



วารสาร

# วิทยาศาสตร์ชุมชน

THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 เมษายน - มิถุนายน 2532





ISSN 0125-2364

255875

# วิทยาศาสตร์ปู

THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

## เจ้าของ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
สำนักงาน

ตึก 6 ห้องสมุดคณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่วิทยาการในสาขาวิชาต่าง ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานด้านการวิจัย และการศึกษา ค้นคว้าของอาจารย์และนักศึกษา
3. เพื่อเป็นสื่อกลางการแลกเปลี่ยนความรู้ และแนวความคิดทางวิชาการระหว่างอาจารย์ นักศึกษาและผู้สนใจ ทั้งภายในและภายนอกสถาบัน

กำหนดออก ปีละ 4 ฉบับ

- ฉบับที่ 1 มกราคม - มีนาคม
- ฉบับที่ 2 เมษายน - มิถุนายน
- ฉบับที่ 3 กรกฎาคม - กันยายน
- ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม

คำบารุง ปีละ 40 บาท ขายปลีกเล่มละ 12 บาท

## การบอกรับเป็นสมาชิก

แจ้งความจำนงเป็นจดหมาย หรือกรอกใบสมัครเป็นสมาชิก พร้อมส่งคำบารุงเป็นชานาติ หรือเช็คไปรษณีย์ในนามของนางบุญคุ้ม เหลือล้ำ ฝ่ายจัดการ ส่งจ่าย ป.ท.มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

## ที่ปรึกษา

คณะบดีคณะวิทยาศาสตร์  
รองคณะบดีฝ่ายวิชาการ

บรรณาธิการ  
บรรณาธิการผู้ช่วย  
กองบรรณาธิการ

พาดิ วรรณนิชกุล  
สมศักดิ์ สร้างบิน  
ไพบุลย์ มงคลดาวราชัย  
ปริญญา ชีรมงคล  
อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์  
ชัชวาลย์ เรื่องประพันธ์  
รชนี ฉวีราช  
อโนทัย ตรีวานิช  
วิทยา อมรกิจบำรุง  
สยาม ชูถิ่น  
สุชัย ตันยอัชฌาวุฒ

ฝ่ายศิลป์และภาพ  
ฝ่ายเหรียญ  
ฝ่ายจัดการ

ทรงเวทย์ เบ้าชัย  
ลักขณา สุขบาง  
บุญคุ้ม เหลือล้ำ  
บุษราภรณ์ ดวงคำน้อย  
สมศักดิ์ อุ่นจันทร์  
พยอม เดชพลมาตย์  
อวาน มหามูล



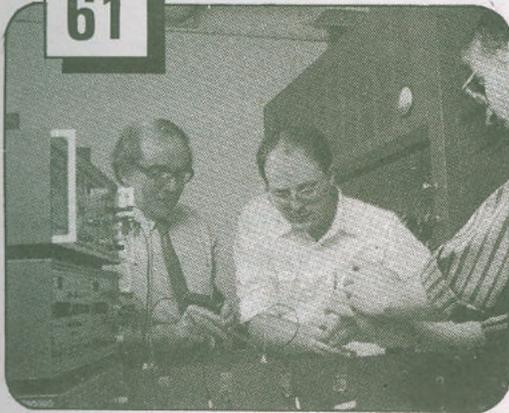
วารสาร

# วิทยาศาสตร์ชุมชน

THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

ปีที่ 17 ฉบับที่ 2

61



**คอลัมน์ประจำ**

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| ข่าววิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี          |    |
| กองบรรณาธิการ                        | 61 |
| จดหมายข่าว สมาคมวิทยาศาสตร์ สาขากาชา |    |
| อวิวรรณ นาระศล                       | 67 |
| ไม่ลองก็ไม่รู้                       |    |
| ดร.เพ็ญ                              | 68 |

68



**สารคดี-วิชาการ**

|   |    |
|---|----|
| คุณสมบัติของพืชในการทนต่อดินเค็ม                    |    |
| พัชรีย์ แสนจันทร์                                   | 69 |
| พลังเจียงของสับปะรด                                 |    |
| พานี วรรณนิจกุล                                     | 73 |
| ไปทำวิจัยเรื่องแคลิโมลินที่เมืองมะกัน               |    |
| ศรिताภรณ์ ซูศรี                                     | 76 |
| การประมาณค่าความแปรปรวนของการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบ |    |
| อโนทัย ตวีรานิช                                     | 82 |

96



**งานวิจัย**

|  |     |
|--|-----|
| การเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารระหว่างออสซิลลาทอเรีย ( <i>Oscillatoria</i> sp.) และสไปรูไลน่า ( <i>Spirulina</i> sp.) |     |
| ศุมนทิพย์ บุญนาค   | 90  |
| กายวิภาคระบบสืบพันธุ์ของแย้ <i>Leirolepis belliana</i> <i>rubraeniata</i> (Mertens)                                |     |
| โรจน์ชัย ศัตรวาทา  | 96  |
| การศึกษาโครงสร้างผลึกของสารประกอบซาลิโคไพโรท์ กลุ่ม I-III-V <sub>2</sub> โดยใช้ทฤษฎีพันธะและแถบพลังงาน             |     |
| ประเสริฐ แจ่มจันทร์  | 103 |
| ผลกระทบของอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมที่มีต่อคุณภาพของน้ำในลำน้ำพอง (ตอนจบ)   |     |
| ชุตินา กุคุ้มมุทร และคณะ   | 110 |

**เบ็ดเตล็ด**

|                    |     |
|--------------------|-----|
| เกิดความรู้อ       |     |
| ชชยา               | 117 |
| คอลัมน์นี้มีรางวัล |     |
| น.ส. TINA          | 119 |



ISSN 0125-2264



**วิทยาศาสตร์**  
**THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY**

#### **Publisher**

Faculty of Science, Khon Kaen University,  
Thailand.

#### **Office**

Faculty of Science Library, Building 6, Khon  
Kaen University.

#### **Objectives**

1. To promote and propagate knowledge in all fields of science.
2. To publish results from research and studies by academic staff and students.
3. To be a medium for the exchange of knowledge and ideas among staff, students and those interested from both inside and outside the institute.

#### **Publishing terms**

four issues per annual volume  
Issue no. 1 January - March  
Issue no. 2 April - June  
Issue no. 3 July - September  
Issue no. 4 October - December

#### **Subscription rate**

40 baht per annum. Single issue price 12 baht.

#### **Membership**

Membership request can be made by letter or by completing the membership form, with the fee paid in the form of a postal order or postal cheque sent to Mrs. Boonkoom Lualon, Managing Committee, Khon Kaen University Post Office, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002.

#### **Advisory Committee**

Dean, Faculty of Science  
Associate Dean for Academic Affairs

#### **Editor**

Panee Wannitikul

#### **Associate Editor**

Somsak Sarangbin

#### **Editorial Board**

Paiboon Mongconthawornchai

Parinya Theramongkol

Utith Inprasit

Chatchavan Ruengprapan

Rachanee Chaveerach

Anotai Trevanich

Wittaya Amornkijbumroong

Siam Choothin

Suchai Tanaiacdchawoot

Songwate Bousechai

#### **Artist**

#### **Treasurer**

Luckana Sukbang

#### **Managing Committee**

Boonkoom Lualon

Bussaraporn Duangkornnoi

Somsak Unjantee

Payom Dejpgolamataya

Oan Mahamool



The views and opinions expressed in this journal are those of the authors, and do not necessarily reflect the views and opinions of the editorial board.

# บรรณาธิการ แดสง



ฤดูร้อนที่อากาศร้อนมาก ๆ กำลังจะผ่านไป หลายคนคงได้หยุดพักร้อน หนีความร้อนไปที่ชายทะเลกันมาแล้ว หลังจากนั้นก็คงต้องมาเริ่มทำงานกันต่อไป ถึงแม้ว่าอากาศจะยังคงร้อนอยู่ แต่ก็เริ่มมีฝนโปรยปรายลงมาช่วยลดความร้อนบ้างเป็นระยะ พื้นดินเริ่มชุ่มไปด้วยน้ำ ต้นไม้เริ่มผลิใบเขียวสดใส อีสานเราเริ่มมีสีเขียวแล้วสินะ

ฉบับนี้ กองบรรณาธิการขอเชิญท่านผู้อ่านเลือกอ่าน ผลงานวิจัยด้านเคมี ชีววิทยา และฟิสิกส์ ได้ตามความพอใจ และเรื่องของ **ลำน้ำพอง** ซึ่งลงติดต่อกันมาหลายฉบับแล้วนั้น ได้ถึงตอนสุดท้ายแล้วในฉบับนี้ ส่วนท่านที่สนใจเกี่ยวกับปัญหาดินเค็มไม่ควรเปิดผ่านเรื่อง คุณสมบัติของพืชในการทนต่อดินเค็ม

ฉบับหน้า จะเป็นฉบับฉลองวันวิทยาศาสตร์ไทย ปี 2532 และครบรอบ 25 ปี ของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอเชิญ ศิษย์เก่าทุกท่านร่วมงาน **"คืนสู่เหย้า"** ที่มหาวิทยาลัยขอนแก่นนะคะ และสุดท้าย กองบรรณาธิการยังเปิดรับบทความจากท่านผู้อ่านทุกท่านอยู่ค่ะ

สวัสดิ์ดีคะ  
พาณี วรรณนิกุล

## ๐ คำบรรยายภาพปกหน้าและปกหลัง ๐



**ปกหน้า :** โคลงเคลง, อ้าหลวง, เอ็นอ้า (*Melastoma sanguineum*) พันธุ์ไม้ป่าอยู่ในวงศ์ Melastomaceae มีชื่อสามัญว่า Rhododendron ลำต้นสูง 1-2 เมตร ดอกสีชมพูเข้ม กลีบดอก 5 กลีบ เกสรตัวผู้มี 10 อัน แบ่งเป็น 2 ชุด ชุดใหญ่ มีอับเรณูสีแดง ชุดเล็กมีอับเรณูสีเหลือง พบขึ้นอยู่ตามป่าละเมาะที่มีดินค่อนข้างชื้น

**ปกหลัง:** พืทูเนีย (*Petunia hybrid*) เป็นพืชล้มลุกของอเมริกาใต้อยู่ในวงศ์ Solanaceae วงศ์เดียวกับยาสูบ มะเขือเทศ ฯลฯ ดอกรูปทรงกรวยรูปแตรปากบาน มี 5 กลีบ แต่ละกลีบเชื่อมติดกัน ดอกคล้ายดอกผักบุ้ง มีหลายสี



ภาพปกหน้า - ปกหลัง : ประนอม จันทรโณทัย  
บรรยายภาพ : รัชณี ฉวีราช

# ข้อเสนอแนะ ในการเขียนบทความลง วารสาร “วิทยาศาสตร์ มข.”



## ประเภทของเรื่องที่จะตีพิมพ์

1. รายงานผลวิจัยและค้นคว้าหรือการสำรวจที่ยังไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารหรือหนังสืออื่นมาก่อน
2. บทความปริทัศน์ ได้แก่งานเขียนที่รวบรวมหรือเรียบเรียงจากเอกสารหรือหนังสือต่าง ๆ เพื่อเผยแพร่และฟื้นฟูงานด้านวิชาการระดับต่าง ๆ
3. บทความแสดงข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในด้านวิชาการ เรื่องแปล ข่าววิชาการย่อความจากงานวิจัยค้นคว้าหรือหนังสือใหม่ที่น่าสนใจ

## รูปแบบของการเขียนและการเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับ **ต้องเป็นตัวพิมพ์ดีดปกติ** มีช่วงห่างระยะบรรทัดตามมาตรฐาน พิมพ์ลงในกระดาษขาว A4 (โรเนียวสั้น) โดยใช้กระดาษหน้าเดียว **ความยาวไม่เกิน 10 หน้า ส่งต้นฉบับ 2 ชุด**
2. ต้นฉบับ จะถูกพิจารณาโดยกองบรรณาธิการ และจะตอบรับเท่านั้นโดยไม่ส่งคืน ผู้เขียนควรจะทำสำเนาเก็บไว้เป็นหลักฐานของตัวเอง 1 ฉบับ
3. ต้นฉบับ จะต้องมีความถูกต้องทั้งในด้านเนื้อหา และการใช้ภาษา รวมทั้งมีความสมบูรณ์ในรูปแบบพร้อมที่จะนำลงตีพิมพ์ได้
4. ชื่อเรื่อง ให้ใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ **ไม่ยาวเกินไป** และหลีกเลี่ยงการใช้คำย่อโดยไม่จำเป็น
5. ชื่อผู้เขียน เขียนชื่อภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษพร้อมทั้งบอกสถานที่ทำงานให้ชัดเจน
6. เนื้อเรื่อง ใช้ได้ทั้งภาษาไทยล้วนหรือภาษาอังกฤษล้วน ถ้าใช้ภาษาไทย ภาษาอังกฤษที่ใช้ปนกับภาษาไทยนั้นให้พยายามแปลเป็นไทยเท่าที่จะทำได้และให้เขียนคำเดิมกำกับในวงเล็บ การทับศัพท์ภาษาอังกฤษ ตลอดทั้งการเขียนตัวสะกดการันต์ในภาษาไทยให้ใช้ตามแบบราชบัณฑิตยสถาน
7. ในกรณีของบทความวิจัย **ต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ** และแบ่งเนื้อหาของบทความเป็นบทนำวิธีดำเนินงาน ผลการวิเคราะห์ บทสรุปและวิจารณ์
8. เชิงอรรถ (footnote) ใช้เฉพาะที่จำเป็นเพื่อขยายหรือให้รายละเอียดเพิ่มเติมแก่ใจความเฉพาะตอนในบทความ ข้อความที่จำเป็นจะต้องมีเชิงอรรถให้ใช้เครื่องหมายดอกจัน (\*) กำกับท้าย
9. ตารางและภาพประกอบ คำบรรยายประกอบตารางหรือภาพประกอบควรจะสั้นและชัดเจน ถ้าจะเป็นภาพถ่ายให้ใช้ภาพขาว-ดำ ขนาดโปสเตอร์การ์ด ภาพเขียนลายเส้นควรเขียนด้วยหมึกดำ ภาพที่เขียนต้องชัดเจนและมีขนาดที่เหมาะสม
10. เอกสารอ้างอิง หรือบรรณานุกรม เขียนตามแบบสากลนิยม  
ส่งต้นฉบับมาที่

## อกินันทนาการสำหรับผู้เขียน

1. เรื่องที่ได้รับการตีพิมพ์ผู้เขียนจะได้รับวารสารฉบับนั้น 2 เล่ม และสำเนาพิมพ์อีก 15 ชุด

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ มข.  
คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น



● งานสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ ●

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ร่วมกับสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยฯ สาขาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะจัดงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ ครั้งที่ 7 ประจำปี พ.ศ.2532 ระหว่างวันที่ 15-18 สิงหาคม 2532 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยมีกำหนดการจัดงานโดยสังเขป ดังนี้

- 12-17 สิงหาคม : ดำเนินการประกวดโครงการวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาต้น และปลาย
- 15 สิงหาคม : พิธีเปิดงานวันวิทยาศาสตร์แห่งชาติ
- 15-18 สิงหาคม : แสดงนิทรรศการและกิจกรรมต่าง ๆ
- 18 สิงหาคม : พิธีถวายพานพุ่มสักการะพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว
- 18 สิงหาคม : ประกาศผลการแข่งขัน และมอบรางวัล

กิจกรรมที่จะจัดในงานนี้ ได้แก่

1. การประกวดโครงการวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น
2. การประกวดโครงการวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ประเภทกำหนดหัวข้อ และประเภททั่วไป
3. การแข่งขันทักษะการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
4. การแข่งขันตอบปัญหาทางวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
5. การจัดแสดงนิทรรศการทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี
6. การจัดกิจกรรมกลุ่มทางวิชาการวิทยาศาสตร์
7. การประชุมวิชาการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ผู้ที่สนใจจะเข้าร่วมกิจกรรม ติดต่อขอทราบรายละเอียดได้ที่คณะวิทยาศาสตร์

● คณะวิทยาศาสตร์ จัดค่ายวิทยาศาสตร์ในโครงการ พสวท. ●



คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เป็นเจ้าภาพจัดงานค่ายวิทยาศาสตร์ภาคฤดูร้อน สำหรับนิสิต นักศึกษาในโครงการ พสวท. ปีการศึกษา 2531 (ครั้งที่ 3) ระหว่างวันที่ 26-31 มีนาคม 2532

ในวันที่ 26 มีนาคม 2532 ดร.กำแหง สติรกุล รองปลัดทบวงมหาวิทยาลัยได้มาเป็นประธาน ในพิธีเปิดค่ายวิทยาศาสตร์ภาคฤดูร้อน สำหรับนิสิต นักศึกษาในโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความ สามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) ระดับอุดมศึกษา ครั้งที่ 3 ตั้งแต่วันที่ 26-31 มีนาคม 2532 ซึ่งคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นเป็นเจ้าภาพ ผู้เข้าร่วมกิจกรรมค่ายครั้งนี้ ประกอบด้วยนิสิตนักศึกษาในโครงการ พสวท. ระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 1 และชั้นปีที่ 4 อาจารย์ที่ปรึกษา ในโครงการ อาจารย์ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ของศูนย์มหาวิทยาลัย พสวท. ได้แก่ ศูนย์มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัย- เกษตรศาสตร์ และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบุคลากรจากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี รวมทั้งสิ้น 136 คน

ค่ายวิทยาศาสตร์ฯ ภาคฤดูร้อนนี้เป็นกิจกรรมส่งเสริมพิเศษสำหรับนิสิต นักศึกษาชั้นปีที่ 1 ในโครงการฯ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ เพื่อส่งเสริมให้นักศึกษาในโครงการรู้จักกระบวนการวิจัย การทดลอง ตลอดจนได้มีโอกาสทำงานร่วมกันเป็นหมู่คณะ แลกเปลี่ยนความคิดเห็นและประสบการณ์ซึ่งกันและ กัน สำหรับค่ายวิทยาศาสตร์ฯ ครั้งนี้ นอกจากจะจัดให้มีการเสนอผลงานของนิสิต นักศึกษาแล้ว ยัง จัดให้นิสิต นักศึกษาได้พบปะรับฟังความคิดเห็นจากนักวิทยาศาสตร์ชั้นนำและผู้ทรงคุณวุฒิ อาทิเช่น ดร.วิโรจน์ ตันตราภรณ์ ศาสตราจารย์ ดร.สถิตย์ ลิริสิงห์ คุณแสงชัย สุนทรวัฒน์ และชมงานจาก

หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เช่น ชมห้องปฏิบัติการกลางๆ โรงงานทำมันอัดเม็ด และแป้งมันของบริษัท เจ้าพระยาพีชไร้ การทำเครื่องปั้นดินเผาที่ด่านเกวียน จ.นครราชสีมา เนื่องจากในปีการศึกษา 2531 นี้ นิสิต นักศึกษาในโครงการ พสวท. รุ่นแรก สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จึงได้มีการจัดให้นิสิต นักศึกษาชั้นปีที่ 4 เสนอผลงานทางวิทยาศาสตร์ด้วย ผลการจัดกิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ฯ ครั้งนี้ประสบผลสำเร็จเป็นอย่างดี

### ● คณะวิทยาศาสตร์จัดการประชุมเชิงปฏิบัติการภาคฤดูร้อน ●

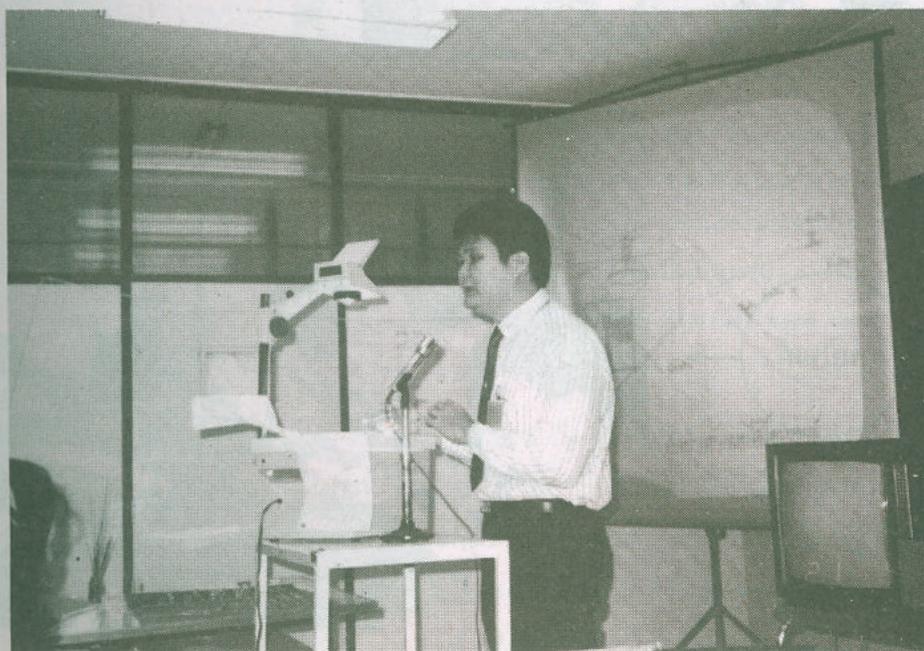
ในระหว่างวันที่ 3-22 เมษายน 2532 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้จัดให้มีการประชุมเชิงปฏิบัติการภาคฤดูร้อน ประจำปี 2532 ขึ้น จำนวน 3 โครงการย่อย คือ

**โครงการที่ 1** การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ในด้านการบริหารและการบริการทางวิชาการ เริ่มตั้งแต่ 3-9 เมษายน รับผิดชอบผู้เข้าร่วมการประชุมทั้งหมด 30 คน

**โครงการที่ 2** เทคนิคและการประดิษฐ์วัสดุการสอนชีววิทยา เริ่มตั้งแต่ 17-22 เมษายน รับผิดชอบผู้เข้าร่วมการประชุมทั้งหมด 30 คน

**โครงการที่ 3** การสังเคราะห์และศึกษาสมบัติของโพลีเมอร์ เริ่มตั้งแต่ 17-20 เมษายน รับผิดชอบผู้เข้าร่วมการประชุมทั้งหมด 30 คน

การจัดประชุมดังกล่าวนี้เป็นโครงการที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้ดำเนินการต่อเนื่องกันมาตั้งแต่ปี 2522 และจะยังคงจัดให้มีต่อไปทุกปี ผู้ที่สนใจสามารถสอบถามรายละเอียดได้ที่ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ตั้งแต่เดือนมกราคม ของทุกปี



### ปฏิบัติการโครงการที่ 2

การฝังตัวอย่าง  
ในพลาสติก



การเพาะเลี้ยงและ  
การทำสไลด์ถาวร  
สำหรับ

การเป่าแก้ว

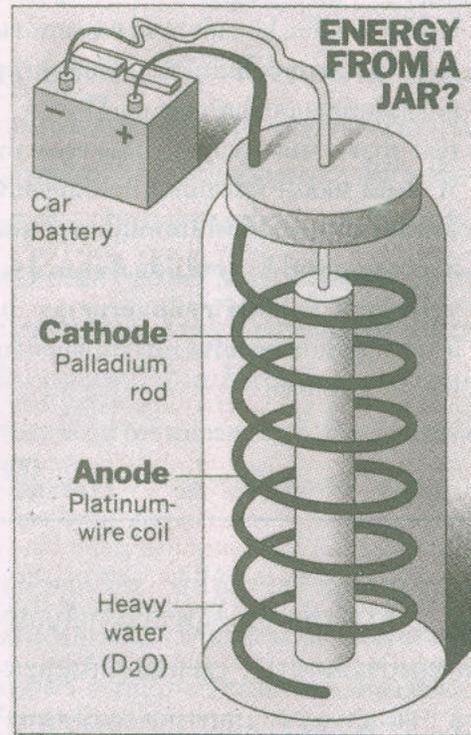


**Cold (con) fusion ?**

เมื่อวันพฤหัสบดีที่ 23 มีนาคม 2532 B.Stanley Pons ศาสตราจารย์เคมี มหาวิทยาลัยยูทาห์ สหรัฐอเมริกา และ M.Fleischmann จากมหาวิทยาลัยเซาแธมป์ตัน อังกฤษ ได้เปิดการแถลงข่าวต่อนักหนังสือพิมพ์ และสื่อมวลชน ที่มหาวิทยาลัยยูทาห์ เมืองซอลท์เลค ว่า ทีมวิจัยของตนได้ทำการทดลอง แยกน้ำชนิดหนัก (Heavy Water : D<sub>2</sub>O) ด้วยไฟฟ้า ดังรูปที่ 1 โดยใช้โลหะแพลเลเดียมเป็นขั้วลบ และ โลหะพลาตินัมเป็นขั้วบวก ใช้ไฟจากแบตเตอรี่รถยนต์ขนาด 12 โวลท์ ดังรูปที่ 2 หลังจากผ่านกระแส



รูปที่ 1 Fleischmann (ซ้าย) Marvin Hawkins (กลาง) และ Pons (ขวา) กับอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองปฏิกิริยาฟิวชั่น (จาก C & EN, 3 April 1989)



รูปที่ 2 Pons และ Fleischmann ใช้อุปกรณ์ทดลองอย่างง่ายดังภาพ เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าอออนบวกจะเคลื่อนไปยังแคโทดเกิดปฏิกิริยา (ที่ยังไม่เป็นที่แน่ชัด) ให้ความร้อนออกมา (จาก TIME 17 April 1989)

ไฟฟ้าประมาณ 100 ชั่วโมง จะเกิดปฏิกิริยาให้ความร้อนปริมาณมหาศาล ผลจากการคำนวณพลังงานที่ให้ออกมาประมาณ 4 เท่าของพลังงานที่ให้เข้าไป ทั้งสองซึ่งเป็นนักเคมีที่เป็นที่รู้จักกันดีในปัจจุบัน ยืนยันว่า ไม่มีปฏิกิริยาเคมีใดที่จะให้พลังงานออกมามากขนาดนี้ นอกจากจะเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ ฟิวชั่นที่เกิดจากการหลอมรวมตัวกันของดิวทีเรียมไอออนในเนื้อโลหะแพลเลเดียม หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยาฟิวชั่นที่อุณหภูมิต่ำ (cold fusion)

## ฟิวชั่นกับความล้มเหลวในอดีตที่สำคัญ ๆ

ในอดีตเคยมีผู้อ้างว่าสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาฟิวชั่นและควบคุมได้สำเร็จ สุดท้ายก็ต้องยอมรับว่าการทดลองผิดพลาดบ้าง หรือไม่ก็เกิดปฏิกิริยาจริงแต่ให้พลังงานออกมาเพียงเล็กน้อย ดังมีรายละเอียด ดังนี้

1926 นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ชื่อ Fritz Paneth และ Kurt Peters ได้อธิบายการทำให้เกิดปฏิกิริยาฟิวชั่นโดยใช้แพลเลเดียม โลหะเดียวกับที่ Pons และ Fleischmann ใช้ หลังจากนั้นไม่ถึงปี ทั้งสองก็ยอมรับว่าทำการทดลองผิดพลาดและพิมพ์บทความแก้ไข

1951 ประธานาธิบดีอาร์เจนตินา Juan Peron ประกาศว่า Ronal Richter ผู้มีความสามารถเป็นที่ยอมรับทางด้านฟิวชั่น สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่สามารถควบคุมได้ โดยไม่ต้องใช้ยูเรเนียมหรือพลูโตเนียม เพียงแต่ใช้วัสดุท้องถิ่นราคาถูก ในที่สุดโครงการปฏิกิริยานิวเคลียร์ของประธานาธิบดีก็ล้มเหลวและ Richter ถูกจับ

1956 นักฟิสิกส์ สหรัฐอเมริกา Luis Alvarez รายงานว่า ได้ทำการทดลอง การทำให้เกิดปฏิกิริยาฟิวชั่นที่อุณหภูมิต่ำได้สำเร็จ จากการวิจัยเพิ่มเติมต่อมาพบว่าปฏิกิริยาตามที่เสนอนั้นเกิดซ้ำมาก จนไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

1958 Sir John Cockroft ชาวอังกฤษ ประกาศด้วยความมั่นใจ 99% ว่า เขาปฏิกรณ์ ZETA (Zero Energy Thermo nuclear Assembly) ของเขา สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชั่นที่ควบคุมได้ จนเป็นข่าวพาดหัวหนังสือพิมพ์ยักษ์ใหญ่ของอังกฤษขณะนั้น (The London Daily Mail) แต่เมื่อเดินเครื่อง ZETA กลับให้พลังงานออกมาเพียงเล็กน้อย!

(จาก Time, 8 May 1989)

ข่าวการค้นพบได้แพร่กระจายไปอย่างรวดเร็ว กระตุ้นให้นักวิทยาศาสตร์ของห้องทดลองที่มีชื่อเสียงของประเทศต่าง ๆ เร่งระดมกำลังและเครื่องมือที่ทันสมัย ทำการทดลองซ้ำ การทดลองของ Pons และ Fleischmann ผลการทดลองมีหลายทีมที่ได้ผลไม่เป็นไปตามที่รายงานและไม่พบปฏิกิริยาฟิวชั่น แต่ก็ยังมีบางทีมให้ผลการทดลองสอดคล้องกับผลที่กลุ่มของ Pons และ Fleischmann จะอย่างไรก็ตาม นักเคมีทั้งสองท่านยังยืนยันหนักแน่นและกล่าวว่า ตอนแรกที่ทีมของตนทำการทดลองเกิดปฏิกิริยาจนไม่สามารถควบคุมได้ ทำให้ห้องทดลองบางส่วนและพื้นของห้องที่เป็นคอนกรีตได้รับความเสียหายจากความร้อนที่เกิดขึ้น

ครับ.... ผลเป็นอย่างไรในไม่ช้าคงจะได้ทราบว่ ปฏิกิริยาที่ Pons และ Fleischmann พบเป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชั่นตามที่ทั้งสองเสนอหรือไม่ หรือเป็นเพียงปฏิกิริยาเคมีที่ยังไม่มีใครพบ แต่ที่แน่ ๆ ในอดีตเคยมีผู้ประกาศข่าว (ที่เพียงแต่สร้างความฮือฮาเท่านั้น) ว่าสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาฟิวชั่นและควบคุมได้ 4 รายใหญ่ ๆ (เล็ก ๆ ไม่คิด!) ดังมีรายละเอียดในกรอบ

[จาก Time 17, 24 April 1989; 8, 15 May 1989

Chemical & Engineering News, 3 April 1989]

สยาม ชูถิ่น



# จดหมายข่าว

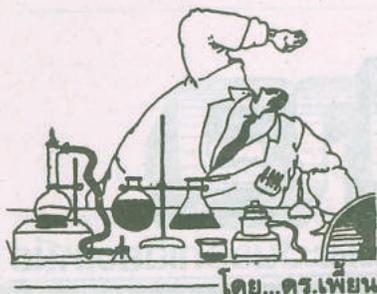
## สมาคมวิทยาศาสตร์ สาขาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

รศ.ทวีวรรณ นาระกค

สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย สาขาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีโครงการจัดกิจกรรม เพื่อเผยแพร่ความรู้ต่าง ๆ แก่มวลสมาชิก ทั้งที่เป็นครูผู้สอนนักเรียนทุกระดับชั้น ตลอดจนประชาชนทั่วไป โครงการที่คณะกรรมการกำลังดำเนินการอยู่ คือ โครงการจัดทำวีดีโอเทป เรื่องต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะนำไปเผยแพร่ทางสถานีโทรทัศน์ฯ เป็นประจำต่อไป แต่ละเรื่องจำเป็นต้องใช้เวลาในการดำเนินการ เพราะจะต้องอาศัยภาพตัดต่อใหม่ระหว่างภาพชีวิตจริงที่ผู้จัดทำไปถ่ายทำจากชีวิตจริงในชนบทอีสานมาก่อนเป็นการล่วงหน้าแล้ว บางส่วนจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีสูงในการจัดทำ จึงจำเป็นต้องติดต่อจากภาพของต่างประเทศที่ได้มีผู้นำเผยแพร่ไว้บ้างแล้วเช่นกัน แต่ละเรื่องมีจุดประสงค์และเป้าหมายเพื่อเผยแพร่ความรู้ในเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับประชาชนทั้งสิ้น และเพื่อหวังผลที่จะให้เกิดความรู้ความเข้าใจ ในอันที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับการดำรงชีวิตในสภาพปัจจุบันต่อไป

จากหลักสูตรวิชาวิทยาศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ซึ่งได้มีการปรับปรุงบางส่วน เพื่อให้ทันต่อสภาพของเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่ได้เปลี่ยนแปลงไปในเบื้องต้น เป็นการกล่าวถึงวิทยาศาสตร์เพื่อการสร้างสรรค์ ซึ่งจะกล่าวถึง ความหมายของวิทยาศาสตร์ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้มาอย่างไร การใช้เครื่องมือบางชนิด บทบาทและผลกระทบของวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีต่อมนุษย์ จะเห็นได้ว่า ครูผู้สอนจะต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจในสภาพปัจจุบัน และพยายามที่จะนำความรู้และเทคโนโลยีที่ทันสมัย มาเล่าให้นักเรียนได้รับประสบการณ์ร่วมกัน อันจะส่งผลให้นักเรียนเป็นผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจต่อสภาพชีวิตในปัจจุบันอย่างแท้จริง

นอกจากนี้ เรื่องอื่นก็มีส่วนสำคัญเช่นกัน ได้แก่ น้ำเพื่อชีวิต สารรอบตัว โลกสีเขียว ชีวิตสัตว์ระบบนิเวศ อาหาร ล้วนแต่เป็นเรื่องที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับตัวเราทั้งสิ้น ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในสภาพปัจจุบัน ครูควรจะเน้นให้นักเรียน รู้จัก คิดเป็น ทำเป็น แก้ปัญหาเป็น ใจกว้าง ยอมรับความคิดเห็นของผู้อื่น และรู้จักแสวงหาความรู้ใหม่ๆ อยู่เสมอ ผู้เขียนมีความเชื่อว่าการกิจกรรมของสมาคมฯ เมื่อได้ดำเนินการอย่างแท้จริงแล้ว จะมีประโยชน์ต่อมวลสมาชิกทุกท่าน แต่ในช่วงการเริ่มต้นนี้คณะกรรมการเป็นผู้ริเริ่มเอง หากได้รับฟังข้อคิดเห็นจากผู้อ่าน ผู้ชม ทุกท่าน ว่ามีผลดี ผลเสียตรงกับความต้องการเพียงใด อยากรู้ให้สมาคมเสนอความรู้ในเรื่องใด รูปแบบใด สมาคมจะยินดีเป็นอย่างยิ่ง เพื่อจะได้ภาพรวมข้อมูลต่างๆ แล้วนำมาปรับปรุงโครงการ ให้สอดคล้องกับความต้องการของมวลสมาชิกมากที่สุด สมาคมขอถือโอกาสขอบคุณล่วงหน้า ณ โอกาสนี้



โดย...ดร.เพ็ญ

# ไม่ลองก็ไม่รู้

บทความในชุด "ไม่ลองก็ไม่รู้" นี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อกระตุ้นความสนใจและเสริมความเข้าใจด้านวิทยาศาสตร์โดยการทดลอง หรือประดิษฐ์เครื่องมืออย่างง่าย ซึ่งนอกจากจะให้ความเพลิดเพลินแล้วยังคาดว่าจะมีประโยชน์ต่อการสอนวิทยาศาสตร์ในแบบแผนปัจจุบันอีกด้วย

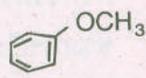
## ● หลอดหยดล่องหน ●

การทำให้หลอดหยดในขวดหยด (dropping bottle, แบบขวดยาหยอดตา) หายไปอย่างน่าอัศจรรย์ราวกับเล่นกลนั้นไม่ใช่เรื่องยาก โดยเพียงแต่บรรจุ anisole ลงในขวด แล้วบีบลูกยางไล่อากาศออกจากหลอดหยด เมื่อปล่อยมือให้ของเหลวไหลกลับไปแทนที่อากาศ พลับหลอดบริเวณนั้นก็หายไปอย่างไร้ร่องรอย !

เหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะหลอดหยดนั้นทำด้วยแก้ว borosilicate ซึ่งมีดัชนีหักเห (refractive index) ประมาณ 1.517 และ anisole ก็มีดัชนีหักเหประมาณ 1.517 ด้วย ฉะนั้นเมื่อมองดูจึงแทบจะไม่เห็นขอบเขตของหลอดหยด เลยเหมือนกับหายตัวไป แต่ถ้ายกขวดขึ้นส่องดูตรงๆ ก็อาจเห็นขอบเขตของหลอดหยดได้รางๆ เพราะแสง



ที่ส่องทะลุขวดมาเข้าตาเราเกิดการกระจาย (dispersion) ด้วยเหตุนี้ เวลาแสดง "กล" จึงต้องถือขวดแบบที่แสดงในรูปข้างบนนี้ เพื่อให้อุ้งมือลดแสงที่จะส่องผ่านจากด้านหลังมาเข้าตาผู้ชมนั่นเอง

หมายเหตุ 1. anisole คือ methyl phenyl ether มีสูตร  $\text{CH}_3\text{OC}_6\text{H}_5$  และมีสูตรโครงสร้างดังนี้ 

2. ถ้าเก็บ anisole ไว้ในขวดหยदनานๆ สีจะคล้ำลงเพราะเกิดปฏิกิริยากับลูกยางของหลอดหยด ทางที่ดีควรจะแยกเก็บไว้ในขวดอื่น

## คุณสมบัติของพืช ในการทนต่อดินเค็ม

\* พัชรีย์ แสนจันทร์

ปัญหาเรื่องดินเค็มไม่เหมาะต่อการผลิตทางการเกษตรนั้น มิใช่เป็นปัญหาเฉพาะแต่ในประเทศไทยเท่านั้น แม้องค์การสหประชาชาติก็ได้จัดให้ปัญหาของดินเค็มอยู่ในสิบอันดับแรกของหัวข้อวิจัยที่ควรได้รับการศึกษาอย่างเร่งด่วนในทศวรรษที่ 1980 ทั้งนี้เพราะพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ที่ใช้ในการผลิตอาหารนั้นลดลงเรื่อยๆ ในขณะที่พื้นที่ที่มีปัญหา โดยเฉพาะอันเกิดจากการกระทำของมนุษย์มีพื้นที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เช่น ปัญหาการได้รับอิทธิพลของมลภาวะทำให้ดินมีความเป็นกรดสูง ปัญหาการมีปริมาณโลหะหนักและสารที่เป็นพิษปะปนอยู่มาก นอกจากนั้นยังมีปัญหาที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับอิทธิพลของเกลืออันเกิดจากการจัดการดินที่ไม่เหมาะสมทำให้ดินไม่เหมาะต่อการเกษตรอีกด้วย ซึ่งคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 10% ของพื้นที่ทั่วโลก (Szabolcs, 1981) ดังนั้นจะเห็นว่าพื้นที่ที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของเกลือ ควรได้รับการศึกษาให้ละเอียดทุกแง่และควรได้รับการจัดการที่ถูกต้อง ผู้เขียนได้รวบรวมบทความนี้ขึ้นเพื่อประโยชน์ของการพัฒนา

ทางการเกษตร เพื่อเพิ่มพูนความรู้แก่ผู้อ่านและเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้อ่านเลือกพืชที่จะปลูกในดินเค็มตามความเหมาะสมต่อไป

ก่อนอื่นใคร่ขอทำความเข้าใจเสียก่อนในเรื่องความทนทานต่อความเค็มของพืช ความทนทานต่อความเค็มนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาเจริญเติบโตของพืช และชนิดของพืช เช่น ข้าวโพดและข้าวจะอ่อนแอต่อความเค็มในระยะการงอกของเมล็ด และระยะเริ่มแรกของการเจริญเติบโตของต้นกล้า เพื่อลดความเสี่ยงในการปลูกพืช ผู้อ่านควรทราบความสามารถในการทนทานความเค็มของพืชทุกระยะการเจริญเติบโตเสียก่อน เพื่อจะได้ใช้เป็นแนวทางในการเลือกพืชที่จะปลูกต่อไป Hank et al. (1977) รายงานว่าการที่ผลผลิตของพืชที่ปลูกในดินเค็มลดลง เป็นเพราะการคายน้ำของพืชลดลงเนื่องมาจากการขาดน้ำ ผู้เขียนจะขออธิบายถึงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของเกลือในสารละลายดินกับปริมาตรของสารละลายดินดังนี้ เมื่อพืชดูดน้ำในสารละลายดินขึ้นไปใช้ก็เป็นเหตุให้ความเข้มข้นของเกลือในสาร

ละลายดินนั้นเพิ่มขึ้น ทำให้พืชต้องใช้แรงงานมากขึ้น ในการดูดสารละลายนั้น และเมื่อเกิดการขาดน้ำขึ้นพืชก็จะลดการคายน้ำลง นี่เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้พืชอ่อนแอในดินเค็มและทำให้ผลผลิตลดลง

### การจัดกลุ่มความทนทานต่อความเค็มของพืช

พืชที่ให้อาหาร เส้นใย และน้ำมันนั้นจะให้ผลผลิตลดลงเมื่อความเข้มข้นของเกลือในสารละลายดินเพิ่มขึ้นเกินพิกัดที่เป็นอันตราย ดังนั้นเราจึงควรทำความเข้าใจถึงการวัดความเค็มในดินเสียก่อน จากความจริงที่ว่าน้ำที่ไม่บริสุทธิ์มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้า เช่นเดียวกับสารละลายดินที่มีเกลือปะปนอยู่ก็จะให้คุณสมบัติในการนำไฟฟ้าเช่นกัน ทางปฐพีศาสตร์ใช้วิธีการหาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดได้จากดินที่อิมตัวด้วยน้ำ (electrical conductivity of saturation extract, ECe) เป็นตัวชี้ถึงความเค็มของดิน

ดังที่ได้กล่าวข้างต้นแล้ว พืชมีความสามารถที่จะทนทานต่อความเค็มของดินได้ไม่เท่ากันแล้วแต่ชนิดของพืช ดังนั้นค่า ECe วิกฤตของพืชแต่ละชนิดจะต่างกัน US Salinity Laboratory Staff (1954) เป็นหน่วยงานแรกที่ริเริ่มจัดกลุ่มพืชที่ทนความเค็มในเชิงกึ่งปริมาณ (semi-quantitative salt tolerance grouping) ขึ้นก่อน ต่อมามีนักวิจัยหลายท่านได้เพิ่มจำนวนชนิดของพืชเข้าไปในกลุ่มพืชที่ทนทานต่อความเค็ม (salt tolerance) เช่น Bernal et al. (1974) ต่อมาในภายหลัง Carter (1981) ได้ทำรายชื่อของพืชที่ทนต่อความเค็มโดยยึดหลัก 2 ประการคือ 1) ค่า ECe วิกฤตของพืช และ 2) การลดลงของผลผลิตเมื่อ ECe เพิ่มขึ้นทั้งนี้โดยใช้สมการของ Maas และ Hoffman (1977) ดังนี้คือ

$$Y = 100 - B(CEc - A) \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ A = ค่า ECe วิกฤตของพืชที่ปลูก มีหน่วยเป็น mmho/cm

B = เปอร์เซนต์ของผลผลิตพืชที่ลดลงต่อหนึ่งหน่วยของ ECe, มีหน่วยเป็น % ต่อ mmho/cm

ยกตัวอย่าง เช่น ผลผลิตของอัลฟัลฟาจะลดลง 7.3% ต่อ mmho/cm เมื่อ ECe เกิน 2.0 mmho/cm ถ้าต้องการทราบว่าดินมี ECe 5.4 mmho/cm จะได้ผลผลิตของอัลฟัลฟาเป็นเท่าใดก็ใช้สูตรนี้คำนวณ :

$$Y = 100 - 7.3 (5.4 - 2.0) = 75\%$$

Carter ได้แบ่งความทนทานต่อความเค็มของพืชออกเป็น 4 กลุ่มคือ 1) พืชที่อ่อนแอต่อความเค็ม, 2) พืชที่อ่อนแอต่อความเค็มปานกลาง, 3) พืชที่ทนทานต่อความเค็มปานกลาง และ 4) พืชที่ทนทานต่อความเค็ม และเสนอตารางรายชื่อพืชทั้ง 4 กลุ่มไว้ในตารางที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ นอกจากนั้นในแต่ละตารางยังได้แสดงค่า ECe วิกฤตของพืชแต่ละชนิด (A) และเปอร์เซนต์ของผลผลิตพืชที่ลดลงต่อหนึ่งหน่วย ECe (B) ซึ่งเป็นตัวแปรในสมการที่ 1

ถ้าเราทำความเข้าใจการใช้ตารางที่ 1-4 และรู้ค่าความเค็มของดินตนว่ามีค่า ECe เท่าใด ผู้อ่านก็จะสามารถเลือกชนิดของพืชที่ปลูกโดยเลือกปลูกพืชที่มีค่า ECe วิกฤตสูงกว่าค่า ECe ในดินของตน อย่างไรก็ตามสิ่งที่ท่านควรจะต้องยึดไว้เป็นหลักประกอบการตัดสินใจเลือกชนิดของพืชด้วยก็คือ ควรเลือกพืชที่ให้ผลคุ้มค่าทางเศรษฐกิจที่คุ้มกับการลงทุน

ตารางที่ 1 รายชื่อพืชที่อ่อนแอต่อความเค็มมาก (sensitive plants) ค่า ECeวิกฤต (A) และเปอร์เซ็นต์การลดลงของผลผลิตของพืชนั้นต่อหนึ่งหน่วย ECe ที่เพิ่มขึ้น (B) (ที่มา : Bresler, McNeal และ Carter 1982)

| พืช                 | ชื่อวิทยาศาสตร์               | A   | B    |
|---------------------|-------------------------------|-----|------|
| ถั่ว (bean)         | <i>Phaseolus vulgaris</i>     | 1.0 | 18.9 |
| แครอท (carrot)      | <i>Daucus carota</i>          | 1.0 | 14.1 |
| ก้านฉ่าย (celery)   | <i>Apium graveolens</i>       | 1.0 | —    |
| มะนาว (lemon)       | <i>Citrus limon</i>           | 1.0 | —    |
| กระเจียบ (okra)     | <i>Abelmoschus esculentus</i> | —   | —    |
| หอมหัวใหญ่ (onion)  | <i>Allium cepa</i>            | 1.2 | 16.1 |
| ส้ม (orange)        | <i>Citrus sinensis</i>        | 1.7 | 15.9 |
| สับปะรด (pineapple) | <i>Feijoa sellowiana</i>      | 1.2 | —    |
| กุหลาบ (rose)       | <i>Rosa spp.</i>              | 1.0 | —    |

ตารางที่ 2 รายชื่อพืชที่อ่อนแอต่อความเค็มปานกลาง (moderately sensitive plants) ค่า ECeวิกฤต(A) และเปอร์เซ็นต์การลดลงของผลผลิตพืชนั้นต่อหนึ่งหน่วย ECe ที่เพิ่มขึ้น (B) (ที่มา : Bersler, McNeal และ Carter 1982)

| พืช                     | ชื่อวิทยาศาสตร์                | A   | B    |
|-------------------------|--------------------------------|-----|------|
| อัลฟัลฟา (alfalfa)      | <i>Medicago sativa</i>         | 2.0 | 7.3  |
| กะหล่ำดอก (cauliflower) | <i>Brassica oleracea</i>       | 2.5 | —    |
|                         | <i>var. botrytis</i>           |     |      |
| กะหล่ำปลี (cabbage)     | <i>Brassica oleracea</i>       | 1.8 | 9.7  |
|                         | <i>var. capitata</i>           |     |      |
| ข้าวโพด (corn)          | <i>Zea mays</i>                | 1.7 | 12.0 |
| ถั่วพุ่ม (cowpea)       | <i>Vigna unguiculata</i>       | 1.3 | 14.3 |
| แตงกวา (cucumber)       | <i>Cucumis sativus</i>         | 2.5 | 13.0 |
| ป่าน (flax)             | <i>Vinum usitatissimum</i>     | 1.7 | 12.0 |
| องุ่น (grape)           | <i>Vitis spp.</i>              | 1.5 | 9.5  |
| ผักกาดหอม (lettuce)     | <i>Latuca sativa</i>           | 1.3 | 13.0 |
| ถั่วลันเตา (pea)        | <i>Pisum sativum</i>           | 2.5 | —    |
| ถั่วลิสง (peanut)       | <i>Arachis hypogaea</i>        | 3.2 | 28.6 |
| พริกใหญ่ (pepper)       | <i>Capsicum annum</i>          | 1.5 | 14.1 |
| มันฝรั่ง (potato)       | <i>Solanum tuberosum</i>       | 1.7 | 12.0 |
| ข้าว (rice, paddy)      | <i>Oryza stiva</i>             | 3.0 | 12.0 |
| โสน (sesbania)          | <i>Sesbania exaltata</i>       | 2.3 | 7.0  |
| อ้อย (sugarcane)        | <i>Saccharum officinarum</i>   | 1.7 | 5.9  |
| มันเทศ (sweet potato)   | <i>Ipomoea batatas</i>         | 1.5 | 11.0 |
| มะเขือเทศ (tomato)      | <i>Lycopersicon esculentum</i> | 2.5 | 9.9  |

ตารางที่ 3 รายชื่อพืชที่ทนทานต่อความเค็มปานกลาง (moderately tolerant plants) ค่า ECeวิกฤต (A) และเปอร์เซ็นต์การลดลงของผลผลิตพืชต่อหนึ่งหน่วย ECe ที่เพิ่มขึ้น (B) (ที่มา : Bersler, McNeal และ Carter 1982)

| พืช                       | ชื่อวิทยาศาสตร์                                 | A   | B    |
|---------------------------|---|-----|------|
| บร็อกโคลี่ (broccoli)     | <i>Brassica oleracea</i><br><i>var. italica</i> | 2.8 | 9.1  |
| ส้ม (mandarin, cleopatra) | <i>Citrus nobilis</i>                           | -   | -    |
| ถั่วเหลือง (soybean)      | <i>Glycine max</i>                              | 5.0 | 20.0 |
| ข้าวสาลี (wheat)          | <i>Triticum aestivum</i>                        | 6.0 | 7.1  |

ตารางที่ 4 รายชื่อพืชที่ทนทานต่อความเค็ม (tolerant plants) ค่า ECeวิกฤต (A) และเปอร์เซ็นต์การลดลงของผลผลิตพืชต่อหนึ่งหน่วย ECe ที่เพิ่มขึ้น (B) (ที่มา : Bersler, McNeal และ Carter 1982)

| พืช                            | ชื่อวิทยาศาสตร์            | A   | B   |
|--------------------------------|----------------------------|-----|-----|
| บาร์เลย์ (barley)              | <i>Hordeum vulgare</i>     | 8.0 | 5.0 |
| หญ้าเบอร์มิวดา (bermuda grass) | <i>Cynodon dactylon</i>    | 6.9 | 6.4 |
| ฝ้าย (cotton)                  | <i>Gossypium hirsutum</i>  | 7.7 | 5.2 |
| อินทผาลัม (date)               | <i>Phoenix dactylifera</i> | 4.0 | 3.6 |

### เอกสารอ้างอิง

- Bernal, C.T., Bingham F. T. and Oertli J. 1974.. Salt tolerance of Mexican wheats : II. Relation to variable sodium chloride and length of growing season. *Soil Sci Soc Am Proc* 38 : 777-780
- Bresler, E., McNeal. B.L. and Carter, D.L. 1982. Crop Salt Tolerance. In : *Saline and Sodic Soils, Principles-Dynamics-Modeling*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 167-170.
- Hanks, R. J., Sullivan T. E. and Hunsaker V. E. 1977, Corn and alfalfa production as influenced by irrigation and salinity. *Soil Sci Soc Am J* 41:606-610.
- Mass, E.V. and Hoffman G.J. 1977, Crop salt tolerance-current assessment. *J Irrig Drain Div Proc Am Soc Civil Eng* 103:115-134.
- US Salinity Laboratory Staff. 1954.. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. US Dept Agric Handb 60, 160 p.
- Szabolcs, I. 1981. Agronomical and Ecological Impact of Irrigation on Soil and water Salinity. In : *Advance in Soil Science*, Vol 4, 189-218.

## พลังเงียบของสับปะรด

\* พาณี วรรณนิชกุล

เกือบ 500 ปีมาแล้วที่คริสโตเฟอร์ โคลัมบัส ได้รับสับปะรดเป็นของแลกเปลี่ยนจากชาวอินเดีย ในเกาะคาริเบียนของ Guadeloupe เขาพบว่า สับปะรดเป็นผลไม้ที่มีรสอร่อย และเหมาะที่จะขายเป็นสินค้าได้ และยังพบว่า สับปะรดมีคุณสมบัติบางอย่างที่ใช้เป็นยาได้ ชาวเกาะจะตีมน้ำสับปะรดเพื่อช่วยย่อยอาหารและรักษาอาการปวดท้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อกินเนื้อสัตว์เข้าไป ส่วนผู้หญิงใช้สับปะรดทำความสะอาดผิวหนัง แม้แต่ทหารยังใช้เนื้อสับปะรดช่วยรักษาบาดแผล จากการศึกษาในปัจจุบัน พบว่าคุณสมบัติพิเศษของสับปะรดนั้นเกิดจากในตัวสับปะรดเองมีเอนไซม์ชนิดหนึ่งที่สามารถย่อยโปรตีนได้คล้ายเอนไซม์โปรตีนเอส (protease) เอนไซม์นี้มีชื่อเรียกว่า โบรมีเลน (Bromelain)

### โบรมีเลน

โบรมีเลนเป็นเอนไซม์ที่จะไปไฮโดรไลส์ (hydrolyse) โปรตีนโมเลกุลใหญ่ๆ ให้เป็นเปปไทด์ (peptide) เล็กๆ และกรดอะมิโน โบรมีเลนในน้ำสับปะรด ได้ถูกนำไปเป็นส่วนประกอบของ

โลชั่นบำรุงผิวหนัง ช่วยให้ชั้นผิวหนังชั้นนอกสุด หลุดลอกออกไป เหลือเพียงผิวหนังชั้นในที่อ่อนนุ่ม และโบรมีเลนยังสามารถกำจัดตุ่มหรือหูดได้ด้วย นอกจากนี้ โบรมีเลนในเนื้อสับปะรดจะช่วยให้บาดแผลหายเร็วขึ้น โดยที่โบรมีเลนไปช่วยกำจัดเนื้อเยื่อผิวหนังส่วนที่ถูกทำลายและต่อต้านแบคทีเรีย ทำให้แผลสะอาดและเรียบ

สับปะรดไม่ว่าจะเป็นลำต้น ใบหรือผล ล้วนมีเอนไซม์เป็นส่วนประกอบ ทุกวันนี้ชาวไร่สับปะรดจะสกัดเอนไซม์จากลำต้น โดยที่ชาวไร่จะถอนต้นสับปะรด หลังจากการเก็บเกี่ยวผลแล้ว 1-2 ครั้ง เพราะผลที่ได้จะมีขนาดเล็กลง สมัยก่อนชาวไร่จะพินต้นสับปะรดทิ้งและไถกลบลงในพื้นดิน เนื่องจากไม่ทราบว่าในลำต้นมีเอนไซม์อยู่มาก แต่ปัจจุบันได้มีการเก็บลำต้นไว้หลังการเก็บเกี่ยวผลแล้ว

วิธีการสกัดเอนไซม์จากลำต้น เริ่มด้วยการลอกเนื้อเยื่อชั้นนอกของลำต้นออก เหลือเฉพาะส่วนเนื้อสีขาวภายใน ซึ่งจะถูกนำไปบดและผสมกับน้ำ ให้ได้น้ำของลำต้นออกมา จากนั้นจึงเติม

\* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สารทำลายลาย เช่น อะซีโตน เพื่อตกตะกอนโบร-  
มีเลน หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง และใส่ถุงเก็บไว้  
ในรูปของผงสีขาว

### ประโยชน์ของโบรมีเลน

นักชีวเคมี ได้พยายามศึกษาถึงผลของ  
โบรมีเลนที่มีต่อร่างกาย เขาพบว่า โบรมีเลนสามารถ  
ช่วยรักษาโรคหัวใจที่เกิดจากการเกิดลิ่มในหลอดเลือด  
เลือด (thrombosis) ทำให้หลอดเลือดอุดตัน หรือ  
โรคลมปัจจุบัน (stroke) ซึ่งเป็นผลจากการอุดตัน  
ในสมอง โรคดังกล่าวนี้เกิดจากการอุดตันของ  
ลิ่มเลือด ซึ่งจะถูกสร้างขึ้นเมื่อหลอดเลือดถูก  
ทำลาย เป็นกลไกป้องกันการไหลของเลือดไม่ให้  
เข้าไปในเนื้อเยื่อหรือไหลออกจากร่างกายในขณะที่  
ที่ร่างกายกำลังทำการซ่อมแซมเพื่อปิดปากแผล  
หรือรอยแตกของหลอดเลือด สำหรับคนที่มี  
สุขภาพสมบูรณ์ ร่างกายจะมีดุลระหว่างการสร้าง  
และการทำลายลิ่มเลือด ในคนที่มีการอุดตันของ  
หลอดเลือดขนาดใหญ่ โบรมีเลนจะไปช่วยทำลาย  
ลิ่มเลือดที่อุดตัน โดยไม่ทำให้เกิดการตกเลือด

โดยปกติในเลือดจะมีโปรตีนเอสธรรมชาติ  
คือพลาสมีน (plasmin) คอยทำลายลิ่มเลือดอยู่  
แล้ว แต่พลาสมีนเป็นสารที่เปลี่ยนแปลงมาจาก  
พลาสมีโนเจน (plasminogen) ดังนั้นหากระบบ  
ธรรมชาติเกิดขาดดุลระดับของพลาสมีนอาจจะ  
ต่ำกว่าปกติ ทำให้ลิ่มเลือดยังคงอยู่ในหลอดเลือด  
เป็นผลให้หลอดเลือดอุดตัน โบรมีเลนจะสามารถ  
กระตุ้นให้พลาสมีโนเจนเปลี่ยนเป็นพลาสมีนได้  
เมื่อระดับของพลาสมีนเพิ่มขึ้นจะไปช่วยทำลาย  
ก้อนลิ่มได้

ในแง่ของการต่อต้านการสร้างลิ่มเลือดโบร-  
มีเลนจะไปห้ามการเปลี่ยนโปรทรอมบีน (pro-  
thrombin) ไปเป็นทรอมบีน (thrombin) ทำให้

การสร้างก้อนลิ่มลดน้อยลง ส่วนผลในด้านการ  
ต่อต้านการอักเสบของเอนไซม์ตัวนี้ พบว่า โบรมี-  
เลนสามารถต่อต้านการอักเสบได้ดีกว่ายาที่ไม่มี  
สเตอรอยด์บางชนิด เช่น แอสไพริน เนื่องจาก  
แอสไพรินจะไปยับยั้งการสังเคราะห์โพรสตา-  
แกลนดินส์ทุกชนิด แต่โบรมีเลนจะเลือกและ  
ยับยั้งเฉพาะสารบางตัวที่มีผลไปเพิ่มการอักเสบ  
โดยไม่กระทบกระเทือนต่อสารตัวที่มีฤทธิ์ต่อต้าน  
การอักเสบ อาการบาดเจ็บและความเครียดที่เป็น  
ติดต่อกันเป็นเวลานาน จะมีผลไปเพิ่มโพรสตา-  
แกลนดินส์ที่ทำให้เกิดการอักเสบมากขึ้น ในขณะที่  
โบรมีเลนจะช่วยให้ดุลของโพรสตาแกลนดินส์  
2 ชนิดคืนกลับมา

ผลการค้นพบดังกล่าวนี้เป็นเรื่องที่น่าสนใจ  
มาก แต่สิ่งที่นักชีวเคมียังคงต้องการก็คือข้อมูล  
เกี่ยวกับการทำงานโบรมีเลนภายในร่างกาย ผล  
การรักษาของโบรมีเลน อาจจะเกี่ยวข้องกับเอน-  
ไซม์โปรตีนเอส หรือสารประกอบอื่นๆ ที่ปะปน  
อยู่ในน้ำที่สกัดจากลำต้นสัปดาห์ เช่น ตัว  
ยับยั้งโปรตีนเอส

โบรมีเลนที่สกัดออกมาจะมีตัวยับยั้งโปรตี-  
เอสธรรมชาติ ซึ่งเป็นโปรตีนขนาดเล็กสามารถ  
ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โปรตีนเอสได้ ดังนั้น  
จึงถูกนำมาใช้ควบคุมการทำงานของโปรตีนเอส โดย  
ปกติโปรตีนเอสในร่างกายไม่ได้มีประโยชน์เสมอ  
ไป ในบางกรณีโปรตีนเอสสามารถทำลายเนื้อเยื่อที่  
สมบูรณ์แข็งแรงได้ เซลล์ร่างกายจะควบคุมโปรตี-  
เอสโดยการส่งเข้าไปในเลือดและทางเดินอาหาร  
และควบคุมการทำงานของโปรตีนเอส โดยตัว  
ยับยั้งโปรตีนเอสที่มีฤทธิ์จำเพาะตัวอย่างเช่น สาร  
ทรอมบีนซึ่งจะไฮโดรไลส์โปรตีนไฟบริโนเจน  
(fibrinogen) ให้เป็นลิ่มไฟบริน (fibrin) จะพบ

เฉพาะในเลือดและถูกควบคุมโดยตัวยับยั้งคือ แอนติธรอมบินเท่านั้น

ในโรคบางชนิด อัตราส่วนของโปรตีเอสและตัวยับยั้งเปลี่ยนแปลงไป ทำให้โปรตีเอสไปทำลายเนื้อเยื่อได้ ในแบคทีเรียบางชนิด *Staphylococcus aureus* ที่ทำให้ผิวหนังเปื่อย สามารถหลั่งโปรตีเอสออกมาย่อยเนื้อเยื่อผิวหนัง เพื่อให้ตัวเองผ่านเข้าเนื้อเยื่อร่างกายได้ง่ายขึ้น

จากการศึกษาพบว่า โบรมีเลนที่สกัดจากลำต้นประกอบด้วยตัวยับยั้งโปรตีเอสที่แตกต่างกันถึง 7 แฟมิลี แต่ละตัวเป็นโปรตีนขนาดเล็กที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนยาว 50 ตัว มีผู้เสนอว่าตัวยับยั้งเหล่านี้น่าจะถูกนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมและทางการแพทย์ได้

นอกจากผลต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว โปรตีเอสยังสามารถช่วยรักษาบาดแผลได้ ในธรรมชาติการรักษาบาดแผลจะใช้เวลาและกระบวนการยาวนาน โดยจะมีการสร้างสะเก็ดแผลขึ้นมาปิดปากแผล เพื่อป้องกันการเสียเลือดอีกต่อไป เมื่อเลือดหยุดไหล บัคตรีที่ถูกกักอยู่ใต้สะเก็ดแผลยังคงสามารถแบ่งตัวและแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อที่อยู่ลึกลงไป ทำให้กระบวนการรักษาบาดแผลช้ามากขึ้น ในกรณีที่อาการร้ายแรง หมออาจจะใช้

ผ้าโปร่งบางหรือแผ่นผ้าที่มีโปรตีเอส เช่น โบรมีเลนปิดปากแผล เพื่อช่วยทำลายสะเก็ดแผล ทำให้แผลสะอาด และส่วนมากผ้าปิดแผลดังกล่าวมักมียาปฏิชีวนะสำหรับฆ่าเชื้อใส่ไว้ด้วย

โปรตีเอสยังถูกนำมาใช้ในการรักษาอาการผิวหนังที่ถูกไหม้อย่างรุนแรง โดยเฉพาะบริเวณที่ต้องมีการปลูกผิวหนัง (skin graft) หมอจะต้องลอกเอาผิวหนังที่ถูกทำลายและตายแล้วทั้งเป็นส่วนแรกเพื่อให้บริเวณที่จะมีการปลูกผิวหนังนั้นสะอาด ซึ่งมักใช้วิธีการผ่าตัดร่วมกับการใช้โปรตีเอส โบรมีเลนมีส่วนได้เปรียบคือไปช่วยลดการสะสมของเหลวและทำให้อาการอักเสบลดน้อยลง

ปัจจุบันนี้ อุตสาหกรรมการผลิตยา ยังไม่สามารถพัฒนาตัวยามีโบรมีเลนเป็นส่วนประกอบได้ ทั้งนี้ไม่ใช่เป็นเพราะยาจะไม่มีประสิทธิภาพ แต่เพราะว่ายังขาดความเข้าใจที่แท้จริงเกี่ยวกับการทำงานของโบรมีเลนในร่างกาย ปัญหานี้คงแก้ไขได้ เมื่อวิธีการทางชีวเคมีก้าวหน้ามากขึ้น และมีการทำวิจัยต่อไปเพื่อหาคำตอบของโบรมีเลนและตัวยับยั้งของเอนไซม์ตัวนี้

แปลและเรียบเรียงจาก G. bickerstaff  
"Hidden Power of The Pineapple" *New Scientist*  
2 June 1988, 46-48.

# ไปทำวิจัยเรื่องแคลโมดูลินที่เมืองมะกัน

\* ตรีตาภรณ์ ชูศรี



Davey Laboratory  
ฤดูใบไม้ร่วงที่ Penn State

เมื่อ 2-3 ปี ที่แล้ว ผู้เขียนได้มีโอกาสกลับไปทำวิจัยที่สถานศึกษาเก่าคือ Pennsylvania State University สหรัฐอเมริกา ชื่อมหาวิทยาลัยแห่งนี้ มักจะมีผู้จำสับสนกับ University of Pennsylvania อยู่บ่อย ๆ ก็เลยอยากจะขอเล่าให้ฟังสักนิดว่า ตามปกติในรัฐต่าง ๆ ของสหรัฐอเมริกา มักจะมีมหาวิทยาลัยใหญ่ที่เอาชื่อของรัฐมาตั้งเป็นชื่ออยู่ 2 แห่ง โดยที่แห่งหนึ่งเป็นมหาวิทยาลัยของรัฐ ซึ่งจะมีคำว่า "State" อยู่ในชื่อด้วย ดังเช่นสถานศึกษาของผู้เขียน ซึ่งเรียกกันสั้น ๆ ว่า Penn State ตั้งอยู่ที่เมือง State College เป็นเมืองเล็ก ๆ อยู่ท่ามกลางหุบเขาทางตอนกลางค่อนไปทางเหนือ

ของรัฐเพนซิลเวเนีย ส่วน University of Pennsylvania เป็นมหาวิทยาลัยเอกชน อยู่ที่เมืองฟิลาเดลเฟีย ซึ่งเป็นเมืองใหญ่อยู่ทางทิศตะวันออก ไม่ไกลจากนิวยอร์กเท่าไรนัก ช่วงเวลาที่เดินทางไปนั้นเป็นปลายฤดูใบไม้ผลิต่อกับฤดูร้อน ฟ้าแจ่มจ้า อากาศสดชื่น กำลังสบายทีเดียว

Professor Dr. William Dew Horrocks Jr. คือชื่อของอาจารย์ที่ปรึกษาของผู้เขียน ตั้งแต่สมัยที่ทำปริญญาเอก และเป็นคนที่ผู้เขียนกลับไปทำวิจัยให้อีกในคราวนี้ งานวิจัยในกลุ่มจะเน้นการนำเอาโลหะแลนทาไนด์มาเป็นโพรบ (probe) ในการศึกษาระบบทางชีวภาพ พวกเอนไซม์ และโปรตีนที่มี Ca (II) เป็นไอออนโลหะที่มีอยู่แต่เดิม

\* อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ในโมเลกุล (native metal) เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งที่ไอออนโลหะเกาะจับในโปรตีน เช่น ระยะห่างระหว่างไอออนโลหะในกรณีที่มีไอออนโลหะเกาะจับมากกว่า 1 ตัว หรือจำนวนโมเลกุลของน้ำที่โคออร์ดิเนตอยู่กับโลหะเป็นต้น

คงมีผู้สงสัยว่าทำไมจึงเลือกระบบชีวภาพที่มีแคลเซียมเกี่ยวข้องมาเป็นหัวข้อในการท้าววิจัย ทั้งนี้ก็เพราะว่าแคลเซียมมีบทบาทสำคัญหลายอย่างทางชีวภาพนั่นเอง แคลเซียมเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต ไม่ว่าจะเป็นกระดูกของเรา เปลือกของสัตว์จำพวกกุ้ง หอย เส้นใยของพืช และแม้แต่โครงสร้างของสปอร์ก็ตาม นอกจากนี้แคลเซียมยังเป็นตัวกระตุ้นทำให้กล้ามเนื้อหดตัว และทำให้มีการส่งผ่านสัญญาณประสาทอีกด้วย แคลเซียมยังเกาะจับกับเอนไซม์ ฟรีเคอร์เซอร์ของเอนไซม์ และโปรตีนอีกมากมายกว่า 70 ชนิด (1,2) เช่น อะมีเลส ซึ่งเป็นเอนไซม์ใช้ย่อยแป้ง และโพทรอมบิน ซึ่งเป็นฟรีเคอร์เซอร์ของทรอมบิน เอนไซม์ที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการแข็งตัวของเลือด เป็นต้น

แต่ถึงแม้ว่าแคลเซียม จะมีความสำคัญมากก็ตาม การศึกษาเกี่ยวกับลักษณะอันตรกิริยาระหว่างแคลเซียมกับโปรตีนกลับทำได้ยากมาก ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากสาเหตุที่ว่า แคลเซียมมีอิเล็กตรอนในเชลล์ต่างๆ ครอบจำนวน จึงมีสมบัติทางแม่เหล็กเป็นไดอะแมกเนติกซีม และไม่ให้สัญญาณใดๆ ทางสเปกโทรสโกปี แต่นักวิทยาศาสตร์ยังโชคดีตรงที่ว่าโลหะแลนทาไนด์ มีคุณสมบัติทางเคมีในการโคออร์ดิเนชันคล้ายกับแคลเซียม ทั้งคู่จะจับกับลิแกนด์ด้วยแรงไฟฟ้าสถิต โดยมีลักษณะโคเวเลนต์เพียงเล็กน้อย ชอบจับกับลิแกนด์ที่มีตัวให้อิเล็กตรอนเป็นออกซิเจนมากกว่าไนโตรเจน และการเกาะจับไม่ขึ้นกับทิศทางที่ลิแกนด์เข้ามา

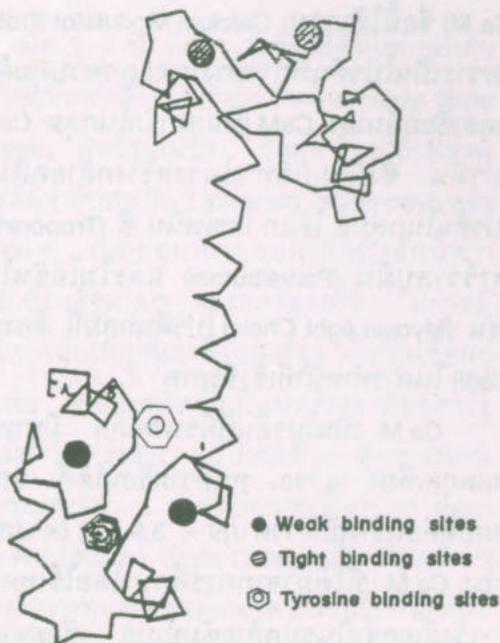
มากนัก และยังมีเลขโคออร์ดิเนชันหลายค่าเหมือนกันอีกด้วย (3,4,5,6) ที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ รัศมีไอออนิกของแคลเซียมเมื่อมีเลขโคออร์ดิเนชันเป็น หก เจ็ด และแปด มีค่าเท่ากับ 1.00, 1.07 และ 1.12 Å ตามลำดับ ความยาวของรัศมีไอออนิกดังกล่าวอยู่ในช่วงความยาวรัศมีไอออนิกของอนุกรมไอออนแลนทาไนด์ (6) พอดี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 (6,7) จึงได้พบว่าสามารถนำเอาไอออนแลนทาไนด์, Ln(III), เข้าไปแทนที่แคลเซียมในเอนไซม์ได้ โดยที่เอนไซม์ยังคงมีแอกทิวิตีในเชิงชีวภาพอยู่ได้ แม้จะไม่ดีเท่าแคลเซียมก็ตาม (3,8,9) แต่เนื่องจาก Ln(III) มีอิเล็กตรอนในเชลล์ f ไม่ครบ จึงสามารถใช้เทคนิคทางสเปกโทรสโกปี ศึกษาสารประกอบเชิงซ้อน Ln(III)- เอนไซม์ เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งการเกาะจับของไอออนโลหะบนเอนไซม์ได้

ระบบทางชีวภาพ ที่ผู้เขียนได้ท้าววิจัยในคราวนี้เป็นโปรตีน ชื่อ แคลโมดูลิน (Calmodulin, Ca M) ซึ่งนี้ได้มาจาก Calcium Modulator Protein เพราะเป็นโปรตีนที่การทำงานจะถูกควบคุมด้วยแคลเซียมนั่นเอง CaM เป็นสมาชิกในกลุ่ม Ca(II)-โปรตีน ซึ่งมีสมบัติทางโครงสร้างคล้ายคลึงกัน โปรตีนในกลุ่มนี้ ได้แก่ โทรโปนิน ซี (Troponin c), พาร์วาลบูมิน (Parvalbumin) และไมโอซินไลต์ เซน (Myosin light Chain) โปรตีนกลุ่มนี้ ต้องการ Ca(II) ในการทำหน้าที่เชิงชีวภาพ

Ca M เป็นโปรตีนที่มีขนาดเล็ก มีน้ำหนักโมเลกุลเพียง 16,790 ทนความร้อนได้ดี และมีสมบัติค่อนข้างเป็นกรด (pI = 3.9-4.3) โครงสร้างของ Ca M ที่ได้มาจากการศึกษาโดยใช้เทคนิคทางรังสีเอกซ์เป็นรูปคล้ายดัมเบล เชื่อมต่ออยู่ด้วยโครงสร้างแอลฟาฮีลิกซ์ (รูปที่ 1) ที่ปลายทั้ง

ตารางที่ 1 รัศมีไอออนิกของไอออนแลนทาไนด์ และแคลเซียม

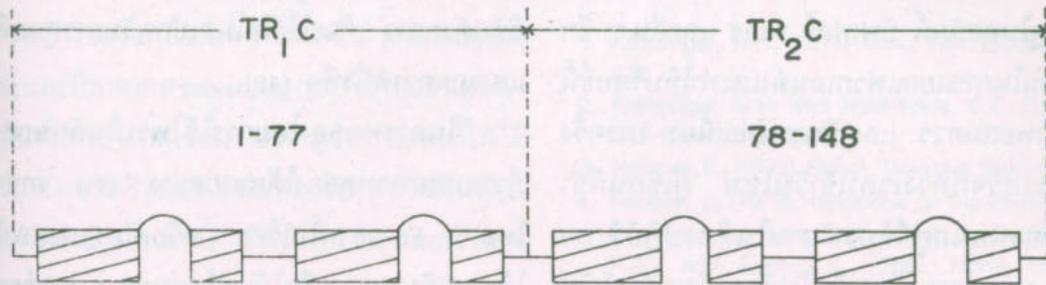
| ชื่อ         | ไอออน            | โครงแบบอิเล็กตรอน               | รัศมีไอออนิก (Å) |         |
|--------------|------------------|---------------------------------|------------------|---------|
|              |                  |                                 | Co no 6          | Co no 8 |
| Lanthanum    | La <sup>3+</sup> | [Xe]                            | 1.061            | 1.18    |
| Cerium       | Ce <sup>3+</sup> | 4f                              | 1.034            |         |
| Praseodymium | Pr <sup>3+</sup> | 4f <sup>2</sup>                 | 1.013            |         |
| Neodymium    | Nd <sup>3+</sup> | 4f <sup>3</sup>                 | 0.995            | 1.12    |
| Promethium   | Pm <sup>3+</sup> | 4f <sup>4</sup>                 | 0.979            |         |
| Samarium     | Sm <sup>3+</sup> | 4f <sup>5</sup>                 | 0.964            |         |
| Europium     | Eu <sup>3+</sup> | 4f <sup>6</sup>                 | 0.950            |         |
| Gadolinium   | Gd <sup>3+</sup> | 4f <sup>7</sup>                 | 0.938            |         |
| Terbium      | Tb <sup>3+</sup> | 4f <sup>8</sup>                 | 0.923            | 1.04    |
| Dysprosium   | Dy <sup>3+</sup> | 4f <sup>9</sup>                 | 0.908            |         |
| Holmium      | Ho <sup>3+</sup> | 4f <sup>10</sup>                | 0.894            |         |
| Erbium       | Er <sup>3+</sup> | 4f <sup>11</sup>                | 0.881            |         |
| Thulium      | Tm <sup>3+</sup> | 4f <sup>12</sup>                | 0.869            |         |
| Ytterbium    | Yb <sup>3+</sup> | 4f <sup>13</sup>                | 0.858            |         |
| Lutetium     | Lu <sup>3+</sup> | 4f <sup>14</sup>                | 0.848            | 0.97    |
| Calcium      | Ca <sup>2+</sup> | 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> | 0.100            | 1.12    |



รูปที่ 1 X-RAY STRUCTURE OF CALMODULIN

สองมีโดเมนของแคลเซียมอยู่ 2 แห่ง โดเมน I-II เป็นตำแหน่งที่แคลเซียมเกาะจับกับโปรตีนได้แข็งแรงกว่าโดเมน III-IV (11,12)

จะพบ CaM ได้ทั่วไปในเซลล์ยูคาริโอติก (Eukaryotic cell : เซลล์ ซึ่งมีนิวเคลียสที่แท้จริง) แทบทุกชนิด ยกเว้นเชื้อราบางประเภทเท่านั้น ในช่วงของวิวัฒนาการ CaM มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ลำดับของกรดอะมิโนใน CaM ไม่ว่าจะมาจากพืชหรือสัตว์ แทบจะไม่มีแตกต่างกันเลย CaM มีบทบาททางชีวภาพที่สำคัญมาก ดังจะเห็นว่าจะพบ CaM ปริมาณสูงในอวัยวะที่มีความสำคัญ เช่น สมอง หัวใจ และอวัยวะ เป็นต้น CaM จะไปกระตุ้นให้เอนไซม์หลายตัวทำงานได้ ตัวอย่างของเอนไซม์พวกนี้



รูปที่ 2 TRYPTIC FRAGMENTS OF CALMODULIN

ได้แก่ Cyclic Nucleotide Phosphodiesterase, Brain Adenylate Cyclase, ATPase และ Brain Membrane Kinase เป็นต้น

Ca M ตัวที่ผู้เขียนใช้งานนั้น สกัดมาจากอ้นหะของวัวตามวิธีของ Dedman และ Kaetzel (13) ที่ต้องสกัดเอง เพราะขณะนั้น Ca M ที่มีขายอยู่ราคาแพงเหลือหลาย แค่ 10-20 มิลลิกรัม ราคาตั้งหลายสิบลดอลลาร์ แต่ถ้าสกัดเอง เริ่มต้นจากอ้นหะวัว 1 กิโลกรัม จะสกัดเอา Ca M ออกมาได้ถึงประมาณ 100 มิลลิกรัม กลับมาเมืองไทยยังคิดว่าเราน่าจะทำเอาเอนไซม์ขาย ดีกว่าให้เขาเอาไปทำต้มขายขามละ 10-20 บาท เป็นไหนๆ

การสกัดเอา Ca M ออกมาจากอ้นหะวัว ก็เป็นวิธีการสกัดโปรตีนธรรมดาๆ นี้เอง ไม่ได้ยากเย็นอะไร ถ้าอุปกรณ์และสารเคมีพร้อม มาทำวิจัยที่เมืองนอก มันสนุกตรงนี้เอง เมื่อเราอยากได้อะไร ยกหูโทรศัพท์เดี่ยวเดี่ยวของที่สั่งก็มาส่งสะดวกสบายไปเสียหมดเพราะเงินมันถึงจริงๆ หนังสือวารสารในห้องสมุดก็มีคั้งคั้ง ไม่อยากนึกถึงสภาพมหาวิทยาลัยอุตรดิตถ์อย่างที่อยู๋เลยเชียว

เมื่อเตรียม Ca M ได้แล้ว งานที่ต้องทำก็คือต้องตัดโมเลกุลของ Ca M ออกเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน ซึ่งทำให้ส่วนแรกมีแคลเซียมโดเมน

I,II และส่วนที่สองมีแคลเซียมโดเมน III,IV อยู่ไม่ใช้อยู่ๆ จะไปเอา Ca M มาขึ้นเขียง แล้วเอาอีโต้สับลงไปก็เสร็จนะคะ อาจจะเสร็จ คือ เราเสร็จใจโดนตะเพิดกลับบ้านแน่ หลังจากศึกษาลู่ทางอยู่พักหนึ่ง ก็รู้ว่าต้องใช้เอนไซม์พวกโปรตีเนส (Proteinase) ซึ่งสามารถย่อยพันธะเพปไทด์ได้ มาเป็นเครื่องมือ เอนไซม์ที่เลือกใช้คือทริพซิน (trypsin) เพราะปรากฏว่าในภาวะที่ควบคุมบางอย่าง ทริพซินจะเลือกย่อยในบางตำแหน่งของพันธะเท่านั้น ทั้งนี้จากการศึกษาของ Brzeska (14) และเป็นตำแหน่งที่เราต้องการเสียด้วย จึงได้ทริพติกแฟรกเมนต์ของ CaM ออกมา 2 ส่วนตามต้องการให้ชื่อว่า TR<sub>1</sub>C และ TR<sub>2</sub>C ตามลำดับ (ดูรูปที่ 2) โดยที่ TR<sub>1</sub>C จะมีกรดอะมิโนตัวที่ 1-77 และ TR<sub>2</sub>C มีกรดอะมิโนตัวที่ 78-148 ตามลำดับ ทั้งนี้ตำแหน่งที่ทริพซินย่อยพันธะเพปไทด์นั้น นอกจากจะเป็นตรง Lysine-77 แล้ว ในบางครั้งอาจเป็น Lysine-74 หรือ Arginine-75 บ้างแต่เป็นส่วนน้อย

เมื่อตัดโมเลกุลของ CaM ออกเป็นสองส่วนตามที่ต้องการได้แล้ว ก็ต้องแยกออกมาจากรีเอเจนต์ที่ใช้ และแยกออกมาจากกันด้วย ในขั้นตอนนี้ก็อาศัยเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยการ

มีคำตอบในด้านโครงสร้างอยู่แล้วว่า เมื่อศึกษาโครงสร้างของเอนไซม์เทอร์โมไลซิน (thermolysin) (18) และอีลาสเทส (elastase) (19) ที่มีไอออนแลนทาไนด์แทนที่แคลเซียม ปรากฏว่าการแทนที่ไม่ได้ทำให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลงไป ส่วนในด้านแอกทวิตีของเอนไซม์ ก็มีผู้ทำการทดลองไว้มากมายว่าไอออนแลนทาไนด์ ยังทำให้แอกทวิตีของเอนไซม์คงอยู่ อาจจะทั้งหมด หรือแม้แต่เพียงบางส่วนก็ตาม รวมทั้งผู้เขียนเองก็ยืนยันได้ว่าในบางภาวะไอออนแลนทาไนด์หลายชนิด ทำให้เอนไซม์  $\alpha$ -อะมีเลส ทำงานได้เกือบจะเหมือนเมื่อมีแคลเซียมอยู่แต่เดิม (9)

เป็นไงคะ สนุกไหมกับการทำวิจัย ผู้เขียนว่ามันเป็นงานที่สนุกและท้าทายมากที่สุด โดยเฉพาะเมื่อมีอุปกรณ์เครื่องมือ ฟรั่งพร้อมทุกอย่างแบบนี้ เราได้ศึกษา ได้ตั้งสมมุติฐาน ลองผิด ลองถูกกับข้อสมมุติฐานที่เราตั้งไว้ ถ้ามันเป็นอย่างที่เราคิด ก็รู้สึกเป็นปลื้มมาก แต่ถ้ามันไม่ใช่ ก็ไม่เห็นยากอะไรเลย..... ก็ลองใหม่เท่านั้นเอง ผู้เขียนยังจำการ์ตูน จาก comic strip ที่เห็นครั้งหนึ่งที่โน่นที่เขาเขียนล้อการทำวิจัยว่า "If you search it right the first time, you don't have to research it again."

\* \* \* \* \*

## References

1. Kretsinger, R.H. (1976) Annu. Rev. Biochem. 45, 239
2. Kretsinger, R.H. and Nockholds, C.E. (1973) J. Biol. Chem. 248, 3313.
3. Nieboer, E. (1975) Struct. Bonding (Berlin) 22, 1
4. Reuben, J. (1979) Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths, Vol. 3. Gschneider, K.A., and Eyring, L., Eds., North Holland, Amsterdam, Chap. 39, pp. 515-552.
5. Ellis, K.J. (1977) Inorg. Perspect. Biol. Med. 1, 101
6. Brittain, H.G., Richardson, F.S., and Martin, R.B. (1976) J. Am. Chem. Soc. 98, 8255.
7. Cotton, F.A., Wilkinson, G., (1980) Advanced Inorganic Chemistry, a Comprehensive Text, 4th edition, John Wiley & Sons, New York, P. 982.
8. Switzer, M.E. (1978) Sci. Prog. oxf. 65, 19
9. Choosri, T. (1981) Ph.D. Thesis, The Pennsylvania State University
10. Cheung, w.Y., Lynch, T.J., and Wallace, R.W., (1978) Adv. Cyclic Nucleotide Res. 9, 233.
11. Klee, C.B., and Vanaman, T.C. (1982) Adv. Protein Chem. 35, 213-321
12. Mulqueen, P., Tingey, J.M., and Horrocks, W.D., Jr., (1985) Biochemistry, 24, 6639.
13. Dedman, J.R., and Kaetzel, M.A., (1983) Methods Enzymol. 102G, 1-8.
14. Brzeska, H., Szykiewicz, J., and Drabikowski, W., (1983) biochem. Biophys. Res. Commun. 115, 87-93.
15. Horrocks, W. Dew., Jr., and Sudnick, D.R., (1979) J. Am. Chem. Soc. 101, 334-340.
16. Horrocks, w. Dew., Jr., and Sudnick, D.R., (1979) Science, 206, 1194-1196.
17. Förster, T., (1948) Ann. Phys., 2, 55-75.
18. Matthews, B.W., Weaver, L.H., (1974) Biochemistry, 13, 1719-1725.
19. Moews, P.C., Kretsinger, R.H., (1979) J. Mol. Biol. 91, 229-232.

# การประมาณค่าความแปรปรวนของ การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบ (Variance Estimation for Systematic Sampling)

\* อโนทัย ตรวานิช

## ความนำ

วิธีการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบ (systematic sampling) เป็นวิธีการเลือกตัวอย่างที่ค่อนข้างง่ายและสะดวกสำหรับงานสนาม มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในการสำรวจประชากรจำนวนจำกัด (finite population) และในกรณีที่เราไม่มีบัญชีรายชื่อ (list) ของหน่วยทั้งหมดในประชากรแต่มีกรอบตัวอย่างเป็นแผนที่ เช่น ในการเลือกตัวอย่างบ้าน เราอาจไม่มีรายชื่อบ้านต่าง ๆ ในเขตนั้นแต่มีแผนที่แสดงที่ตั้งของบ้านที่ไม่มีรายละเอียดสมบูรณ์ วิธีการเลือกตัวอย่างมีลักษณะดังนี้

ถ้าขนาดของประชากรคือ  $N$  และให้  $n$  เป็นขนาดตัวอย่าง ถ้า  $N/n = k$  (เรียก  $k$  ว่าช่วงของการสุ่ม โดย  $k$  คือค่าจำนวนเต็มที่ใกล้เคียงกับ  $N/n$  มากที่สุด) และให้หมายเลขหน่วยในประชากรจาก 1 ถึง  $N$  ในกรณี  $N/n$  เป็นค่าจำนวนเต็มพอดี เราเลือกตัวอย่างโดยการเลือกตัวเลขสุ่ม (random number) 1 ตัวระหว่างค่า 1 ถึง  $N$  สมมุติว่าได้  $i$  ดังนั้นหน่วยที่ตกอยู่ในตัวอย่างคือ หน่วยที่  $i, i+k, i+2k, \dots$  ไปจนครบ  $n$  หน่วย ที่ต้องการ ซึ่งจะทำให้เกิดชุดตัวอย่างที่เป็นไปได้ทั้งสิ้น  $k$  ชุด ดังนี้

| ชุดตัวอย่าง    |                |                |             |          |             |
|----------------|----------------|----------------|-------------|----------|-------------|
| 1              | 2              | 3              | ...         | k        |             |
| $y_1$          | $y_2$          | $y_3$          | ...         | $y_k$    |             |
| $y_{1+k}$      | $y_{2+k}$      | $y_{3+k}$      | ...         | $y_{2k}$ |             |
| $y_{1+2k}$     | $y_{2+2k}$     | $y_{3+2k}$     | ...         | $y_{3k}$ |             |
| $\vdots$       | $\vdots$       | $\vdots$       | $\vdots$    | $\vdots$ |             |
| $y_{1+(n-1)k}$ | $y_{2+(n-1)k}$ | $y_{3+(n-1)k}$ | ...         | $y_{nk}$ |             |
| ค่าเฉลี่ย      | $\bar{y}_1$    | $\bar{y}_2$    | $\bar{y}_3$ | ...      | $\bar{y}_k$ |

( $y$  เป็นค่าสังเกตของหน่วยในประชากรที่มีลักษณะที่น่าสนใจ)

\*อาจารย์ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำหรับในกรณี  $N/n$  ไม่ใช่เลขจำนวนเต็ม การเลือกตัวอย่างแบบข้างต้นจะมีปัญหาเล็กน้อย ถ้าต้องการตัวอย่างที่ให้ตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของค่าเฉลี่ยหรือผลรวมก็อาจใช้วิธีของ Lahiri ซึ่งกำหนดให้เลือกตัวเลขสุ่ม ( $j$ ) จาก 1 ถึง  $N$  และถือว่าหน่วยต่าง ๆ อยู่เรียงกันเป็นวงกลมไม่ใช่เส้นตรงอย่างกรณีแรก ถ้าเลือกได้เลข  $j$  ดังนั้นหน่วยที่ตกอยู่ในตัวอย่าง คือ หน่วยที่  $j, j+k, j+2k, \dots$  และย้อนกลับไปขึ้นต้นใหม่จนกว่าจะได้หน่วยครบตามขนาดตัวอย่างที่ต้องการเช่น ถ้า  $N = 27, n = 5$  จะได้  $k = 5$  ถ้าเลือกได้  $j = 11$  เพราะฉะนั้นหน่วยตัวอย่างคือ หน่วยที่ 11, 16, 21, 26, 4 ถ้าขนาดตัวอย่างใหญ่มาก ( $n > 50$ ) การเลือกตัวอย่างโดยวิธีแรกในกรณีที่  $k$  ไม่ใช่จำนวนเต็มจะให้ค่าประมาณที่มีความเอนเอียงน้อยจนไม่ต้องนำมาพิจารณาพร้อมก็ได้ แต่ถ้า  $n$  มีขนาดน้อยเราต้องพิจารณาความเอนเอียงด้วย

ค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง ( $V(\bar{y})$ )

ให้  $N = nk$

$y_{ij}$  เป็นค่าสังเกตของหน่วยตัวอย่างที่มีลักษณะที่สนใจในการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบชุดที่  $i$  ;  
 $i = 1, 2, \dots, k$

โดยที่  $Y$ 's เป็นค่าสังเกตของหน่วยในประชากร และ  $y$ 's เป็นค่าสังเกตของหน่วยในตัวอย่าง การเลือกตัวอย่างแบบมีระบบ ที่มีค่าเฉลี่ยตัวอย่างของตัวอย่างชุดที่  $i$  ( $\bar{y}_i$ ) =  $\sum_{j=1}^n y_{ij}/n$  และ

$$\text{ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง } (v(\bar{y})) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\bar{y}_i - \bar{Y})^2 \text{ หรือเท่ากับ } s^2/n^2(1+(n-1)p)$$

$$\text{เมื่อ } s^2 = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y})^2}{nk}$$

$$p = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \sum_{j'=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y})(Y_{ij'} - \bar{Y})}{kn(n-1)s^2} \quad (p \text{ คือสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างหน่วยตัวอย่าง})$$

การประมาณค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง ( $V(\bar{y})$ ) จากตัวอย่างที่สุ่มได้

โดยลักษณะของการเลือกตัวอย่างแบบนี้ เราไม่อาจประมาณ  $V(\bar{y})$  จากตัวอย่างได้ เพราะตัวอย่างที่ได้เหมือนกันกับการเลือกตัวอย่างขนาด  $n=1$  จากทั้งหมด  $k$  ตัวอย่างที่เป็นไปได้ การหาตัวประมาณที่ไม่เอนเอียงของ  $V(\bar{y})$  โดยใช้สูตรจากการเลือกตัวอย่างแบบอย่างง่ายตามปกติจึงทำไม่ได้ ดังนั้นในที่นี้จึงใคร่ขอแนะนำตัวประมาณค่าความแปรปรวน 8 ตัวของ  $\bar{y}$  พร้อมทั้งข้อแนะนำบางประการในการเลือกใช้ตัวประมาณดังกล่าว และเพื่อให้เข้าใจยิ่งขึ้น เราควรทราบกระบวนการต่อไปนี้ เพื่อใช้ในการพิจารณาตัวประมาณก่อนดังนี้

1. เก็บรวบรวมความรู้ทั่วไปที่เกี่ยวกับลักษณะและลำดับของหน่วยในประชากร

2. ถ้าสามารถหาตัวแปรช่วยซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับตัวประมาณค่าความแปรปรวนได้ สำหรับทุกหน่วยในประชากรแล้ว เราสามารถหาตัวประมาณค่าความแปรปรวนจากตัวแปรช่วยดังกล่าวนี้ได้

3. ใช้ความรู้ที่ได้จากข้อ 1 สร้างตัวแบบสำหรับประชากรเพื่อเลือกตัวประมาณที่เหมาะสม

4. ศึกษาวัตถุประสงค์ ของการสำรวจในครั้งนี้ซึ่งจะใช้เป็นเกณฑ์อย่างหนึ่งซึ่งช่วยในการตัดสินใจเลือกค่าประมาณค่า

สรุปแล้วเราควรรู้ลักษณะประชากรให้ดีก่อนที่จะทำการเลือกตัวประมาณ เพราะประสิทธิภาพของการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดเรียงของข้อมูลในประชากร ตัวประมาณค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง ทั้ง 8 วิธี ที่จะขอแนะนำได้แก่

$$v_1 = (1-f)s^2/n \quad \text{เมื่อ } f = \frac{n}{N}; s^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2}{n-1}$$

$$v_2 = (1-f) \cdot \frac{1}{2n(n-1)} \sum_{j=1}^{n-1} (y_{j+1} - y_j)^2$$

$$v_3 = (1-f) \cdot \frac{1}{n^2} \sum_{j=1}^{n/2} (y_{2j} - y_{2j-1})^2$$

$$v_4 = (1-f) \frac{2}{3n(n-2)} \sum_{j=1}^{n-2} \left( \frac{1}{2} y_j - y_{j+1} + \frac{1}{2} y_{j+2} \right)^2$$

$$v_5 = (1-f) \cdot \frac{2}{7n(n-4)} \sum_{j=1}^{n-4} \left( \frac{1}{2} y_j - y_{j+1} + y_{j+2} - y_{j+3} + \frac{1}{2} y_{j+4} \right)^2$$

$$v_6 = (1-f) \cdot \frac{1}{7.5n(n-8)} \sum_{j=9}^n \left( \frac{y_j}{2} - y_{j-1} + \dots + \frac{y_{j-8}}{2} \right)^2$$

$$v_7 = (1-f) \cdot \frac{1}{p(p-1)} \sum_{\alpha=1}^p (\bar{y}_\alpha - \bar{y})^2 \quad \text{เมื่อ } \bar{y}_\alpha = \text{ค่าเฉลี่ยตัวอย่างย่อยชุดที่ } \alpha \text{ ของ systematic subsample ขนาด } \frac{n}{p} \text{ (เมื่อ } p \geq 2 \text{ และ } \frac{n}{p} \text{ เป็นจำนวนเต็มบวก)}$$

$$v_8 = \begin{cases} (1-f) \frac{s^2}{n} \left[ 1 + \frac{2}{\ln(\hat{p}_k)} + \frac{2}{\hat{p}_k} - 1 \right] & ; \hat{p}_k > 0 \\ (1-f) \frac{s^2}{n} & ; \hat{p}_k \leq 0 \end{cases}$$

$$\text{เมื่อ } \hat{p}_k = \frac{n}{j=2} \sum (y_j - \bar{y})(y_{j-1} - \bar{y}) / (n-1)s^2$$

$$s^2 = \frac{n}{j=1} \sum (y_j - \bar{y})^2 / (n-1)$$

ความเอนเอียงสัมพัทธ์ของตัวประมาณค่า  $V_e(\bar{y})$ ;  $e = 1, 2, \dots, 8$

โดยในที่นี้ให้ความเอนเอียงสัมพัทธ์ของตัวประมาณใด ๆ  $R(V_e) = \frac{B(V_e)}{EV(\bar{y})}$

เมื่อ  $B(V_e) = E(V_e) - EV(\bar{y})$  โดย  $E$  และ  $E$  เป็นค่าคาดหวัง (expectation operator) ของการเลือกตัวอย่างและของตัวแบบ จะให้ความเอนเอียงสัมพัทธ์ของตัวประมาณต่าง ๆ เป็น

$$R(v_1) \doteq n$$

$$R(v_2) \doteq -(n-6) n$$

$$R(v_3) \doteq -(n-6) n$$

$$R(v_4) \doteq -1$$

$$R(v_5) \doteq -1$$

$$R(v_6) \doteq -1$$

$$R(v_7) \doteq p$$

### ข้อเสนอแนะบางประการสำหรับการเลือกใช้ตัวประมาณค่า

1. ถ้าพิจารณาความเอนเอียง  $R(V_e)$  และ MSE ของการเลือกตัวอย่างง่าย (SRS) พบว่าตัวประมาณ  $v_1$  มีค่าเกือบจะเท่าค่าเฉลี่ย ( $\mu$ ) จึงควรใช้ประมาณค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง ยกเว้นในกรณีที่ประชากรมีแนวโน้มว่าค่าทุก ๆ ค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยหรือมีผลกระทบจากการแบ่งชั้นภูมิ
2. ความสัมพันธ์ของตัวประมาณ  $v_1$  กับตัวประมาณ  $v_4, v_5$  และ  $v_6$  ความเอนเอียงของการจัดลำดับความแตกต่างกันสูง ถ้าประชากรไม่มีหน่วยต่าง ๆ ที่มีสหสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน (autocorrelation) และผลกระทบจากการแบ่งชั้นภูมิ ตัวประมาณทั้ง 4 จะเป็นตัวประมาณที่ดีโดยเฉพาะ  $v_4$  จะเป็นตัวประมาณที่ดีที่สุด
3. ตัวประมาณ  $v_7$  ไม่ควรจะนำมาใช้ประมาณค่า แต่ถ้าเพิ่มค่า  $p$  ให้มีค่ามากพอก็สามารถใช้ได้
4. ตัวประมาณ  $v_8$  จะใช้ได้ดีสำหรับประชากรที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (linear) หรือมี auto-correlation
5. สำหรับในกรณีตัวอย่างขนาดเล็ก  $v_2$  จะเป็นตัวประมาณที่ดัดนำมาใช้ที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับ  $v_3, v_4, v_5$  และ  $v_6$
6. ถ้าขนาดตัวอย่างเป็นเลขคี่ เราไม่สามารถใช้  $v_3$  ได้

ตัวอย่าง แสดงการคำนวณหาตัวประมาณค่าความแปรปรวน  $v_e(\bar{y})$ ;  $e = 1, 2, \dots, 8$

สมมติ ประชากรขนาด  $N = 30$  เป็นดังนี้ 32, 38, 31, 26, 29, 36, 32, 31, 30, 36, 30, 24, 24, 40, 45, 32, 33, 39, 35, 37, 42, 22, 29, 30, 36, 32, 38, 26, 48, 35

สุ่มเลือกขนาดตัวอย่าง ( $n$ ) = 10. ∴ จะได้จำนวนชุดตัวอย่างที่เป็นไปได้ทั้งหมด  
 $(k) = \frac{N}{n} = \frac{30}{10} = 3$  ดังตารางต่อไปนี้โดยแสดงหมายเลขของหน่วยประชากรที่สุ่มได้ ส่วนตัวเลขในวงเล็บคือค่าสังเกตของหน่วยดังกล่าว

| $N_i$       | ชุดตัวอย่างที่ |        |         |                     |
|-------------|----------------|--------|---------|---------------------|
|             | 1              | 2      | 3       |                     |
| 1           | 1(32)          | 2(38)  | 3(31)   |                     |
| 2           | 4(26)          | 5(29)  | 6(36)   |                     |
| 3           | 7(32)          | 8(31)  | 9(30)   |                     |
| 4           | 10(36)         | 11(30) | 12(24)  |                     |
| 5           | 13(24)         | 14(40) | 15(45)  |                     |
| 6           | 16(32)         | 17(33) | 18(39)  |                     |
| 7           | 19(35)         | 20(37) | 21(42)  |                     |
| 8           | 22(22)         | 23(29) | 24(30)  |                     |
| 9           | 25(36)         | 26(32) | 27(38)  |                     |
| 10          | 28(26)         | 29(48) | 30(35)  |                     |
| $\bar{y}_i$ | 30.1           | 34.7   | 35.0    | $\bar{Y} = 33.2667$ |
| $s^2$       | 26.7667        | 36.9   | 40.2222 |                     |

ในที่นี้จะแสดงวิธีการคำนวณหาตัวประมาณ  $v_e(\bar{y})$ ;  $e = 1, 2, \dots, 8$  เฉพาะชุดตัวอย่างที่ 1 เท่านั้น  
 เมื่อ  $f = \frac{n}{N} = \frac{10}{30} = \frac{1}{3}$ ,  $k = 3$

$$\text{จะได้ } v(\bar{y}) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\bar{y}_i - \bar{Y})^2 = 5.0289$$

$$\text{- จาก } v_1 = (1-f) \frac{s_1^2}{n} = (1-\frac{1}{3}) \times \frac{26.7667}{10} = 1.7844$$

$$\text{- จาก } v_2 = (1-f) \frac{1}{2n(n-1)} \sum_{j=1}^{n-1} (y_{i+1} - y_j)^2$$

$$\therefore v_2 = (1-\frac{1}{3}) \times \frac{1}{2 \times 10 \times 9} \{ (26-32)^2 + (32-26)^2 + (36-32)^2 + (24-36)^2 + (32-24)^2$$

$$+ (35-32)^2 + (22-35)^2 + (36-22)^2 + (26-36)^2 \}$$

$$= 2.8519$$

$$\text{- จาก } v_3 = (1-f) \cdot \frac{1}{n^2} \sum_{j=1}^{n/2} (y_{2j} - y_{2j-1})^2 \quad \left(\frac{n}{2} = \frac{10}{2} = 5\right)$$

$$\begin{aligned} \therefore v_3 &= \left(1 - \frac{1}{3}\right) \cdot \frac{1}{10^2} \{(y_2 - y_1)^2 + (y_4 - y_3)^2 + (y_6 - y_5)^2 + (y_8 - y_7)^2 + (y_{10} - y_9)^2\} \\ &= \left(1 - \frac{1}{3}\right) \cdot \frac{1}{10^2} \{(26 - 32)^2 + (36 - 32)^2 + (32 - 24)^2 + (22 - 35)^2 + (26 - 36)^2\} \\ &= 2.5667 \end{aligned}$$

$$\text{- จาก } v_4 = (1-f) \cdot \frac{2}{3n(n-2)} \sum_{j=1}^{n-2} \left(\frac{1}{2} y_j - y_{j+1} + \frac{1}{2} y_{j+2}\right)^2$$

$$\begin{aligned} \therefore v_4 &= \left(1 - \frac{1}{3}\right) \cdot \frac{2}{3 \times 10 \times 8} \left\{ \left(\frac{32}{2} - 26 - \frac{32}{2}\right)^2 + \left(\frac{26}{2} - 32 + \frac{36}{2}\right)^2 + \left(\frac{32}{2} - 36 + \frac{24}{2}\right)^2 \right. \\ &\quad + \left(\frac{36}{2} - 24 + \frac{32}{2}\right)^2 + \left(\frac{24}{2} - 32 + \frac{35}{2}\right)^2 + \left(\frac{32}{2} - 35 + \frac{22}{2}\right)^2 + \left(\frac{35}{2} - 22 + \frac{36}{2}\right)^2 \\ &\quad \left. + \left(\frac{22}{2} - 36 + \frac{26}{2}\right)^2 \right\} \\ &= 3.3194 \end{aligned}$$

$$\text{- จาก } v_5 = (1-f) \cdot \frac{2}{7n(n-4)} \sum_{j=1}^{n-4} \left(\frac{1}{2} y_j - y_{j+1} + y_{j+2} - y_{j+3} + \frac{1}{2} y_{j+4}\right)^2$$

$$\begin{aligned} \therefore v_5 &= \left(1 - \frac{1}{3}\right) \cdot \frac{2}{7 \times 10 \times 6} \left\{ \left(\frac{32}{2} - 26 + 32 - 36 + \frac{24}{2}\right)^2 + \left(\frac{26}{2} - 32 + 36 - 24 + \frac{32}{2}\right)^2 \right. \\ &\quad + \left(\frac{32}{2} - 36 + 24 - 32 + \frac{35}{2}\right)^2 + \left(\frac{36}{2} - 24 + 32 - 35 + \frac{22}{2}\right)^2 + \left(\frac{24}{2} - 32 + 35 - 22 + \frac{36}{2}\right)^2 \\ &\quad \left. + \left(\frac{32}{2} - 35 + 22 - 36 + \frac{26}{2}\right)^2 \right\} \\ &= 2.2865 \end{aligned}$$

$$\text{- จาก } v_6 = (1-f) \cdot \frac{1}{7.5n(n-8)} \sum_{j=9}^n \left(\frac{y_j}{2} - y_{j-1} + y_{j-2} - \dots + \frac{y_{j-8}}{2}\right)^2$$

$$\therefore v_6 = \left(1 - \frac{1}{3}\right) \cdot \frac{1}{7.5 \times 10 \times 2} \left\{ \left(\frac{36}{2} - 22 + 35 - 32 + 24 - 36 + 32 - 26 + \frac{32}{2}\right)^2 \right\}$$

$$+ \left( \frac{26}{2} - 36 + 22 - 35 + 32 - 24 + 36 - 32 + \frac{26}{2} \right)^2$$

$$= 0.8978$$

จากตัวอย่างชุดที่ 1 ทำการเลือกตัวอย่างย่อยแบบมีระบบอีกครั้งโดยในที่นี้ให้  $p = 2$   
 จะได้ตัวอย่างย่อย 2 ชุด ซึ่งมีขนาดเท่ากับ  $n/p = 10/2 = 5$  ทาเลขสุ่ม 2 ตัว โดยใช้ช่วงสุ่ม  $(p) = 2$   
 สมมติได้เลข 1,2 ดังนั้นจะได้ชุดตัวอย่างย่อยที่เป็นไปได้ดังตารางต่อไปนี้

| ตัวอย่างย่อยที่ ( $\alpha$ ) |                |
|------------------------------|----------------|
| 1                            | 2              |
| 1(32)                        | 4(26)          |
| 7(32)                        | 10(36)         |
| 13(24)                       | 16(32)         |
| 19(35)                       | 22(22)         |
| 25(36)                       | 28(26)         |
| $\bar{y}_\alpha$             | 31.8      28.4 |
|                              | $y$ 30.1       |

$$\text{จาก } v_7 = (1-f) \cdot \frac{1}{p(p-1)} \sum_{\alpha=1}^p (\bar{y} - \bar{y})^2$$

$$= \left(1 - \frac{1}{3}\right) \cdot \frac{1}{2 \times 1} \{ (31.8 - 30.1)^2 + (28.4 - 30.1)^2 \}$$

$$\therefore v_7 = 1.9267$$

$$\text{- จาก } v_8 = \begin{cases} (1-f) \frac{s^2}{n} \left[ 1 + \frac{2}{\ln(\hat{p}_k)} + \frac{2}{\left(\frac{1}{\hat{p}_k} - 1\right)} \right] & ; \hat{p}_k > 0 \\ (1-f) \frac{s^2}{n} & ; \hat{p}_k \leq 0 \end{cases}$$

$$\text{เมื่อ } \hat{p}_k = \frac{n}{\sum_{j=2}^n} \frac{(y_j - \bar{y})(y_{j-1} - \bar{y})}{(n-1)s^2} = \frac{-124.21}{9 \times 26.7667} = -0.5156 < 0$$

$$\therefore v_8 = (1-f) \frac{s^2}{n} = v_1 = 1.7844$$

แต่หากจะหาตัวประมาณค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง ทั้ง 8 วิธี ของชุดตัวอย่างที่ 2 และ 3 จะได้ดังตารางต่อไปนี้ พร้อมค่าร้อยละของค่าคลาดเคลื่อนจากค่าจริง ซึ่งแสดงไว้ในวงเล็บดังนี้

| ตัวประมาณ | ชุดตัวอย่างที่ |                         |                         |
|-----------|----------------|-------------------------|-------------------------|
|           | 1              | 2                       | 3                       |
| $v_1$     | 1.7844(-64.52) | 2.46(-51.08)            | 5.66(12.54)             |
| $v_2$     | 2.8519(-43.29) | 2.1481(-57.28)          | 2.9630(-41.08)          |
| $v_3$     | 2.5667(-48.96) | 3.0067(-40.21)          | 1.6667(-66.86)          |
| $v_4$     | 3.3194(-33.99) | 1.5208(-69.76)          | 3.3417(-33.55)          |
| $v_5$     | 2.2865(-54.53) | 2.1381(-57.48)          | 4.4143(-12.22)          |
| $v_6$     | 0.8978(-82.15) | 2.5522(-49.25)          | 5.3711(6.80)            |
| $v_7$     | 1.9267(-61.69) | 0.54(-89.26)            | 3.2267(-35.84)          |
| $v_8$     | 1.7844(-64.52) | 2.46(-51.08)            | 5.66(12.54)             |
|           |                | $(\hat{p}_k = -0.0709)$ | $(\hat{p}_k = -0.0457)$ |

## สรุป

จากตัวอย่างข้างต้นเป็นการแสดงการหาค่าประมาณ  $v_e$  ( $\bar{y}$ ) ;  $e = 1, 2, \dots, 8$  จะเห็นได้ว่า ค่าประมาณดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนมากนั้น เนื่องจากการศึกษาประชากรเพียงรูปแบบเดียว ขนาดตัวอย่างและจำนวนกลุ่มตัวอย่างย่อยเดียวเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม ตัวประมาณที่ใช้ก็มีรูปแบบหรือวิธีการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนสามารถนำมาใช้ประมาณค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่างได้ง่าย และทำให้เราประมาณช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยหรือหาความคลาดเคลื่อนของงานที่ทำได้บ้าง ซึ่งถ้าหากเราทราบลักษณะของการเรียงลำดับของหน่วยในประชากรแล้วจะทำให้คุณภาพของการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบและตัวประมาณค่าความแปรปรวนมีผลดีกว่าการเลือกตัวอย่างแบบสุ่มอย่างง่าย โดยเฉพาะถ้าหน่วยต่างๆ ที่ตกเข้ามาอยู่ในตัวอย่างเดียวกัน มีความแตกต่างกันมาก และไม่มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกันด้วย

## บรรณานุกรม

1. มนตรี พิริยะกุล, เทคนิคการสำรวจด้วยกลุ่มตัวอย่าง, มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
2. สุชาติ กิระนันท์, การสำรวจตัวอย่าง, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
3. Cochran G. William, *Sampling Techniques*. 3rd ed ; New York : John Wiley 1977.
4. Kirk M. Wolter, "An Investigation of Some Estimators of Variance for Systematic Sampling", *Jasa*; Vol.79, December 1984.

ปัจจุบันวิธีที่นิยมวิธีหนึ่ง คือการใช้เซลล์จุลินทรีย์มาผลิตเป็นโปรตีนเซลล์เดี่ยว (Single Cell Protein, SCP) เพื่อเป็นอาหารเสริมโปรตีน โปรตีนเซลล์เดี่ยวเป็นโปรตีนที่ได้จากสาหร่าย เชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรีย แต่โปรตีนที่ได้จากยีสต์และแบคทีเรียมีปัญหา คือ มีปริมาณกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) สูง โดยเฉพาะ RNA ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค คือ ทำให้มีระดับยูริก แอซิกสูง ทำให้เป็นโรคเก๊า และนิ่ว (Prescott, 1970) จึงหันมาใช้สาหร่ายแทน แต่ก็มีปัญหา คือ สาหร่ายจะมีเซลล์ลูโลสที่ผนังเซลล์ ซึ่งร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ ในปัจจุบันนักวิชาการทางด้านสาหร่ายค้นพบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชื่อสไปรูไลน่า (*Spirulina* sp.) หรือเรียกว่าสาหร่ายเกลียวทอง เป็นสาหร่ายที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำมาทำเป็น single cell protein เนื่องจากมีปริมาณนิวคลีอิก และเซลล์ลูโลสต่ำ มีคุณค่าทางโภชนาการสูง คือ มีโปรตีนอยู่ประมาณ 55-68% (Venkataraman, 1983) และเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี เนื่องจากมีการดอมีโนจำเป็นในปริมาณสูงและครบถ้วน (Hudson, 1974) นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งวิตามินที่สำคัญหลายชนิด เช่น วิตามินบี 12 และยังมีสารที่ให้สี เช่น แคโรทีนอยด์ (carotenoids) ซึ่งแบ่งเป็นเบต้าแคโรทีน ( $\beta$  carotene) ให้สารสีส้มและเป็นต้นกำเนิด (precursor) ของวิตามินเอ, แซนโทฟิล (xanthophyll) เป็นสารที่ให้สีเหลือง นอกจากนี้ยังมีไฟโคไซยานิน (phycocyanin) และไฟโคเออริทริน (phycoerythrin) (Ciferei, 1983) ซึ่งสามารถนำสีเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ได้ เช่น ทำสีย้อมอาหาร เป็นต้น

ออสซิลลาทอเรีย (*Oscillatoria* sp.) เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากอยู่ใน Family Oscillatoriaceae เช่น

เดียวกัน ต่างกันตรงรูปร่างเท่านั้น คือ สไปรูไลน่าจะมีสายเซลล์บิดเป็นเกลียว ส่วนออสซิลลาทอเรียมีสายเซลล์ตรงประกอบด้วยเซลล์จำนวนมาก สายเซลล์ไม่แตกแขนง เรามักพบสาหร่ายทั้งสองชนิดนี้ในแหล่งน้ำธรรมชาติเดียวกันเสมอ

คุณค่าทางอาหารของออสซิลลาทอเรีย ยังไม่มีรายงาน เนื่องจากยังไม่มีผู้ศึกษา จึงทำให้คณะผู้วิจัยมองเห็นปัญหาและความสำคัญที่จะทำการวิจัยครั้งนี้ เพื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารระหว่างสาหร่ายทั้งสองชนิดนี้

## อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง

### 1. วัสดุอุปกรณ์

#### 1.1 พืชทดลอง (Plant material)

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 2 ชนิด คือ ออสซิลลาทอเรียและสไปรูไลน่า โดยเก็บจากแหล่งน้ำธรรมชาติในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

1.2 สารเคมีที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายทั้งสองชนิด และสารเคมีที่ใช้วิเคราะห์หาคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายทั้งสองชนิด

สูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย ใช้ตามสูตรอาหารของ Modified Allen's medium

### 2. วิธีดำเนินการทดลอง

#### การทำ single cell isolation

โดยการแยกเซลล์สาหร่ายออสซิลลาทอเรียและสไปรูไลน่า ออกจากตัวอย่างน้ำที่เก็บมาจากแหล่งต่างๆ ในเขตอำเภอเมืองขอนแก่น วิธีการโดยใช้ capillary tube ดูดเซลล์สาหร่ายแต่ละชนิดที่ต้องการขึ้นมาจากตัวอย่างน้ำ ซึ่งจะต้องทำภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เมื่อได้ตัวอย่างสาหร่ายที่ต้องการแล้ว หยดลงบนกระจกนาฬิกาแผ่นที่ 1,2.....

# การเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารระหว่าง ออสซิลลาทอเรีย (*Oscillatoria* sp.) และสไปรูไลน่า (*Spirulina* sp.)

(Comparison of Nutritive Value Between  
*Oscillatoria* sp. and *Spirulina* sp.)

\* สุนันทิพย์ บุนนาค

\* ปิยะดา ธีระกุลพิศุทธิ์

## บทคัดย่อ

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของออสซิลลาทอเรีย (*Oscillatoria* sp.) และสไปรูไลน่า (*Spirulina* sp.) พบว่าเปอร์เซ็นต์ โปรตีน, ไขมัน, โปตัสเซียม, ซัลเฟอร์ และไนโตรเจนของสไปรูไลน่า มีค่ามากกว่าออสซิลลาทอเรีย ส่วนเปอร์เซ็นต์เยื่อใย, เถ้า, ไนโตรเจน ฟรีแอกซ์แทรก, แคลเซียม, ฟอสฟอรัส, แมงกานีส, แมกนีเซียม, ทองแดง, เหล็ก และสังกะสี ของออสซิลลาทอเรียมีค่ามากกว่าสไปรูไลน่า ส่วนเปอร์เซ็นต์ความชื้นและโซเดียมของสาหร่ายทั้งสองชนิด มีค่าเท่ากัน

## Abstract

By the analyses of nutritive value between *Oscillatoria* sp. and *Spirulina* sp. found that the percentages of protein, fat, potassium, sulfur and nitrogen of *Spirulina* sp. were more than those of *Oscillatoria* sp. But the percentages of fiber, ash, nitrogen free extract, calcium, phosphorus, manganese, magnesium, copper, iron and zinc of *Oscillatoria* sp. were more than those of *Spirulina* sp. The percentages of moisture and sodium of both algae were equal.

## คำนำ

จากการสำรวจพบว่าประมาณสองในสามของประชากรในโลกประสบกับปัญหาขาดแคลนโปรตีน สำหรับประเทศไทยเองพบว่าประชากรที่อยู่ห่างไกลความเจริญ เช่น ประชากรในชนบทภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มักจะประสบปัญหาเป็นโรคขาดโปรตีนกันมากทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความ

ยากจน นักวิชาการจึงได้แนะนำให้ชาวชนบทหันมาบริโภคโปรตีนจากพืชแทนโดยแนะนำให้บริโภคอาหารที่ทำจากถั่วต่าง ๆ แต่โปรตีนที่ได้จากพืชนั้น ก็ยังไม่เพียงพอแก่ความต้องการ จึงได้มีความพยายามที่จะหาแหล่งโปรตีนแหล่งใหม่ เพื่อทดแทนโปรตีนจากสัตว์และพืชให้เพียงพอับความต้องการของมนุษย์โลก

\* อาจารย์ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

● Received 10 May 1989. Accepted 16 May 1989.

ต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้สาหร่ายชนิดเดียว ล้วนๆ เมื่อแน่ใจว่าสาหร่ายที่ต้องการถูกควบคุม อยู่ใน capillary tube เป็นสาหร่ายชนิดเดียว จึง นำ capillary tube นั้น หย่อนลงไปในหลอดทดลอง ที่มีอาหารเลี้ยงสาหร่ายอยู่และใช้แผ่น parafilm ปิดปากหลอดไว้นำไปใส่ไว้ในที่ใส่หลอดทดลอง พร้อมกับให้แสง โดยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 60 W ตลอดเวลา เช้าหลอดทดลองทุกวัน หลังจากเลี้ยงในหลอดทดลองประมาณ 10-12 วัน ก็นำมาเลี้ยงต่อในขวดแก้วรูปชมพู่ โดยให้แสง ตลอดเวลา พร้อมกับใช้เครื่องปั๊มอากาศด้วยเพื่อ เพิ่มออกซิเจนให้แก่สาหร่าย ทำให้สาหร่ายสามารถ เจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว

หลังจากนั้นประมาณ 2 สัปดาห์ จึงนำสาหร่าย จากขวดแก้วรูปชมพู่มาเลี้ยงในขวดโหลแก้ว ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 16 ซม. สูง 19 ซม. ซึ่งมีอาหาร ที่ใช้เลี้ยงบรรจุอยู่ประมาณ 4 ลิตร พร้อมกับ ให้แสงตลอดเวลา และต้องปั๊มอากาศด้วยเครื่อง ปั๊มตลอดเวลา

3. การวิเคราะห์หาคคุณค่าทางอาหารของออสซิลลาทอเรียและสไปรูไลน่า

หลังจากเลี้ยงไว้ในขวดโหลแก้วประมาณ 1 สัปดาห์ จึงทำการเก็บเกี่ยวสาหร่ายทั้งสอง ชนิด ใช้วิธีการที่เรียกว่า gravity filtration (venkataraman, 1983) คือการกรอง โดยใช้ผ้าไนลอน 2 ชั้น ชั้นบนมีความถี่ 25 mesh ส่วนชั้นล่างมีความถี่ 60 mesh

สำหรับการทำแห้ง ใช้วิธีการอบในตู้อบ อุณหภูมิ 70-75°C ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้ทำให้ สาหร่ายไหม้เกรียม ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่านี้ สาหร่าย จะไม่แห้งสนิท (สุมาลี, 2527)

วิธีการวิเคราะห์ ใช้วิเคราะห์แบบ Proximately analysis โดยวิธีของ Heneberg และ Stohman

(เยาวมัลย์, 2523) โดยวิเคราะห์หา ความชื้น, โปรตีน, ไขมัน, เยื่อใย, เถ้า และไนโตรเจนฟรี-แอกซ์แทรก โดยวิเคราะห์ที่ภาควิชาชีววิทยา คณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และหน่วย วิเคราะห์อาหารสัตว์ สำนักงานเกษตรภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ท่าพระ จังหวัดขอนแก่น

สำหรับแร่ธาตุคือ Ca, P, K, S, Mn, Mg, Cu, Fe และ Zn วิเคราะห์ที่ภาควิชาชีววิทยา คณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และส่งไป วิเคราะห์ที่ฝ่ายวิเคราะห์อาหารสัตว์ กองอาหาร สัตว์ กรมปศุสัตว์ วิทยาโท กรุงเทพมหานคร

### ผลการทดลอง

ผลการทดลองตามวิธีการที่ดำเนินตามข้อ 2 และ 3 สามารถแจกแจงเป็นตารางตามตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ดังนี้

### ข้อวิจารณ์

จากการวิเคราะห์หาคคุณค่าทางอาหารของ ออสซิลลาทอเรียและสไปรูไลน่า แล้วนำค่าที่ได้ไป หาค่าความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีน, ไขมัน, โปตัสเซียม, ซัลเฟอร์และไนโตรเจน ของสไปรูไลน่า มีค่ามากกว่าของออสซิลลาทอเรีย ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์เหล่านี้ แสดงไว้ในตารางที่ 1 และ 2 ในผลการทดลอง และค่าที่ทำการทดลองได้นี้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ การทดลองของ Venkataraman (1983) และ Hill (1980) พบว่า ค่าที่ได้ของสไปรูไลน่ามีค่าใกล้เคียงกัน แต่ออสซิลลาทอเรียยังไม่มีรายงาน

สำหรับเปอร์เซ็นต์เยื่อใย, เถ้า, ไนโตรเจน ฟรีแอกซ์แทรก, แคลเซียม, ฟอสฟอรัส, แมงกานีส, แมกนีเซียม, ทองแดง, เหล็ก และสังกะสี ของ ออสซิลลาทอเรีย จะมีค่ามากกว่าของสไปรูไลน่า

ตารางที่ 1 แสดงคุณค่าทางอาหารของออสซิลลาทอเรีย (*Oscillatoria* sp.) และสไปรูไลน่า (*Spirulina* sp.) เป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

| คุณค่าทางอาหารที่ทำ<br>การวิเคราะห์ | ค่าเฉลี่ย (%) ของคุณค่าทางอาหารในสาหร่ายทั้งสองชนิด |                                    | ความแตกต่าง<br>ทางสถิติ |
|-------------------------------------|---|------------------------------------|-------------------------|
|                                     | ออสซิลลาทอเรีย ( <i>Oscillatoria</i> sp.)           | สไปรูไลน่า ( <i>Spirulina</i> sp.) |                         |
| ความชื้น                            | 12.37 ± .123  | 12.34 ± .19                        | ns                      |
| โปรตีน                              | 44.57 ± .16   | 53.88 ± .27                        | *                       |
| ไขมัน                               | 1.88 ± .10  | 2.10 ± .01                         | *                       |
| เยื่อใย                             | 1.45 ± .13  | 0.93 ± .08                         | *                       |
| เถ้า                                | 11.85 ± .68   | 7.31 ± .22                         | *                       |
| ไนโตรเจน                            | 27.87   | 23.44                              | *                       |
| ฟิแอกซ์แทน                          |   |                                    |                         |
| ไนโตรเจน                            | 7.13 ± 0.31   | 8.62 ± 0.14                        | *                       |

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณแร่ธาตุของออสซิลลาทอเรีย (*Oscillatoria* sp.) และ สไปรูไลน่า (*Spirulina* sp.) เป็นมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง

| ปริมาณแร่ธาตุ<br>ที่ทำกรวิเคราะห์ | ค่าเฉลี่ย (มก./100 ก.) ของปริมาณแร่ธาตุในสาหร่ายทั้งสองชนิด |                                    | ความแตกต่าง<br>ทางสถิติ |
|-----------------------------------|---|------------------------------------|-------------------------|
|                                   | ออสซิลลาทอเรีย ( <i>Oscillatoria</i> sp.)                   | สไปรูไลน่า ( <i>Spirulina</i> sp.) |                         |
| แคลเซียม                          | 190.52 ± 4.00   | 143.14 ± 9.77                      | *                       |
| ฟอสฟอรัส                          | 846.03 ± 10.27  | 803.50 ± 9.03                      | *                       |
| โปตัสเซียม                        | 976.79 ± 15.29  | 1253.90 ± 18.64                    | *                       |
| ซัลเฟอร์                          | 450.69 ± 7.52   | 493.84 ± 8.68                      | *                       |
| แมงกานีส                          | 15.94 ± 0.54  | 7.88 ± 0.45                        | *                       |
| โซเดียม                           | 195.68 ± 5.34   | 217.63 ± 16.83                     | ns                      |
| แมกนีเซียม                        | 360.46 ± 9.23   | 248.87 ± 9.77                      | *                       |
| ทองแดง                            | 7.36 ± 0.09   | 4.48 ± 0.03                        | *                       |
| เหล็ก                             | 90.17 ± 1.02  | 59.92 ± 2.27                       | *                       |
| สังกะสี                           | 8.07 ± 0.31   | 4.96 ± 0.54                        | *                       |

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

\* มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%

ซึ่งผลการทดลองครั้งนี้พบว่าค่าดังกล่าวข้างต้นของสไปรูไลน่า มีค่าใกล้เคียงกับที่ Hill (1980) และ Becker (1981) และ Venkataraman (1983) ได้รายงานไว้

จากการทดลองพบว่าออสซิลลาทอเรียมีปริมาณแร่ธาตุเกือบทุกชนิดมากกว่าสไปรูไลน่า ยกเว้น โปตัสเซียมและซัลเฟอร์ ส่วนโซเดียมทั้งสไปรูไลน่าและออสซิลลาทอเรีย มีค่าไม่แตกต่างกัน

สำหรับเปอร์เซ็นต์ความชื้น และปริมาณของโซเดียมของสาหร่ายทั้งสองชนิด เมื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สาเหตุที่การวิเคราะห์แล้วตัวเลขที่ได้มากหรือน้อยกว่าการทดลองของ Hill (1980),

Becker (1981) และ Venkataraman (1983) ตัวอย่างเช่น โปรตีนจากการทดลอง เปอร์เซ็นต์โปรตีนของสไปรูไลน่า เท่ากับ 53.88% รายงานของ Venkataraman กล่าวว่าสไปรูไลน่าจะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนอยู่ในช่วง 55-65% เป็นต้น ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยง ซึ่งในการทดลอง ใช้สูตรอาหารของ Modified Allen's Medium และ

ยังอาจจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของสาหร่ายเองด้วย จากผลจากการทดลองอาจกล่าวได้ว่า ถ้าได้ทดลองนำออสซิลลาทอเรียมาใช้แทนสไปรูไลน่าในกรณีต่างๆ กัน อาทิเช่น ใช้เลี้ยงสัตว์ แล้วผลการเจริญเติบโตของสัตว์ไม่แตกต่างกัน ก็น่าจะได้แนะนำให้ประชากรในเขตชนบทที่ห่างไกลความเจริญได้หันมาเลี้ยงออสซิลลาทอเรีย แล้วนำเป็นอาหารเสริมได้ เช่นเดียวกับสไปรูไลน่า เนื่องจาก คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายทั้งสองชนิดไม่ต่างกันมากนัก และโดยเฉพาะแร่ธาตุ พบว่าออสซิลลาทอเรียจะมีมากกว่าสไปรูไลน่า

## สรุป

1. จากการทดลองเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารระหว่างออสซิลลาทอเรียและสไปรูไลน่า พบว่าเปอร์เซ็นต์โปรตีน, ไขมัน, โปตัสเซียม, ซัลเฟอร์ และ ไนโตรเจนของสไปรูไลน่า มีค่ามากกว่าออสซิลลาทอเรีย

2. เปอร์เซ็นต์เยื่อใย, เถ้า, ไนโตรเจนฟรี-แอกซ์เทค แคลเซียม, ฟอสฟอรัส, แมงกานีส, แมกนีเซียม, ทองแดง, เหล็ก, และสังกะสี ของออสซิลลาทอเรีย มีค่ามากกว่าของสไปรูไลน่า

3. เปอร์เซ็นต์ความชื้น และโซเดียมของสาหร่ายทั้งสองชนิดมีค่าเท่ากัน

## กิตติกรรมประกาศ

ในการวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทเงินอุดหนุนทั่วไปจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปีงบประมาณ 2529 จึงขอขอบคุณมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความสะดวกเกี่ยวกับ สถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาชีววิทยา เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิเคราะห์อาหารสัตว์ กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ และเจ้าหน้าที่สำนักงานเกษตรภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ท่าพระ ขอนแก่น และคุณรุ่งฤดี ทิวทอง ตลอดจนผู้ที่ให้ความช่วยเหลือ ซึ่งไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ซึ่งมีส่วนช่วยทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## บรรณานุกรม

- กาญจนภรณ์ สิวมนอนต์. 2527. สาหร่าย., คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.  
 เขาวมาลย์ คำเจริญ. 2523. คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Board on Science and Technology for International Development, 1985. *Underexploited Tropical plants with Promising Economic Value*. Report of an Ad Hoc Panel of the Advisory National Academy of Science. Washington, D.C. : 162-168.

Becker, E.W. 1981. *Process Biochemistry* : 16 (5) : 10-14.

Ciferei, O. 1983. *Spirulina, The Edible Microbiological Reviews* : Dec. 551-578.

Hill, C. 1980. *The Secrets of Spirulina*. University of the tree press, Boulder Creek. California.

Hudson, B.J.F., and I.G.Karis. 1974. The lipids of the algae, Spirulina. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 25 : 759-63.

Kumnuanta, J. 1976. *Choice of microorganisms for single cell protein*. REGIONAL/UNESCO/ UNDP/ICRO, Training Course. Bangkok.

Nakamura, H. 1970. *The Mass Production of Spirulina, A Helical Blue-Green Algae, As a New Food*. Microalgae International Union, London.

Official Method of Analysis of the Association of official Agriculture chemists. 1955. *AOAC* 8<sup>th</sup> ed Washigton, DC.12.

The Protein Advisory Group of the United Nations. 1973. "Proteins from microalgae and Microfungi". *Tropical Sciences*. 15 : 77-81.

Venkataraman, L.V. 1983. Blue green Algae, Spirulina. A Monograph on *Spirulina platensis*. *Biotechnology and Application*. Department of Science and Technology India.

# กายวิภาคระบบสืบพันธุ์ของแย้

## *Leiolepis belliana rubritaeniata* (Mertens)

\* โรจน์ชัย ศัตราวหา

\*\* สุวคนธ์ พลกนิษฐ์

### บทคัดย่อ

ได้ศึกษากายวิภาคระบบสืบพันธุ์ของแย้พันธุ์ *Leiolepis belliana rubritaeniata* (Mertens) ที่เก็บรวบรวมได้จากจังหวัดต่างๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนตุลาคม 2530 พบว่าแย้เพศเมียมีไข่ที่ได้รับการผสมเชื้อและมีหนังหุ้มแล้วจำนวนมาก ในเดือนมีนาคมและเดือนสิงหาคม และแย้เพศผู้มีอัณฑะขนาดโตในเดือนมีนาคมเป็นจำนวนมาก ไข่เป็นแบบ paired structure ไข่เป็นแบบ enveloped และ polylecithal มีความยาวเฉลี่ย  $2.21 \pm 0.16$  ซม. กว้างเฉลี่ย  $1.34 \pm 0.05$  ซม. อัณฑะด้านขวาจะอยู่ค่อนข้างสูงกว่าอัณฑะด้านซ้ายเล็กน้อย

### Abstract

Reproductive anatomy of sand lizard, *Leiolepis belliana rubritaeniata* (Mertens), collected from provinces in the northeast of Thailand between March and October 1987 were investigated. Female lizards beared enveloped fertilized egg were mostly found in March and August. A pair of large testes were also commonly recorded in mature male lizards collected in March. Ovary was in paired structure with enveloped and polylecithal eggs. Average longitudinal and transversal diameters of the lizard egg were  $2.21 \pm 0.16$  cm and  $1.34 \pm 0.05$  cm respectively. A right testis was a little higher than a left one.

### บทนำ

แย้พันธุ์ *L.b. rubritaeniata* (Mertens) เป็น สัตว์เลื้อยคลานประเภทไต่คาน และเป็นสัตว์ป่า ที่ประชาชนคนไทยยอมรับเป็นอาหาร และชอบ กินมาช้านาน แต่มีรายงานเกี่ยวกับชีววิทยาและ นิเวศวิทยาของสัตว์ชนิดนี้น้อยมาก

โอกาส ขอบเขตต์ (2517) โรจน์ชัย ศัตราวหา และไพรัช ทาบสีแพร (2525<sup>a</sup>, 2525<sup>b</sup>) Satrawaha (1984<sup>a</sup>, 1984<sup>b</sup>) และ Taylor (1963) รายงานเกี่ยวกับนิเวศวิทยาโดยทั่วไป ลักษณะของรูปร่าง กิจกรรมการออกหากินประจำวัน ความสัมพันธ์

\* รองศาสตราจารย์ ดร.ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*\* อาจารย์ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ระหว่างน้ำหนักตัวกับความยาวของร่างกาย และ ความสัมพันธ์ ระหว่างความยาวต่าง ๆ ของร่างกาย การกระจายภายในประชากร การตรวจสอบชนิดของอาหารที่แฉ้กินโดยวิธีวิเคราะห์จากมูลของแฉ้ โรจน์ชัย ศัตตราทา และชรินทร์ คู่คู่สมุทร (2528) รายงานเกี่ยวกับวิธีการจับแฉ้ อาณาเขตหากิน การเคลื่อนที่และความเร็วของแฉ้ การออกจากรูอาศัยและการกลับเข้าสู่รูอาศัย การเกี่ยวพาราสิ และการผสมพันธุ์ของแฉ้พันธุ์ *L.b. rubritaeniata* อย่างไรก็ตาม ยังไม่ปรากฏมีรายงานเกี่ยวกับการศึกษาด้านชีววิทยาระบบสืบพันธุ์ของสัตว์ชนิดนี้ จุดมุ่งหมายสำคัญของรายงานนี้ จึงเน้นเสนอในเรื่องระบบการสืบพันธุ์ของแฉ้พันธุ์ *L.b. rubritaeniata* ซึ่งเก็บรวบรวมได้จากจังหวัดต่าง ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อทราบลักษณะทั่ว ๆ ไปของระบบการสืบพันธุ์

### อุปกรณ์และวิธีการ

เก็บตัวอย่างแฉ้พันธุ์ *L.b. rubritaeniata* (Mertens) ในช่วงต้นเดือน (วันที่ 1-15 ของทุกเดือน) ระหว่างเดือนมีนาคม กรกฎาคม สิงหาคม กันยายน และตุลาคม 2530 ในเขตจังหวัดขอนแก่น สกลนคร อุตรธานี และอุบลราชธานี จำนวน

102 ตัว นำมาผ่าตัดศึกษาาระบบสืบพันธุ์โดยการสังเกตว่าแฉ้ที่ผ่าเป็นเพศผู้หรือเพศเมียถ้าเป็นแฉ้เพศผู้ สังเกตอวัยวะที่อยู่ในวัยเจริญพันธุ์หรือไม่ โดยการสังเกตจากขนาดของอวัยวะ ถ้าเป็นเพศเมีย สังเกตว่ามีไข่ที่ผสมเชื้อแล้ว หรือยังไม่ได้ผสมเชื้อ ถ้าเป็นไข่ที่ผสมเชื้อแล้วสังเกตว่ามีหนังกุ้มไข่ (envelope) แล้วหรือยังไม่มี และไข่เคลื่อนไปอยู่ในท่อนำไข่ (oviduct) พร้อมทั้งจะดูวางไข่หรือยังพร้อมทั้งทำ parafin section ของรังไข่ (ovary) และท่อนำเชื้อ (seminiferous tubule) ด้วย

### ผลการวิจัย

จากการผ่าตัดเปิดดูระบบสืบพันธุ์ของแฉ้พันธุ์ *L.b. rubritaeniata* แยกเป็นเพศเมีย 50 ตัว และเพศผู้ 52 ตัวที่สุ่มตัวอย่างระหว่างเดือนมีนาคม กรกฎาคม สิงหาคม กันยายน และตุลาคม พบว่าในเดือนมีนาคมแฉ้เพศเมียมีไข่ที่ได้รับการผสมเชื้อแล้ว และแฉ้เพศผู้มีอวัยวะขนาดใหญ่ค่อนข้างมากกว่าแฉ้ในเดือนอื่น ๆ (ตารางที่ 1,2) ไข่ของแฉ้ที่ได้รับการผสมเชื้อ และมีหนังกุ้ม (enveloped) พร้อมทั้งจะวางไข่ได้แล้ว พบมากในเดือนมีนาคมและเดือนสิงหาคมตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 1 จำนวนแฉ้เพศเมียที่มีไข่ที่ได้รับการผสมเชื้อแล้ว และที่ยังไม่ได้รับการผสมเชื้อ จำแนกตามเดือนที่เก็บตัวอย่างในปี 2530

| เดือน      | มีไข่ที่ผสมเชื้อ | ร้อยละ       | มีไข่ที่ยังไม่ผสมเชื้อ | ร้อยละ       | รวม       | ร้อยละ |
|------------|------------------|--------------|------------------------|--------------|-----------|--------|
| มีนาคม     | 20               | 86.96        | 3                      | 13.04        | 23        | 46.00  |
| กรกฎาคม    | 5                | 83.33        | 1                      | 16.67        | 6         | 12.00  |
| สิงหาคม    | 5                | 50.00        | 5                      | 50.00        | 10        | 20.00  |
| กันยายน    | 2                | 33.33        | 4                      | 66.67        | 6         | 12.00  |
| ตุลาคม     | 0                | 00.00        | 5                      | 100.00       | 5         | 10.00  |
| <b>รวม</b> | <b>32</b>        | <b>64.00</b> | <b>18</b>              | <b>36.00</b> | <b>50</b> |        |

ตารางที่ 2 จำนวนแฉะเพศผู้ที่มีอวัยวะขนาดใหญ่ และเล็ก จำแนกตามเดือนที่เก็บตัวอย่างในปี 2530

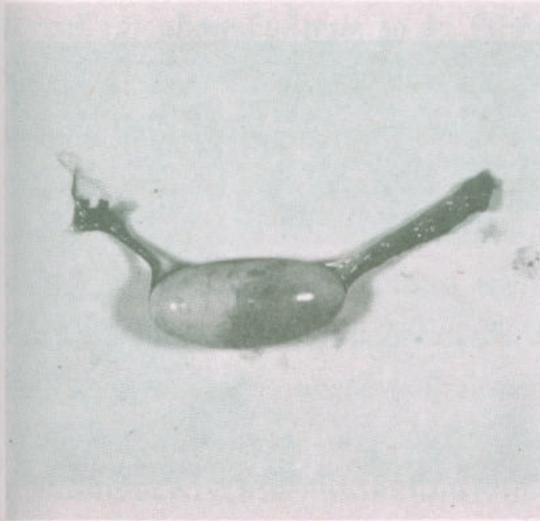
| เดือน   | มีอวัยวะขนาดใหญ่ | ร้อยละ | มีอวัยวะขนาดเล็ก | ร้อยละ | รวม | ร้อยละ |
|---------|------------------|--------|------------------|--------|-----|--------|
| มีนาคม  | 19               | 90.48  | 2                | 9.52   | 21  | 40.39  |
| กรกฎาคม | 3                | 50.00  | 3                | 50.00  | 6   | 11.54  |
| สิงหาคม | 4                | 44.44  | 5                | 55.55  | 9   | 17.31  |
| กันยายน | 1                | 12.50  | 7                | 87.50  | 8   | 15.38  |
| ตุลาคม  | 0                | 0.00   | 8                | 100.00 | 8   | 15.00  |
| รวม     | 27               | 51.92  | 25               | 48.08  | 52  |        |

ตารางที่ 3 จำนวนไข่ที่ได้รับการผสมเชื้อและมีหนังกุ้มแล้ว และที่ยังไม่มีหนังกุ้ม จำแนกตามเดือนที่เก็บตัวอย่างในปี 2530

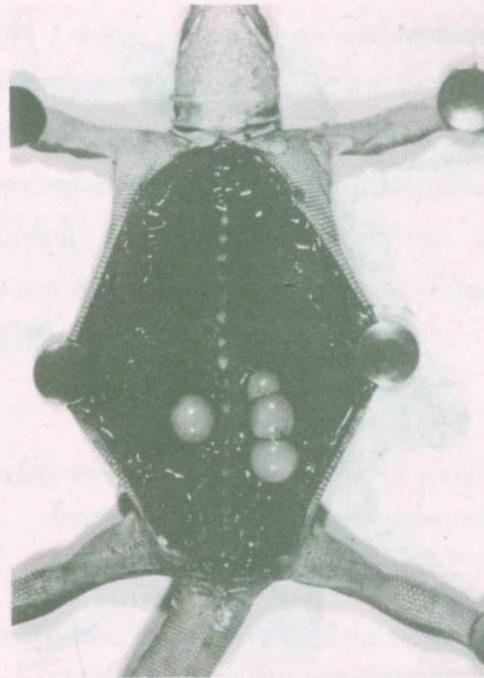
| เดือน   | ไข่ที่มีหนังกุ้มแล้ว | ร้อยละ | ไข่ที่ยังไม่มีหนังกุ้ม | ร้อยละ | รวม | ร้อยละ |
|---------|----------------------|--------|------------------------|--------|-----|--------|
| มีนาคม  | 15                   | 75.00  | 5                      | 25.00  | 20  | 60.61  |
| กรกฎาคม | 2                    | 33.33  | 4                      | 66.67  | 6   | 18.18  |
| สิงหาคม | 4                    | 80.00  | 1                      | 20.00  | 5   | 15.15  |
| กันยายน | 0                    | 0.00   | 2                      | 100.00 | 2   | 6.06   |
| รวม     | 21                   | 63.64  | 12                     | 36.36  | 32  |        |

รังไข่ของแฉะ *L.b. rubritaeniata* เป็นแบบ paired structure อยู่ในช่องท้อง ไข่มี yolk มากเป็นแบบ polylecithal ไข่จากรังไข่จะเข้าสู่ท่อหน้าไข่ (oviduct) ซ้ายและขวา ซึ่งไปเปิดออกที่ cloaca โดยไม่เชื่อมติดกันก่อน ไข่ที่ได้รับการผสมเชื้อแล้ว และมีหนังกุ้มไข่พร้อมที่จะถูกวาง มีรูปร่างเป็นแบบ ellipsoid (รูปที่ 1) มีเส้นผ่าศูนย์กลางตามยาว และตามขวางโดยเฉลี่ยเป็น  $2.21 \pm 0.16$  ซม. ( $N = 7$ ) และ  $1.34 \pm 0.05$  ซม. ( $N = 7$ ) ตามลำดับ แฉะเพศเมียที่มีความยาวลำตัว (snout-vent length) ตั้งแต่ 8 ซม. ขึ้นไปที่เก็บรวบรวมได้มีทั้งที่มีไข่ที่ได้รับการผสมเชื้อแล้วและยังไม่ได้มีการผสมเชื้อ (ตารางที่ 1) ไข่ที่ได้รับการผสมเชื้อแล้ว มี

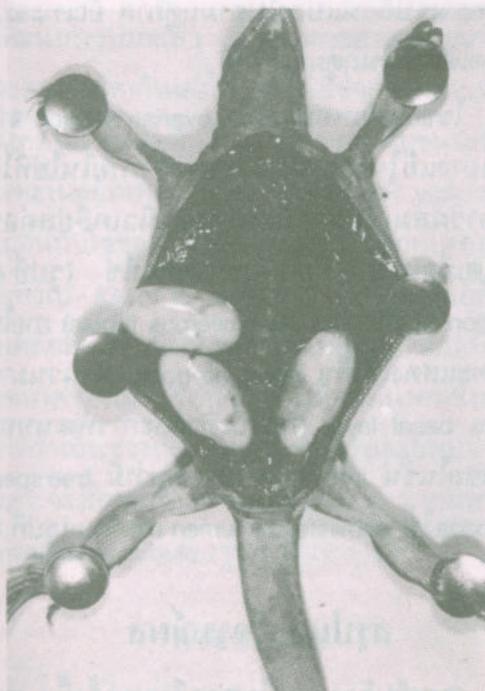
ทั้งที่มีหนังกุ้มไข่แล้วและยังไม่มีหนังกุ้มไข่ (ตารางที่ 3) พบแฉะที่มีไข่ที่ได้รับการผสมเชื้อแล้ว ทั้งที่มีหนังกุ้มไข่แล้ว (รูปที่ 2) และที่ยังไม่มีหนังกุ้มไข่ (รูปที่ 3) มากที่สุดในเดือนมีนาคม และเดือนกรกฎาคม คิดเป็นร้อยละ 87 และร้อยละ 83 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ส่วนไข่ที่ได้รับการผสมเชื้อแล้วและมีหนังกุ้มไข่ด้วย พบมากในแฉะที่เก็บรวบรวมได้ในเดือนสิงหาคมและเดือนมีนาคม คิดเป็นร้อยละ 80 และร้อยละ 75 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ส่วนแฉะที่เก็บรวบรวมได้ในเดือนอื่น ๆ จะมีไข่ที่ยังไม่ได้มีการผสมเชื้อ (รูปที่ 4) เป็นส่วนมาก



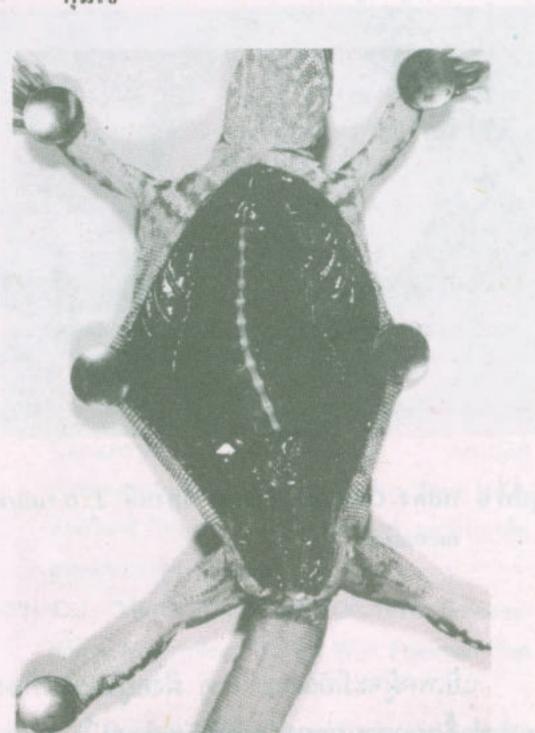
รูปที่ 1 แสดงไข่แฉะที่ได้รับการผสมเชื้อและมีหนังหุ้มไข่แล้ว เคลื่อนที่ไปอยู่ในท่อนำไข่พร้อมที่จะถูกวาง



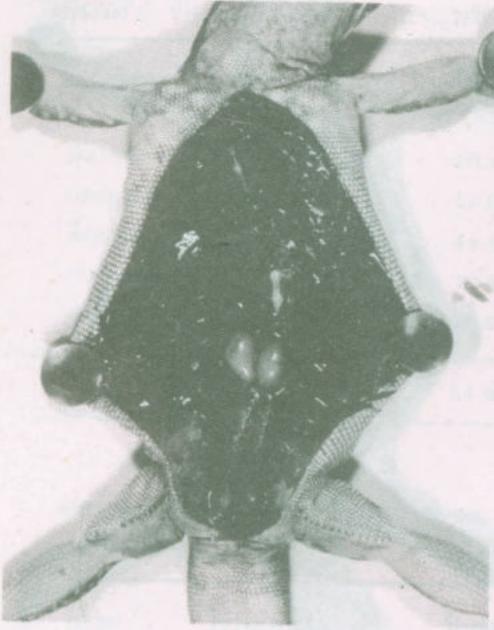
รูปที่ 3 แสดงไข่แฉะ *L.b.rubritaeniata* ที่ได้รับการผสมเชื้อแล้วแต่ยังไม่เจริญเต็มที่ซึ่งไม่มีหนังหุ้มไข่



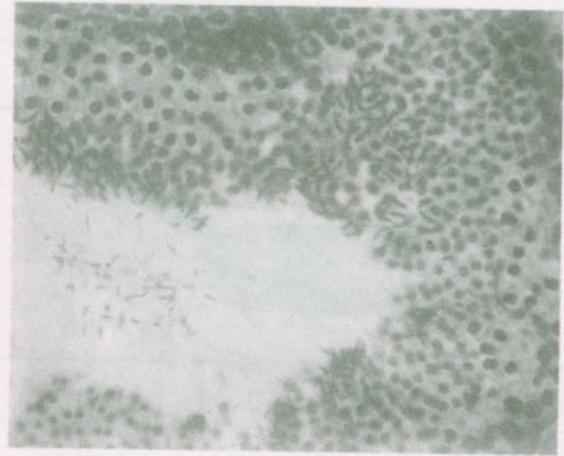
รูปที่ 2 แสดงไข่แฉะ *L.b.rubritaeniata* ทั้ง clutch ที่เจริญเต็มที่ภายในท่อนำไข่พร้อมที่จะถูกวาง



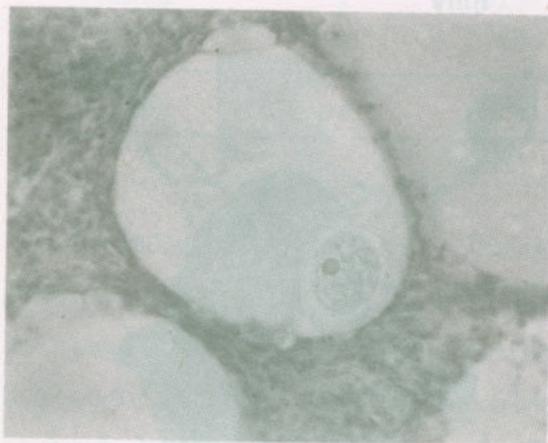
รูปที่ 4 แสดงไข่แฉะ *L.b.rubritaeniata* ที่ยังไม่ได้รับการผสมเชื้ออยู่ภายในรังไข่



รูปที่ 5 แสดงอวัยวะของแฉะ *L.b. rubritaeniata* ที่มีขนาดโตเต็มที่ 1 คู่



รูปที่ 7 แสดง Cross section ผ่าน seminiferous tubules ของแฉะ *L.b. rubritaeniata* แสดงระยะของการเกิด spermatogenesis



รูปที่ 6 แสดง Ovarian section ของแฉะ *L.b. rubritaeniata*

แฉะเพศผู้จะมีอวัยวะสืบพันธุ์ 1 คู่ อยู่ในช่องท้อง ในสัตว์เลื้อยคลานส่วนมากจะมีอวัยวะอยู่ในระดับเดียวกันแต่ในแฉะชนิดนี้อวัยวะด้านขวาจะอยู่ค่อนข้างสูงกว่าอวัยวะด้านซ้ายเล็กน้อย ซึ่งจะเห็นได้

ชัดเจนในแฉะเพศผู้ในฤดูการผสมพันธุ์ (รูปที่ 5) อวัยวะของแฉะมีรูปร่างเป็นแบบ oval ขนาดของอวัยวะจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล อวัยวะจะมีขนาดโตที่สุดในฤดูผสมพันธุ์

ไข่ของแฉะเพศเมียที่ทำ ovarian section จากตัวอย่างแฉะในเดือนมีนาคมพบว่าภายในไข่ที่ได้รับการผสมเชื้อแล้วมีขนาดของนิวเคลียสค่อนข้างโตเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของไข่ (รูปที่ 6) Section ของท่อนำไข่ (seminiferous tubule) ภายในอวัยวะแสดงให้เห็น spermatogonia จำนวนมากในชั้น basal layer การแบ่งตัวและการพัฒนาการของเซลล์ในชั้น inner layer และ พบว่ามี free spermatozoa ใน seminiferous lumen มากมาย (รูปที่ 7)

### สรุปและวิจารณ์ผล

การเก็บข้อมูลแฉะในการศึกษารังนี้ พบแฉะมากที่สุดในเดือนมีนาคม และเดือนสิงหาคม ตามลำดับ ส่วนในเดือนอื่นๆ พบแฉะน้อยมาก

(ตารางที่ 1,2) แฉะเพศเมียทั้งหมด 50 ตัว ที่ผ่าตัด พบว่าเป็นแฉะที่มีไข่ที่ได้รับการผสมเชื้อแล้ว (64%) มากกว่าแฉะที่มีไข่ที่ยังไม่ได้รับการผสมเชื้อ (36%) (ตารางที่ 1) ส่วนแฉะเพศผู้ 52 ตัวที่ผ่าตัดพบว่าเป็นแฉะที่มีอวัยวะที่มีขนาดโต (52%) และที่มีอวัยวะขนาดเล็ก (48%) ไม่ค่อยแตกต่างกันมาก (ตารางที่ 2) แต่ในเดือนตุลาคมจะไม่พบแฉะเพศเมียที่มีไข่ที่ได้รับการผสมเชื้อแล้ว และแฉะเพศผู้ที่มีอวัยวะขนาดโตเลย (ตารางที่ 1,2) สำหรับไข่แฉะที่ได้รับการผสมเชื้อแล้วจะพบมากในเดือนมีนาคมถึงเดือนสิงหาคมเท่านั้น (ตารางที่ 3) แสดงว่าในระหว่างช่วงฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์-เมษายน) ไปจนถึงช่วงที่มีฝนตกชุก (กรกฎาคม-สิงหาคม) เป็นฤดูกาลที่แฉะชนิดนี้ผสมพันธุ์ ส่วนในเดือนอื่นๆ เป็นระยะพัก

ไข่ของแฉะมี yolk เป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะว่าลูกแฉะที่ฟักออกจากไข่อยู่ในระยะที่พัฒนาการมากแล้ว จึงต้องการอาหารมากก่อนที่จะสามารถหากินเองได้ ท่อนำไข่จะเปลี่ยนแปลงขนาดตามฤดูผสมพันธุ์ เช่นเดียวกับกับขนาดของอวัยวะในแฉะเพศผู้ นอกจากไข่แฉะจะมี yolk มากเหมือนกับไข่ของสัตว์เลื้อยคลานประเภทไต่คานโดยทั่วไป (Goin et al. 1978) แล้วไข่ของแฉะยังมีนิวเคลียสที่มีขนาดค่อนข้างโตมากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของไข่ (รูปที่ 6) ในเดือนมีนาคมซึ่งอาจถือได้ว่าเป็นช่วงฤดูกาลผสมพันธุ์ของแฉะพบว่าในอวัยวะจะมีการสร้าง spermatozoa มากมายใน seminiferous tubule (รูปที่ 7)

### คำขอขอบคุณ

กายวิภาคระบบสืบพันธุ์ของแฉะพันธุ์ *L.b. rubritaeniata* (Mertens) เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่องโครโมโซม และกายวิภาคระบบสืบพันธุ์ของแฉะ

พันธุ์ *Leiolepis belliana rubritaeniata* (Mertens) ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี 2529 และ 2530 ผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยขอนแก่น ในการสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อนุญาตให้ใช้สถานที่ในการทำการวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

โจจน์ชัย คัตรวาทา และ ไพรัช ทาบสีแพร 2525a. การศึกษาขนาดและสัดส่วนของแฉะ *Leiolepis belliana rubritaeniata* (Mertens). วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 10(3):235-240.

โจจน์ชัย คัตรวาทา และ ไพรัช ทาบสีแพร 2525b. รายงานการวิจัยเรื่องนิเวศน์วิทยาและวงชีพของแฉะ *Leiolepis belliana rubritaeniata* (Mertens) ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 27 หน้า.

----- และ ชรินทร์ คูคูสมุท 2528. รายงานการวิจัยเรื่องการกระจายและโครงสร้างทางประชากรของแฉะ *Leiolepis belliana rubritaeniata* (Mertens) ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 29 หน้า

----- และ สุวคนธ์ พลกนิษฐ์ 2531. รายงานการวิจัยเรื่องโครโมโซมและกายวิภาคระบบสืบพันธุ์ของแฉะ *Leiolepis belliana rubritaeniata* (Mertens) ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 18 หน้า.

โอภาส ขอบเขตต์ 2517. การศึกษาเกี่ยวกับลักษณะภายนอกและนิสัยการกินอาหารของแฉะ *Leiolepis belliana rubritaeniata* (Mertens). Res. Note. No.8. ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

GOIN, C.J., O.B. GOIN and G.R.ZUG.1978. *Introduction to Herpetology*. 3rd ed. W.H. Freeman. San Francisco.

Satrawaha, Rojchai, 1984a. Some Ecological Aspects of an Agamid Lizard, *Leiolepis belliana rubritaeniata* (Mertens). *Wildlife Ecology in Southeast Asia. Biotrop Spec. Publ.* No. 21:77-85.

-----, 1984b. Preliminary Study  
of Population Dispersion of an Agamid Lizard,  
*Leiolepis belliana rubritaeniata* (Mertens). *KKU.  
Sc. J.* 12(3):123-128.

TAYLOR, E.H. 1963. The Lizards of Thailand. *The  
Univ. of Kansas. Sci. Bull.* 44(4):904-910

ขอเชิญ คิษย์เก่าบัณฑิตวิทยาลัย มช.  
ทุกรุ่น ร่วมงาน

วันคืนสู่เหย้า  
25 ปี  
วิทยาลัยศาสตร์

เสาร์ที่ 19 สิงหาคม 2532  
ณ คณะวิทยาศาสตร์ มช. ตั้งแต่เวลา 9.00 น. เป็นต้นไป

การศึกษาโครงสร้างผลึก  
ของสารประกอบซัลโคไฟไรท์กลุ่ม I-III-VI<sub>2</sub>  
โดยใช้ทฤษฎีพันธะและแถบพลังงาน  
(Theoretical Study of Bond and Band in  
I-III-VI<sub>2</sub> Chalcopyrite Crystals)

\* ประเสริฐ แจ่มจัน

บทคัดย่อ

การศึกษาโครงสร้างผลึกของสารประกอบโดยใช้ทฤษฎีพันธะเคมี ทำให้สามารถอธิบายได้ว่า พันธะที่ยึดเหนี่ยวให้แต่ละอะตอมเกาะกันเกิดเป็นโมเลกุลเป็นผลึกเกิดขึ้นมาได้อย่างไร และเมื่อศึกษาร่วมกันกับทฤษฎีแถบพลังงาน ทำให้สามารถจำแนกโครงสร้างผลึกของสารประกอบไบนารีได้ถูกต้องถึง 97% และเมื่อนำไปศึกษาการเกิดเตตระโกนอลดิสทอร์ชัน ในสารประกอบซัลโคไฟไรท์ ทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ของการเกิดเตตระโกนอล ดิสทอร์ชัน กับผลต่างของค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีของพันธะของสารได้

Abstract

The study of crystal structure using chemical bond theory allows us to understand the nature of chemical bonds but it cannot predict crystal properties accurately. On the other hands the energy band theory which can predict crystal properties correctly cannot describe the difference of bond types in different crystals. The combination of both theories have been very successful in classification of binary and ternary crystals. When we apply these theories to study tetragonal distortion in chalcopyrite crystals, we found the relations between tetragonal distortion  $2-c/a$  and the bonds electronegativity difference.

\* อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\* Received 31 October 1988. Accepted 7 November 1988.

**บทนำ**

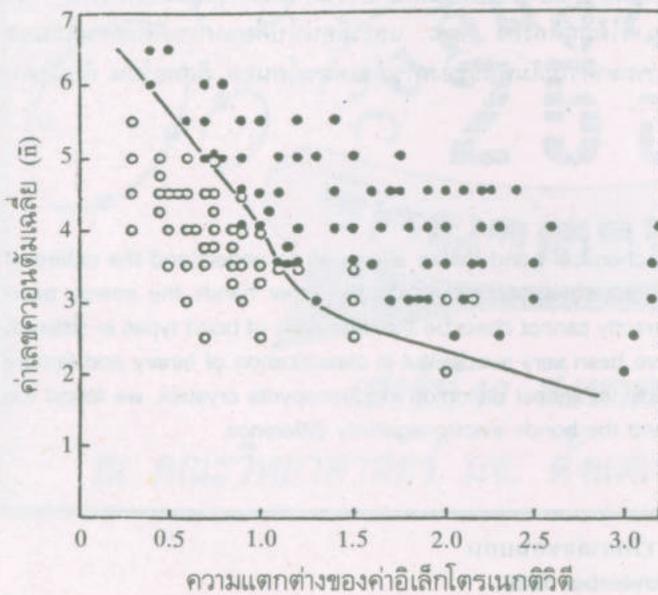
สารประกอบซัลโคไฟไรท์เป็นสารประกอบกึ่งตัวนำอีกประเภทหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นสารที่สามารถนำไฟฟ้าได้เมื่อมีแสงตกกระทบ สมบัติการนำไฟฟ้าของสารเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์การเกิดเตตระโกนอล ดิสทอร์ชัน ของสาร ดังนั้นถ้าเราทราบค่าเตตระโกนอล ดิสทอร์ชัน ที่เกิดขึ้นว่า ขึ้นอยู่กับอะไรบ้าง เราจะสามารถเลือกเตรียมสารที่มีสมบัติการนำไฟฟ้าเหมาะสมกับการใช้งานได้

**1. การศึกษาโครงสร้างผลึกของสารประกอบไบนารีโดยใช้ทฤษฎีพันธะเคมี**

ในทางเคมีการอธิบายสมบัติต่างๆ ของสารพิจารณาจากลักษณะการสร้างพันธะของอะตอมที่เป็นองค์ประกอบของสาร ซึ่งจะเป็นแบบใดขึ้นกับค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีซึ่งบอกถึงความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอนมาใช้ในการสร้างพันธะ

ของอะตอม พวกโลหะประกอบด้วยธาตุที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีต่ำ มีแนวโน้มที่จะให้อิเล็กตรอนแก่อะตอมอื่น ทำให้อิเล็กตรอนมีอิสระและนำไฟฟ้าได้ อิเล็กตรอนที่อยู่ในสภาพนี้เรียกว่าอยู่ในสภาพต้านการเกิดพันธะ (antibonding state) ส่วนสารประกอบไอออนิกประกอบด้วยธาตุที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีต่ำและธาตุที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงมาสร้างพันธะต่อกัน ทำให้มีการให้และรับอิเล็กตรอนเกิดเป็นพันธะไอออนิกขึ้น เรียกอิเล็กตรอนที่อยู่ในสภาพนี้ว่าอยู่ในสภาพเกิดพันธะ (bonding state) ที่ศูนย์กลางสัมบูรณ์สารเหล่านี้จะไม่นำไฟฟ้า แต่ถ้าอะตอมคู่พันธะมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีใกล้เคียงกันจะมีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันเกิดเป็นพันธะโควาเลนต์ขึ้น โดยทั่วไปมักพบพันธะเคมีที่มีสภาพเป็นทั้งพันธะไอออนิกและพันธะโควาเลนต์อยู่ในพันธะเดียวกันและมีการนิยามปริมาณที่บอกสัดส่วนความเป็นไอออนิกขึ้นมา

พอลิง (Pauling) (1) ได้นิยามค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีของธาตุโดยอาศัยค่าฮีทออฟฟอเมชัน



รูปที่ 1 แสดงการจำแนกโครงสร้างของสารโดยใช้ทฤษฎีของพอลิง โดยนูเชอร์และเปียร์สัน (2)

(heat of formation) มูเซอร์ (Mooser) และเปียร์สัน (Pearson) (2) ได้นำผลต่างของค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีและค่าเฉลี่ยของเลขควอนตัมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารประกอบไบนารีที่ทราบลักษณะโครงสร้างผลึกมาเขียนกราฟได้ผลดังรูปที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่า สารประกอบที่มีโครงสร้างผลึกแบบเตตระฮีดรอลและแบบออกตะฮีดรอลจะแยกออกจากกัน

**2. การจำแนกโครงสร้างผลึกของสารประกอบไบนารีโดยใช้ทฤษฎีพันธะเคมีและแถบพลังงาน**

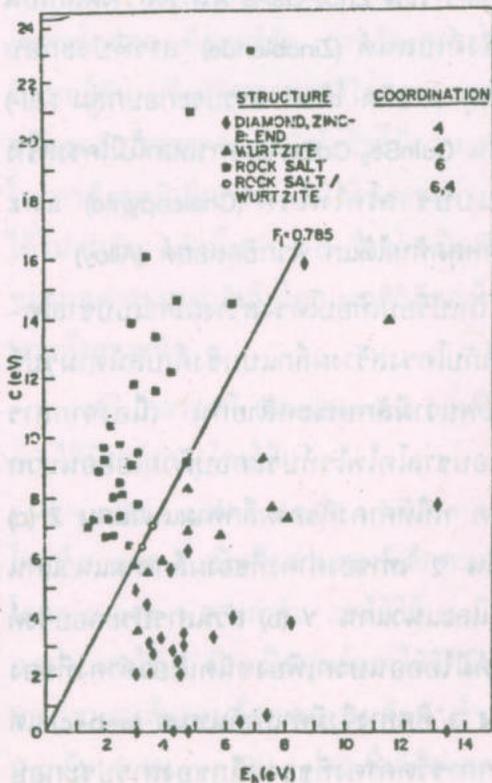
ในทางฟิสิกส์การจำแนกสารตามสมบัติการนำไฟฟ้าจำแนกได้โดยใช้ค่าความกว้างของแถบช่องว่างพลังงาน (energy gap,  $E_g$ ) สารที่เป็นตัวนำ เช่น โลหะมีอิเล็กตรอนอยู่ในแถบนำ ทำให้สามารถนำไฟฟ้าได้ ส่วนสารกึ่งตัวนำที่ศูนย์องศาสัมบูรณ์อิเล็กตรอนทุกตัวอยู่ในแถบวาเลนซ์ ทำ

ให้ไม่นำไฟฟ้าและเนื่องจากค่าความกว้างของแถบช่องว่างพลังงานมีค่าไม่มากนัก ดังนั้นเมื่อมีแสงหรือรังสีที่มีพลังงานพอเหมาะตกกระทบ อิเล็กตรอนเหล่านี้จะรับพลังงานและกระโดดเข้าไปอยู่ในแถบนำ ทำให้สามารถนำไฟฟ้าได้

เพนน์ (Penn) (3) ได้เสนอว่า ช่องว่างแถบพลังงานของสาร ( $E_g$ ) ประกอบด้วย 2 ส่วน แถบช่องว่างพลังงานที่เกิดจากการสร้างพันธะโควาเลนต์ ( $E_h$ ) และแถบช่องว่างพลังงานที่เกิดจากการสร้างพันธะไอออนิก (C) โดย

$$E_g = E_h + iC \dots\dots\dots (2.1)$$

แนวความคิดของเพนน์จึงเป็นการรวมแนวความคิดตามทฤษฎีพันธะเคมีและทฤษฎีแถบพลังงานเข้าด้วยกัน เราเรียกทฤษฎีใหม่นี้ว่า ทฤษฎีพันธะและแถบพลังงาน ฟิลลิปส์ (Phillips) (3) ได้วัดค่าความกว้างของแถบช่องว่างพลังงานทั้ง 3 ชนิดของสารที่มีโครงสร้างผลึกแบบต่าง ๆ และเขียนกราฟระหว่าง  $E_h$  และ C ของสารประกอบไบนารีที่ทราบโครงสร้าง ปรากฏว่าได้ดังรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่า สารที่มีโครงสร้างผลึกแบบเตตระฮีดรอลและสารที่มีโครงสร้างผลึกแบบออกตะฮีดรอลจะแยกกันอย่างชัดเจนมากขึ้น ฟิลลิปส์ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีของอะตอมของพอลิกับค่า C ปรากฏว่า ปริมาณทั้ง 2 นี้แปรโดยตรงต่อกันเช่นเดียวกับค่า  $1/E_h$  กับค่าเฉลี่ยของเลขควอนตัม ( $\bar{n}$ ) แสดงว่า ค่าความกว้างของแถบช่องว่างพลังงานเนื่องจากการสร้างพันธะแบบไอออนิก (C) ใช้นิยามค่าผลต่างของค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีของอะตอมได้ดีกว่าการนิยามโดย



รูปที่ 2 แสดงการแยกของสารที่มีโครงสร้างที่ล้อมรอบด้วยอะตอมที่อยู่ใกล้จำนวนไม่เท่ากัน (12)

ใช้ค่า ฮีทออฟฟอร์เมชันของพอลิง ผลจากการศึกษาการจำแนกโครงสร้างผลึกของสารประกอบไบนารีของฟิลลิปส์ทำให้เกิดแนวความคิดว่า ถ้าเราสามารถหาพารามิเตอร์ของอะตอมที่มีการวัดการคำนวณได้ถูกต้องมาก ๆ มาใช้ในการกำหนดค่าอิเล็กโตรเนกติวิตีของอะตอม เราจะได้ค่าอิเล็กโตรเนกติวิตีที่มีความถูกต้องมากขึ้น

**3. การจำแนกโครงสร้างผลึกโดยใช้รัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอนในอะตอม**

ไซมอนส์ (Simons) และบล็อก (Bloch) (4) ได้เสนอรูปแบบของพลังงานศักย์ที่วาเลนซ์อิเล็กตรอนในอะตอมที่มีอิเล็กตรอนหลายตัวมองเห็นว่ามีค่าเป็น

$$V(r) = \frac{-Z}{r} + \epsilon \sum_{l=0}^{\infty} \frac{r^l (l+1)!}{2r^2} \dots (3.1)$$

โดย Z เป็นประจุสุทธิในคอร์ (Core)

$P_l$  เป็นโปรเจกชันโอเปอเรเตอร์ (Projection Operator) ที่โปรเจกปริมาณต่าง ๆ ไปยังสถานะที่มีเลขควอนตัมเชิงมุม (angular momentum quantum number) = l

l เป็นตัวแปรที่ขึ้นกับ l

และได้คำนวณค่ารัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอนในอะตอมในแต่ละวงโคจร ( $r_l$  และจากนิยามของค่าอิเล็กโตรเนกติวิตีของอะตอมทำให้สามารถคำนวณค่าอิเล็กโตรเนกติวิตีที่ทำให้อะตอมดึงดูดเอาอิเล็กตรอนมาที่วงโคจรดังกล่าวมีค่าเป็น  $X_l$  โดยที่

$$X_l = \frac{1}{r_l} \dots (3.2)$$

ดังนั้นค่าอิเล็กโตรเนกติวิตีสหุทธิของอะตอมจึงเป็น

$$X = \epsilon \sum_{l=0}^{\infty} X_l = \epsilon \sum_{l=0}^{\infty} \frac{1}{r_l} \dots (3.3)$$

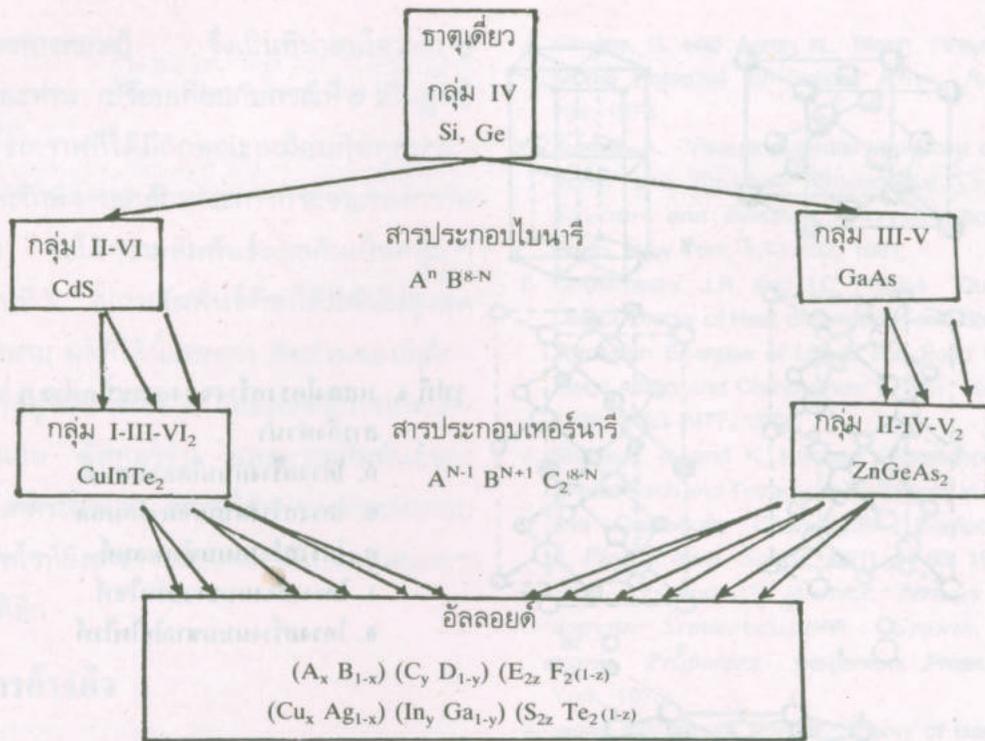
เช่นต์จอห์น (St. John) และบล็อก (4) ได้

ใช้ค่ารัศมีวงโคจรของอิเล็กตรอนนี้ในการจำแนกโครงสร้างผลึกของสารประกอบไบนารีซึ่งได้ผลดีขึ้นอีก ต่อมาภายหลังซุงเกอร์ (Zunger) (5) ได้คำนวณรัศมีวงโคจรนี้โดยใช้รูปแบบของพลังงานศักย์ใหม่และใช้ในการจำแนกโครงสร้างผลึกของสารประกอบไบนารีซึ่งได้ผลดียิ่งขึ้น

**4. การเกิดเตตระโทออล ดีสทอร์ชันในสารประกอบซาลโคไพไรท์**

สารประกอบกึ่งตัวนำเกิดจากอะตอมมีการสร้างพันธะแบบเตตระฮีดรอล มีจำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอนต่ออะตอมเป็น 4 แบ่งตามชนิดของอะตอมที่เป็นองค์ประกอบได้เป็น 4 ประเภทคือ สารที่ประกอบด้วยอะตอมชนิดเดียวกันทั้งหมด ซึ่งได้แก่ธาตุในหมู่ที่ 4 เช่น Si, Ge มีโครงสร้างผลึกแบบเพชร สารที่ประกอบด้วยอะตอมของธาตุ 2 ชนิด ได้แก่ สารประกอบกลุ่ม II-VI และกลุ่ม III-V เช่น ZnS, GaAs มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบซิงค์เบลนด์ (Zincblende) สารที่ประกอบด้วยธาตุ 3 ชนิด ได้แก่ สารประกอบกลุ่ม I-III-VI<sub>2</sub> เช่น CuInSe<sub>2</sub>, CdGeAs<sub>2</sub> สารเหล่านี้มีโครงสร้างผลึกแบบซาลโคไพไรท์ (Chalcopyrite) และประเภทสุดท้ายได้แก่ พวกอัลลอยด์ (Alloy)

ถ้าเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกแบบซาลโคไพไรท์กับโครงสร้างผลึกแบบซิงค์เบลนด์ตามรูปที่ 4 จะพบว่ามีลักษณะคล้ายกัน เนื่องจากสารประกอบซาลโคไพไรท์ประกอบด้วยไอออนบวก 2 ชนิด ทำให้ค่าคงที่ของผลึกตามแนวแกน Z (c) มีค่าเป็น 2 เท่าของค่าคงที่ของผลึกตามแนวแกน X (a) และแนวแกน Y (b) ส่วนสารประกอบซิงค์เบลนด์มีไอออนบวกเพียงชนิดเดียวค่าคงที่ของผลึกทั้ง 3 ทิศทางจึงมีค่าเท่ากันหมด (a=b=c) แต่ผลจากการวัดค่าคงที่ของผลึกของสารประกอบ



รูปที่ 3 แสดงประเภทของสารประกอบกึ่งตัวนำ

ซาลโคไฟไรท์พบว่า  $c = 2a$  เรียกว่า 2-c นี้ว่า เตตระโกนอล ดิสทอร์ชัน การเกิดเตตระโกนอล ดิสทอร์ชัน จึงเกิดจากการที่ไอออนบวกทั้ง 2 ชนิดของสารประกอบซาลโคไฟไรท์มีความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอนไปใช้ในการสร้างพันธะได้ไม่เท่ากัน ดังนั้นค่า 2-c จึงควรเป็นฟังก์ชันของผลต่างของค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีของไอออนบวกทั้งสองชนิด

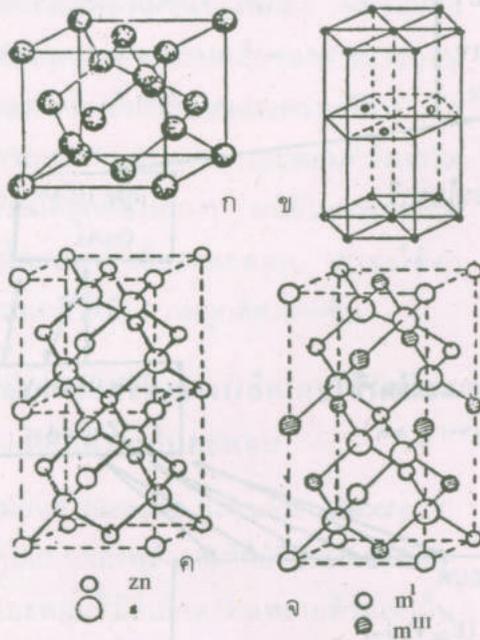
เชลี คอวอสกี (Chelikowsky) และฟิลลิปส์ (6) ได้นิยามค่า  $r_f$  โดยให้

$$r_f(A) = r_s(A) + r_p(A) + d \cdot r_d(A) + f \cdot r_f(A) + \quad (4.1)$$

โดยที่ d และ f เป็นสัดส่วนของอิเล็กตรอนในวงโคจร d และ f ตามลำดับ เขาได้ให้ d มีค่าเป็น 0.15 และให้ f มีค่าเป็นศูนย์และใช้รัศมีวงโคจรของไซมอนส์และบลิอทหาความสัมพันธ์ระหว่าง 2-c กับ  $\{r_f(A) - r_f(B)\} / r_f(C)$  ซึ่งก็คือผลต่างของ

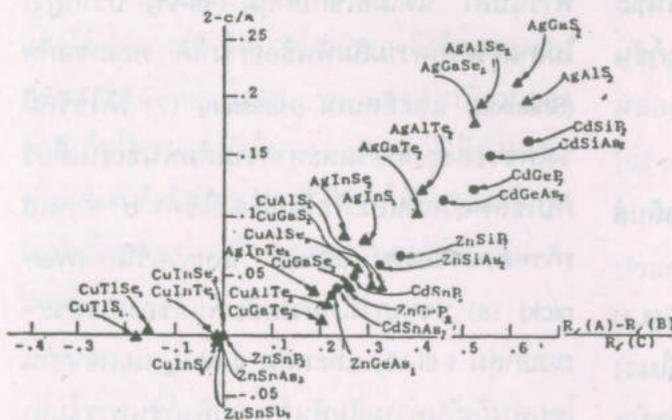
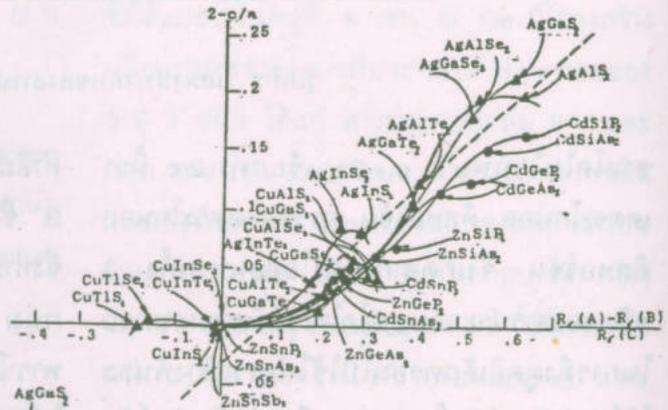
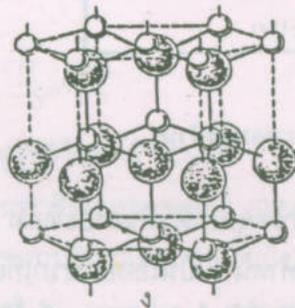
ค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีของอะตอม A และอะตอม B ซึ่งทำหน้าที่เป็นไอออนบวกเทียบกับอะตอม C ซึ่งทำหน้าที่เป็นไอออนลบ เมื่อใช้กับสารประกอบกลุ่ม II-IV-V<sub>2</sub> ได้ความสัมพันธ์ในรูปฟังก์ชันพาราโบลา แต่เมื่อใช้กับกลุ่ม I-III-VI<sub>2</sub> ปรากฏว่าไม่สามารถหาความสัมพันธ์ออกมาได้ ต่อมาชอกัท (Shaukat) และฮัสเสน (Hassian) (7) ได้ใช้รัศมีวงโคจรของซุงเกอร์และหาความสัมพันธ์เช่นเดียวกับเชลีคอสกีและฟิลลิปส์โดยใช้ค่า d จากผลการทดลองของเชย์ (Shay) และเวอร์นิก (Wernick) (8) ปรากฏว่าได้ความสัมพันธ์ของสารประกอบกลุ่ม I-III-VI<sub>2</sub> และกลุ่ม II-IV-V<sub>2</sub> แยกจากกันโดยต่างก็เป็นความสัมพันธ์ในรูปฟังก์ชันพาราโบลา

เมื่อไม่นานมานี้ซุงเกอร์ (9) และกลุ่มของ ศจ.ดร.วิรุฬห์ สายคณิต ดร.ขจรยศ อยู่ดี และ วูลลี (Woolley) (10) ได้คำนวณค่า d นี้ออกมาโดย



รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างของสารชนิดต่างๆ ที่พบในสารกึ่งตัวนำ

- ก. โครงสร้างแบบโคอะมอนต์
- ข. โครงสร้างแบบเฮกซาคอนดอล
- ค. โครงสร้างแบบซิงเบลนด์
- ง. โครงสร้างแบบเวอร์ทไฮท์
- จ. โครงสร้างแบบซาลโคไฟไรท์



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเคระโหนด ดิสทอร์ชัน  $(2-c/a)$  กับผลต่างของค่าอิเล็กโตรเนกติวิตี  $(R_1(A)-R_1(B))/R_1(C)$

- ▲▲▲▲ กลุ่ม I-III-VI<sub>2</sub>
- กลุ่ม II-IV-V<sub>2</sub>



# ผลกระทบของอุตสาหกรรม และเกษตรกรรมที่มีต่อคุณภาพของน้ำ ในลำน้ำพอง

\*ดร.สุนันทา เสงวีรัมย์ \*ชุตินา กุคู่สมุทร  
\*ทิพย์วัลย์ คำเหม็ง \*รัตนา มหาชัย  
\*ดร.ตรีตาภรณ์ ชูศรี \*วิรัช ว่องพัฒนากุล  
\*\*งามนิจ นนทโส \*\*\*จิระศักดิ์ จินดาโรจน์

## สรุปคุณภาพน้ำในลำน้ำพอง

จากการติดตามศึกษาคุณภาพน้ำในลำน้ำพอง เป็นระยะเวลา 1 ปี พอสรุปได้ว่าคุณภาพน้ำในลำน้ำจะขึ้นกับปริมาณน้ำที่ระบายจากเขื่อน และปริมาณการระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำชลประทานหนองหวาย น้ำฝนจะช่วยเจือได้บ้างในกรณีที่ฝนตกหนักๆ เท่านั้น จึงทำให้คุณภาพน้ำแต่ละจุดใน

แต่ละครั้งแตกต่างกันโดยไม่ขึ้นกับฤดูกาล บางครั้งพบว่าคุณภาพน้ำครั้งที่เก็บตอนต้นเดือนคุณภาพต่างจากน้ำที่เก็บตอนปลายเดือนมาก แต่อย่างไรก็ตาม พอจะสรุปคุณภาพแบบกว้างๆ ของน้ำในแต่ละจุดโดยอิงมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินและใช้ข้อมูล DO และ BOD ในการพิจารณาจะได้ผลสรุปดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 แสดงระดับคุณภาพน้ำและความถี่ในระดับสูงสุด-ต่ำสุด ณ จุดต่างๆ

| จุดที่ | ระดับคุณภาพ<br>เฉลี่ย | คุณภาพต่ำสุด |                  | คุณภาพสูงสุด |                  |
|--------|-----------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|
|        |                       | ระดับ        | ความถี่/26 ครั้ง | ระดับ        | ความถี่/26 ครั้ง |
| 1      | 2-3                   | 3            | 2                | 1            | 10               |
| 2      | 2-3                   | 3            | 2                | 1            | 9                |
| 4      | 1-3                   | 3            | 19               | 1            | 7                |
| 5      | 2-3                   | 5            | 1                | 1            | 7                |
| 6      | 1-3                   | 5            | 2                | 1            | 3                |
| 8,8/1  | 3-5                   | 5            | 11               | 2            | 1                |
| 9      | 2-3                   | 5            | 6                | 1            | 1                |
| 10     | 2-4                   | 5            | 11               | 2            | 6                |
| 11     | 1-2                   | 3            | 1                | 1            | 20               |
| 12     | 1-3                   | 5            | 1                | 1            | 16               |
| 13     | 2-5                   | 5            | 3                | 1            | 12               |
| 14     | 2-4                   | 5            | 3                | 1            | 12               |
| 15     | 2-4                   | 5            | 1*               | 1            | 6                |
| 17     | 2-4                   | 5            | 3**              | 2            | 1                |

\* ความถี่ต่อ 19 ครั้ง

\*\* ความถี่ต่อ 7 ครั้ง

## หมายเหตุ

- ระดับ 1 แหล่งน้ำสะอาดดีมาก ใช้ประโยชน์เพื่อ
- การอุปโภคและบริโภค โดยอาจไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการบำบัดน้ำนอกจากการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ
  - การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์วิทยาของแหล่งน้ำ โดยใช้สิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐานแพร่ขยายพันธุ์ตามธรรมชาติ
- ระดับ 2 แหล่งน้ำสะอาดดี ใช้ประโยชน์เพื่อ
- การอุปโภคและบริโภค โดยผ่านกระบวนการบำบัดโดยทั่วไปก่อนใช้
  - การอนุรักษ์สัตว์น้ำทั่วไปให้มีชีวิตอยู่รอดและเอื้ออำนวยต่อการประมง
  - การประมง
  - การพักผ่อนหย่อนใจ
- ระดับ 3 แหล่งน้ำสะอาดปานกลาง ใช้ประโยชน์เพื่อ
- การอุปโภคบริโภคโดยต้องผ่านกระบวนการบำบัดน้ำโดยทั่วไป
  - การเกษตรกรรม
- ระดับ 4 แหล่งน้ำสะอาดพอใช้ เพื่อใช้ประโยชน์สำหรับ
- การอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเป็นพิเศษ
  - การอุตสาหกรรม
  - กิจกรรมอื่น ๆ
- ระดับ 5 แหล่งน้ำที่ไม่อยู่ในระดับ 1-4 ใช้ประโยชน์
- การคมนาคม

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (วล.)

จากตารางที่ 10 จะเห็นว่าคุณภาพน้ำในจุดที่ 1, 2 และ 4 ก่อนข้างจะดีกว่าจุดที่ 5 และ 6 ส่วนคุณภาพของน้ำในจุดที่ 7, 8, 8/1 เป็นน้ำที่มีคุณภาพต่ำ ซึ่งเป็นผลให้จุดที่ 8/2, 9 ซึ่งเป็นจุดรองรับน้ำจากห้วยโจด มีปริมาณสารอินทรีย์สูง และมีค่า DO ต่ำ เมื่อผ่านไปยังจุดที่ 10 น้ำจะฟื้นตัวขึ้นโดยจะเห็นจากค่า BOD ซึ่งต่ำลงแต่ยังมี DO ต่ำอยู่และต่ำกว่าจุดที่ 9 ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียดึงเอาออกซิเจนไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์หมด

น้ำในจุดที่ 8/2, 9 และ 10 จะมีสีเหลืองค่อนข้างเข้มเนื่องจากปริมาณลิกนิน-แทนนินที่ทางโรงงานเยื่อกระดาษระบายลงสู่ห้วยโจด สารดังกล่าวเป็นสารที่ไม่อาจถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย จึงทำให้น้ำที่ระบายลงน้ำพองตอนล่าง ทั้งทางด้านหน้าฝายน้ำล้นหรือทางคลองส่งน้ำฝั่งขวา และซ้ายจะมีสีน้ำตาลค่อนข้างเข้ม และโดยทั่วไปคุณภาพของน้ำในคลองส่งน้ำจะมีคุณภาพต่ำกว่าน้ำส่วนผิวน้ำที่ระบายผ่านฝาย ทั้งนี้เพราะประตูลอยน้ำอยู่ในระดับที่ลึกลงไป แต่เมื่อน้ำถูกปล่อยลงในคลองส่งแล้วก็มีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจนมากขึ้น เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นผลให้ค่า BOD ต่ำลงและ DO สูงขึ้น แต่ก็ยังคงเป็นสีน้ำตาลเช่นเดิม จึงทำให้เกิดปัญหาในการผลิตน้ำประปาเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ปริมาณอ็อกซิเจนที่ละลายอยู่มีปริมาณสูงจึงทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงมากด้วย ซึ่งไม่เป็นผลดีในการเกษตรกรรม อีกทั้งยังเป็นต้นเหตุให้ต้นทุนการผลิตน้ำประปาสูงขึ้นอีกด้วย และเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคในระยะยาว

### การจำลองทางคณิตศาสตร์

#### มูลเหตุของปัญหา

มูลเหตุของมลภาวะลำน้ำพองที่เป็นอยู่คือการถ่ายทิ้งมลสารจากกิจกรรมต่างๆ ตามลำน้ำเกินขีดความสามารถการรองรับและการย่อยสลายของลำน้ำแหล่งถ่ายทิ้งมลสารในอัตราที่สูงที่สุดในที่นี้คือ โรงงานผลิตเยื่อกระดาษฟีนิกซ์ ถ่ายทิ้งน้ำเสียลงที่ระยะทางประมาณ กม. 22 (ตามลำน้ำ) จากเขื่อนอุบลรัตน์ หรือประมาณ 12 กม. เหนือฝายกั้นน้ำชลประทานหนองหวาย ซึ่งเป็นจุดที่ผิวน้ำเข้าคลองส่งน้ำชลประทานและเป็นแหล่งน้ำสำหรับการประปาหลายแห่ง รวมทั้งการ

ประปาเมืองขอนแก่น และมหาวิทยาลัยขอนแก่น ด้วย แหล่งอื่น ๆ เช่น การเกษตร โรงงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ และการถ่ายทิ้งของชุมชนตามลำน้ำ มีอัตราการถ่ายทิ้งรองลงมาจากแหล่งแรก

### แนวคิดเบื้องต้นเพื่อแก้ปัญหา

แนวคิดเบื้องต้นเพื่อแก้ปัญหามลภาวะที่เป็นอยู่คือ ทำอย่างไรจะยกระดับคุณภาพน้ำในลำน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ตามหน้าที่ที่ลำน้ำพึงมีต่อประชาชนส่วนรวม ทั้งนี้ โดยอิงมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน พ.ศ. 2529) ซึ่งแบ่งแหล่งน้ำผิวดินออกเป็น 5 ระดับ โดยกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำของแต่ละระดับไว้ตามความเหมาะสมของประโยชน์ใช้สอยของแหล่งน้ำนั้น สำหรับลำน้ำพองในสภาพการถ่ายทิ้งปัจจุบันนั้น ในช่วงวิกฤติของปี พ.ศ. 2529-30 ปรากฏว่าน้ำในลำน้ำพองมีคุณภาพอยู่ในระดับต่ำที่สุดคือระดับ 5 ซึ่งไม่เหมาะสมแก่การใช้ประโยชน์ใดๆ นอกจากเพื่อการคมนาคมเท่านั้น

### ทางเลือก

ทางเลือกที่เป็นไปได้สองทาง ในการจัดการยกระดับคุณภาพน้ำในลำน้ำ คือ การเพิ่มขีดความสามารถรองรับการถ่ายทิ้งของลำน้ำ และการลดอัตราการถ่ายทิ้ง ซึ่งสองทางเลือกนี้มีข้อจำกัดทั้งทางเศรษฐกิจและข้อจำกัดทางธรรมชาติอยู่ ดังนั้น จึงจำเป็นจะต้องแสวงหาแนวทางการจัดการ ซึ่งเป็นทางออกที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากทุกด้านประกอบกัน ในการนี้จึงได้พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อจำลองกลไกทางชลศาสตร์เคมี ชีวะ ที่ทำให้เกิดการแปรเปลี่ยนคุณภาพน้ำ สำหรับใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ทางเลือกการ

จัดการต่าง ๆ

### พารามิเตอร์ที่นำมาจำลองทางคณิตศาสตร์

พารามิเตอร์หลัก ซึ่งเป็นเครื่องชี้ระดับคุณภาพน้ำ ซึ่งนำมาจำลองได้แก่แอมโมเนียโตรเจน ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) ซีบีโอดี (CBOD) ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ไนเตรท ( $\text{NO}_3$ ) และสารแทนนินลิกนิน (Tannin-Lignin) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้น้ำมีสีน้ำรังเกียจ ทั้งนี้ โดยจำลองอัตราการเพิ่ม-ลดของค่าพารามิเตอร์ข้างต้นตามความยาวลำน้ำ ซึ่งเป็นกลไกทางธรรมชาติด้วยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ตามสรุปแหล่งเกิดและการสูญเสียของสารต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 11

### การกำหนดค่าและการปรับแก้

ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลอง เช่น อัตราการสลายของสารต่าง ๆ อัตราการถ่ายเทออกซิเจน อัตราการตกตะกอน ฯลฯ เพื่อใช้ในแบบจำลองนี้ได้มาจากการสำรวจทางกายภาพภาคสนาม แล้วนำมาปรับแก้ตามลักษณะการแปรผัน ซึ่งได้จากการติดตามตรวจวัดคุณภาพน้ำในรอบปี 2529-30 ภายใต้อิทธิพลของอุทกและสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ

### ผลจากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง

จากแนวทางการแก้ไขปัญหามลภาวะสองด้าน คือ การเพิ่มขีดความสามารถรองรับและย่อยสลายมลสารของลำน้ำกับการลดอัตราการถ่ายทิ้ง เพื่อนำแบบจำลองมาใช้วิเคราะห์ทางเลือกต่าง ๆ ระหว่างการเพิ่ม-ลดอัตราการไหลในลำน้ำ โดยการควบคุมการปล่อยน้ำจากเขื่อนอุบลรัตน์ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อขีดความสามารถรองรับและย่อยสลายมลสารของลำน้ำร่วมกับการลดอัตราการถ่ายทิ้งเป็น

ตารางที่ 11 แหล่งเกิดและการสูญเสียของสารซึ่งเป็นพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ

| พารามิเตอร์        | แหล่งเกิด   | การสูญเสีย   |
|--------------------|---|--|
| NH <sub>3</sub> -N | <ul style="list-style-type: none"> <li>● แหล่งถ่ายทิ้งจุด</li> <li>● แหล่งถ่ายทิ้งกระจาย</li> <li>● ผลการสลายของไนโตรเจนอินทรีย์</li> </ul>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>● สลายโดยกระบวนการแบคทีเรีย</li> </ul>  |
| CBOD               | <ul style="list-style-type: none"> <li>● แหล่งถ่ายทิ้งจุด</li> <li>● แหล่งถ่ายทิ้งกระจาย</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● สลายโดยกระบวนการทางแบคทีเรีย</li> <li>● ตกสู่ท้องน้ำ</li> </ul>                             |
| DO                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● แหล่งถ่ายทิ้งจุด</li> <li>● แหล่งถ่ายทิ้งกระจาย</li> <li>● การสังเคราะห์แสง</li> <li>● การถ่ายเทจากบรรยากาศ</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● ใช้ในการสลายของ NH<sub>3</sub>-N และ CBOD</li> <li>● การหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำ</li> </ul> |
| NO <sub>3</sub>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>● แหล่งถ่ายทิ้งจุด</li> <li>● แหล่งถ่ายทิ้งกระจาย</li> <li>● จากการ Oxidization ของ NH<sub>3</sub>-N</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>● สิ่งมีชีวิตในน้ำนำไปใช้</li> </ul>  |
| Tannin-Lignin      | <ul style="list-style-type: none"> <li>● แหล่งถ่ายทิ้งจุด (โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ)</li> <li>● แหล่งถ่ายทิ้งกระจาย</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>* ไม่สลาย *</li> </ul>  |

สัดส่วนกับอัตราการถ่ายทิ้งปัจจุบัน สามารถสรุปผลการแปรเปลี่ยนระดับคุณภาพน้ำในลำน้ำได้ตามตารางที่ 12 กล่าวคือในสภาพการถ่ายทิ้งปัจจุบัน (สัดส่วนการถ่ายทิ้งเป็น 1) จะต้องปล่อยน้ำจากเขื่อนอุบลรัตน์ในอัตราไม่ต่ำกว่าวันละ 2.5 ล้านลูกบาศก์เมตร เพื่อรักษาคุณภาพน้ำให้อยู่ในระดับ 3 ซึ่งหมายถึงเป็นแหล่งน้ำสะอาดปานกลางใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภคบริโภคโดยต้องผ่านกระบวนการบำบัดน้ำโดยทั่วไป ถ้าไม่สามารถปล่อยน้ำได้ในอัตรานี้จะต้องลดอัตราการถ่ายทิ้งลงไปตามส่วน เพื่อรักษาคุณภาพน้ำหรือมิฉะนั้น

จะทำให้น้ำในลำน้ำลดระดับคุณภาพน้ำลงตามส่วน (ระดับ 4 หรือ 5)

### สรุปแนวทางการจัดการ

จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ข้างต้น จะเห็นว่าการจัดการที่เหมาะสมเพื่อรักษาคุณภาพน้ำในลำน้ำควรดำเนินการร่วมกันสองด้านหลักคือ การควบคุมอัตราการปล่อยน้ำจากเขื่อนอุบลรัตน์ เพื่อให้ลำน้ำมีขีดความสามารถรองรับการถ่ายทิ้งในอัตราที่เหมาะสม และการทามาตรการ เพื่อลดอัตราการถ่ายทิ้งมลสาร

ตารางที่ 12 เงื่อนไขการถ่ายทิ้งมลสารและอัตราการปล่อยน้ำจากเขื่อนอุบลรัตน์เพื่อการรักษาระดับคุณภาพน้ำลำน้ำพอง

| อัตรา<br>ปล่อยน้ำ<br>(ล้าน ลบ.ม./วัน) | สัดส่วนการ<br>ถ่ายทิ้ง | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 |
|---------------------------------------|------------------------|------|------|------|------|
|                                       |                        | 2.5  |      |      |      |
| 2.0                                   |                        |      |      |      |      |
| 1.5                                   |                        |      |      |      |      |
| 1.0                                   |                        |      |      |      |      |
| 0.5                                   |                        |      |      |      |      |

สำหรับมาตรการแรกซึ่งได้แก่ การควบคุมอัตราการปล่อยน้ำจากเขื่อนอุบลรัตน์ เพื่อรักษาขีดความสามารถการรองรับการถ่ายทิ้งนั้น มีขีดจำกัดที่ปริมาณกักเก็บน้ำเหนือเขื่อนของแต่ละปีในสภาพอุทกปกติ เขื่อนอุบลรัตน์อาจสามารถรักษาอัตราการปล่อยน้ำเพื่อเลี้ยงลำน้ำได้ ในช่วงประมาณ 0.5-1.0 ล้าน ลบ.ม./วัน แต่ในปีที่ฝนแล้งอาจมีน้ำกักเก็บไม่เพียงพอที่จะปล่อยน้ำในเกณฑ์นี้ได้ตลอดฤดูแล้งเช่น ปัญหาที่ปรากฏในปี 2529-30

สำหรับมาตรการหลังนั้น ควรเน้นการดำเนินการ เพื่อลดอัตราการถ่ายทิ้งในส่วนแหล่งถ่ายทิ้งเป็นจุด ซึ่งได้แก่โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะโรงงานผลิตเยื่อกระดาษฟิสิกซ์ ซึ่งเป็นแหล่งถ่ายทิ้งใหญ่ที่สุดและอยู่ตอนบนของลำน้ำ และส่วนของแหล่งถ่ายทิ้งที่กระจายตามความยาวลำน้ำ คือ จากพื้นที่เกษตรกรรมและชุมชนสอง

ฝั่งลำน้ำ ซึ่งสรุปแนวทางได้ดังนี้คือ

ก. แหล่งถ่ายทิ้งเป็นจุด

- ปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อลดความเข้มข้นของมลสารในน้ำทิ้ง

- ลดอัตราการถ่ายทิ้งโดยนำน้ำหลังการบำบัดไปใช้ประโยชน์ทางอื่น เช่น ใช้ในการผลิตทางการเกษตร ซึ่งนอกจากจะลดปัญหามลภาวะแล้ว ยังจะได้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจอีกทางหนึ่งด้วย

ข. แหล่งถ่ายทิ้งกระจายตามลำน้ำ

- ส่งเสริม ปรับปรุงสภาพสุขอนามัยของชุมชนสองฝั่งลำน้ำ เพื่อให้มีการกำจัดสิ่งปฏิกูลที่เหมาะสม

- ให้การศึกษาแก่ประชาชนในการรักษาสุขลักษณะ ในการใช้ประโยชน์ลำน้ำ

โดยสรุป การจัดการเพื่อรักษาคุณภาพน้ำ

ในลำน้ำพองจำเป็นต้องพิจารณาดำเนินการทั้งด้าน การควบคุมอัตราการปล่อยน้ำจากเขื่อนอุบลรัตน์ ร่วมกับการลดอัตราการถ่ายทิ้ง โดยพิจารณาจาก สรุปผลการวิเคราะห์ข้างต้น

## สรุปและเสนอแนะ

### ข้อสรุป

สาเหตุปัญหาการเสื่อมคุณภาพของน้ำใน ลำน้ำพองนี้ มาจากสาเหตุสำคัญคือ การถ่ายทิ้ง มลสารทั้งในรูปของสารละลาย สารแขวนลอย และจุลชีพ ลงในลำน้ำเกินขีดความสามารถรองรับการถ่ายทิ้งของลำน้ำ ซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไขทาง อุทกศาสตร์-ชลศาสตร์ ที่เป็นอยู่ และแหล่ง ถ่ายทิ้งใหญ่ที่สุดคือ โรงงานเยื่อกระดาษก่อนความ เดือดร้อนเสียหาย ทั้งในด้านแหล่งน้ำอุปโภค บริโภค แหล่งประมง และแหล่งความงามตาม ธรรมชาติกับประชาชนในวงกว้างและเป็นความ สูญเสียที่ประมาณค่ามิได้

### ข้อเสนอแนะ

แนวทางการแก้ไข-ป้องกันมลภาวะ และการทะนุบำรุงสภาพแวดล้อมของลำน้ำพอง สรุป ประเด็นสำคัญได้ดังนี้

(1) เนื่องจากมลภาวะที่เป็นอยู่ในลำน้ำพอง อยู่ในระดับที่รุนแรง และมีความสลับซับซ้อน อย่างมาก การยับยั้งการขยายตัวของปัญหาใน ปัจจุบัน คือ การควบคุมมิให้มีการจัดตั้งโรงงาน อุตสาหกรรมในบริเวณลำน้ำพองตอนบน ระหว่าง เขื่อนอุบลรัตน์และฝายกั้นน้ำชลประทานหนอง หวาย เนื่องจากมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้อง รักษา และควบคุมคุณภาพของน้ำในส่วนนี้ เพราะ นอกจากจะถูกนำไปใช้ในการเกษตรกรรมและ ใช้เพื่อการอุปโภคแล้ว น้ำในส่วนนี้ยังใช้เป็นน้ำ

ดิบสำหรับผลิตน้ำประปาสำหรับชุมชนเทศบาล เมืองขอนแก่น มหาวิทยาลัยขอนแก่น สุขาภิบาล วั่งชัย และประปาของหมู่บ้านต่างๆ อีกด้วย ปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมใหญ่แหล่งเดียวใน บริเวณนี้ และโรงงานนี้ก็ได้ออกให้เกิดผลกระทบ อย่างรุนแรงต่อน้ำในทิวไรต์และในบางส่วนของ ลำน้ำในส่วนนี้ และในการแก้ปัญหาที่กำลังประสบ อยู่ เจ้าหน้าที่รัฐบาลผู้ควบคุมโรงงานจะต้องทำ การควบคุมโรงงานอย่างเคร่งครัด เพื่อผลประโยชน์ ส่วนรวม ทางโรงงานจะต้องเร่งรัดในการพัฒนา ระบบกำจัดน้ำเสียให้ดีขึ้นและจะต้องทำการบำบัด น้ำเสียตลอดเวลา ทั้งนี้เพราะต้นทุนในการบำบัด น้ำเสียย่อมต่ำกว่างบประมาณที่ใช้ในการแก้ไข และฟื้นฟูสภาวะแวดล้อมอย่างแน่นอน

(2) การแก้ไขมลภาวะความเน่าเสียของลำน้ำ การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย จุลชีพและ การเกิดสีน้ำรังเกียจ อันเนื่องมาจากการถ่ายทิ้ง ของโรงงานควรดำเนินการพร้อมกันสองด้านคือ การลดอัตราการถ่ายทิ้งทั้งในปริมาณและความ เข้มข้น และการรักษาระดับอัตราการไหลของน้ำ ให้อยู่ในเกณฑ์ที่จำเป็นอย่างสม่ำเสมอ เพื่อการ เจือจางการถ่ายเทออกซิเจนจากบรรยากาศ และ การย่อยสลายอินทรีย์สาร ทั้งนี้สามารถใช้แบบ จำลองคณิตศาสตร์ ช่วยในการวิเคราะห์หาเกณฑ์ การจัดการที่เหมาะสม

(3) ในการดำเนินการเพื่อลดอัตราการถ่าย ทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมควรพิจารณาความ เหมาะสมในด้านเศรษฐศาสตร์ และการใช้ทรัพยากร ที่เหมาะสมเป็นหลัก ควบคู่กันสองด้านคือ การ เพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำทั้ง กับการ ทาทางนำน้ำหลังการบำบัดไปใช้ทางการเกษตร หรือกิจกรรมต่อเนื่องอื่นๆ แทนการปล่อยทิ้ง ลงลำน้ำพอง

(4) ควรมีการวางแผนการใช้และการรักษามาตรฐานคุณภาพน้ำในลำน้ำให้ชัดเจน โดยมีองค์กรรับผิดชอบควบคุม และมีการประสานงานอย่างมีประสิทธิภาพระหว่างองค์กรที่เกี่ยวข้อง ทั้งภาครัฐบาลและเอกชน ทั้งในส่วนท้องถิ่น ส่วนภูมิภาค และระดับชาติ

(5) ในลำน้ำพองตอนล่าง ปัจจุบันมีโรงงานต่าง ๆ ตั้งอยู่เป็นจำนวนมาก และแต่ละโรงงานได้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำในลำน้ำไม่ดีเท่าที่ควร จึงควรมีการเร่งรัดจัดการให้โรงงานรับผิดชอบในเรื่องคุณภาพน้ำทั้งมากขึ้น โรงงานน้ำตาลควรหามาตรการในการป้องกันมิให้น้ำฝนชะล้างขานอ้อยแล้วไหลลงสู่ลำน้ำพอง

(6) การจัดตั้งโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มเติม อาจทำได้ในบริเวณลำน้ำพองตอนล่างได้เช่นชลประทานหนองหวายลงไป แต่ควรจะต้องเป็นโรงงานที่ใช้ใช้น้ำน้อย และจะต้องมีการควบคุมอย่างเคร่งครัด หากรัฐบาลยังคงสนใจในการจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรมในบริเวณนี้ จะต้องพิจารณาถึงการจัดระบบบำบัดน้ำเสียรวม เพื่อควบคุมคุณภาพของน้ำทั้งที่จะระบายลงสู่ลำน้ำพองอย่างมีประสิทธิภาพ

(7) ประชากรที่อาศัยอยู่ตามริมลำน้ำ ควรสำนึกถึงคุณค่าของแหล่งน้ำและให้การบำรุงรักษาโดยการไม่ถ่ายเทสิ่งปฏิกูลลงในลำน้ำ หลีกเลี่ยงการแช่ปอลงในลำน้ำโดยตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ที่อาศัยอยู่บริเวณคลองส่งน้ำของชลประทานหนองหวายจะต้องไม่นำผ้าลงไปซัก ลงอาบน้ำหรือปล่อยสัตว์เลี้ยงลงไปคลองส่งน้ำ เพราะน้ำในบางส่วนจะถูกนำไปใช้ผลิตน้ำประปา

(8) ความเสื่อมโทรมของสภาพนิเวศน์บึงปากลำห้วยโจดในปัจจุบัน เป็นผลจากการถ่ายทิ้งน้ำเสียและกากตะกอนจากโรงงานเยื่อกระดาษโดยตรง ควรให้มีการศึกษาวิจัย เพื่อดำเนินการฟื้นฟูสภาพของแหล่งน้ำนี้สำหรับเป็นแหล่งประมง แหล่งน้ำใช้ และแหล่งพักผ่อนหย่อนใจของประชาชนในท้องถิ่นดั้งเดิม

(9) นอกเหนือจากสภาพมลภาวะทางน้ำแล้ว มลภาวะอากาศอันเนื่องมาจากกลิ่นและไอระเหยจากโรงงาน โดยเฉพาะโรงงานเยื่อกระดาษพบว่าอยู่ในสภาพที่เลวร้ายเช่นกัน ซึ่งทางโรงงานควรดำเนินการปรับปรุงระบบขจัดแก๊สพิษ  $H_2S$  ออกจากอากาศที่ปล่อยสู่บรรยากาศให้มีประสิทธิภาพ

การแก้ไข-ป้องกันปัญหามลภาวะและการทะนุบำรุงสภาพแวดล้อมของลำน้ำพองในระยะยาวนี้มีความจำเป็นอย่างเร่งด่วน และเป็นกิจกรรมที่ต้องได้รับความร่วมมือ ร่วมใจ จากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ทั้งฝ่ายอำเภอ จังหวัด ส่วนราชการส่วนกลางที่เกี่ยวข้อง สถาบันการศึกษา และที่สำคัญคือ ต้องได้รับความร่วมมืออย่างจริงจังจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นแหล่งถ่ายทิ้งสำคัญ ทั้งนี้เพื่อการทะนุบำรุงแหล่งน้ำ อันเป็นทรัพยากรธรรมชาติซึ่งมวลมนุษยชาติจำเป็นต้องใช้ร่วมกันให้เกิดประโยชน์สูงสุดและยั่งยืนยาว

### บรรณานุกรม

ชูติมา คูคู่สมุทร และคณะ "ผลกระทบของโรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งเกษตรกรรมที่มีต่อคุณภาพน้ำในลำน้ำพอง (มิ.ย.2529-พ.ค. 2530) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2531

# เกร็ดความรู้

“สุขภาพ”

เกร็ดความรู้ เป็นคอลัมน์ที่นำเรื่องราวหรือปรากฏการณ์ต่างๆ ที่พบเห็นตามปกติ มาอธิบายด้วยเหตุผลทางวิทยาศาสตร์ สำหรับในฉบับนี้ขอนำ ความรู้ (บางอย่าง) เรื่อง “เลือด (ของมนุษย์)” มาเสนอให้ทราบดังนี้

**เลือด (ของมนุษย์)** เป็นของเหลวชนิดหนึ่งที่มีอยู่ในร่างกายของมนุษย์ โดยจะอยู่ในหลอดเลือด (หรือที่เรียกว่าเส้นเลือด) ซึ่งมีกระจายไปเกือบทุกแห่งทั่วร่างกาย (ส่วนของร่างกายที่ไม่มีเลือดมีเพียง 3 แห่ง คือ เส้นผม เล็บ และกระจกตา) สีของเลือดจะเป็นสีแดง โดยเฉพาะถ้าเป็นเลือดที่ไหลออกจากหัวใจเพื่อไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกายแล้วจะมีสีแดงมาก เพราะมีออกซิเจนอยู่มาก แต่ถ้าเลือดนั้นถูกส่งจากเนื้อเยื่อต่างๆ เพื่อกลับสู่หัวใจจะมีสีคล้ำไปบ้างเพราะมีปริมาณออกซิเจนต่ำลงจนเรียกชื่อว่า “เลือดดำ” แต่สีของเลือดดำก็ยังเป็นสีแดงอยู่นั่นเอง

ส่วนประกอบของเลือดจำแนกตามสถานะได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของแข็ง กับ ส่วนที่เป็นของเหลว (เรียกว่าน้ำเลือด) ส่วนที่

เป็นของแข็งประกอบด้วย เม็ดเลือดแดง (erythrocytes), เม็ดเลือดขาว(leukocytes), และเกล็ดเลือด (platelets) เม็ดเลือดแดงทำหน้าที่เกี่ยวกับการนำออกซิเจนไปให้เซลล์ของอวัยวะต่างๆ โดยอาศัยสารที่เรียกชื่อว่า ฮีโมโกลบิน (haemoglobin) เป็นตัวจับพาไป ส่วนเม็ดเลือดขาวจะทำหน้าที่ต่อสู้กับเชื้อโรค(คือจุลินทรีย์ต่างๆ) ที่เข้าสู่ร่างกายเพื่อกำจัดให้หมดไป สำหรับเกล็ดเลือดมีหน้าที่ช่วยในการทำให้เลือดแข็งตัวเมื่อเกิดบาดแผล(โดยร่วมกับสารบางอย่างในน้ำเลือด) ทำให้ปากแผลปิดไม่เสียเลือดมาก ส่วนที่เป็นของเหลวของเลือด(น้ำเลือด) ทำหน้าที่เป็นตัวละลายสารภูมิคุ้มกัน(antibody) ของร่างกาย และรับของเสียจากเซลล์เพื่อทำลายพิษหรือขับของเสียออกจากร่างกาย

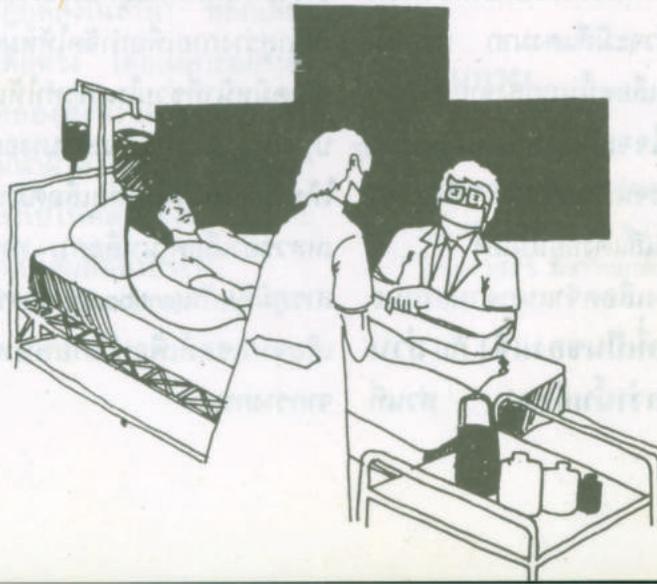
ไขกระดูกที่อยู่ในโพรงของกระดูกจะทำหน้าที่เป็นโรงงานสร้างเม็ดเลือด จะมีการสร้างเม็ดเลือดขึ้นทุกวัน และมีการทำลายทุกวันโดยมีม้าม ตับ ไต เป็นโรงงานทำลาย เม็ดเลือดแดงที่ถูกสร้างขึ้นจะมีอายุประมาณ 120 วัน เมื่อครบอายุก็จะถูกทำลายไป แล้วมีเม็ดเลือดแดงใหม่ถูกสร้างขึ้นมาทดแทน ปริมาณการสร้างและการทำลายจะเท่า ๆ กัน ส่วนเม็ดเลือดขาวจะออกมาสู่กระแสเลือดมากเมื่อเกิดการผิดปกติในร่างกาย เช่น การติดเชื้อ การอักเสบ เพื่อต่อสู้กับเชื้อโรคต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดอาการเหล่านั้น สำหรับน้ำเลือดได้มาจากน้ำและอาหารที่ดูดซึมจากลำไส้ นอกจากนี้ยังมีสารภูมิคุ้มกันที่ร่างกายสร้างขึ้นด้วย

เลือดในร่างกายของเรามีอยู่ประมาณ 9-10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักตัว (ถ้าน้ำหนักตัว 50 กก. จะมีเลือดประมาณ 4,500-5,000 cc.) เลือดจำนวนนี้จะหมุนเวียนทำหน้าที่ต่าง ๆ ให้ร่างกายดำรงชีวิตอยู่ได้เพียง 9 ใน 10 ส่วนเท่านั้น อีก 1 ใน 10 ส่วนเป็นส่วนเกิน ทำหน้าที่เป็นอะไหล่ ดังนั้นร่างกายสามารถสูญเสียเลือดส่วนเกิน(ประมาณ 450 cc.) นี้ไปได้โดยไม่มีผลกระทบต่อใด ๆ เลย ในทางกลับกันผู้ที่เจ็บป่วยด้วยอุบัติเหตุหรือโรคภัยไข้เจ็บต่างๆ ที่ต้องเสียเลือดมากๆ จนเกินปริมาณสำรองดังกล่าวแล้ว **ความต้องการ**

**ได้รับเลือด** เป็นความจำเป็นอย่างยิ่งในกระบวนการรักษาเพื่อช่วยชีวิตผู้เจ็บป่วยนั้น

ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า มนุษย์เราสามารถบริจาคเลือดในปริมาณหนึ่ง(ประมาณ 300-400 cc.) โดยร่างกายยังคงเป็นปกติอยู่ **โดยเลือดดังกล่าวนี้จะสามารถช่วยชีวิตผู้เจ็บป่วยที่เสียเลือดมากๆ ได้** ทั้งนี้ถ้าหากมิได้บริจาคเลือดดังกล่าวไป เลือดในร่างกายก็จะต้องหมดอายุ และถูกทำลายด้วยม้าม ตับ ไต แล้วขับออกมาเป็นของเสียของร่างกายโดยไม่ได้เกิดประโยชน์ต่อผู้อื่นเลย อย่างไรก็ตาม ผู้บริจาคเลือดจะต้องมีสุขภาพสมบูรณ์ มีน้ำหนักตัวตั้งแต่ 45 กิโลกรัมขึ้นไป มีความเข้มข้นของเลือดมากกว่า 80% และมีความดันเลือดบนไม่ต่ำกว่า 100 มม.ของปรอท

บทส่งท้ายของ **ความรู้ (บางอย่าง) เรื่อง "เลือด (ของมนุษย์)"** จึงอยากขอเรียนย้ำให้ท่านที่มีคุณสมบัติเหมาะสม ที่ยังไม่เคยบริจาคเลือดได้เข้าใจอย่างถ่องแท้ว่า ท่านสามารถทำบุญกุศลได้อย่างง่ายๆ ด้วยการบริจาคเลือด(ส่วนเกิน) เพื่อช่วยชีวิตเพื่อนมนุษย์ ซึ่งถือเป็นกุศลมหาศาล โดยไม่เป็นผลเสียใดๆ กับตัวท่านเลย ทั้งนี้ท่านสามารถติดต่อขอบริจาคได้ที่โรงพยาบาลของรัฐทุกแห่งทั่วประเทศ





# มติของคณะรัฐมนตรี

## ขอเชิญร่วมงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 15-18 สิงหาคม 2532

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอเชิญท่านผู้อ่านและท่านที่สนใจทุกท่าน ร่วมงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ ครั้งที่ 7 ระหว่างวันที่ 15-18 สิงหาคม 2532 ในงานจะประกอบด้วยกิจกรรมต่างๆ ได้แก่

- การประกวดโครงการวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย
- การแข่งขันทักษะการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
- การจัดกิจกรรมกลุ่มทางวิชาการวิทยาศาสตร์
- การจัดแสดงนิทรรศการทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี
- การแข่งขันตอบปัญหาทางวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

ฯลฯ

โรงเรียนที่สนใจจะเข้าร่วมกิจกรรมดังกล่าว ติดต่อขอทราบรายละเอียดได้ที่ สำนักงานคณบดี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002 โทรศัพท์ (043) 237603.

ใบสมัครเป็นสมาชิก  
“วารสารวิทยาศาสตร์ มข.”

- สมาชิกใหม่  
 ต่ออายุ

ชื่อ - นามสกุล.....

ที่อยู่.....

รหัสไปรษณีย์..... หมายเลขสมาชิก.....

ตั้งแต่ฉบับที่.....ปีที่.....ถึงฉบับที่.....ปีที่..... รวม.....ฉบับ

พร้อมนี้ ได้ส่งเงินจำนวน.....บาท มาทาง

อัตราค่าบำรุง

- ฌนาณัติสั่งจ่าย ป.ท. มข.  
 เช็คไปรษณีย์  
 เงินสด

- |                          |   |    |    |      |     |     |
|--------------------------|---|----|----|------|-----|-----|
| <input type="checkbox"/> | 1 | ปี | 4  | เล่ม | 40  | บาท |
| <input type="checkbox"/> | 2 | ปี | 8  | เล่ม | 80  | บาท |
| <input type="checkbox"/> | 3 | ปี | 12 | เล่ม | 115 | บาท |
| <input type="checkbox"/> | 4 | ปี | 16 | เล่ม | 150 | บาท |

ลายเซ็นผู้สมัคร.....

หมายเหตุ ส่งเงินทางฌนาณัติหรือเช็คไปรษณีย์ ในนามของ นางบุญคุ้ม เหลือถัน ห้องสมุดคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สั่งจ่าย ป.ท. มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

