- (1) Nghiên cứu ứng xử của sàn BTCT chịu xoắn bao gồm: sự hình thành và phát triển vết nứt, ứng suất trong các thanh cốt thép, quan hệ *tải trọng - chuyển vị, mô men xoắn - độ xoắn*. Độ cứng chống xoắn của sàn tại thời điểm bê tông bắt đầu nứt và cốt thép bắt đầu chảy dẻo.
- (2) Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép đến độ cứng chống xoắn của sàn.

2.2. Mẫu thí nghiệm

Hai tấm sàn vuông BTCT, kích thước $1,9 \times 1,9 \times 0,15m$. Sàn được đặt cốt thép theo hai phương vuông góc nhau, lưới cốt thép ở mặt trên và dưới giống nhau. Cốt thép đường kính $10mm$, có mô đun đàn hồi $E_s = 194GPa$, giới hạn chảy $f_y = 468MPa$, giới hạn bền $f_u = 562MPa$. Bê tông ở 28 ngày tuổi có các đặc trưng cơ lý: mô đun đàn hồi $E_c = 28GPa$, cường độ chịu nén trung bình $f_{cm} = 38MPa$. Chi tiết các mẫu thí nghiệm được cho trong bảng 1. Trong đó, t là chiều dày thực tế của mẫu, f_{cm} là cường độ chịu nén trung bình của mẫu bê tông hình lập phương tại ngày thí nghiệm.

Để nghiên cứu ứng suất và biến dạng trong cốt thép, các strain gages được dán vào các

thanh cốt thép của một mẫu, trong đó lưới thép ở trên được dán sáu cái, lưới thép ở dưới được dán hai cái, hình 3. Vị trí dán các strain gages được căn cứ từ kết quả của FEA.

Tại các vị trí gối tựa và vị trí tác dụng tải trọng, các tấm thép kích thước 150×150×10 mm được đặt vào trong sàn để tránh sự tập trung ứng suất. Các mẫu được thiết kế để tránh xảy ra phá hoại do uốn hoặc cắt.

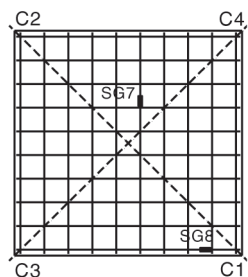
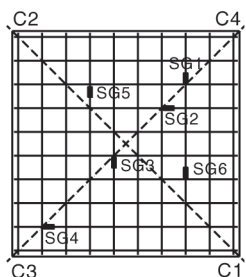
Bảng 1. Đặc trưng của mẫu thí nghiệm

Tên mẫu	t (cm)	Lưới thép	Hàm lượng thép (%)	Ngày tuổi của mẫu (ngày)	f_{cm} (MPa)
S1_I_a200_H150	15,5	φ10a200 (X,Y)	0,32	103	41,76
S2_I_a100_H150	15,4	φ10a100 (X,Y)	0,64	107	41,47

Giải thích ký hiệu tên mẫu: (S): sàn _ (I): cốt thép đẳng hướng (Isotropic)_(a): khoảng cách giữa các thanh cốt thép_(H): chiều dày sàn.

Thép lớp trên

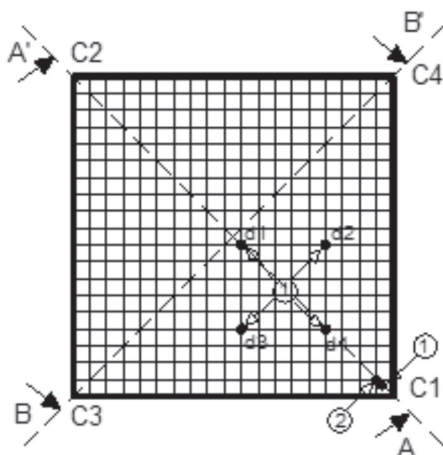
Thép lớp dưới



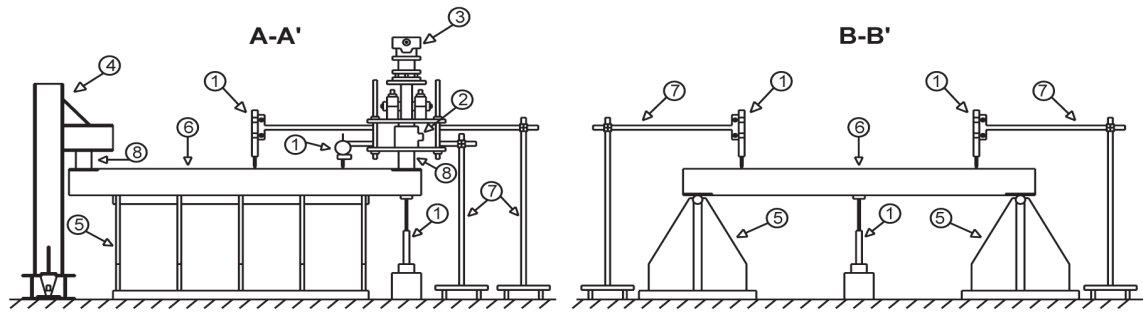
Hình 3. Vị trí dán các strain gage cho mẫu S1_I_a200_H150

2.3. Sơ đồ thí nghiệm

Để sàn chủ yếu chịu mômen xoắn, sơ đồ thí nghiệm được thiết kế như hình 4. Sàn được đặt trên mặt phẳng nằm ngang, nhờ các gối tựa rất cứng. Góc C3 và C4 được ngăn cản chuyển vị đi xuống, góc C2 được ngăn cản chuyển vị đi lên. Tải trọng tập trung được tác dụng tại góc C1.



- ① LVDTs
- ② Load cell LRCN 730 500
- ③ Kích gia tải động 500kN
- ④ Trụ thép
- ⑤ Dầm thép
- ⑥ Sàn
- ⑦ Giá đỡ LVDTs
- ⑧ Khối thép trụ
- C1- Tác dụng lực
- C2- Được ngăn cản chuyển vị lên
- C3, C4- Được ngăn cản chuyển vị xuống



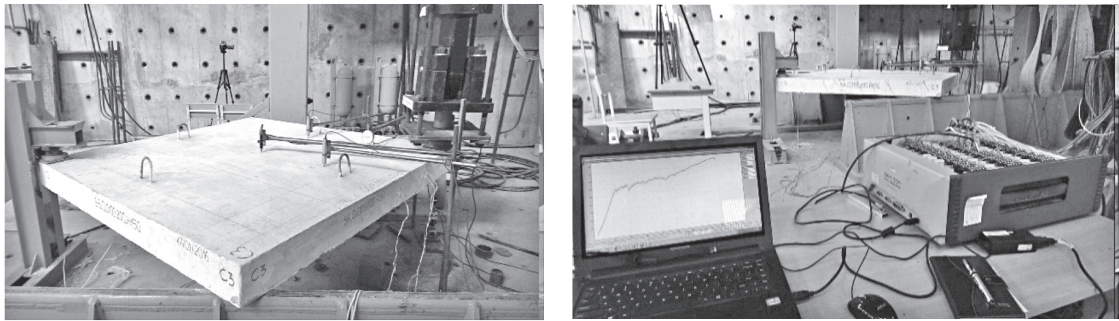
Hình 4. Sơ đồ bố trí thí nghiệm

Dùng bốn LVDTs để đo chuyển vị tại bốn điểm $d1, d2, d3, d4$ trên mặt sàn, khoảng cách giữa các LVDTs là 500 mm, một LVDT đo chuyển vị tại góc C1. Kích gia tải động 500 kN và Load cell LRCN 730 500 kN để đo lực tại góc C1.

2.4. Tiến hành thí nghiệm

Các sàn được gia tải một lực tập trung tại góc C1. Tải trọng được tăng dần, từ không cho đến khi sàn bị phá hoại, bởi một bộ kích gia tải có công suất 500 kN, hành trình tối đa của kích được thiết lập là 75 mm. Tốc độ gia tải là 0,05 mm/s. Các thiết bị LVDTs, Loadcell, Strain gages được kết nối với một Data Logger DRA-30A để đọc và ghi lại toàn bộ dữ liệu trong quá trình thí nghiệm, hình 5.

Với thí nghiệm đã thiết lập, mômen xoắn được phân bố đều trong sàn.



Hình 5. Quá trình thí nghiệm và ghi dữ liệu

3. Mô phỏng thí nghiệm bằng FEA

Các kết quả thí nghiệm được sử dụng để làm cơ sở cho việc xây dựng mô hình mô phỏng số (FEA), sau đó dùng mô hình số này để khảo sát tham số.

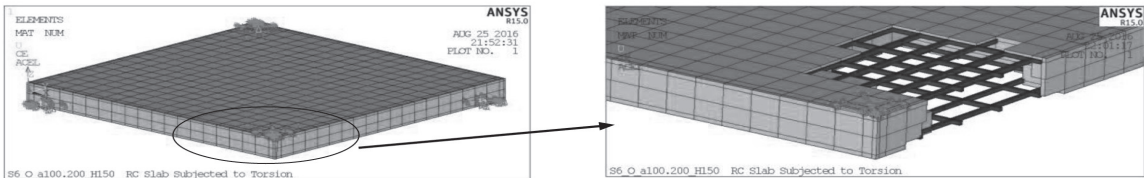
3.1. Phần tử hữu hạn, lưới và điều kiện biên

Mô hình phần tử hữu hạn được xây dựng trên phần mềm ANSYS V.15.0. Trong đó, phần tử khối SOLID65 được sử dụng để mô hình hóa cho bê tông. Phần tử gồm tám nút với ba bậc tự do tại mỗi nút theo các phương x, y, z . Tính chất quan trọng của phần tử này là cho phép định nghĩa vật liệu phi tuyến, xét được nút theo ba phương và dùng để mô tả vật liệu bê tông có chứa hàm lượng cốt thép. Vết nứt được mô hình hóa theo mô hình “smeared” [8, 9]. Cốt thép trong bê tông được mô hình hóa theo mô hình “discrete” [9] bằng phần tử LINK180, đây là phần tử thanh 3D,

có hai nút, mỗi nút có ba bậc tự do theo ba phương x, y, z. Phần tử khối SOLID185 được sử dụng để mô hình hóa các tấm thép dẹt.

Chia lưới cho mô hình: theo phương chiều dày, sàn được rời rạc thành bốn phần tử, theo hai phương còn lại, sàn được rời rạc thành 22 phần tử, hình 6. Việc chia lưới này đã được khảo sát và kiểm tra để cho kết quả ổn định.

Điều kiện biên: các nút trên tấm thép tại góc C2 được ngăn cản chuyển vị đi lên, $UZ=0$, để ma trận độ cứng không bị suy biến thì các nút trên tấm thép tại góc C3 và C4 được ngăn cản chuyển vị theo ba phương, $UX = 0, UY = 0, UZ = 0$.



Hình 6. Chia lưới và điều kiện biên

3.2. Luật vật liệu

Bê tông: quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông khi nén một trục được lấy theo mô hình của Kachlakev [10], hình 7a, với mô hình này cho kết quả đường (P-d) phù hợp với thí nghiệm nhất. Chi tiết về các phương trình tính toán xem trong [11, 12]. Quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông khi chịu kéo, được cho ở hình 7b [8]. Trong tính toán, độ cứng của phần tử theo phương vuông góc với mặt phẳng nứt bị chiết giảm theo hệ số truyền lực cắt qua vết nứt β_t và mô đun cát tuyến R_t [8]. Trong nghiên cứu này, lấy hệ số truyền lực cắt khi vết nứt mở $\beta_t = 0,35$ và khi vết nứt đóng $\beta_c = 0,7$ [9]. Mô đun đàn hồi và mô đun nứt của bê tông được xác định theo phương trình (1) và (2) [13, 14, 15]

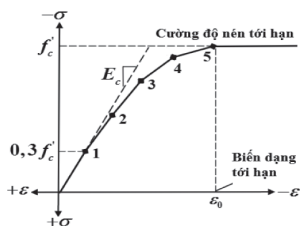
$$E_c = 0,043 \rho^{1,5} \sqrt{f'_c} \quad (1)$$

$$f_r = K \sqrt{f'_c} \quad (2)$$

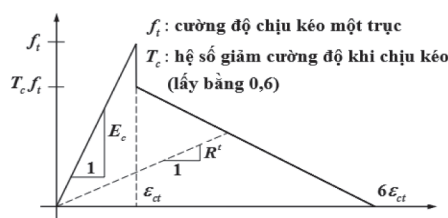
Với K là hệ số, có thể lấy bằng $8 \div 12$, xem trong [14], và có thể lấy bằng $9 \div 13$, xem trong [15]. Trong nghiên cứu này, lấy $K = 9,5 f'_c$ là cường độ chịu nén của bê tông ở ngày thí nghiệm tấm sàn, ρ là trọng lượng riêng của bê tông, ở đây lấy $\rho = 2400 \text{ kg} / \text{m}^3$.

Cốt thép: dùng mô hình đàn dẻo lý tưởng, hình 8.

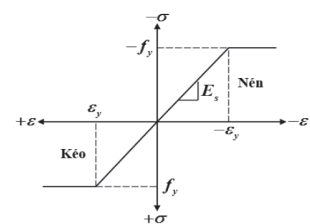
Tính chất cơ lý của vật liệu như trong mục 2.2.



Hình 7a. Quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông khi chịu nén [10]



Hình 7b. Quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông khi chịu kéo [8]



Hình 8. Quan hệ ứng suất - biến dạng khi chịu kéo và nén của cốt thép [15]

4. Phương pháp bán giải tích xác định độ cứng chống xoắn của sàn

Chi tiết phương pháp xem trong [16, 17]. Độ cứng chống xoắn của sàn được tính cho hai giai đoạn, trong đó, giai đoạn I là từ điểm sàn bắt đầu chịu tải cho đến điểm bê tông bắt đầu nứt, $D_{xy,I}$ và giai đoạn II là từ điểm bê tông bắt đầu nứt đến điểm cốt thép bắt đầu chảy dẻo, $D_{xy,II}$.

$$D_{xy,I} = \frac{m_{xy,cr}}{\kappa_{xy,cr}} \quad (3)$$

$$D_{xy,II} = \frac{m_{xy,y} - m_{xy,cr}}{\kappa_{xy,y} - \kappa_{xy,cr}} \quad (4)$$

Trong đó, $m_{xy,cr}$ và $\kappa_{xy,cr}$ lần lượt là mômen xoắn trung bình và độ xoắn khi bê tông bắt đầu nứt, $m_{xy,y}$ và $\kappa_{xy,y}$ lần lượt là mômen xoắn trung bình và độ xoắn khi cốt thép bắt đầu chảy dẻo.

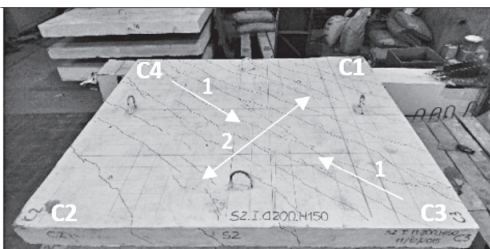
Từ kết quả thí nghiệm (cũng như kết quả mô phỏng), ta có các giá trị chuyển vị d_1, d_2, d_3, d_4 , giá trị lực P , và biết được thời điểm bê tông bắt đầu nứt và cốt thép bắt đầu chảy dẻo, từ đó tính độ cứng chống xoắn theo (3) và (4).

5. Kết quả

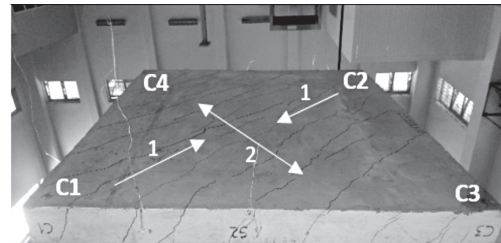
Các kết quả thí nghiệm, cũng như kết quả phân tích PTHH về sự làm việc của sàn chịu xoắn được thể hiện thông qua các quan hệ *tải trọng-chuyển vị*, và quan hệ *mômen xoắn - độ xoắn*, thể hiện ở hình 12 và hình 13. Độ cứng chống xoắn của sàn được tính toán dựa trên các kết quả phân tích sự làm việc của sàn và so sánh với độ cứng chống xoắn tính theo công thức của Nielsen [4], được trình bày trong bảng 3.

5.1. Vết nứt, hình dạng biến dạng, cơ cấu phá hoại của sàn và ứng suất trong cốt thép

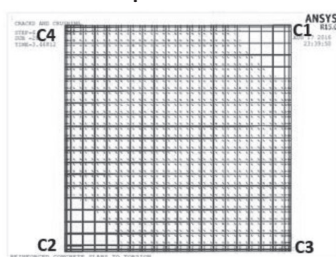
Vết nứt, cơ cấu phá hoại của sàn từ kết quả thí nghiệm (EXP) và FEA tương đồng nhau. Vết nứt gần như nghiêng một góc 45° so với cạnh sàn. Ở mặt trên, vết nứt đầu tiên xảy ra tại góc C3, C4 và lan dần vào tâm của sàn theo hướng một, các vết nứt tiếp theo gần như song song với vết nứt đầu tiên và phát triển theo hướng hai, hình 9a, 9b. Vết nứt ở mặt dưới trực giao với vết nứt ở mặt trên, hình 9c, 9d. Sự phá hoại của sàn xảy ra khi bê tông tại góc C3 hoặc C4 bị nén vỡ, hình 10.



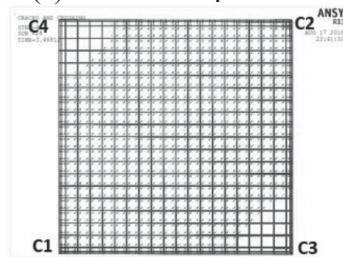
(a) Vết nứt ở mặt trên của sàn theo thí nghiệm



(c) Vết nứt ở mặt dưới của sàn theo thí nghiệm

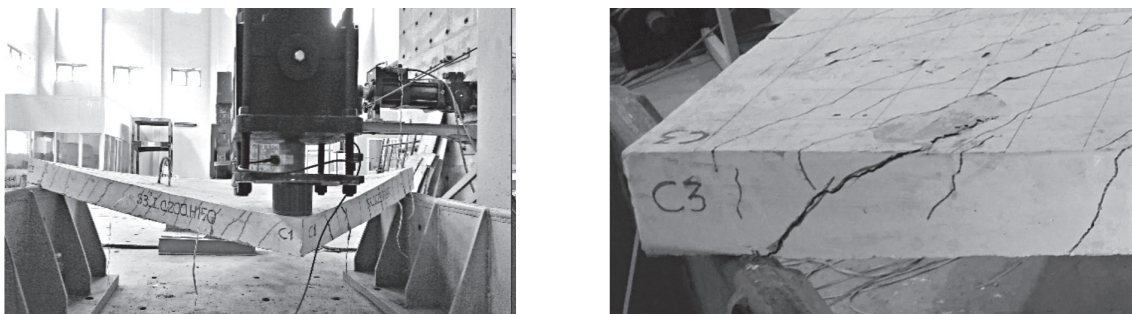


(b) Vết nứt ở mặt trên của sàn theo FEA



(d) Vết nứt ở mặt dưới của sàn theo FEA

Hình 9. Vết nứt trong sàn



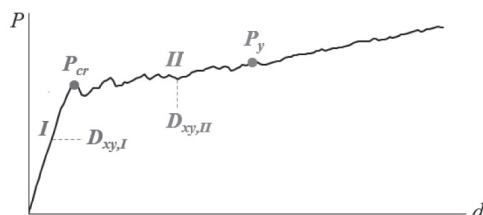
Hình 10. Hình dạng biến dạng và cơ cấu phá hoại của sàn

Ứng suất trong cốt thép được tính từ giá trị biến dạng đo được của các Strain gage, $\sigma_{s,cr}$, $\sigma_{s,max}$ lần lượt là ứng suất trong cốt thép tại thời điểm bê tông bắt đầu nứt, tải trọng cực hạn. Từ bảng 2, nhận thấy cốt thép tại các vị trí dán Strain gages đã chảy dẻo. Ứng suất trong cốt thép theo FEA lớn hơn EXP, là do ảnh hưởng của việc mài cốt thép để dán Strain gages, làm cho thanh thép bị giảm cường độ.

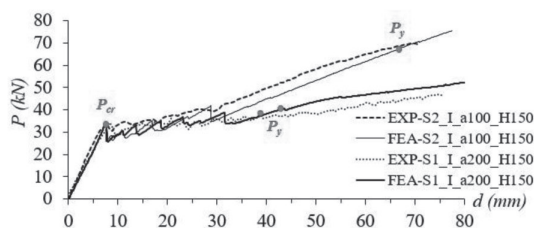
Bảng 2. So sánh ứng suất trong cốt thép theo EXP và FEA của mẫu S1_I_a200_H150

Strain gages		SG1	SG2	SG3	SG4	SG5	SG6	SG7	SG8
$\sigma_{s,cr} (MPa)$	EXP	30,9	18,1	11,6	35,9	5,0	5,1	23,1	9,0
	FEA	40,5	27,4	32,6	43,3	13,1	10,2	39,8	18,2
$\sigma_{s,max} (MPa)$	EXP	492,3	472,1	471,3	474,6	472,4	471,5	485,1	472,3
	FEA	523,7	547,4	535,2	490,5	510,8	489,5	538,4	503,7

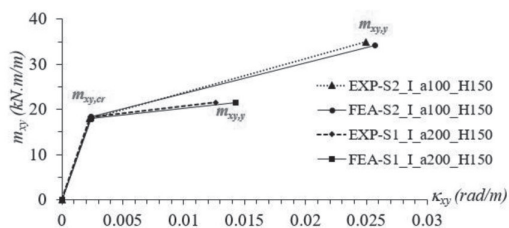
5.2. Độ cứng chống xoắn của sàn



Hình 11. Các điểm chính trên đường cong P-d



Hình 12. Quan hệ P-d giữa EXP và FEA



Hình 13. Quan hệ $m_{xy} - \kappa_{xy}$ giữa EXP và FEA

Từ đường cong quan hệ tải trọng - chuyển vị, mômen xoắn - độ xoắn, cho thấy kết quả thí nghiệm (EXP) và kết quả FEA rất phù hợp nhau, đặc biệt ở giai đoạn I. Với mẫu S1_I_a200_H150, tải trọng và chuyển vị tại thời điểm cốt thép chảy dẻo theo EXP nhỏ hơn các giá trị đó theo FEA trong khoảng dưới 15%, nguyên nhân một phần do ảnh hưởng của của việc mài cốt thép để dán Strain gages.

Bảng 3. Độ cứng chống xoắn của sàn S1 và S2

Sàn	Thí nghiệm (EXP)			FEA			Nielsen [4]		
	$D_{xy,I}$ (kNm)	$D_{xy,II}$ (kNm)	$\frac{D_{xy,I}}{D_{xy,II}}$	$D_{xy,I}$ (kNm)	$\frac{D_{xy,I}}{D_{xy,II}}$	$\frac{D_{xy,I}}{D_{xy,II}}$	$D_{xy,I}$ (kNm)	$D_{xy,II}$ (kNm)	$\frac{D_{xy,I}}{D_{xy,II}}$
S1_I_a200_H150	7718	326	23,7	7455	297	25,1	8294	274	30,3
S2_I_a100_H150	7883	748	10,5	7521	683	11,0	8359	372	22,5

Từ bảng 3 nhận thấy, kết quả độ cứng chống xoắn theo ba lời giải xấp xỉ nhau, ngoại trừ độ cứng chống xoắn ở giai đoạn II của sàn S2 theo Nielsen bằng khoảng 50% so với kết quả thí nghiệm và FEA. Kết quả cho thấy lời giải của Nielsen chưa thể hiện rõ ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép đến độ cứng chống xoắn của sàn ở giai đoạn II.

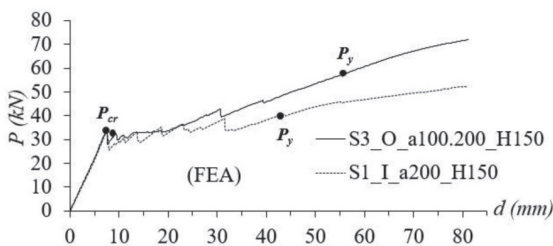
Độ cứng chống xoắn của hai mẫu ở giai đoạn I chênh lệch nhau dưới 2%, chứng tỏ trong giai đoạn này độ cứng chống xoắn gần như không phụ thuộc vào hàm lượng cốt thép. Ở giai đoạn II, với mẫu S1, độ cứng chống xoắn giảm hơn 20 lần so với giai đoạn I, nhưng với mẫu S2 giảm chỉ hơn 10 lần, chứng tỏ hàm lượng cốt thép có ảnh hưởng lớn đến độ cứng chống xoắn ở giai đoạn II.

Từ các kết quả trên cho thấy, mô hình phân tích PTHH đã xây dựng là đủ độ tin cậy và mô hình này được dùng để khảo sát tham số.

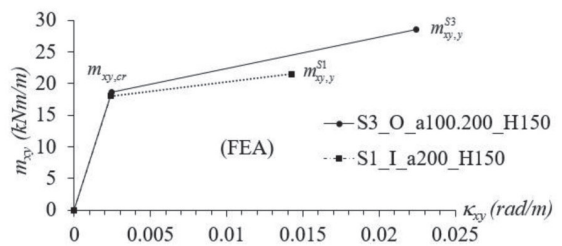
5.3. Khảo sát ảnh hưởng của cốt thép trực hướng đến độ cứng chống xoắn

Mẫu khảo sát là S3_O_a100.200_H150, được bố trí cốt thép giống với mẫu S1, chỉ khác là khoảng cách giữa các thanh cốt thép theo hai phương khác nhau, một phương là 100 mm, phương còn lại là 200 mm, hàm lượng cốt thép 0,44%.

Kết quả về quan hệ tải trọng - chuyển vị, mômen xoắn - độ xoắn, độ cứng chống xoắn của mẫu S3 được so sánh với mẫu S1, được thể hiện ở hình 14, hình 15 và bảng 4.



Hình 14. Quan hệ P - d



Hình 15. Quan hệ m_{xy} - κ_{xy}

Bảng 4. Độ xoắn và độ cứng chống xoắn của sàn S1 và S3

Sàn	$\kappa_{xy,cr}$ (rad / m)	$\kappa_{yx,cr}$ (rad / m)	$\kappa_{xy,y}$ (rad / m)	$\kappa_{yx,y}$ (rad / m)	$D_{xy,I}$ (kNm)	$D_{xy,II}$ (kNm)	$\frac{D_{xy,I}}{D_{xy,II}}$
S1_I_a200_H150	0,00241	0,00241	0,01427	0,01427	7455	297	25,1
S3_O_a100.200_H150	0,00243	0,00243	0,02244	0,02244	7645	503	15,2

Từ hình 14 và hình 15 cho thấy, ứng xử của hai sàn trong giai đoạn I rất giống nhau, nhưng khác nhau ở giai đoạn II, vì sàn S1 có cốt thép đẳng hướng và hàm lượng cốt thép nhỏ hơn hàm lượng cốt thép của dầm S3 với cốt thép trục hướng. Cốt thép trong sàn S1 chảy dẻo trước cốt thép trong sàn S3. Từ bảng 3 nhận thấy, độ xoắn của sàn $\kappa_{xy} = \kappa_{yx}$, do đó $D_{xy} = D_{yx}$.

6. Kết luận

Bài báo đã trình bày một nghiên cứu về ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép, và bố trí cốt thép đẳng hướng hoặc trục hướng đến ứng xử của sàn bê tông cốt thép chịu xoắn và độ cứng chống xoắn của sàn. Kết quả thí nghiệm và mô phỏng số rất gần nhau, đồng thời cũng khá gần với lời giải giải tích.

Hàm lượng cốt thép gần như không ảnh hưởng đến độ cứng chống xoắn ở giai đoạn I, nhưng ảnh hưởng rất lớn đến độ cứng chống xoắn ở giai đoạn II. Trước khi bê tông nứt, độ cứng chống xoắn của sàn khá lớn, nhưng sau khi bê tông nứt, đặc biệt đến giai đoạn cốt thép bắt đầu chảy dẻo, độ cứng chống xoắn của sàn giảm rất nhiều, bằng khoảng 1/25 đến 1/10 độ cứng chống xoắn ở giai đoạn I, mức độ giảm này phụ thuộc vào hàm lượng cốt thép. Tỷ lệ giảm độ cứng chống xoắn trong nghiên cứu này nhỏ hơn so với đề nghị của CEB là độ cứng chống xoắn sau nứt lấy bằng 10% độ cứng chống xoắn ở giai đoạn đàn hồi.

Công thức xác định độ cứng chống xoắn của Nielsen chưa cho thấy rõ ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép đến độ cứng chống xoắn ở giai đoạn II.

Cốt thép được bố trí đẳng hướng hay trục hướng không ảnh hưởng đến độ xoắn của sàn, nghĩa là độ xoắn κ_{xy} luôn bằng κ_{yx} .

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Kai-Uwe Bletzinger, *Theory of Plates*, Lehrstuhl für Statik, Technische Universität München, (2000).
2. CEB (1985), Design manual on cracking and deformations, CEB, Bulletin d'Information n^o 158, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse.
3. Timoshenko, S. and Woinowsky-Krieger, S. (1959), *Theory of Plates and Shells*, 2nd Ed, NY: McGraw-Hill Companies, 0070647798.
4. Nielsen, N. J. (1920), *Beregning af Spændinger i Plader* [Calculation of Stresses in Slabs], G. E. C. Gad Copenhagen.
5. Matri, P., ASCE, M. and Kong, K., (1987), *Response of reinforced concrete slab elements to torsion*, *Journal of Structural Engineering*, 113(5): 976-993.
6. Lopes, A. V., Lopes, S. M. R. and Carmo, R. N. F. D. (2014) *Stiffness of reinforced concrete slabs subjected to torsion*, *Materials and Structures*, 47: 227-238.
7. Marti, P., ASCE, M., Leesti, P. and Khalifa, W. U. (1987), *Torsion test on reinforced concrete slab elements*, *Journal of Structural Engineering*, 113(5): 994-1010.
8. ANSYS, Inc Theory reference, Release 15.0, Documentation for ANSYS.
9. Nguyễn Mai Chí Trung, Phạm Phú Tinh và Vương Ngọc Lưu, *Phân tích ứng xử của sàn bê tông cốt thép chịu xoắn bằng phương pháp phần tử hữu hạn*, Hội nghị Khoa học toàn quốc Cơ học Vật rắn biến dạng lần thứ XII, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, tr. 1466-1473, ISBN: 978-604-913-459-3, (2016).
10. Kachlakev, D., Miller, T., Yim, S., Chansawat, K., Potisuk, T., *Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Structures Strengthened with FRP Laminates*, Research Project Work Plan, SPR 316, Oregon Department of Transportation, Washington, (2001).
11. Desayi, P. and Krishnan, S., *Equation for the Stress-Strain Curve of Concrete*, *Journal of the American Concrete Institute*, 61(3): 345-350, (1964).
12. Gere, J. M. and Timoshenko, S. P., *Mechanics of Materials*. 4th Ed, PWS Publishing Company, Boston, Massachusetts, 0534934293, (1997).
13. AS 3600-2009, *Australian Standard: Concrete Structures*, Sydney, NSW 2001, Australia, 0733793479, (2009).
14. Nilson, A. H., Darwin, D., Dolan, C. W., *Design of Concrete Structures*, 14th Ed. NY: McGraw-Hill Companies, 0073293490, (2010).
15. Park, R. and Paulay, T., *Reinforced Concrete Structures*, A Wiley-Interscience Publication, Canada. 0471659177, (1975).
16. M. C. T. Nguyen, P. T. Pham, and N. L. Vuong, *An experimental study on torsional stiffness of reinforced concrete slab*, The 7th International Conference of Asian Concrete Federation, ISBN: 978-604-82-1994-9, (2016).
17. M. C. T. Nguyen, and P. T. Pham, An investigation on the behaviour and stiffness of reinforced concrete slabs subjected to torsion. *5th Global Conference on Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 164, doi:10.1088/1757-899X/164/1/012017, (2017).

CHẤT LƯỢNG PHÂN CỤM CỦA THUẬT TOÁN K-MEANS DỰA VÀO PHƯƠNG PHÁP LẤY MẪU THỰC HIỆN SONG SONG THEO MÔ HÌNH MAPREDUCE

NGUYỄN THỊ TUYẾT*, TRẦN THIÊN THÀNH, TRẦN HOÀNG VIỆT

Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Quy Nhơn

TÓM TẮT

Phân cụm là một trong những phương pháp khai phá dữ liệu được ứng dụng nhiều trong thực tiễn hiện nay. K-means là một trong những thuật toán phân cụm kinh điển. Tuy nhiên, tốc độ của thuật toán K-means ban đầu không đáp ứng được các bài toán dữ liệu lớn. Hai yếu tố làm ảnh hưởng đến tốc độ K-means là lặp lại nhiều lần việc tính tâm cụm và việc chọn tâm ban đầu. Để giải quyết hai vấn đề đó chúng tôi đã cải tiến thuật toán K-means (SK-meansMR) và đạt tốc độ tính toán cao trên dữ liệu lớn. Trong bài báo này chúng tôi tập trung đánh giá chất lượng phân cụm của thuật toán SK-meansMR và thuật toán K-means gốc để chứng minh thuật toán SK-meansMR ngoài việc cải thiện được tốc độ so với thuật toán K-means mà còn đảm bảo chất lượng phân cụm trên dữ liệu lớn.

Từ khóa: Thuật toán K-means, Phân cụm dữ liệu, Độ đo chất lượng phân cụm, Hadoop; MapReduce.

ABSTRACT

The Clustering Quality of the K-means Algorithm Based on a Sampling Method Implemented in Parallel with Mapreduce Model

Today, clustering is one of the most widely used data mining methods in practice. K-means is one of the classic clustering algorithms. However, the speed of the K-means algorithm initially did not meet the big data problems. Two factors that affect the speed of K-means are repeated repetition and centering. To solve these two problems we have improved the K-means algorithm (SK-meansMR) and achieved high computation speed on large data. In this paper we focus on the clustering quality of the SK-meansMR algorithm and the original K-means to demonstrate the SK-meansMR algorithm not only improves the speed but also ensures the quality of clustering on large data.

Key words: K-means algorithm, Data clustering, Quality of clustering, Hadoop; MapReduce.

1. Mở đầu

Bài toán phân cụm là bài toán cơ bản trong khai phá dữ liệu và có nhiều ứng dụng trong thực tế. Đã có nhiều thuật toán phân cụm dữ liệu, K-means là một thuật toán kinh điển và được nhiều nhà khoa học quan tâm cải tiến. Tuy nhiên thuật toán K-means phân cụm trên những tập dữ liệu lớn rất chậm vì phải duyệt lại nhiều lần việc tính tâm cụm.

Trên cơ sở của thuật toán phân cụm K-means, chúng tôi đã phát triển thuật toán phân cụm dựa vào chọn mẫu thực hiện song song theo mô hình MapReduce (SK-meansMR) [3]. Ý tưởng chính của thuật toán SK-meansMR là chọn mẫu đại diện cho dữ liệu từ dữ liệu được phân chia cho các máy để làm giảm lưu lượng dữ liệu phải truyền giữa các máy. Kết quả thực nghiệm cho thấy

*Email: nguyenthituyet@qnu.edu.vn

Ngày nhận bài: 30/10/2017; Ngày nhận đăng: 12/12/2017

thuật toán song song nhanh hơn, cải thiện được tốc độ phân cụm với những dữ liệu lớn. Như vậy về mặt thời gian thực hiện phân cụm đã được cải tiến hơn so với K-means cổ điển. Vấn đề đặt ra là kết quả phân cụm nào là tốt hơn và liệu thuật toán SK-meansMR cải tiến được tốc độ nhưng có đạt được chất lượng phân cụm so với thuật toán K-means gốc hay không?

2. Thuật toán K-means cải tiến và độ đo chất lượng phân cụm

2.1. Thuật toán K-means

Thuật toán K-means [1] là một thuật toán quan trọng và được sử dụng phổ biến trong kỹ thuật phân cụm. Với tham số đầu vào k , K-means chia một tập D đối tượng thành k cụm sao cho kết quả tương đồng trong cùng cụm tương đối cao, ngược lại là sự tương đồng thấp giữa các cụm khác nhau. Độ tương đồng giữa các cụm được tính bằng giá trị trung bình của các đối tượng trong cụm với tâm cụm.

Thuật toán tiến hành như sau: Đầu tiên, chọn ngẫu nhiên k đối tượng từ tập các đối tượng làm tâm cụm ban đầu. Mỗi đối tượng còn lại được gán cho cụm tương ứng gần nhất, dựa vào khoảng cách giữa đối tượng và tâm cụm. Sau đó tính giá trị trung bình cho mỗi cụm mới. Quá trình này lặp lại cho đến khi hàm điều kiện hội tụ hoặc đến một số lần lặp nhất định.

Thuật toán K-means

<p>Input : Tập dữ liệu D, k.</p> <p>Output : k tâm cụm</p> <p>Khởi tạo k tâm ngẫu nhiên.</p> <p>While ($ht > \text{độ hội tụ}$) {</p> <p style="padding-left: 2em;">Tính khoảng cách từng phần tử với các tâm. Khoảng cách với tâm nào nhỏ nhất thì phân vào tâm đó.</p> <p style="padding-left: 2em;">Tính toán lại tâm.</p> <p style="padding-left: 2em;">Tính toán độ hội tụ ht của các tâm.</p> <p>}</p> <p>Output: k tâm cụm.</p>

Tuy nhiên, giải thuật này tồn tại một số nhược điểm như việc tính khoảng cách từ một phần tử đến tâm và tính toán lại tâm cụm được thực hiện lặp đi lặp lại. Trong mỗi lần lặp, tổng số các phép tính khoảng cách phải thực hiện là $D \cdot k$ trong đó D là số đối tượng, k là số lượng các cụm. Với bộ dữ liệu lớn, chắc chắn giải thuật này sẽ không đáp ứng được yêu cầu về thời gian.

Việc tính toán khoảng cách giữa các đối tượng với mỗi tâm cụm để xác định tâm gần nó nhất là độc lập với nhau. Do đó công việc này hoàn toàn có thể thực hiện song song.

2.2. Mô hình lập trình MapReduce

MapReduce là mô hình lập trình song song được Google đề xuất để xử lý dữ liệu lớn trong môi trường phân tán. MapReduce chia việc xử lý thành nhiều khối công việc nhỏ, phân tán khắp các nút tính toán rồi thu thập các kết quả. MapReduce gồm hai bước Map và Reduce thực hiện hoàn toàn độc lập, song song trên các cặp dữ liệu (key, value):

2.2.1. Hàm Map

Nhận dữ liệu đầu vào là tập các cặp $(key_1, value_1)$, thực hiện xử lý lọc và phân loại trên dữ liệu theo mục đích người dùng rồi trả về danh sách các cặp dữ liệu $(key_2, value_2)$.

$$map(key_1, value_1) \rightarrow list(key_2, value_2)$$

2.2.2. Hàm Reduce

Hệ thống nhóm các value theo key từ kết quả của các hàm Map, tạo thành tập các cặp dữ liệu với cấu trúc $(key, \text{tập các value cùng key})$. Hàm Reduce nhận các cặp dữ liệu này, thực hiện xử lý trên từng cặp dữ liệu và trả kết quả về cho người dùng.

$$reduce(key_2, list(value_2)) \rightarrow list(value_3)$$

Hiện nay, mô hình lập trình MapReduce được áp dụng phổ biến trên nhiều lĩnh vực trong đó có phân cụm dữ liệu để giải quyết các bài toán dữ liệu lớn vì sự đơn giản, tính linh hoạt, khả năng chịu lỗi cao và khả năng mở rộng hệ thống.

2.3. Thuật toán K-means cải tiến bằng phương pháp lấy mẫu (SK-meansMR)

Ý tưởng K-means vừa thực hiện việc lặp đi lặp lại quá trình xử lý song song để xác định các tâm cụm vừa lưu trữ liên tục các tâm để xác định độ hội tụ dẫn đến thời gian thực hiện thuật toán tăng lên rất lớn. Để loại bỏ sự phụ thuộc lặp quá trình xử lý song song của thuật toán, chúng tôi sử dụng phương pháp lấy mẫu nhằm xác định các tập con đại diện cho tập dữ liệu lớn. Sau đó sử dụng thuật toán phân cụm cổ điển trên các tập con để xác định k tâm cuối cùng [15].

Thuật toán: *Xác định k tâm sử dụng phương pháp lấy mẫu*

Input : tập dữ liệu D, k

Output : k tâm cụm

Map (k_1, v_1) {

Xử lý dữ liệu đầu vào

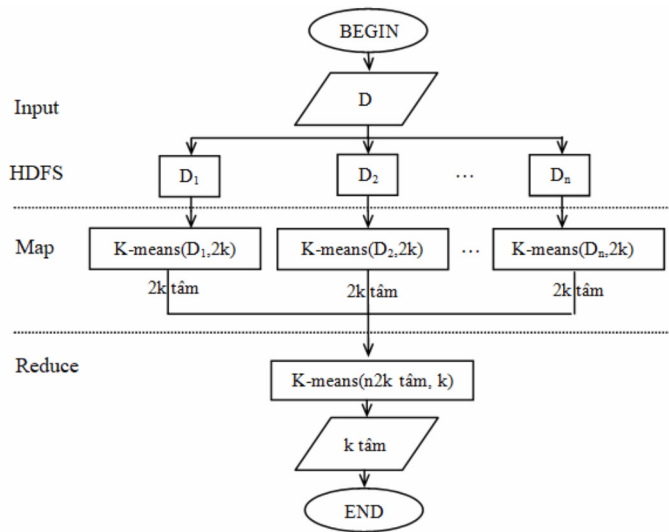
Chuyển đổi dữ liệu sang kiểu số thực.

Output(1, **K-means** $(v_1, 2*k)$)

}

Reduce (k_2, v_2)

Output(**K-means** (v_2, k))



Hình 1. Biểu đồ thể hiện thuật toán xác định tâm sử dụng phương pháp lấy mẫu

Trong thuật toán trên, chúng tôi thực hiện việc lấy mẫu trên từng tập dữ liệu nhỏ là đầu vào của hàm Map. Việc thực hiện lấy mẫu dựa trên phương pháp xác định tâm cụm với số lượng tâm bất kỳ sao cho số lượng tâm có thể đại diện cho tập dữ liệu và tổng số tâm không vượt quá khả năng xử lý của một Node. Giả sử, với n hàm Map được xử lý song song và k' cụm là các điểm sẽ đại diện cho dữ liệu đầu vào mỗi hàm Map. Tập đại diện sẽ có kích thước $n*k'$ phần tử, phải đảm bảo không vượt quá khả năng xử lý của một Node. Chúng tôi chọn số lượng tâm là $2*k'$ tâm trong kết quả thực nghiệm của mình.

Hàm Reduce nhận kết quả từ hàm Map, thực hiện thuật toán K-means để xác định k tâm.

Cuối cùng, chúng tôi thực hiện MapReduce Job thứ hai sử dụng k tâm vừa thu được xác định các cụm từ bộ dữ liệu ban đầu.

2.4. Độ đo chất lượng phân cụm

Việc đánh giá hay xác định kết quả phân cụm là rất khó khăn. Theo [7] và [8], các độ đo chất lượng phân cụm được phân thành 3 loại:

Đánh giá trong (internal evaluation): Kết quả phân cụm được đánh giá dựa trên chính dữ liệu được phân cụm bằng cách sử dụng các đại lượng đánh giá sự gắn kết cụm như mật độ (density), khoảng cách giữa các phần tử bên trong cụm hay khoảng cách giữa các cụm với nhau,... Hướng tiếp cận của loại này dựa trên tiêu chí: các thuật toán phân cụm tốt là các thuật toán tạo ra các cụm mà các phần tử bên trong mỗi cụm có độ tương tự với nhau lớn và độ tương tự với các phần tử bên ngoài nhỏ. Hạn chế của cách đánh giá này là kết quả đánh giá tốt không chắc chắn dẫn đến phân cụm tốt. Đánh giá trong thường dùng để so sánh các thuật toán sử dụng cùng một mô hình cụm. Điều này không khẳng định kết quả phân cụm của thuật toán này chính xác hơn thuật toán kia, nhưng so sánh được cấu trúc phân cụm trong bộ dữ liệu của hai thuật toán.

Đánh giá ngoài (external evaluation): Kết quả phân cụm được đánh giá dựa vào tập tiêu chí chuẩn (mẫu) là các nhãn, lớp đã được phân từ trước đó bởi các chuyên gia. Dựa vào các tiêu chí chuẩn có sẵn, phương pháp này đánh giá chất lượng cụm có tương tự trong thực tế hay không.

Trong thực tế, việc xác định các tiêu chí chuẩn có phù hợp với tập dữ liệu cần đánh giá hay không là rất khó khăn.

Đánh giá quan hệ (relative evaluation): Đánh giá việc phân cụm bằng cách so sánh nó với các kết quả phân cụm khác được sinh ra bởi cùng thuật toán nhưng các giá trị tham số khác nhau.

Đánh giá dựa trên xu hướng phân cụm (cluster tendency): Đánh giá phân cụm dựa trên xu hướng phân cụm là đo mức độ các cụm đang tồn tại trong dữ liệu để nhóm lại đưa ra một thử nghiệm ban đầu trước khi cố gắng phân cụm.

Ngoài ra có thể đánh giá dựa trên ý kiến, kinh nghiệm của chuyên gia trong cùng lĩnh vực. Trong thực tế, việc đánh giá này mang tính trực quan, cảm tính, khó lượng hóa. Tuy có độ tin cậy cao đối với các bộ dữ liệu nhỏ, nhưng đối với bộ dữ liệu lớn cần có sử dụng các phương pháp khác để đánh giá khách quan hơn. Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng các phương pháp thuộc kỹ thuật đánh giá trong (internal evaluation) nhằm đo chất lượng phân cụm của thuật toán SK-meansMR so với K-means gốc.

Hiệu quả của việc phân cụm có liên quan đến việc xác định số lượng tối ưu các cụm và tính xác thực của các kết quả phân cụm. Đánh giá các kết quả phân cụm thường được gọi là xác nhận cụm (cluster validation). Có nhiều chỉ số khác nhau về tính hợp lệ của cụm đã được đề xuất. Trong bài báo này chúng tôi chỉ đề cập chỉ số Davies-Bouldins (DBI) mà chúng tôi đã sử dụng trong thuật toán phân cụm đề xuất của chúng tôi để kiểm tra tính ổn định của các cụm.

Chỉ số Davies-Bouldin (DBI) (được David L. Davies và Donald W. Bouldin đưa ra vào năm 1979) [16] là một thước đo để đánh giá các thuật toán phân cụm. Đây là một chất lượng đánh giá trong, trong đó xác nhận tính hợp lệ của việc phân cụm đã được thực hiện bằng cách sử dụng các số liệu và các đặc tính vốn có của bộ dữ liệu.

Chỉ số Davies-Bouldin được tính theo công thức:

$$DB = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Max}_{i \neq j} \left(\frac{\sigma_i + \sigma_j}{d(c_i, c_j)} \right)$$

Trong đó:

+ n là số cụm;

+ c_x là trọng tâm của cụm x ;

+ σ_x là trung bình khoảng cách của tất cả các phần tử trong cụm x tới trọng tâm c_x ;

+ $d(c_i, c_j)$ là khoảng cách giữa hai trọng tâm của cụm i và j .

Giá trị DBI càng nhỏ thì chất lượng phân cụm càng tốt.

3. Thực nghiệm và đánh giá

Chúng tôi tiến hành thực nghiệm thuật toán SK-meansMR và K-means cổ điển trên một số bộ dữ liệu của UCI Machine Learning Repository. Sau đó sử dụng chỉ số DBI để so sánh, đánh giá chất lượng phân cụm của hai thuật toán.

Bộ dữ liệu thực nghiệm gồm có KddCup (1999) 42 thuộc tính, 2.155.000 điểm, kích thước 197,6 MB; Individual Household Electric Power Consumption (House) 14 thuộc tính, 4.098.559 điểm, kích thước 226,5 MB.

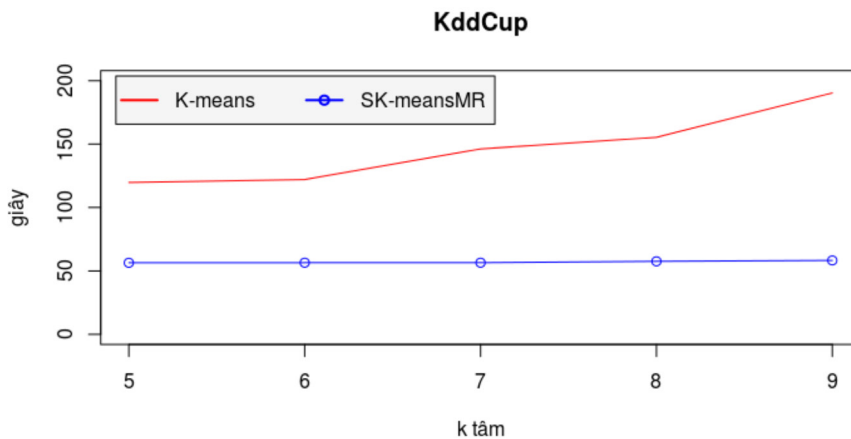
Bài báo cũng đưa ra kết quả thực nghiệm để thể hiện ưu điểm về tốc độ của thuật toán SK-meansMR so với thuật toán K-means cổ điển.

3.1. Đánh giá tốc độ của thuật toán

Chúng tôi tiến hành thực nghiệm trên hệ thống 5 máy tính HP Compaq Intel Core 2 Duo E8400 3.00GHz cài đặt hệ điều hành Ubuntu 14.04, Hadoop 2.7.3, R 3.3.3 trong đó có 1 MasterNode và 4 NameNode. Với bộ dữ liệu KddCup kết quả thu được như sau:

Bảng 1. Tốc độ thuật toán K-means và SK-meansMR trên bộ dữ liệu KddCup

Số lượng cụm	K-means (s)	SK-meansMR (s)
5	119,76	56,44
6	122,06	56,50
7	146,18	56,50
8	155,37	57,59
9	190,33	58,30



Hình 2. Biểu đồ so sánh thời gian chạy của K-means và SK-meansMR trên bộ dữ liệu KddCup.

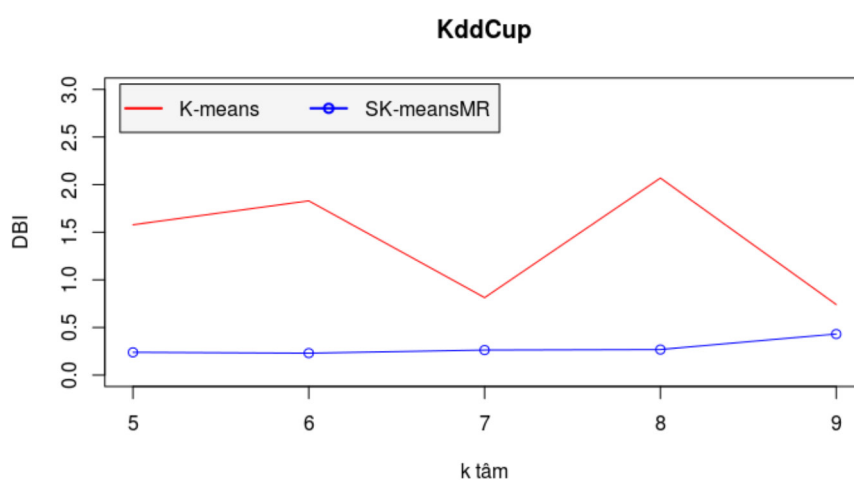
3.2. Đánh giá chất lượng của thuật toán

Để so sánh chất lượng thuật toán SK-meansMR và K-means. Trên mỗi bộ dữ liệu, chúng tôi tiến hành phân cụm bằng hai thuật toán với số lượng cụm tăng dần. Số lượng lấy mẫu tại một Node của thuật toán SK-meansMR cũng ảnh hưởng đến chất lượng của thuật toán. Trong bài báo, chúng tôi thực nghiệm với số lượng mẫu là $2 \cdot k$ tâm.

3.2.1. Bộ dữ liệu KddCup(1999) 42 thuộc tính, 2.155.000 điểm

Bảng 2. Chỉ số DB của K-means và SK-meansMR trên bộ dữ liệu KddCup

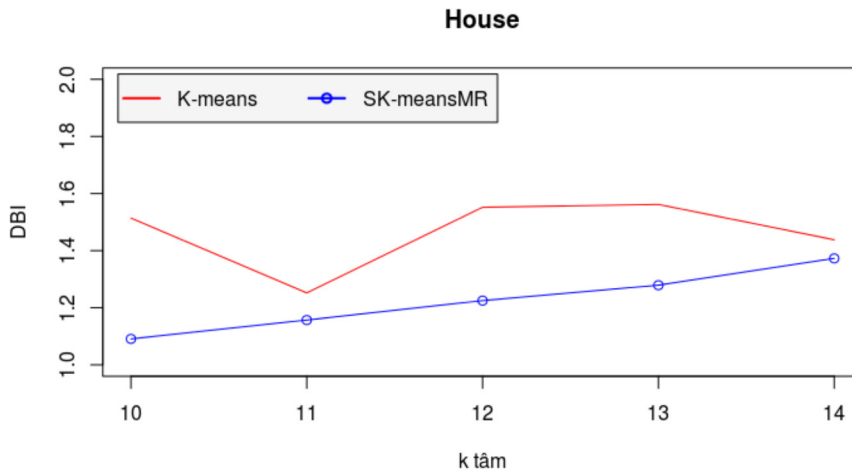
K	K-means	SK-meansMR
5	1,578	0,239
6	1,829	0,231
7	0,813	0,263
8	2,069	0,268
9	0,741	0,431

**Hình 3.** Biểu đồ so sánh chất lượng phân cụm K-means và SK-meansMR trên bộ dữ liệu KddCup.

3.2.2. Bộ dữ liệu House 14 thuộc tỉnh, 4.098.559 điểm

Bảng 3. Chỉ số DB của K-means và SK-meansMR trên bộ dữ liệu House

K	K-means	SK-meansMR
10	1,514	1,091
11	1,252	1,157
12	1,552	1,225
13	1,562	1,279
14	1,438	1,373



Hình 4. Biểu đồ so sánh chất lượng phân cụm K-means và SK-meansMR trên bộ dữ liệu House

Qua thực nghiệm, có thể thấy chỉ số DBI của thuật toán SK-meansMR thấp hơn K-means cổ điển. Chứng tỏ thuật toán cải tiến SK-meansMR có chất lượng phân cụm tốt hơn K-means.

Trong cả 2 bộ dữ liệu thực nghiệm, chỉ số DBI của K-means thay đổi rất lớn qua từng cụm. Điều này cũng thể hiện đúng nhược điểm của K-means là kết quả đầu ra của thuật toán phụ thuộc nhiều vào việc chọn tâm ban đầu và số nhóm. Cụ thể trong bộ dữ liệu KddCup với số lượng tâm là 7 hoặc 9 có kết quả phân cụm tốt hơn 6 hoặc 8 tâm. Tương tự với House, số lượng tâm là 11 tốt hơn các kết quả còn lại.

Ngược lại, so với K-means, thuật toán SK-meansMR có chất lượng phân cụm rất tốt và ít thay đổi qua tất cả các cụm.

Ngoài ra, khi so sánh hai bộ dữ liệu KddCup và House có thể thấy số lượng điểm lớn cũng ảnh hưởng đến chất lượng phân cụm của thuật toán SK-meansMR.

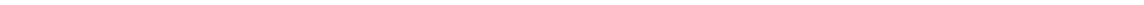
4. Kết luận

Trong bài báo, chúng tôi đã trình bày về thuật toán SK-meansMR sử dụng phương pháp lấy mẫu áp dụng mô hình lập trình MapReduce trên ngôn ngữ R và thực nghiệm để đánh giá ưu điểm của thuật toán so với K-means cổ điển. Qua thực nghiệm, có thể thấy rằng thuật toán của chúng tôi có tốc độ và chất lượng phân cụm thông qua chỉ số DBI tốt hơn thuật toán K-means cổ điển.

Cũng qua kết quả thực nghiệm, một lần nữa chứng tỏ kết quả của các thuật toán phân cụm của K-means có phụ thuộc vào số lượng tâm và việc chọn tâm ban đầu. Điều này cũng ảnh hưởng đến thuật toán SK-meansMR vì sử dụng K-means trong việc lấy mẫu và phân cụm mẫu. Trong thời gian đến chúng tôi sẽ cải tiến việc lấy mẫu trong thuật toán của mình để hoàn thiện thuật toán SK-meansMR.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. J. A. Hartigan and M. A. Wong, *A K-means clustering algorithm*, Applied Statistics, Vol. 28, pp. 100-108, (1979).
2. Davies DL, Bouldin DW, *A cluster separation measure[J]*, IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell 2, (1979).
3. Xiaoli Cui, Pingfei Zhu, Xin Yang, Keqiu Li, Changqing Ji, *Optimized big data K-means clustering using MapReduce*, Published online: 19 June 2014, © Springer Science+Business Media New York, (2014).
4. Weizhong Zhao, Huifang Ma, and Qing He, *Parallel K- Means Clustering Based on MapReduce*, (2009).
5. Ene A, ImS, Moseley B, *Fast clustering using MapReduce*, (2011).
6. Vattani A, *K-means requires exponentially many iterations even in the plane*, Discret Comput Geom 45(4):596–616, (2011).
7. Darius Pfitzner, Richard Leibbrandt, David M. W. Powers (2009), *Characterization and evaluation of similarity measures for pairs of clusterings*, Knowl. Inf. Syst. 19(3): 361-394
8. Maria Halkidi, Yannis Batistakis, Michalis Vazirgiannis (2001): *On Clustering Validation Techniques*, J. Intell. Inf. Syst. 17(2-3): 107-145
9. Kehar Singh, Dimple Malik and Naveen Sharma, *Evolving limitations in K-means algorithm in data mining and their removal*, International Journal of Computational Engineering & Management, Vol. 12, (2011).
10. Juntao Wang, Xiaolong Su, *An improved K-means clustering algorithm*, Communication software and networks (ICCSN), 2011 IEEE 3rd international conference on, IEEE, (2011).
11. Jeffrey Dean and Sanjay Ghemawat, *MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters*, (2004).
12. Tom White, *Hadoop: The Definitive Guide*, third edition, O'reilly, (2012).
13. Mohamed Aymen Ben HajKacem(B), Chiheb-Eddine Ben N'cir, and Nadia Essoussi, *An Accelerated MapReduce-Based K-prototypes for Big Data*, LARODEC, Universit'e de Tunis, Institut Sup'erieur de Gestion de Tunis. Springer International Publishing AG, (2016).
14. Nguyễn Văn Tuấn, "*Phân tích dữ liệu và tạo biểu đồ bằng R*", NXB Khoa học kỹ thuật, (2006).
15. Trần Thiên Thành, Nguyễn Thị Tuyết, Hồ Văn Lâm, Trần Hoàng Việt, *Cài đặt thuật toán K-means cải tiến bằng phương pháp lấy mẫu áp dụng mô hình lập trình MapReduce trên công cụ R*, đã được nhận đăng trong Kỳ yếu Hội thảo Một số vấn đề chọn lọc của Công nghệ thông tin và Truyền thông lần thứ 20, 11/2017.
16. Wikipedia, "*Cluster analysis*", Website: https://en.wikipedia.org/wiki/Cluster_analysis.



THỰC TRẠNG VỀ “LỐI SỐNG XANH” VÀ “TIÊU DÙNG BỀN VỮNG” CỦA SINH VIÊN SƯ PHẠM TRÊN ĐỊA BÀN THÀNH PHỐ QUY NHƠN, TỈNH BÌNH ĐỊNH

NGUYỄN THỊ HUYỀN*, PHAN THỊ LỆ THÚY
Khoa Địa lí - Địa chính, Trường Đại học Quy Nhơn

TÓM TẮT

Hiện nay, “Lối sống xanh” hay “lối sống sinh thái” được xem là một xu hướng sống mới, khi vấn đề môi trường trở nên bức thiết ở nhiều quốc gia trên thế giới, trong đó có Việt Nam. Tuy nhiên, “lối sống xanh” vẫn còn là một khái niệm khá mới lạ và mơ hồ trong hầu hết giới trẻ ở nước ta, ngay cả học sinh, sinh viên – lực lượng đông đảo, có tri thức, đồng thời cũng là những chủ nhân có vai trò đặc biệt quan trọng trong quản lý, khai thác, sản xuất, tiêu dùng trong xây dựng và phát triển đất nước. Nghiên cứu này tập trung trình bày về thực trạng nhận thức, ý thức thực hiện lối sống xanh và tiêu dùng bền vững của sinh viên sư phạm ở thành phố Quy Nhơn, tỉnh Bình Định nhằm nêu lên bức tranh hiện thực về vấn đề trên. Từ đó, có định hướng một số giải pháp giáo dục nâng cao nhận thức và thực hiện “lối sống xanh”, thân thiện với môi trường, góp phần thực hiện tăng trưởng xanh, bền vững cho địa phương nói riêng và vùng Nam Trung bộ nói chung.

Từ khóa: Lối sống xanh, lối sống sinh thái, tiêu dùng bền vững, môi trường.

ABSTRACT

An Insight into the “Green Lifestyle” and “Sustainable Consumption” Practiced by Pedagogical Students in Quy Nhon City, Binh Dinh Province

“Green lifestyle” or “ecological lifestyle” is considered a new trend of lifestyle in the context of the environment becoming more pressing in many countries in the world, including Vietnam. However, the “green lifestyle” is still a strange and vague concept in most young people in our country, even though students are believed to have knowledge and play a particularly important role in management, exploitation, production and consumption in the development of our country. The study focuses on the awareness and implementation of green lifestyle and sustainable consumption of pedagogical students in the Quy Nhon City, aimed at yielding a realistic portrayal of this. From that, we can orient and help them have proper awareness, make “green lifestyle”, environmentally friendly to contribute to the green and sustainable growth for the area.

Key word: Green lifestyle, ecological lifestyle, sustainable consumption, environment.

1. Đặt vấn đề

Trong vài thập niên gần đây, vấn đề suy thoái tài nguyên thiên nhiên (TNTN), ô nhiễm môi trường (ONMT) đang trở nên bức thiết ở nhiều quốc gia trên thế giới, đặc biệt là các quốc gia đang phát triển, mà một trong những vấn đề mấu chốt là *do phương thức sản xuất và lối sống “không xanh”* của người dân. Trong Chiến lược quốc gia của nước ta về tăng trưởng xanh, được

*Email: nguyenthihuyen@qnu.edu.vn

Ngày nhận bài: 01/10/2017; Ngày nhận đăng: 25/12/2017

Thủ tướng Chính phủ phê duyệt từ năm 2012 [6], nhiệm vụ *xanh hóa lối sống*, thúc đẩy tiêu dùng bền vững (TDBV) được xem là một nhiệm vụ trọng tâm trong phát triển kinh tế. Nhiều chương trình hành động đã được triển khai, đặc biệt là công tác tuyên truyền, phổ biến, vận động người dân xây dựng lối sống thân thiện với môi trường (MT), tiêu dùng bền vững. Tuy nhiên, cho đến nay “lối sống xanh” vẫn còn là một khái niệm khá mới lạ và mơ hồ đối với người dân, đặc biệt giới trẻ ở nước ta, ngay cả trong học sinh, sinh viên (SV) - một lực lượng đông đảo, có tri thức, đồng thời cũng là những chủ nhân tương lai có vai trò đặc biệt quan trọng trong quản lý, khai thác, sản xuất, tiêu dùng trong xây dựng và phát triển đất nước.

Thành phố (TP) Quy Nhơn là trung tâm kinh tế, chính trị, văn hóa, khoa học kỹ thuật và du lịch của tỉnh Bình Định, là nơi có mật độ dân cư đông nhất trên toàn tỉnh. Trên địa bàn TP có nhiều trường đại học, cao đẳng, trung cấp, thu hút hàng chục nghìn SV đến học tập và sinh sống. Việc tập trung một lượng lớn dân cư đã gây áp lực không nhỏ đến vấn đề khai thác, sử dụng tài nguyên và MT sống trên địa bàn TP. Thực tế cho thấy, TNTN và chất lượng MT ở TP. Quy Nhơn đang có nhiều biểu hiện suy thoái: Rừng và nguồn nước mặt bị giám sát, mùa khô không đủ nước cho tiêu dùng và sản xuất; nguồn nước ở hạ lưu sông Hà Thanh có dấu hiệu ô nhiễm; chất thải rắn, rác thải sinh hoạt trong nhiều khu vực dân cư không được xử lý triệt để gây ONMT. Mặt khác, thời gian gần đây, việc phát triển du lịch tuy mang lại nhiều lợi ích kinh tế, nhưng các hoạt động du lịch và sinh hoạt của một bộ phận du khách đã ảnh hưởng đến diện mạo TP và chất lượng MT ở đây: Rác thải, nước thải ứ đọng xung quanh các khu du lịch ven biển, gây ô nhiễm nước, suy giảm các bãi tôm, cua, cá ven bờ, các bãi rạn san hô,... ảnh hưởng nhất định đến chất lượng sống của cư dân ven biển và hệ sinh thái vùng ven bờ. Do vậy, việc nghiên cứu thực trạng lối sống xanh và tiêu dùng bền vững, đặc biệt với đối tượng SV trên địa bàn TP. Quy Nhơn có ý nghĩa cả về mặt lý luận lẫn thực tiễn nhằm đề xuất một số giải pháp giáo dục nâng cao nhận thức và hành động “lối sống xanh” góp phần thực hiện tăng trưởng xanh, bền vững cho địa phương nói riêng và vùng Nam Trung bộ nói chung.

2. Quan điểm tiếp cận

MT là một khoa học liên ngành, nên các nghiên cứu nhận thức về môi trường cần được thực hiện trên cơ sở nghiên cứu nhận thức tổng hợp các kiến thức cả về MT, kinh tế và xã hội. Do vậy, việc nghiên cứu nhận thức, thực hiện lối sống xanh – TDBV của SV được tiến hành trên cơ sở tiếp cận liên môn, liên ngành và đa lĩnh vực.

3. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

3.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng học sinh, SV chiếm gần 1/4 dân số và trực tiếp liên quan đến mọi gia đình trong cộng đồng và xã hội. Đây là lực lượng đông đảo, nhạy bén và năng động, đóng vai trò nòng cốt để huy động được toàn thể các bậc phụ huynh, cộng đồng dân cư trong sự nghiệp bảo vệ MT nói chung và xây dựng lối sống thân thiện với MT nói riêng. SV rất thường dễ nhạy cảm với thời cuộc, dễ tiếp thu kiến thức mới, lại được ngồi trên ghế nhà trường, được giáo dục thường xuyên để hình thành nhân cách. Những kiến thức được học từ nhà trường sẽ để lại các dấu ấn trong quá trình các em sử dụng kiến thức đó phát triển ở tương lai. Các em cũng chính là những nhân tố

động lực và lan tỏa các giá trị cuộc sống trong xã hội. Những việc làm, hành động của các em đều có tính động viên, khích lệ lớn đối với gia đình; do đó sẽ có tác động mạnh mẽ làm thay đổi hành vi, cách ứng xử trong mọi hoạt động của xã hội. Chính vì vậy, nghiên cứu nhận thức về lối sống xanh trong SV, mà đặc biệt là SV tại các trường sư phạm được coi là yêu cầu và nhiệm vụ cấp bách, là giải pháp lâu dài, hiệu quả và bền vững nhất, góp phần quyết định nâng cao nhận thức, tổ chức các hoạt động thực tiễn về lối sống xanh của lực lượng này sau khi họ tốt nghiệp ra trường. Do vậy, trong khuôn khổ bài báo, đối tượng chính được nghiên cứu chủ yếu là *SV sư phạm* tại các trường đại học và cao đẳng trên địa bàn nghiên cứu.

3.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu, đánh giá nhận thức và thực hiện lối sống xanh của SV được thực hiện chủ yếu bằng các phương pháp điều tra xã hội học, gồm: Phương pháp điều tra thông qua bảng hỏi, phương pháp quan sát, nhằm thu nhận được những thông tin cụ thể về nhận thức, lối sống, phương thức, thói quen tiêu dùng và hành vi MT của SV trên địa bàn. Bên cạnh đó, việc nghiên cứu còn được thực hiện thông qua phương pháp trao đổi, phỏng vấn, thu thập thêm thông tin liên quan từ giảng viên tại các trường đại học, cao đẳng trong khu vực. Đây chính là cơ sở thực tiễn cho việc xây dựng các mô hình tuyên truyền lối sống xanh và TDBV, không chỉ cho SV các trường đại học, cao đẳng ở địa bàn TP. Quy Nhơn mà còn cả khu vực duyên hải miền Trung.

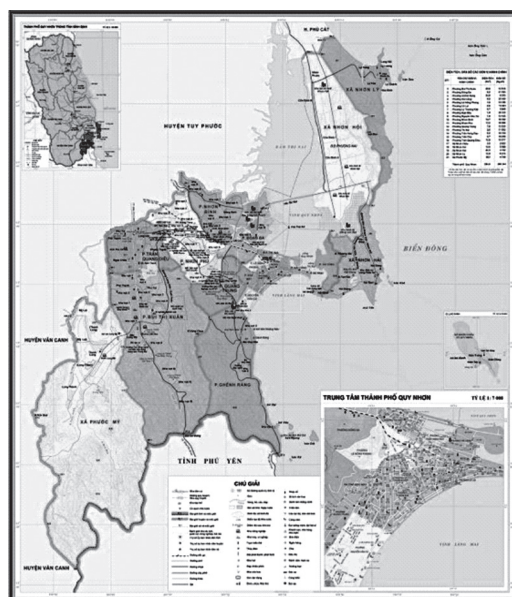
Ngoài ra, việc xây dựng nội dung bảng hỏi, phiếu điều tra còn được thực hiện trên cơ sở trao đổi, thảo luận, xin ý kiến chuyên gia, là các nhà giáo dục, nhà nghiên cứu, trên địa bàn duyên hải miền Trung nhằm đảm bảo tính khoa học, phù hợp và khả thi, giải quyết thỏa đáng các mục tiêu của nhiệm vụ đặt ra.

4. Kết quả nghiên cứu

4.1. Khái quát về thành phố Quy Nhơn

Nằm ở phía Đông Nam của tỉnh Bình Định, TP. Quy Nhơn có tọa độ địa lí từ 13°36' đến 13°54' vĩ độ Bắc; từ 109°06' đến 109°22' kinh độ Đông. Phía Đông giáp biển Đông, phía Tây giáp huyện Tuy Phước, phía Bắc giáp huyện Phù Cát và huyện Tuy Phước, phía Nam giáp thị xã Sông Cầu, tỉnh Phú Yên. Quy Nhơn cách thủ đô Hà Nội 1.065 km về phía Bắc, cách Thành phố Hồ Chí Minh 650 km về phía Nam. Với diện tích tự nhiên khoảng 284 km², TP. Quy Nhơn được chia thành 21 đơn vị hành chính (16 phường và 5 xã), dân số trên 300.000 người (năm 2015).

Quy Nhơn được biết đến như là một khu vực có nhiều tiềm năng về TNTN, điều kiện tự nhiên đa dạng, nên đây không chỉ trung tâm phát triển kinh tế - xã hội (KT - XH) và du lịch, mà còn



là nơi tập trung các cơ sở văn hóa, giáo dục của cả tỉnh Bình Định. Khí hậu ở Quy Nhơn tương đối thuận lợi cho các hoạt động sống với nền nhiệt cao, lượng mưa trung bình năm lớn. Nhiệt độ trung bình hàng năm khoảng 24,5⁰C, lượng mưa trung bình năm từ 1900 - 2000 mm. Địa hình đa dạng, có cả địa hình núi (núi Đen cao khoảng 361m, núi Bà Hỏa), địa hình gò đồi, đồng bằng và các dạng địa hình ven biển. Đường bờ biển dài khoảng 42 km, có nhiều đảo ven bờ, diện tích hồ, đầm lớn, tài nguyên sinh vật biển phong phú, rất thuận lợi cho quá trình phát kinh tế trong khu vực. Thực tiễn cho thấy, trong những năm vừa qua, tình hình phát triển KT-XH của TP. Quy Nhơn đã có bước phát triển mạnh mẽ. Tổng giá trị sản phẩm của địa phương (GRDP) bình quân đầu người cuối năm 2015 ước đạt 45,1 triệu đồng. Năm 2015, cơ cấu kinh tế nông - lâm - ngư nghiệp tăng 26,2%, công nghiệp và xây dựng tăng 36,1%, dịch vụ tăng 37,7%. Đặc biệt, trong vài năm trở lại đây, ngành dịch vụ - du lịch ở Quy Nhơn phát triển mạnh mẽ, mang lại hiệu quả cao trong phát triển kinh tế. Riêng năm 2016, TP. Quy Nhơn đón khoảng 3,2 triệu lượt khách, trong đó có 2,94 triệu lượt khách nội địa, 256 nghìn lượt khách quốc tế và doanh thu du lịch thuần đạt 1.497 tỉ đồng, tăng 44%. TP. Quy Nhơn còn là một trung tâm văn hóa, giáo dục của tỉnh Bình Định. Với sự tập trung nhiều trường đại học, cao đẳng như Trường Đại học Quy Nhơn, Trường Đại học Quang Trung, Cao đẳng Bình Định, Cao đẳng nghề,... nên hàng năm nơi đây đón hàng chục nghìn SV, học viên từ các địa phương khác đến sinh sống, học tập. Điều đó đóng góp một phần rất lớn trong việc phát triển các loại hình kinh tế dịch vụ như ăn uống, phòng trọ và các khu vui chơi giải trí,... Tuy nhiên, đi kèm với tốc độ tăng trưởng kinh tế là vấn đề chất lượng môi trường sống có những dấu hiệu đáng lo ngại, tình trạng ô nhiễm MT biển, suy giảm TNTN, ô nhiễm rác thải trong khu dân cư,... gây ảnh hưởng đến chất lượng MT sống của người dân trong khu vực. Do vậy, cần thiết phải có những biện pháp nhằm nâng cao nhận thức cho người dân về hoạt động phát triển kinh tế gắn liền với việc bảo vệ môi trường.

4.2. Thực trạng về lối sống xanh của sinh viên ở thành phố Quy Nhơn

Hiện nay, trên toàn tỉnh Bình Định có 12 trường đại học, cao đẳng, trung cấp chuyên nghiệp và dạy nghề. Phần lớn các trường tập trung tại TP. Quy Nhơn, tuy nhiên, chỉ có 2 đơn vị là Trường Đại học Quy Nhơn và Trường Cao đẳng Bình Định có đào tạo SV sư phạm. Do vậy, việc nghiên cứu, đánh giá thực trạng nhận thức và thực hiện lối sống xanh của SV sư phạm trên địa bàn TP. Quy Nhơn được thực hiện chủ yếu ở hai đơn vị nêu trên.

Việc nghiên cứu được tiến hành qua 250 Phiếu điều tra, thu thập ý kiến ngẫu nhiên từ đối tượng SV sư phạm các ngành Địa lí, Hóa, Sinh, Lịch sử, Vật lý và Giáo dục Tiểu học tại trường Đại học Quy Nhơn và 3 ngành có đào tạo sư phạm tại trường Cao đẳng Bình Định là Giáo dục Mầm non, Giáo dục Tiểu học và Ngữ văn. Trong đó, trường đại học Quy Nhơn điều tra 160 phiếu và trường Cao đẳng Bình Định 90 phiếu.

4.2.1. Thực trạng nhận thức về lối sống xanh của sinh viên

Khảo sát lấy ý kiến 250 SV Sư phạm tại Trường Đại học Quy Nhơn và Trường Cao đẳng Bình Định bằng Phiếu thu thập ý kiến theo 6 câu hỏi có nội dung liên quan đến kiến thức, nhận thức về sống xanh và TDBV theo các ngành đào tạo như bảng sau:

Bảng 1. Số SV các ngành sư phạm tham gia khảo sát nhận thức về lối sống xanh tại TP. Quy Nhơn

	SV các ngành sư phạm được khảo sát tại trường Đại học Quy Nhơn					SV các ngành sư phạm được khảo sát tại trường Cao đẳng Bình Định			
	Địa lí	Hóa học	Lịch sử	Sinh học	Vật lý	Giáo dục Tiểu học	Giáo dục mầm non	Giáo dục tiểu học	Ngữ Văn
Số lượng sinh viên	30	25	25	30	25	25	30	30	30
Tổng cộng				160				90	

Kết quả thống kê sự hiểu biết và nhận thức chung về lối sống xanh, TDBV của các em cho thấy:

Hầu hết SV sư phạm được khảo sát đều nắm bắt và nhận thức được các nội dung, kiến thức cơ bản về lối sống xanh. Kết quả khảo sát ở *bảng 2* cho thấy, chỉ có 36% SV cho rằng lối sống xanh chính là sử dụng các sản phẩm tái chế, 72% SV không cho rằng lối sống xanh có liên quan đến việc sử dụng các sản phẩm có độ bền cao.

Bảng 2. Hiểu biết và nhận thức của SV ngành sư phạm về lối sống xanh

Lối sống xanh được hiểu:	Số lượng SV khảo sát			
	Đồng ý	Tỷ lệ %	Không đồng ý	Tỷ lệ %
Sử dụng hiệu quả nhiên liệu, năng lượng	240	96	10	4
Sử dụng hiệu quả nguồn tài nguyên	232	92,8	18	7,2
Giảm thiểu ô nhiễm (đất/nước/không khí/tiếng ồn...)	134	53,6	116	46,4
Sử dụng các sản phẩm tái chế	90	36	160	64
Sử dụng các sản phẩm có độ bền cao	70	28	180	72
Sử dụng/tiêu thụ sản phẩm ít gây hại đến môi trường	215	86	35	14
Trồng cây xanh/bảo vệ rừng	250	100	0	0
Bảo tồn, gìn giữ môi trường sống cho trẻ em và các thế hệ tương lai	225	90	25	10

Đối với nội dung tiêu dùng bền vững, có thể do TDBV là một khái niệm tương đối rộng, liên quan đến nhiều lĩnh vực nên phần lớn SV được khảo sát chưa hiểu rõ và chưa nhận thức đúng đắn về nội dung này.

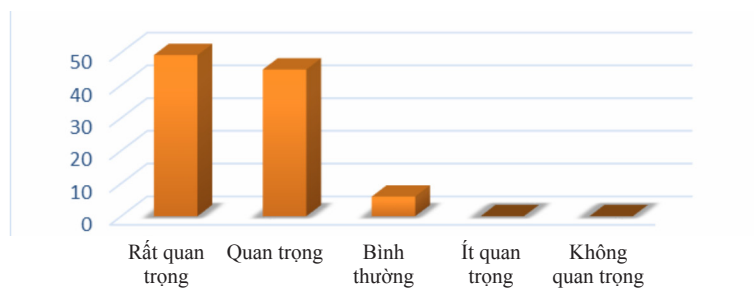
Bảng 3. Hiểu biết và nhận thức của SV ngành sư phạm về tiêu dùng bền vững

Tiêu dùng bền vững được hiểu:	Số lượng SV khảo sát			
	Đồng ý	Tỷ lệ %	Không đồng ý	Tỷ lệ %
Chỉ đáp ứng nhu cầu cơ bản nhất về những sản phẩm hàng hóa và dịch vụ tiêu dùng thiết yếu	70	28	180	72
Giảm ảnh hưởng trực tiếp đến MT từ quá trình sản xuất, sử dụng, thải bỏ hàng hóa và dịch vụ	235	94	15	6
Sự quan tâm đến vòng đời sản phẩm khi đưa ra quyết định tiêu dùng	65	26	185	74
Tiêu dùng hàng hóa và dịch vụ có tác động tích cực cho sức khỏe và lợi ích của cộng đồng	225	90	25	10
Tăng cường phát triển và ứng dụng những thiết bị tiết kiệm năng lượng, nước	53	21,2	197	78,8
Phát triển và sử dụng phương tiện giao thông công cộng và những công nghệ giải pháp đáp ứng nhu cầu khác	211	84,4	39	15,6
Coi trọng sự liên kết xã hội, truyền thống địa phương và những giá trị phi vật chất	104	41,6	146	58,4
Sản xuất và bán những sản phẩm dịch vụ thích ứng với các vấn đề môi trường toàn cầu	178	71,2	72	28,8

Theo đó, có đến 78,8% SV được khảo sát cho rằng nội dung của TDBV nghĩa là tăng cường phát triển và ứng dụng những thiết bị tiết kiệm năng lượng, nước; 72% SV không đồng ý với nội dung TDBV là chỉ đáp ứng nhu cầu cơ bản nhất về những sản phẩm hàng hóa và dịch vụ tiêu dùng thiết yếu.

Tuy nhiên, qua số liệu khảo sát, hầu hết SV đều nhận thức được lối sống xanh và TDBV có vai trò rất quan trọng trong quá trình phát triển KT - XH. Trong đó, có 123 SV (chiếm 49,2%) đánh giá là rất quan trọng, 112 SV (chiếm 44,8%) đánh giá quan trọng và chỉ có 15 SV (chiếm 6%) đánh giá bình thường, không có SV nào đánh giá là ít quan trọng và không quan trọng (hình 2)

Biểu đồ nhận thức của SV sư phạm về mức độ quan trọng của lối sống xanh và tiêu dùng bền vững



Hình 2. Biểu đồ nhận thức của SV về mức độ quan trọng của lối sống xanh và TDBV

Qua kết quả thống kê cho thấy, 100% SV được khảo sát đều nhận định, việc xây dựng, phát triển lối sống xanh và TDBV sẽ giúp SV sư phạm có nhận thức đúng đắn và đầy đủ về ý nghĩa

của sống xanh, có kiến thức, kỹ năng và thái độ tích cực trong việc tuyên truyền, phổ biến sống xanh, TDBV cho cộng đồng, góp phần xây dựng trường học xanh. Đồng thời, có ý nghĩa trong tổ chức hoạt động giáo dục sống xanh, TDBV cho học sinh.

Riêng câu hỏi liên quan đến phương thức tiếp cận kiến thức về lối sống xanh và TDBV, có đến 94,8% SV các ngành sư phạm được khảo sát cho rằng, không được tiếp cận thông qua chương trình đào tạo, 49,2% cho biết được tiếp cận thông qua các hoạt động sinh hoạt Đoàn, Hội, Câu lạc bộ, 46% từ tuyên truyền quảng bá, tạp chí và đến 87,2% từ truyền miệng, 92,8% từ các thông tin khác (bảng 4).

Bảng 4. Hiểu biết và nhận thức của SV ngành sư phạm về lối sống xanh

Tiếp cận lối sống xanh và tiêu dùng bền vững qua:	Số lượng SV khảo sát			
	Đồng ý	Tỷ lệ %	Không đồng ý	Tỷ lệ %
Chương trình đào tạo	13	5,2	237	94,8
Các hoạt động sinh hoạt của Đoàn, Hội, Câu lạc bộ	123	49,2	127	50,8
Khóa học trực tuyến trên mạng	20	8	230	92
Sách báo, tạp chí (in ấn/trên website)	211	84,4	39	15,6
Tuyên truyền, quảng bá trên báo đài, tạp chí...	115	46	135	54
Truyền thông/thông cáo, báo chí của các nhà sản xuất sản phẩm “xanh”	107	42,8	143	57,2
Các triển lãm, các buổi cổ động, tuyên truyền công cộng	203	81,2	47	18,8
Sự truyền miệng của mọi người	218	87,2	32	12,8
Khác	232	92,8	18	7,2

Nhận thấy, SV các ngành sư phạm của Trường Đại học Quy Nhơn và Trường Cao đẳng Bình Định đã có hiểu biết nhất định về nội dung, kiến thức của lối sống xanh, nhưng còn rất “mơ hồ” và thậm chí còn có một số “ngộ nhận” về bản chất của TDBV. Hầu hết, SV vẫn chưa xác định rõ bản chất, mức độ liên quan giữa môi trường với lối sống xanh, tiêu dùng xanh và bền vững. Bên cạnh đó, việc tiếp cận các kiến thức có liên quan đến lối sống xanh trong nhà trường vẫn chưa được phát triển.

Đồng thời, bên cạnh việc chưa chú trọng đưa nội dung lối sống xanh vào các chương trình đào tạo chính khóa, thì các hoạt động ngoại khóa, cũng như các hoạt động sinh hoạt Đoàn, Hội, Câu lạc bộ cũng ít chú trọng nâng cao nhận thức cho sinh viên về lối sống xanh, TDBV. Qua nghiên cứu chương trình đào tạo cũng cho thấy, hầu hết chương trình của các ngành Sư phạm đều chưa có môn học chính thức về tăng trưởng xanh, lối sống xanh hoặc TDBV. Tuy có một số chương trình của các ngành cử nhân có môn học liên quan như sản xuất xanh, sản xuất sạch hoặc tăng trưởng xanh nhưng đều là các môn học tự chọn. Ngoài ra, qua trao đổi với một số giáo viên giảng dạy sư phạm, được biết nhiều giáo viên có liên hệ hoặc tích hợp lối sống xanh, TDBV vào trong nội dung của một số bài dạy có liên quan, như sản xuất sạch trong hóa học, sinh học và trong quản lý tài nguyên MT, tiêu dùng xanh trong kinh tế, ... Tuy nhiên, việc tích hợp vào các nội dung giảng dạy chưa đồng bộ trong các ngành học nên chưa mang lại hiệu quả nhận thức cho SV đối với vấn đề này.

4.2.2. Thực trạng về thực hiện lối sống xanh và tiêu dùng bền vững của sinh viên

Khảo sát tình hình thực hiện lối sống xanh, TDBV của SV các ngành sư phạm thuộc hai trường nói trên theo 6 nội dung phiếu khảo sát sống xanh và TDBV, gồm: 3 R tại trường học, nơi ở; tiết kiệm năng lượng; trường học xanh; đi siêu thị, chợ hoặc khu mua sắm; giao thông thông minh và tái chế tại trường, nhà, nơi ở và 5 mức độ (làm nhiều, có làm, định làm, không làm và không phù hợp).

Kết quả khảo sát cho thấy, do nhận thức được vai trò quan trọng của sống xanh, TDBV ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng MT, nên trong quá trình sinh sống và học tập, phần lớn các SV đã bắt đầu có chú ý đến việc thực hiện lối sống xanh, TDBV. Tuy nhiên mức độ quyết tâm thực hiện chưa cao.

Bảng 5. Mức độ thực hiện 3R tại trường học của SV các ngành sư phạm

3R tại trường học, nơi ở	Làm nhiều điều này		Có làm điều này		Định làm điều này		Không làm điều này		Không phù hợp với bản thân	
	SL	%	SL	%	SL	%	SL	%	SL	%
Phân loại rác ở trường/nhà	0	0	21	8,4	101	40,4	10	4	118	47,2
Ưu tiên SD sản phẩm SX tại địa phương	7	2,8	40	16	168	67,2	20	8	15	6
Mua sản phẩm thể tái chế hoặc tái SD	0	0	145	58	90	36	10	4	5	2
Giảm thiểu lượng giấy bỏ	93	37,2	135	54	10	4	12	4,8	0	0
Giảm thiểu tiêu thụ sản phẩm nhựa	0	0	43	17,2	97	38,8	103	41,2	7	2,8
Bỏ rác vào thùng đúng nơi quy định	148	59,2	92	36,8	10	4	0	0	0	0
Gom và chia sẻ sản phẩm có thể tái chế	0	0	54	21,6	131	52,4	43	17,2	22	8,8
Tái SD đồ dùng trong nhà, trường học	97	38,8	132	52,8	21	8,4	0	0	0	0
Kiểm soát và giảm những thứ mà bạn bỏ đi	14	5,6	203	81,2	10	4	17	6,8	6	2,4

Quan sát bảng 5 cho thấy, đối với nội dung 3R (Reduce - Reuse – Recycle) tại trường, nhà hoặc nơi ở, phần lớn SV đã bắt đầu nhận thức và có một số hành động cụ thể hoặc có dự định làm xanh hóa lối sống và TDBV: Có đến 52,8% SV có thực hiện tái sử dụng đồ dùng trong nhà, trường học; 58% có mua sản phẩm tái chế hay 54% SV có giảm thiểu lượng giấy bỏ trong quá trình học tập, sinh hoạt; 67,2% SV có dự định ưu tiên mua sản phẩm sản xuất tại địa phương hoặc 52,4% dự định gom và chia sẻ sản phẩm tái chế. Tuy nhiên, mức độ làm nhiều hoặc thường xuyên thực hiện rất thấp, như 0% SV thường xuyên phân loại rác tại nhà, không có sinh viên nào thường xuyên giảm thiểu tiêu thụ sản phẩm nhựa, gom và chia sẻ đồ dùng tái chế...

Bảng 6. *Mức độ thực hiện tiết kiệm năng lượng của SV các ngành sư phạm*

Tiết kiệm năng lượng	Làm nhiều điều này		Có làm điều này		Định làm điều này		Không làm điều này		Không phù hợp với bản thân	
	SL	%	SL	%	SL	%	SL	%	SL	%
Hạn chế SD thiết bị điện trong giờ cao điểm	0	0	90	36	113	45,2	25	10	22	8,8
Rút dây cắm của các thiết bị điện khi không sử dụng	107	42,8	102	40,8	40	16	1	0,4	0	0
Luôn bật điều hòa > 26°C	40	16	67	26,8	62	24,8	45	18	36	14,4
Nhắc mọi người tiết kiệm điện	23	9,2	69	27,6	85	34	32	12,8	41	16,4
Tận dụng gió và ánh sáng tự nhiên ở nhà	46	18,4	85	34	32	12,8	42	16,8	45	18
Dùng bóng đèn tiết kiệm năng lượng	45	18	104	41,6	56	22,4	32	12,8	13	5,2
Mua các thiết bị đã qua sử dụng	0	0	176	70,4	42	16,8	11	4,4	21	8,4
Mua các thiết bị điện được dán nhãn năng lượng	0	0	0	0	42	16,8	145	58	63	25,2
Ưu tiên các thiết bị SD năng lượng Mặt trời	0	0	0	0	78	31,2	132	52,8	40	16
Đề máy tính ở chế độ sleep	125	50	113	45,2	0	0	12	4,8	0	0

Đối với nội dung thực hiện tiết kiệm năng lượng, không có sinh viên nào thường xuyên hạn chế sử dụng điện trong giờ cao điểm và 8,8% cho rằng không phù hợp với bản thân; chỉ có 9,2% SV thường xuyên nhắc mọi người tiết kiệm điện và phần lớn SV không thường xuyên mua các thiết bị đã qua sử dụng, mua các thiết bị điện được gắn nhãn năng lượng. Phần lớn sinh viên không ưu tiên sử dụng các thiết bị sử dụng năng lượng Mặt trời.

Riêng đối với nội dung thực hiện Trường học xanh, có 82% SV thường xuyên sử dụng thang bộ để đến các phòng học. Tuy nhiên, đối với những khu vực học tập có cả thang bộ lẫn thang máy, thì hầu hết sinh viên được phỏng vấn cho biết họ thường xuyên sử dụng thang máy hơn thang bộ; 67% thực hiện vệ sinh sạch sẽ lớp học, giữ gìn vệ sinh cảnh quan trong sân trường. Nhưng, cũng có đến 43% sinh viên cho rằng nội dung sử dụng các chế độ tiết kiệm năng lượng tại trường học là không phù hợp với họ.

Bảng 7. Đi siêu thị, chợ hoặc khu mua sắm của SV các ngành sư phạm

Đi siêu thị, chợ hoặc khu mua sắm	Làm nhiều điều này		Có làm điều này		Định làm điều này		Không làm điều này		Không phù hợp với bản thân	
	SL	%	SL	%	SL	%	SL	%	SL	%
Lên danh sách các vật dụng cần mua	45	18	78	31,2	105	42	22	8,8	0	0
Quan tâm đến vòng đời sản phẩm khi mua	66	26,4	88	35,2	57	22,8	24	9,6	15	6
Mua thực phẩm đúng mùa	46	18,4	86	34,4	65	26	53	21,2	0	0
Ưu tiên mua thực phẩm SX tại địa phương	14	5,6	63	25,2	105	42	46	18,4	22	8,8
Mua thực phẩm tại các địa chỉ đáng tin cậy, có nguồn gốc rõ ràng	64	25,6	102	40,8	48	19,2	21	8,4	15	6
Ưu tiên sử dụng bao, gói thân thiện với môi trường	32	12,8	89	35,6	102	40,8	13	5,2	14	5,6
Mua thực phẩm tươi được giảm giá	102	40,8	127	50,8	14	5,6	7	2,8	0	0

Kết quả ở bảng 7 cho thấy, trong hoạt động mua sắm, đi chợ, SV đã bắt đầu chú ý đến các sản phẩm có địa chỉ tin cậy, nguồn gốc rõ ràng và mua thực phẩm giảm giá. Có đến 40,8% SV được khảo sát thường xuyên và 50,8% có mua thực phẩm tươi giảm giá; 66,3% SV thường xuyên và có thực hiện việc mua thực phẩm tại các địa chỉ đáng tin cậy; 35,5% SV có quan tâm đến vòng đời của sản phẩm khi mua. Tuy nhiên, vẫn còn một bộ phận lớn SV chưa có kiểm soát trong việc mua sắm, chỉ có 18% SV lên danh sách các vật dụng cần mua, 18,4% thường xuyên mua thực phẩm đúng mùa, 5,6% thường xuyên ưu tiên mua thực phẩm sản xuất tại địa phương và 12,8% thường xuyên ưu tiên sử dụng bao, gói thân thiện với môi trường.

Về nội dung thực hiện giao thông, phần lớn sinh viên ý thức tốt đối với việc bảo vệ bản thân trong quá trình tham gia giao thông. Với 76% SV được khảo sát chú ý đến việc mua mũ bảo hiểm tốt, 90,6% SV giữ tốc độ vừa phải. Đồng thời, để tiết kiệm nhiên liệu cũng như xả thải ra môi trường, có 69,6% SV muốn thực hiện việc sử dụng chung xe máy; 52% SV sử dụng xe đạp hoặc đi bộ. Tuy nhiên, do điều kiện khách quan về giờ học trên lớp nên chỉ có 18% SV thường xuyên tránh tham gia giao thông trong giờ cao điểm vào những ngày không đến lớp và chỉ có 9,6% thường xuyên tắt động cơ khi đèn đỏ 30 giây.

Bảng 8. Thực hiện giao thông thông minh của SV các ngành sư phạm

Giao thông thông minh	Làm nhiều điều này		Có làm điều này		Định làm điều này		Không làm điều này		Không phù hợp với bản thân	
	SL	%	SL	%	SL	%	SL	%	SL	%
Tắt động cơ khi đèn đỏ 30 giây	24	9,6	50	20	121	48,4	22	8,8	33	13,2
Chú ý bảo dưỡng xe	45	18	44	17,6	123	49,2	20	8	18	7,2
Mua mũ bảo hiểm tốt	55	22	135	54	49	19,6	11	4,4	0	0
Giữ tốc độ ổn định/ vừa phải	106	42,4	123	49,2	21	8,4	0	0	0	0
Tránh giờ cao điểm	45	18	101	40,4	51	20,4	34	13,6	19	7,6
Dùng chung xe máy	108	43,2	66	26,4	34	13,6	32	12,8	10	4
Sử dụng phương tiện giao thông công cộng	12	4,8	68	27,2	49	19,6	63	25,2	58	23,2
Đi xe đạp/ đi bộ	75	30	55	22	52	20,8	56	22,4	12	4,8
Bán xe cũ/ hỏng	104	41,6	109	43,6	26	10,4	11	4,4	0	0

Ngoài ra, đối với nội dung tái chế tại nơi ở, trường học, mặc dầu có đến 82% SV không vứt rác bừa bãi, không đốt rác nhưng có đến 76% không thực hiện hạn chế sử dụng túi nilon tại nhà, 67% không để đồ dùng tái chế vào một khu vực riêng trong nhà, phòng trọ hoặc nơi ở và 73% SV không quyên góp đồ cũ cho các tổ chức từ thiện địa phương.

Như vậy, qua nghiên cứu thực trạng nhận thức và hành vi lối sống xanh, TDBV của SV các ngành sư phạm ở TP. Quy Nhơn đã cho thấy phần nào thực trạng nhận thức, thái độ, kiến thức và ý thức thực hiện “*lối sống xanh*”, thân thiện với MT của SV trên địa bàn. Phần lớn SV Sư phạm của TP. Quy Nhơn có hiểu biết nhất định về nội dung, kiến thức về lối sống xanh, nhưng chưa xác định đúng mức, yêu cầu của vấn đề này. Mặc dầu, SV bước đầu đã có ý thức thực hiện và xây dựng lối sống xanh, nhưng vẫn chưa nhận thức đúng và đầy đủ về TDBV; Việc thực hiện xanh hóa lối sống và thúc đẩy TDBV chỉ mới dừng lại chủ yếu ở ý định thực hiện, chưa chú tâm và cũng chưa quyết tâm thực hiện TDBV. Do vậy, để đáp ứng với xu thế chung và yêu cầu cấp bách về nhiệm vụ bảo vệ MT, cần thiết phải tuyên truyền, vận động nâng cao nhận thức, ý thức thực hiện xanh hóa lối sống và tiêu dùng bền vững trong SV sư phạm nói chung và toàn bộ SV tại các trường đại học, cao đẳng nói riêng.

Đây chính là cơ sở thực tiễn cho việc định hướng xây dựng, bổ sung và phát triển kiến thức, hoạt động xanh hóa lối sống trong SV, nhằm góp phần thực hiện chủ trương của nước ta về tăng trưởng xanh giai đoạn 2012 - 2020. Nhiệm vụ biên soạn tài liệu và các bài học hỗ trợ cho SV sư phạm trong việc vận dụng kiến thức lối sống xanh, TDBV trong quá trình giảng dạy của họ trong tương lai cũng được xuất phát từ thực tiễn này.

5. Kết luận

Với đặc điểm là một thành phố biển với TNTN phong phú, Quy Nhơn có nhiều tiềm năng trong phát triển KT-XH và là trung tâm văn hóa giáo dục của tỉnh Bình Định. Dân cư tập trung đông, số lượng sinh viên trên địa bàn tương đối lớn, đã gây ảnh hưởng không nhỏ đến chất lượng môi trường sống trên địa bàn.

Tuy nhiên qua nghiên cứu cho thấy, nhận thức và hành vi về lối sống xanh và TDBV còn khá hạn chế. Do vậy, cần thiết phải có những nghiên cứu cụ thể hơn để có những giải pháp giáo dục nhằm nâng cao nhận thức của người dân trong việc thực hiện sống xanh, TDBV, đáp ứng chiến lược tăng trưởng xanh của cả nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Arfida Handoyo & Popy Rufaidah, *Green Lifestyle Dimensions: An Empirical Study*, Proceeding of The Gobal Advance Research Conference on Management and Business Studies (GARCOMBS), November 22nd - 24th, 2012, Bandung, Indonesia - 1284, (2012).
2. Lin, Yu-Ling; Lin, Hong-Wen, *The Benefits and Values of Green Lifestyle Consumers*, International Journal of Marketing Studies, (2012).
3. Thân Thị Diệp Nga, *Giáo dục bảo vệ môi trường cho sinh viên hệ cao đẳng sư phạm Trường Đại học Thủ Dầu Một theo hướng Giáo dục trải nghiệm qua các hoạt động ngoài giờ bằng Tiết học xanh*. Đại học Thủ Dầu Một và Liên hiệp các Hội Khoa học và Kỹ thuật tỉnh Bình Dương, (2015).
4. Trần Quang Phú, *Tăng trưởng kinh tế xanh: Lý thuyết và thực tiễn ở Việt Nam*”, Đề tài khoa học cấp Bộ, Hà Nội, (2016).
5. Thủ tướng Chính phủ, *Chiến lược quốc gia về tăng trưởng xanh thời kì 2011 - 2020 và tầm nhìn đến năm 2050*, (2012).
6. Trung tâm phát triển sáng kiến cộng đồng và môi trường, *Báo cáo nghiên cứu về Lối sống sinh thái của sinh viên Việt Nam, Dự án hợp tác hỗ trợ phát triển giáo dục không chính quy nhằm vận động lối sống sinh thái, thích ứng và giảm thiểu biến đổi khí hậu tại các trường Đại học Việt Nam và Lào*, (2015).
7. <http://greenlifestyles.org/>

CONTENTS

1. Liouvillian Solutions of Algebraic Ordinary Differential Equations of Order One in Genus Zero Ngo Lam Xuan Chau, Le Minh Duong, Ha Trong Thi	5
2. Metric Pseudo - Subregularity of Set - Valued Mappings Nguyen Huu Tron, Nguyen Van Vu, Duong Thi Thu Thuy	13
3. Didactical research on the notion of limit of a sequence in schools Nguyen Thi Minh Van	27
4. A Study on the Chemical Components of the Color Substance Extracted from Turmeric (<i>curcuma domestica valet.</i>) Grown in Nhon Phu, Binh Dinh Vo Thi Thanh Tuyen	41
5. Study on the conditions of Biomass Pyrolysis Process to Receive Liquid Products Phan Thi Thuy Dung, Nguyen Cong Hoang, Pham Thi Loan, Huynh Van Nam, Truong Thanh Tam	49
6. Preparation ZnO-SiO ₂ Photocatalyst and Application in the Degradation of Rhodamine B Le Thi Thanh Thuy, Nguyen Xuan Dung	61
7. Electrochromic properties of highly porous TiO ₂ - WO ₃ core - shell nanowire structures Nguyen Minh Vuong, Hoang Nhat Hieu, Nguyen Van Nghia	73
8. The Effects of BA and NAA on the Shoot and Root Formation of <i>in vitro</i> Sweet Herb (<i>stevia rebaudiana bertonii</i>) Culture Ho Tan, Nguyen Thi Y Thanh	81
9. Proposed Active Disturbance Rejection Controller Based on FPGA for Servo Drive Do Van Can, Than Van Thong	91
10. Evaluation of the Target Displacement of Nonlinear Static Analysis for Seismic Design Tran Thanh Tuan, Nguyen Thi Khanh Ngan, Pham Thi Lan	103

11. A Study on the Effect of Steel Ratio and Steel Arrangement on Torsional Stiffness of RC Slabs Nguyen Mai Chi Trung, Le Thi Mai Trang, Nguyen Thi Khanh Ngan, Hoang Cong Vu, Nguyen Ngoc Thang	115
12. The Clustering Quality of the K-means Algorithm Based on a Sampling Method Implemented in Parallel with Mapreduce Model Nguyen Thi Tuyet, Tran Thien Thanh, Tran Hoang Viet	125
13. An Insight into the “Green Lifestyle” and “Sustainable Consumption” Practiced by Pedagogical Students in Quy Nhon City, Binh Dinh Province Nguyen Thi Huyen, Phan Thi Le Thuy	135