สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(วท.)

วิทยาศาสตร์สำหรับเยาวชน

เทคโนโลยีชีวภาพใกล้ตัว (๒)

5/6-053.7:57.08
สถบ
ล.11, ฉ.1

วิทยาศาสตร์สำหรับเยาวชน

เทคโนโลยีชีวภาพใกล้ตัว (๒)

๑๑

วิทยาศาสตร์สำหรับเยาวชน

ISBN : 974-7360-89-6

สงวนลิขสิทธิ์

พิมพ์ครั้งที่ 1 มีนาคม 2544 จำนวน 5,000 เล่ม

จัดพิมพ์โดย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
แห่งประเทศไทย (วท.)
196 พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทร. 579-1121-30, 579-5515
โทรสาร 561-4771

จัดจำหน่ายโดย บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
46/87-90 ชั้นที่ 19 อาคารเนชั่นทาวเวอร์
ถนนบางนา-ตราด แขวงบางนา เขตบางนา
กรุงเทพฯ 10260
โทร. 325-1111, 751-5888
โทรสาร 751-5051-4

พิมพ์ที่ ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์สุรวัฒน์
83/35-39 ซอยข้างวัดตรีทศเทพ
ถนนประชาธิปไตย แขวงบ้านพานถม
เขตพระนคร กรุงเทพฯ 10200
โทร. 281-8907 โทรสาร 281-4700

ราคา 65 บาท

010233
5/6-053.7:5708
สวบ ค.1

คำนำ

ขีดความสามารถในการแข่งขันทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของไทยในปี 2542 ของ IMD เป็นลำดับที่ 46 จากทั้งหมด 47 ประเทศ และในปี 2543 เป็นลำดับที่ 47 จาก 47 ประเทศ !

สาเหตุหลัก 2 ประการในการด้อยพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของไทยนั้นมีรากหยั่งลึกโดยที่ผู้คนส่วนใหญ่ในสังคมไทยไม่ได้พูดถึงกันมากนัก และได้รับการละเลยมาโดยตลอดก็คือ Critical Mass ของบุคลากรทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของไทยมีน้อยกว่าน้อยนักประการหนึ่ง และอีกประการหนึ่ง วงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทยมีลักษณะ Inbreeding และ Incest อย่างมาก จึงขาดความหลากหลายในการที่จะพัฒนาเข้าสู่สากล

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ซึ่งจัดตั้งให้เป็นองค์กรเพื่อทำวิจัยและพัฒนาเป็นแห่งแรกของประเทศ ตั้งแต่ พ.ศ. 2506 มีเกียรติประวัติอันยาวนานในการรับใช้ประเทศของเราด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และมีหน้าที่รองอันหนึ่งที่จะเสริมสร้างความแข็งแกร่งด้านวิทยาศาสตร์พื้นฐานให้กับประเทศ เริ่มจากความจำเป็นที่จะต้องสร้างสังคมไทยให้เริ่มก้าวสู่ความเป็นสังคมวิทยาศาสตร์สากล กระจายองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ถูกต้องให้กับสังคมไทยโดยรวม

เยาวชนเป็นเหมือนเมล็ดพันธุ์ที่จะสามารถเติบโตยิ่งใหญ่ สร้างสรรค์สังคมและประเทศของเราในอนาคต การปลูกฝังองค์ความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้เยาวชนไทยของเรามีรากฐานที่มั่นคง และหันมาสนใจในวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีรอบๆ ตัวเอง จะเป็นเกราะภูมิคุ้มกันต่อความอ่อนหัด โง่เขลาและการถูกชักจูงให้มีความเชื่อตามความรู้สึกหรือตามตัวบุคคล ไม่เพ้อฝันในสิ่งที่เป็นไปไม่ได้ อันเป็นบุคลิกปกติที่เป็นอยู่ทั่วไปในประเทศด้อยพัฒนาทั้งหลาย และมักนำไปสู่ความขัดแย้งในกลุ่มคน-

ต่างๆ ในสังคมที่ถูกชักจูง หรือมีองค์ความรู้พื้นฐานเบื้องต้นทางวิทยาศาสตร์ที่ไม่ทัดเทียมกันอยู่เนืองๆ

ประเทศชาติของเราจะเจริญเติบโตอย่างมั่นคงและยั่งยืนได้ในอนาคตนั้น คุณภาพของคนในชาติจะเป็นสิ่งชี้เป็นชี้ตายเป็นอันดับแรก และนอกเหนือขึ้นไปจากนั้น ขีดความสามารถในด้านการแข่งขันด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นอีกสิ่งที่มีความสำคัญที่สุด ซึ่งหน้าที่ในการปูพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ถูกต้องนั้นเป็นหน้าที่ของพวกเราทุกคนที่ต้องร่วมมือร่วมใจในการสร้างรากฐานอันนี้ให้แก่สังคมไทยอันเป็นที่รักของพวกเรา

หนังสือชุด **“วิทยาศาสตร์สำหรับเยาวชน”** ของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่จะทยอยผลิตออกมาสู่สังคมจะเป็นส่วนย่อยส่วนหนึ่งในการต่อสู้อันยิ่งใหญ่ และอาจจุดประกายความหวังให้แก่สังคมไทยในอนาคต

ด้วยความปรารถนาดี

ดร.พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ
ผู้ว่าการ
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

สารบัญ

	หน้า
เทคโนโลยีชีวภาพกับการเกษตร	**1**
หินฟอสเฟต	3
การใช้เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อเพิ่มคุณภาพปุ๋ยหินฟอสเฟต	6
ไบโอฟอสก้า	9
เสริมคุณภาพเพิ่มผลผลิตด้วยปุ๋ยชีวภาพ	11
การตรึงไนโตรเจน	17
ปุ๋ยชีวภาพจากสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	19
การผลิตปุ๋ยชีวภาพจากสาหร่ายในประเทศไทย	23
สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวในดินเค็ม	26
แนวทางในการกำจัดศัตรูพืชในทศวรรษหน้า	29
แบคทีเรียควบคุมแมลงศัตรูพืช Bt : อาวุธร้ายสำหรับเกษตรกร	31
พืชจำลองพันธุ์ (transgenic plant)	35
เชื้อโรคของแมลงมีประโยชน์ในการกำจัดศัตรูพืช	39
เซลล์ของแมลงช่วยกำจัดศัตรูพืช	41
เทคโนโลยีชีวภาพกับการอาหาร	**43**
กรดมะนาว	45
กากน้ำตาล	47
ไฮเทสต์โมลาสจากอ้อย	49
น้ำส้มสายชู	51
แอล-ไลซีน	54
สารชีวภาพจากยีสต์	56

	หน้า
การสกัดสารชีวภาพจากยีสต์	58
แคโรทีน	60
ไคติน	62
กุ้งฝอย	65
เกลือกับจุลินทรีย์	67
อาหารหมักพื้นเมือง	70
อาหารหมักพื้นเมือง : กุ้งจ่อม	73
อาหารหมักพื้นเมือง : บูดู	77
อาหารหมักพื้นเมือง : หอยแมลงภู่ดอง	79
อาหารหมักพื้นเมือง : ข้าวหมาก	81
มิโซ	83
จุลินทรีย์ในน้ำตาลสด	85
อาหารธรรมชาติจากสาหร่าย	87
สายใบ	89
สาหร่ายเขากวาง	91
การผลิตสารสีธรรมชาติจากสาหร่ายเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร	93
วุ้น	96
เพชรในครัว	98
หมักใบมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์	100
ดัชนีเรื่อง	102
ดัชนีผู้แต่ง	104

เทคโนโลยีชีวภาพ กับการเกษตร

หินฟอสเฟต

ประเสริฐ อะมริต

หินฟอสเฟตเป็นสินแร่ตามธรรมชาติที่มีแคลเซียมฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ และมีธาตุอื่นๆ ปนอยู่ในปริมาณแตกต่างกัน เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม เหล็ก แมงกานีส หินฟอสเฟตส่วนใหญ่อยู่ในแร่อะพาไทต์ โดยจะเกิดอยู่ในลักษณะผลึกเล็กๆ หรือไม่เป็นผลึก เรียกว่า คอลโลเฟน (collophane)

สูตรทางเคมี	$Ca_{10}(PO_4CO_3)_6$ (F. Cl. OH)$_2$
คุณสมบัติทางกายภาพ	ความถ่วงจำเพาะ 3.15–3.20
ความแข็ง	5
สี	มีหลายสี เช่น เขียว น้ำเงิน น้ำตาล เหลือง ม่วง หรือขาว

ลักษณะการเกิดของแร่อะพาไทต์

มักพบใน 3 แบบ คือ

1. อิกเนียส อะพาไทต์ (igneous apatite) เกิดจากหินอัคนี

2. มารีน อะพาไทต์ (marine apatite) เกิดจากการสะสมของสารประกอบแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างหินปูนกับอนุมูลฟอสเฟตที่ปะปนมากับน้ำทะเล และมีการทับถมร่วมกับอินทรียวัตถุจากสิ่งมีชีวิต (พืชและสัตว์ที่สะสมอนุมูลฟอสเฟตจากทะเลไว้มาก) เป็นชั้นตะกอนหนาในก้นทะเล

3. กัวโน (guano) เกิดจากการสะสมของมูลและซากสัตว์ (นกหรือค้างคาว) ลักษณะนี้มักเกี่ยวข้องกับหินปูน โดยเกิดจากการละลายของฟอสเฟต ซึ่งเป็นส่วนประกอบของมูลและซากสัตว์ที่ทับถม ซึมแทรกเข้าไปในหินปูน จากการสำรวจของกรมทรัพยากรธรณี พบแหล่งหินฟอสเฟตเกือบทุกภาคของประเทศ และเป็นประเภทกัวโน เช่น จังหวัดลำพูน สุโขทัย เพชรบูรณ์ กาญจนบุรี ราชบุรี กระบี่ สุราษฎร์ธานี ภูเก็ต เลย พังงา และร้อยเอ็ด

ความสำคัญของหินฟอสเฟตในทางการเกษตร

เนื่องจากหินฟอสเฟตมีธาตุฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืชเป็นองค์ประกอบอยู่ จึงเหมาะสำหรับนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยเคมีฟอสเฟตในทางอุตสาหกรรม และนำมาใช้เป็นปุ๋ยโดยตรง แต่การนำฟอสเฟตมาใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงมีประสิทธิภาพในการใช้ต่ำ และมีขอบเขตเงื่อนไขการใช้ที่จำกัดมาก กล่าวคือ ในหินฟอสเฟตมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงประมาณ 8–18% แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายออกมาและพืชสามารถนำไปใช้ได้เพียง 1–2% เท่านั้น ซึ่งไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช หากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายของหินฟอสเฟตให้มากขึ้น จะเป็นการช่วยเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของพืช

การเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายของหินฟอสเฟต

กระทำได้หลายวิธี คือ

1. *ทางกายภาพ* โดยการบดให้เป็นผงละเอียด และการเผาที่อุณหภูมิสูง

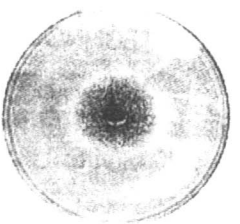
2. *ทางเคมี* โดยการละลายหินฟอสเฟตในกรด เช่น กรดซัลฟิวริก

3. *ทางชีวภาพ* โดยการใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการละลายหินฟอสเฟต

วิธีการเผาที่อุณหภูมิสูง และการละลายด้วยกรดถึงแม้จะเพิ่มประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตได้ แต่ต้นทุนในการดำเนินการค่อนข้างสูง ส่วนการบดหินฟอสเฟตให้เป็นผงนั้น เพิ่มการละลายของฟอสฟอรัสไม่มากนัก แต่ถ้านำหินฟอสเฟตมาใช้ร่วมกับวิธีชีวภาพ โดยการผสมคลุกเคล้ากับจุลินทรีย์ที่สามารถละลายหินฟอสเฟตก็จะให้ผลในการเพิ่มประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตดียิ่งขึ้น นอกจากนั้น วิธีนี้ยังไม่ยุ่งยากซับซ้อนและต้นทุนในการผลิตไม่สูง ซึ่งขณะนี้สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) ได้พบว่า *Aspergillus* No.1 เป็นจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการละลายหินฟอสเฟต

การใช้เทคโนโลยีชีวภาพ เพื่อเพิ่มคุณภาพปุ๋ยหินฟอสเฟต

ดร. พงศ์เทพ อันตะริกานนท์



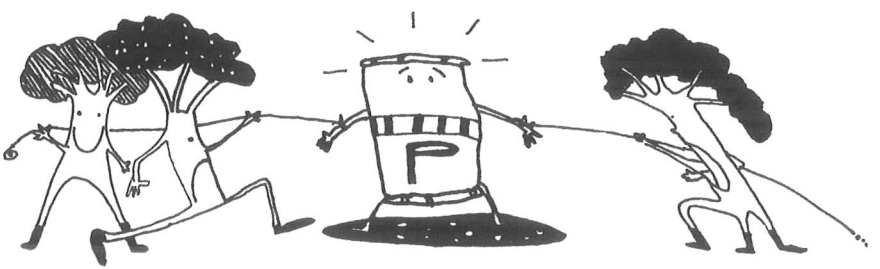
ลักษณะโซนใสที่เกิดจากย่อยสารประกอบฟอสเฟตโดย *Aspergillus* sp. No.1

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการมากธาตุหนึ่งสำหรับการเจริญเติบโตและการผลิดอกออกผลของพืช ถ้าพืชได้รับธาตุนี้ในปริมาณที่ไม่เพียงพอกับความต้องการ จะมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชผิดปกติ ต้นแคระแกร็น ไม่ให้ผลผลิต เพราะธาตุอาหารนี้เป็นองค์ประกอบสำคัญของสารประกอบ phytin phospholipids และ nucleoprotein ซึ่งมีอยู่ในพืชทุกชนิด สารประกอบเหล่านี้มีความสำคัญต่อพืชคือเป็นส่วนโครงสร้างของโปรตีนและเซลล์ของพืช นอกจากนั้นธาตุอาหารนี้ยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในเอนไซม์ต่างๆ หลายชนิดที่จำเป็นต่อกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) ของพืช โดยทั่วไปพืชจะดึงดูดฟอสฟอรัสจากดินในรูป monobasic orthophosphate ion ($H_2PO^-_4$) เป็นส่วนใหญ่ รองลงมาอยู่ในรูปของ dibasic orthophosphate ion ($HPO^=_4$) ระดับของฟอสฟอรัสในดินเกี่ยวข้องกับระดับของฟอสฟอรัสในพืชเป็นอย่างมากคือ ดินที่มีระดับฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ได้ (available phosphorus) ต่ำ จะทำให้พืชที่ปลูกในบริเวณนั้นมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำ ซึ่งอาจจะไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ดินที่ใช้ในการเกษตรทั่วๆ ไปมักมีอิออนฟอสเฟตในสารละลายดินไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นการใส่ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตให้แก่ดิน

จึงเป็นสิ่งจำเป็น ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตที่ใช้กันปัจจุบันต้องนำเข้า จึงทำให้ปุ๋ยเคมี-ดังกล่าวมีราคาแพงและมีปริมาณจำกัด ปัจจุบันประเทศไทยนำเข้าปุ๋ยเคมี-ที่มีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบปีละกว่า 2,000 ล้านบาท

ในประเทศเรามีแหล่งหินฟอสเฟตประเภทกัวโน (guano) อยู่หลาย-แหล่ง สะสมอยู่ตามบริเวณแอ่งหินปูนและตามถ้ำในทุกภาคของประเทศ เช่น จังหวัดลำพูน สุโขทัย เพชรบูรณ์ ราชบุรี เลย กระบี่ สุราษฎร์ธานี ภูเก็ต หินฟอสเฟตดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงได้ โดยนำมาบดให้เป็น-ผงละเอียดขนาด 100–200 เมช แต่เนื่องจากหินฟอสเฟตแม้ว่าจะมีปริมาณ-ฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงแต่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ได้น้อยเนื่องจาก ที่เหลือส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบ tribasic orthophosphate ซึ่งไม่-ละลายน้ำ จึงเป็นผลทำให้การเจริญเติบโตไม่ดีและให้ผลผลิตต่ำ

ข้อจำกัดนี้นักวิทยาศาสตร์ทราบกันดีและพยายามค้นคิดวิธีการที่จะ-ทำให้ปุ๋ยหินฟอสเฟตละลายเป็นประโยชน์ต่อพืชรวดเร็วขึ้น วท. ได้ให้ความ-สนใจปัญหานี้เป็นพิเศษ และนำเทคโนโลยีชีวภาพเข้ามาช่วยแก้ไข โดยนำ-เอาจุลินทรีย์ดินหลายชนิด (*Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp. และ Unidentified strain) มาทดสอบความสามารถใน-การละลายหินฟอสเฟต พบว่าจุลินทรีย์ *Aspergillus* sp. No. 1 สามารถย่อย-หินฟอสเฟตส่วนที่ไม่ละลายน้ำให้เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ดีที่สุด เมื่อ เปรียบเทียบกับจุลินทรีย์ดินชนิดอื่นๆ จากการทดลองพบว่าจุลินทรีย์นี้-สามารถละลายหินฟอสเฟตได้มากกว่าจุลินทรีย์อื่นๆ ถึง 10 เท่า นับว่าเป็น



สายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพสูง-เหมาะที่จะนำมาเพาะเลี้ยงเพิ่ม-ปริมาณและนำมาใช้เป็นปุ๋ย-ชีวภาพที่จะทำให้ปุ๋ยหินฟอสเฟตเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากและเร็วขึ้น

ผลงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้เพื่อการเกษตร โดยใช้จุลินทรีย์นี้ร่วมกับปุ๋ยหินฟอสเฟตใส่ให้พืชโดยตรง หรือจะนำไป-ประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรมด้วยวิธีใช้จุลินทรีย์นี้ย่อยหินฟอสเฟตเสียก่อน เพื่อเพิ่มปริมาณฟอสเฟตที่พืชนำไปใช้ได้

งานวิจัยและพัฒนาขั้นต่อไป วท. จะดำเนินงานร่วมกับภาคเอกชน-ผลิตปุ๋ยชีวภาพจากจุลินทรีย์นี้ ในระดับนำทางเพื่อหาวิธีการเพาะเลี้ยงที่มี-ประสิทธิภาพสูงและมีต้นทุนการผลิตต่ำ จากนั้นทำการทดสอบในภาคสนาม เพื่อหาผลตอบแทนในเชิงเศรษฐกิจ รวมทั้งแจกจ่ายให้แก่กสิกรได้ทดลองนำ-ไปใช้ในพืชไร่สวนผัก ผลไม้ เพื่อหาข้อมูลเพิ่มเติม ในขณะเดียวกันก็จะให้ผู้ประกอบอุตสาหกรรมผลิตปุ๋ยหินฟอสเฟตนำไปทดลองใช้ในการเพิ่มค่าของฟอสเฟตที่พืชนำไปใช้ได้ ทำให้การนำหินฟอสเฟตซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติมาใช้ให้ได้ประโยชน์สูงสุด

โดยสรุปผู้ที่จะได้รับประโยชน์จากผลงานวิจัยครบวงจรนี้ก็คือ เกษตรกร และจะส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของชาติ ทำให้การนำเข้าปุ๋ยเคมี-ฟอสเฟตจากต่างประเทศลดลง เป็นการลดการเสียดุลการค้าต่างประเทศได้-อีกทางหนึ่ง

ไบโอฟอสก้า

ดร. พงศ์เทพ อันตะริกานนท์

ไบโอฟอสก้า เป็นผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชนิดใหม่ที่ให้ธาตุฟอสฟอรัสในกระบวนการผลิตพืชเพื่อเร่งการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตพืชเศรษฐกิจทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพ

ปุ๋ยไบโอฟอสก้า เป็นผลงานวิจัยที่นำกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพมาเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟต ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในทุกภาคของประเทศ แต่มีข้อจำกัดในการนำหินฟอสเฟตมาใช้เป็นปุ๋ยโดยตรง แม้ว่าในหินฟอสเฟตมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูง แต่ฟอสฟอรัสจะละลายออกมาในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชช้าไม่ทันกับความต้องการของพืช ทำให้การเจริญเติบโตของพืชไม่ดี ให้ผลผลิตต่ำ จากการศึกษาวิจัยพบว่าจุลินทรีย์ที่คัดเลือกจากดินหลายสายพันธุ์ เช่น *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Bacillus* sp. และ *Pseudomonas* sp.

มีประสิทธิภาพสูงในการละลายหินฟอสเฟต และเมื่อนำจุลินทรีย์เหล่านี้มาเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณแล้วผสมคลุกเคล้ากับหินฟอสเฟตที่บดให้ละเอียดเป็นผง หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ ซึ่งมีชื่อว่า "ปุ๋ยไบโอฟอสก้า" ไปทดลองใช้กับพืชไร่ สวนผัก และไม้ผลหลายชนิด ปรากฏว่าการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชเพิ่มขึ้น

ปุ๋ยไบโอฟอสก้าที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) ผลิตขึ้น เป็นตัวอย่างอันดีในการนำเอาทรัพยากรธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และช่วยลดการนำเข้าปุ๋ยเคมีฟอสเฟต ยังผลให้ลดการขาดดุลการค้าได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนั้นยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตพืชผลของเกษตรกรและรักษาสมดุลทางธรรมชาติของดินไว้อีกด้วย

เสริมคุณภาพเพิ่มผลผลิต ด้วยปุ๋ยชีวภาพ

ดร. พงศ์เทพ อันตะริกานนท์ และ ประเสริฐ อะมริต

ปุ๋ยชีวภาพ เป็นก้าวใหม่ของการนำเทคโนโลยีชีวภาพมาประยุกต์ใช้ในวงการเกษตรไทย โดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) ประสบความสำเร็จในการวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตปุ๋ยชีวภาพนี้เพื่อนำมาใช้ในการเพิ่มผลผลิตพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจหลายชนิด อาทิ ข้าว ข้าวโพด ถั่วเหลือง พืชผัก ไม้ผล และไม้ดอก เป็นต้น นอกจากนั้นการใช้ปุ๋ยชีวภาพยังช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินในระยะยาวอีกด้วย ท่านคงสงสัยว่าปุ๋ยชีวภาพคืออะไร ขอให้คำจำกัดความว่า ปุ๋ยชีวภาพ คือปุ๋ยที่ได้จากการคัดเลือกเอาจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อดินและพืชมาเพาะเลี้ยงจำนวนมากๆ แล้วเติมลงไปในดินที่จะเพาะปลูกพืช จุลินทรีย์เหล่านี้จะเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็ว และผลิตธาตุอาหารให้กับพืชเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตได้เป็นอย่างดี

คุณสมบัติที่สำคัญของจุลินทรีย์ที่นำมาผลิตปุ๋ยชีวภาพ

1. สามารถผลิตธาตุอาหารและสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช-ได้ดี
2. เจริญเติบโตได้รวดเร็วและสามารถเพาะเลี้ยงได้ในปริมาณมาก
3. ปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดี ขึ้นได้ดีในทุกแหล่งที่ปลูกพืช
4. มีความคงทนต่อสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร เช่น ยาปราบวัชพืช ยาปราบศัตรูพืช เป็นต้น

ในขณะนี้ วท. ทำการผลิตปุ๋ยชีวภาพ 3 ชนิด เพื่อให้เหมาะสมในการใช้กับชนิดของพืชและสภาพการปลูกพืชแต่ละชนิดดังนี้

ปุ๋ยอัลจินัว

เป็นปุ๋ยที่ได้จากจุลินทรีย์จำพวกสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนไนโตรเจนในอากาศเป็นแอมโมเนียซึ่งสามารถนำมาใช้ในการเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนให้แก่ดินและเพิ่มผลผลิตข้าว สาหร่ายนี้เจริญได้ดีในดินชื้นแฉะหรือดินนา น้ำขัง เมื่อนำมาผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในดินที่ปลูกข้าว โดยทางปฏิบัติสามารถพิสูจน์ได้อย่างแน่ชัดในหลายจังหวัดของประเทศไทยว่าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่นำมาผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้จำนวนมาก คิดเทียบกับปุ๋ยยูเรียได้ 8–10 กิโลกรัมต่อไร่ ในแต่ละฤดูการปลูกข้าว นอกจากนั้นยังสามารถขับสารจำพวกฮอร์โมนที่ช่วยการเจริญเติบโต ทำให้พืชแข็งแรง ให้ผลผลิตสูง และปุ๋ยชีวภาพนี้ยังช่วยรักษา

สิ่งแวดล้อม โดยเมื่อสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวตายลงจะให้อินทรียวัตถุแก่ดิน-ทำให้โครงสร้างดินดีขึ้น การเพาะปลูกพืชหลังการทำนาจะได้ผลดี ในกรณี-ที่มีการส่งเสริมการเลี้ยงปลาในนาข้าวก็จะได้ผลดีด้วย เพราะสาหร่ายเป็น-อาหารของปลาและในสาหร่ายมีโปรตีน 65% ทำให้ปลาเจริญเติบโตได้อย่าง-รวดเร็วและสาหร่ายนี้แพร่พันธุ์ได้เร็ว จึงทันกับการเป็นอาหารของปลา สิ่งขับถ่ายของปลาจะเป็นปุ๋ยในนาข้าวและกระตุ้นการเจริญเติบโตของ-สาหร่ายได้อีกทางหนึ่ง

วิธีใช้ปุ๋ยอัลจินัว

ปุ๋ยชีวภาพ "อัลจินัว" สามารถนำไปใช้โดยตรงในนาข้าวหรือจะนำ-ไปเป็นหัวเชื้อสำหรับการเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ยก่อนนำมาใช้ในนา สำหรับการใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงนั้นจะใช้ได้ทั้งนาดำและนาหว่าน

นาดำ การใช้ปุ๋ยชีวภาพ "อัลจินัว" จะใช้ในระยะหลังการปักดำใน-ช่วง 1 วันจนถึง 21 วัน และจะใส่เมื่อใดก็ได้แล้วแต่สะดวก โดยใส่ปุ๋ย อัลจินัว เพียงครั้งเดียวในอัตรา 20–50 กิโลกรัม ต่อไร่

นาหว่าน จะหว่านไปพร้อมกับเมล็ดข้าว โดยผสมปุ๋ยอัลจินัว 20 กิโลกรัม คลุกกับเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ใช้สำหรับเนื้อที่นาหนึ่งไร่ หรือจะหว่านปุ๋ย-อัลจินัวให้ทั่วแปลงหลังจากหว่านข้าวแล้ว 7–21 วัน โดยใช้ปุ๋ยอัลจินัว 20–50 กิโลกรัมต่อไร่

ข้อแนะนำการใช้ปุ๋ยอัลจินัว ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี

1. การใช้ปุ๋ยอัลจินัวร่วมกับปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยพืชสดจะทำ-ให้ได้ผลดียิ่งขึ้นโดยใช้ปริมาณปุ๋ยอัลจินัวเท่าเดิมและเวลาที่ใช้เหมือนเดิม การใช้ปุ๋ยอินทรีย์จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเกษตรกรจะหามาได้ ถ้าใช้อย่าง-สม่ำเสมอแล้วใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ไร่ละ 100–200 กิโลกรัม ก็จะเห็นผล

2. การใช้ปุ๋ยอัลจินัวร่วมกับปุ๋ยเคมีก็ได้ผลเช่นเดียวกัน โดยใช้ปุ๋ย-อัลจินัวในปริมาณและเวลาตามกำหนดเดิม ส่วนการใช้ปุ๋ยเคมีจะลดปุ๋ยเคมี-ไนโตรเจนที่ใช้สำหรับเป็นปุ๋ยแต่งหน้าลงครึ่งหนึ่ง

การผลิตปุ๋ยชีวภาพจากหัวเชื้อปุ๋ยอัลจินัว

เกษตรกรสามารถผลิตปุ๋ยชีวภาพขึ้นใช้เอง โดยการนำเอาปุ๋ยอัลจินัว-เป็นหัวเชื้อเพื่อเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณต่อไป ทำได้โดยวิธีการง่ายๆ ดังนี้คือ

ขั้นตอนการดำเนินงาน (สำหรับการผลิตปุ๋ยชีวภาพจำนวน 100 กิโลกรัม)

1. เตรียมแปลงทดลองขนาด 1x2 ลึก 20-30 เซนติเมตร

2. เตรียมวัสดุรองรับอย่างง่ายๆ คือ ปุ๋ยหมัก 70 กิโลกรัม ผสม-คลุกเคล้าให้เข้ากับดินนา จำนวน 30 กิโลกรัม แล้วนำไปเกลี่ยให้ทั่วแปลง-ขนาด 1x2 เมตร ที่เตรียมไว้

3. โรยหัวเชื้อ "อัลจินัว" ลงไปให้ทั่วแปลงที่เตรียมไว้ ในอัตรา 1 ต่อ 10 คือหัวเชื้อ 1 กิโลกรัม ต่อปุ๋ยชีวภาพที่จะผลิต 10 กิโลกรัม สำหรับ-การผลิตปุ๋ยชีวภาพ 100 กิโลกรัม ที่ยกตัวอย่างนี้จะต้องใช้หัวเชื้อ "อัลจินัว" 10 กิโลกรัม

4. เติมน้ำลงไปช้าๆ จนท่วมวัสดุรองรับ ให้น้ำสูงกว่าผิววัสดุรองรับ-หนึ่งฝ่ามือ หรือ 5-10 เซนติเมตร ปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 3-4 สัปดาห์ คอย เติมอย่าให้น้ำแห้ง

5. หลังจากที่สาหร่ายขึ้นเขียวหนาแน่นดีแล้ว งดเติมน้ำและปล่อย-ให้แห้งจนสนิทดี กวาดรวมเป็นกองแล้วนำไปบรรจุไว้ใช้ต่อไป

วิธีการใช้ปุ๋ยชีวภาพที่เกษตรกรผลิตขึ้นใช้เองเหมือนกับการใช้ปุ๋ย-ชีวภาพอัลจินัว แต่เพิ่มปริมาณการใช้เป็น 2 เท่า

ปุ๋ยไนโตรเรีย

เป็นปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจนเช่นเดียวกับปุ๋ยอัลจินัว แต่ปุ๋ยนี้จะใช้ได้-ผลดีกับพืชไร่ (ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ถั่วเขียว ถั่วเหลือง และพืชอื่นๆ) พืชผัก-และผลไม้ ปุ๋ยไนโตรเรียได้จากการคัดเลือกจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรีย อะโซโตแบคเตอร์ (*Azotobacter*) สายพันธุ์จุลินทรีย์นี้มีประสิทธิภาพสูงใน-การตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้และสามารถปลดปล่อยสารประกอบ-

ไนโตรเจนและสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืชโดยตรงและทำให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น

วิธีใช้ปุ๋ยไนโตรเรีย

พืชไร่ – เช่น ข้าวโพด อ้อย ฯลฯ ใช้หลังจากที่ให้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 20–30 กิโลกรัมต่อไร่

ไม้ผล – ใช้หลังการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ให้รอบพุ่มใบในอัตรา ½–1 กิโลกรัมต่อต้น

พืชผัก – ใช้หลังการให้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 20–30 กิโลกรัมต่อไร่

สวนปาล์ม – ใส่รอบพุ่มใบหลังการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1–1½ กิโลกรัมต่อต้น

สวนยาง – ใส่รอบพุ่มใบหลังการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อต้น

สวนกาแฟ – ใส่รอบพุ่มใบหลังการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อต้น

ปุ๋ยไนโตรเรียนี้เกษตรกรไม่สามารถที่จะนำหัวเชื้อไปเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณปุ๋ยได้เหมือนกับปุ๋ยอัลจินัว

ปุ๋ยไบโอฟอสก้า

เป็นผลงานวิจัยที่นำกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพมาเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟต ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในทุกภาคของประเทศ แต่มีข้อจำกัดในการนำหินฟอสเฟตมาใช้เป็น-

ปุ๋ยโดยตรง แม้ว่าในหินฟอสเฟตจะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูง แต่ฟอสฟอรัสจะละลายออกมาในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชซึ่งไม่ทันกับความต้องการของพืช ทำให้การเจริญเติบโตของพืชไม่ดี ให้ผลผลิตต่ำ จากการศึกษาวิจัยพบว่าจุลินทรีย์ที่คัดเลือกจากดินหลายสายพันธุ์ เช่น *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Bacillus* sp., และ *Pseudomonas* sp. มีประสิทธิภาพสูงในการละลายหินฟอสเฟตและเมื่อนำจุลินทรีย์เหล่านี้มาเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณแล้วผสมคลุกเคล้ากับหินฟอสเฟตที่บดให้ละเอียดเป็นผง หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ซึ่งมีชื่อว่า "ปุ๋ยไบโอฟอสก้า" ไปทดลองใช้กับพืชไร่ พืชผัก และไม้ผลหลายชนิด ปรากฏว่าการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชเพิ่มขึ้น

วิธีใช้ปุ๋ยไบโอฟอสก้า

พืชผัก – ใช้อัตรา 10–20 กิโลกรัมต่อไร่

ไม้ผล – ใช้หลังการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ให้รอบพุ่มใบในอัตรา ½–1 กิโลกรัมต่อต้น

สวนปาล์ม – ใส่รอบพุ่มใบหลังการให้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อต้น

สวนยาง – ใส่รอบพุ่มใบหลังการให้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อต้น

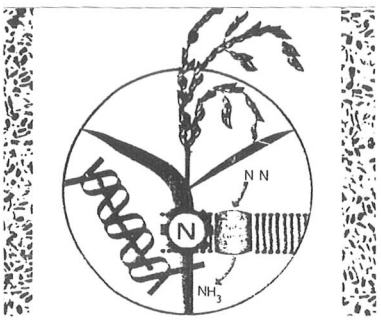
สวนกาแฟ – ใส่รอบพุ่มใบหลังการให้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อต้น

ปุ๋ยไบโอฟอสก้า เกษตรกรไม่สามารถที่จะนำหัวเชื้อไปเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณปุ๋ยได้เหมือนกับปุ๋ยอัลจินัว

วท. ได้พัฒนากระบวนการผลิตปุ๋ยชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ในเชิงอุตสาหกรรมเพื่อแก้ปัญหาในด้านการเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนการผลิต รวมทั้งเพื่อเป็นการตอบสนองต่อความต้องการใช้ของเกษตรกรในประเทศอีกด้วย

การตรึงไนโตรเจน

ดร. อาภารัตน์ มหาขันธ์



ในบรรดาธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อพืช 3 ชนิด คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม นั้น ไนโตรเจนจัดเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืช และพืชต้องการธาตุนี้ในปริมาณมาก เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโปรตีนในพืช โดยพืชจะดูดไปใช้ในรูปของไอออน เช่น ไนเตรต (No_3^-) หรือ แอมโมเนียม (NH_4^+) อย่างไรก็ตาม ไนโตรเจนที่มีอยู่ในดินส่วนใหญ่จะเป็นอินทรีย์ไนโตรเจนซึ่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

เราจะพบว่าแหล่งที่มาของไนโตรเจนสำหรับพืชแหล่งใหญ่ที่สุดนั้นมาจากการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ

การตรึงไนโตรเจนจากอากาศเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถแยกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

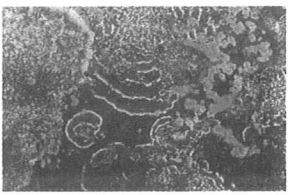
1. การตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ (non–symbiotic nitrogen fixation)

เป็นการตรึงแก๊สไนโตรเจน (N_2) จากอากาศแล้วเปลี่ยนเป็นสารประกอบไนโตรเจน โดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่อย่างอิสระในดิน หรือในน้ำ ซึ่งจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถดำรงชีวิต และดำเนินกิจกรรมได้โดยไม่ต้องอาศัยหรือพึ่งพาสิ่งมีชีวิตอื่นๆ จุลินทรีย์เหล่านี้ได้แก่

- เฮทเทอโรโทรฟิก แบคทีเรีย (heterotrophic bacteria)
- เคโมออโตโทรฟิก แบคทีเรีย (chemoautotrophic bacteria)
- โฟโตซินเตติก แบคทีเรีย (photosynthetic bactera)

- สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (blue–green algae, cyanobacteria)

2. การตรึงไนโตรเจนแบบภาวะอยู่ร่วมกัน (symbiotic nitrogen fixation)



ไลเคนบนลานหิน

เป็นการที่สิ่งมีชีวิตสองชนิดดำรงชีวิตอยู่ร่วมกันโดยการเกื้อกูลประโยชน์ซึ่งกันและกันโดยที่ฝ่ายหนึ่งจะเป็นแหล่งให้พลังงาน คาร์บอน และที่อยู่อาศัยในขณะที่อีกฝ่ายหนึ่งจะเป็นแหล่งผลิตไนโตรเจนโดยการตรึงจากอากาศและปลดปล่อยสารประกอบไนโตรเจนให้อีกฝ่ายหนึ่ง

การตรึงไนโตรเจนในลักษณะนี้มีหลายระบบ ได้แก่

- สาหร่าย กับ มอสส์
- สาหร่าย กับ พืชพวกปรง
- สาหร่าย กับ พืชมีดอก
- สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว กับ ไลเคนส์
- สาหร่าย กับ แหนแดง
- แอคติโนมายซีท กับ พืชที่ไม่ใช่ตระกูลถั่ว
- ไรโซเบียม กับ พืชตระกูลถั่ว

จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ เนื่องจากมีการสร้างเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการตรึงไนโตรเจน คือ เอนไซม์ ไนโตรจีเนส (nitrogenase) ซึ่งมีองค์ประกอบของโปรตีนที่สำคัญ 2 ส่วน คือ โปรตีนที่มีธาตุโมลิบดีนัม และธาตุเหล็ก (azofermo) กับโปรตีนที่มีแต่ธาตุเหล็กอย่างเดียว (azofer) รวมกันอยู่ในอัตรา 1:2 แก๊สไนโตรเจน ซึ่งจะจับตัวกับเอนไซม์เกิดปฏิกิริยาได้แอมโมเนียมในที่สุด แอมโมเนียมที่เกิดขึ้นนี้พืชจะดูดไปใช้ทำปฏิกิริยาเพื่อให้ได้กรดกลูตามิก (glutamic acid) ซึ่งจะถ่ายทอดกลุ่มอะมิโน (amino group) ให้กับกรดอินทรีย์ชนิดอื่นๆ โดยกระบวนการ "Tranamination" ได้กรดอะมิโนหลายชนิด ซึ่งจะใช้สังเคราะห์เป็นโปรตีนพืชต่อไป

ปุ๋ยชีวภาพ จากสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว

ดร. อาภารัตน์ มหาขันธ์

นักวิทยาศาสตร์ได้สังเกตพบว่าในประเทศแถบเอเชียอาคเนย์ ซึ่งมีการทำนาติดต่อกันมาเป็นเวลาหลายศตวรรษโดยไม่มีการใส่ปุ๋ย ยังคงได้ผลผลิตที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ หรือแม้แต่ในประเทศไทยเอง ก็ได้พบว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งพื้นที่นาส่วนใหญ่เป็นดินทรายที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยบำรุง ก็ยังคงให้ผลผลิตสม่ำเสมอเช่นกัน แม้จะมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวและฟางออกจากพื้นที่ซึ่งเปรียบเสมือนกับการนำธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินออกไปก็ตาม สาเหตุสำคัญอันหนึ่งซึ่งช่วยให้ได้ผลผลิตข้าวในพื้นที่ดังกล่าวในปริมาณค่อนข้างสม่ำเสมอ ก็เนื่องมาจากการตรึงไนโตรเจนจากอากาศโดยสาหร่ายในรูปแก๊สไนโตรเจน (N_2) แล้วเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบไนโตรเจนที่พืชดูดไปใช้ได้ จึงเปรียบเสมือนการเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารที่สำคัญที่สุดต่อการเจริญเติบโตของพืชธาตุหนึ่งให้แก่ดิน

สาหร่ายที่มีบทบาทสำคัญในการตรึงไนโตรเจน คือ สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (blue-green algae) พบมากในดินน้ำขัง สาหร่ายนี้อยู่ในชั้นไซยาโนไฟซิอี (class Cyanophyceae) มีลักษณะของเซลล์เช่นเดียวกับแบคทีเรีย คือ มีสารที่ทำหน้าที่เป็นนิวเคลียสอยู่ภายใน centroplasm แต่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส มีคลอโรฟิลล์ เอ มีรงควัตถุสีน้ำเงิน (phycocyanin) และสีแดง (phycoerythrin) เป็นรงควัตถุที่สำคัญในการสังเคราะห์แสง ซึ่งการที่มีรงควัตถุหลายชนิดนี้ ทำให้สาหร่ายดังกล่าวมีสีแตกต่างกันออกไป ตั้งแต่สีเขียว สีน้ำเงินแกมเขียว น้ำตาล และน้ำตาลแดง

จากความสามารถในการตรึงไนโตรเจน และความทนทานต่อสภาพแวดล้อม ทำให้มีการศึกษาลู่ทางการนำสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวมาใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพในหลายประเทศ การทดลองใช้ปุ๋ยชีวภาพจากสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวในนาข้าว พบว่าให้ผลดีดังนี้ คือ

1. การตรึงไนโตรเจนจากอากาศโดยสาหร่าย ช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวได้ร้อยละ 20-30 นอกจากนั้น ยังช่วยให้เมล็ดข้าวมีคุณภาพดีขึ้น เนื่องจากมีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย คือ ไลซีน (lysine) เพิ่มขึ้น

2. ช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน จากความสามารถในการสังเคราะห์แสง ทำให้สาหร่ายสามารถสร้างอินทรียวัตถุจากอนินทรียสาร โดยการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศให้เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต เป็นผลให้ปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนในดินเพิ่มมากขึ้น ในพื้นที่ที่ถูกน้ำชะล้างง่าย การเจริญและสะสมของสาหร่ายในบริเวณดังกล่าว ช่วยให้มีการเพิ่มอินทรียวัตถุในดินอย่างต่อเนื่อง

3. ให้ออกซิเจนแก่ข้าวในสภาพน้ำขัง การสังเคราะห์แสงของสาหร่าย-

ในนาข้าวในสภาพน้ำขัง จะมีการปลดปล่อยออกซิเจนให้แก่รากข้าว ซึ่งมีประโยชน์ในแง่การป้องกันโรคอันจะเกิดกับรากเมื่ออยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน

4. มีการปลดปล่อยสารคล้ายฮอร์โมนกระตุ้นการเจริญเติบโตให้กับพืช ช่วยให้พืชมีการเจริญเติบโต แข็งแรง และทนทานต่อโรคมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยชีวภาพกับการใช้ปุ๋ยเคมี จะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยเคมีง่ายต่อการถูกชะล้าง กล่าวคือ 30–40% ของปุ๋ยเคมีที่ใส่จะถูกชะล้าง และพัดพาโดยน้ำ ในขณะที่การใช้ปุ๋ยชีวภาพจากสาหร่าย ซึ่งผลิตจากสาหร่ายหลายชนิด (mixed culture) นั้น สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตและตรึงไนโตรเจนได้ตลอดช่วงของการเจริญเติบโตของข้าว เนื่องจากสาหร่ายต่างชนิดกันมีองค์ประกอบของรงควัตถุต่างกัน ซึ่งทำให้การดึงดูดช่วงแสงมาใช้เพื่อการสังเคราะห์แสง และการเจริญเติบโตในช่วงแสงที่ต่างกัน สาหร่ายจึงมีการหมุนเวียนกันเจริญเติบโตตั้งแต่ในช่วงแรกที่กล้าข้าวเล็กมีแสงสว่างมากไปจึงถึงช่วงต้นกล้าใหญ่มีการบังเงา (shading) สูง

นอกจากนั้น สาหร่ายต่างชนิดกันยังมีลักษณะการเจริญเติบโตในสภาพต่างกัน กล่าวคือเจริญเติบโตบนผิวดิน ลอยอยู่ในน้ำ ลอยอยู่บนผิวหน้าน้ำ เกาะกับลำต้นของข้าวหรือเจริญอยู่ระหว่างส่วนเปียกและส่วนแห้งของคันนา ซึ่งยากต่อการพัดพาโดยน้ำ และจากการที่สาหร่ายเหล่านี้สามารถสร้างสปอร์เมื่อสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม และงอกได้ใหม่เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม จึงทำให้การใช้ปุ๋ยชีวภาพมีการสะสมสาหร่ายข้ามฤดูกาลเพาะปลูกได้ โดยอยู่ในดินในรูปของสปอร์ นอกจากการ-

THAI NATIONAL DOCUMENTATION CENTER

ใช้ปุ๋ยชีวภาพจะมีข้อดีดังกล่าวแล้ว การใช้ปุ๋ยเคมีบางชนิดติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้ดินเป็นกรดและแน่น ซึ่งจะไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืชต่อไป ในขณะที่การใส่ปุ๋ยชีวภาพจากสาหร่ายจะช่วยให้อนุภาคดินเกาะกันดีขึ้น ส่งผลให้ดินมีโครงสร้างที่ดีเหมาะต่อการเจริญเติบโตของรากพืช

อย่างไรก็ตามแม้ปุ๋ยชีวภาพจากสาหร่ายจะมีข้อดีต่างๆ มากมาย แต่เนื่องจากสาหร่ายก็เป็นสิ่งมีชีวิตมีสภาพไว (sensitive) ต่อสารพิษ ดังนั้น การนำสาหร่ายมาผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพจึงต้องมีการศึกษาปฏิกิริยาการตอบสนองของสาหร่ายต่อสารพิษที่ใช้ในด้านการเกษตร เช่น ยาปราบศัตรูพืช และยาปราบวัชพืช และนอกจากนี้สาหร่ายดังกล่าวส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตในดินที่เป็นกลางถึงเป็นด่างอ่อน สิ่งเหล่านี้จึงเป็นข้อจำกัดในการใช้ปุ๋ยชีวภาพจากสาหร่ายในพื้นที่ซึ่งมีการใช้สารพิษอย่างหนักในพื้นที่ที่เป็นดินกรด รวมทั้งพื้นที่ดินเค็ม แต่ปัญหาดังกล่าวก็สามารถแก้ไขได้โดยการคัดเลือกและปรับปรุงศักยภาพทางพันธุกรรมของสาหร่ายก่อนนำมาผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพ รวมทั้งการปรับปรุงคุณภาพของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายด้วย

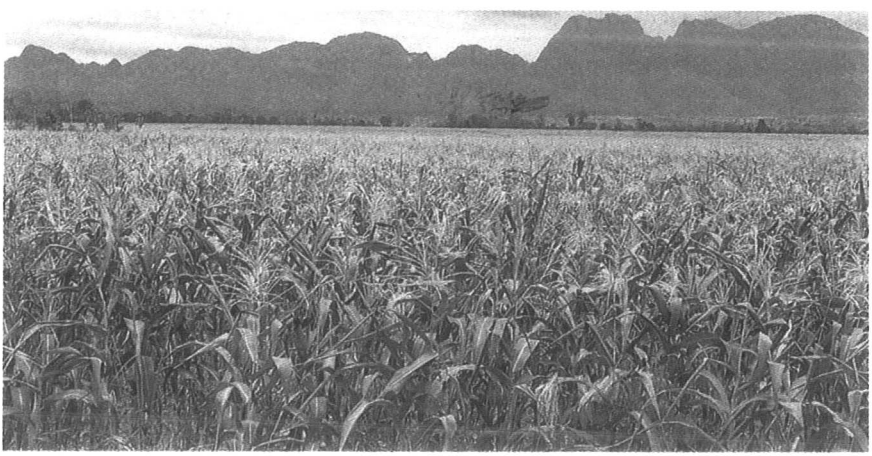
การผลิตปุ๋ยชีวภาพจากสาหร่ายในประเทศไทย

ดร. อาภารัตน์ มหาขันธ์

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) ทำการวิจัยผลิตปุ๋ยชีวภาพจากสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (blue-green algae, cyanobacteria) ที่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศเพื่อทดลองใช้ในนาข้าวโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การคัดเลือก และปรับปรุงสายพันธุ์สาหร่ายที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยชีวภาพ

1.1 เก็บตัวอย่างสาหร่ายจากดินนาทั่วประเทศนำมาใส่ในขวดตัวอย่างแล้วเติมอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้คัดเลือกเฉพาะสาหร่ายที่ตรึงไนโตรเจนได้ (selective media) นำไปตั้งบ่มไว้ในตู้บ่มเชื้อให้แสงโดยใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ประมาณ 2-4 สัปดาห์ จะพบว่าสาหร่ายเจริญเติบโตเป็นกลุ่มเซลล์เห็นได้อย่างชัดเจน



1.2 แยกเชื้อสาหร่ายให้บริสุทธิ์โดยนำสาหร่ายที่เจริญเติบโตในขวดตัวอย่างมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อให้แน่ใจว่าเป็นสาหร่ายชนิดที่ตรึงไนโตรเจนได้แล้วจึงเขี่ยเชื้อลงบนอาหารวุ้นในจานเพาะเชื้อ ให้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เพื่อให้สาหร่ายเจริญเติบโตในชั้นนี้จะต้องทำซ้ำหลายๆ ครั้งในสภาพปลอดเชื้อ จนกระทั่งได้สาหร่ายสายพันธุ์เดี่ยว (unialgal) โดยเก็บรักษาไว้ในคลังเก็บเชื้อสาหร่าย (algal culture collection)

1.3 ทดสอบความสามารถในการเจริญเติบโตของสาหร่ายในสภาพการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ ความทนทานต่อยาปราบศัตรูพืช และยาปราบวัชพืช รวมทั้งความทนทานต่อความเค็มในอาหารเหลว

2. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อขยายพันธุ์

2.1 ขยายปริมาณการผลิตสาหร่ายที่ผ่านการคัดเลือกแล้วในขวดพ่นอากาศขนาด 2–4 ลิตร ภายใต้แสงไฟ การพ่นอากาศจะช่วยกวนให้สาหร่ายไม่ตกตะกอนและเจริญเติบโตได้ดี เนื่องจากได้รับอาหารและแสงอย่างทั่วถึง

2.2 ขยายปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นในขวดหรือถังพ่นอากาศขนาด 10–20 ลิตร ในสภาพการเพาะเลี้ยงกลางแจ้ง

2.3 ผลิตมวลสาหร่ายปริมาณมาก (biomass production) ในถังกวนขนาด 500–1,000 ลิตร หรือในอ่างซีเมนต์ขนาด 4,000–10,000 ลิตร

2.4 เก็บเกี่ยวมวลสาหร่ายที่ได้จากการเพาะเลี้ยงซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 7–10 วัน โดยการกรอง มวลสาหร่ายที่กรองได้นี้จะถูกนำไปใช้ผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพในขั้นตอนต่อไป

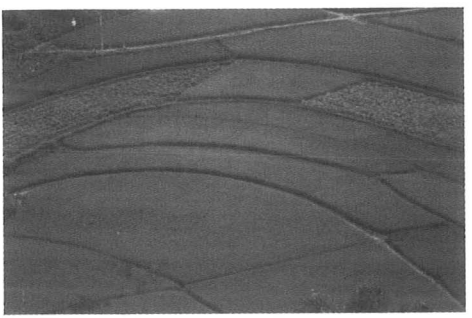
3. การผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อนำไปใช้ประโยชน์

3.1 นำมวลสาหร่ายที่กรองได้มาผสมคลุกเคล้ากับวัสดุรองรับ (หินฟอสเฟต : ปุ๋ยหมัก ในอัตราส่วน 1 : 1) การผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อใช้เป็นหัวเชื้อ สำหรับเกษตรกรจะนำไปใช้ผลิตปุ๋ยชีวภาพไว้ใช้เองจะใช้ปริมาณสาหร่ายคิดเป็นน้ำหนักแห้ง 30 กรัม ต่อวัสดุรองรับ 1 กิโลกรัม ในกรณีการ-

ผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อนำไปใช้ในนาข้าวโดยตรงจะใช้ปริมาณสาหร่ายคิดเป็นน้ำหนักแห้ง 10 กรัมต่อวัสดุรองรับ 1 กิโลกรัม

3.2 ตรวจสอบคุณภาพปุ๋ยชีวภาพ โดยการตรวจความสามารถในการมีชีวิตและเจริญเติบโตของสาหร่าย ทั้งในแง่ชนิด และปริมาณของสาหร่ายที่ใช้ในการผลิตปุ๋ย จากการตรวจสอบคุณภาพพบว่าแม้จะมีการเก็บปุ๋ยไว้เป็นเวลานานนับปี สาหร่ายก็ยังสามารถเจริญเติบโตได้

จากการทดลองของ วท. โดยใช้ปุ๋ยชีวภาพในนาข้าวทั้งในดินซึ่งเป็นกรดจัดและกรดอ่อน พบว่าช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตข้าวได้มากกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ย



ผลการวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ในนาของเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดต่างๆ ซึ่งมีคุณสมบัติของดินแตกต่างกัน ข้อมูลที่ได้จากการทดลองได้นำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยชีวภาพให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในนาข้าว ตามพื้นที่ต่างๆ ของประเทศให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

ปัจจุบัน วท. ได้ทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยชีวภาพจากสาหร่ายให้กับบริษัทเอกชนผู้สนใจแล้ว

สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวในดินเค็ม

ประเสริฐ อะมริต

สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์แสงได้และเจริญในดินที่มีน้ำจืดและน้ำเค็มขังได้ บางชนิดมีคุณสมบัติในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้อยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนียมและปลดปล่อยให้กับพืช ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้เป็นอาหารได้ทันที เช่น สาหร่ายในสกุล *Anabaena, Nostoc, Calothrix, Hapalosiphon, Fischerella, Tolypothrix, Scytonema, Cylindrospermum, Mastigocladus* และ *Aulosira* สาเหตุที่ตรึงไนโตรเจนได้เพราะในตัวสาหร่ายมี เฮเทอโรซีส (heterocyst) ซึ่งเป็นเซลล์พิเศษที่ภายในเซลล์มีเอนไซม์ไนโตจีเนส (enzyme nitrogenase) ซึ่งมีคุณสมบัติในการตรึงไนโตรเจนได้ ปัจจุบันสาหร่ายดังกล่าวจึงได้รับความสนใจและศึกษาถึงระบบนิเวศวิทยา และการนำไปใช้เป็นปุ๋ยเพื่อเพิ่มไนโตรเจนให้กับดินโดยเฉพาะดินปลูกข้าว

สาหร่ายในน้ำเค็มแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

1. สาหร่ายที่ทนต่อเกลือ (halotolerant)

อันได้แก่สกุลของสาหร่ายที่กล่าวถึงข้างต้น สาหร่ายแต่ละชนิดแต่ละสกุล มีความทนต่อเกลือแตกต่างกัน เช่น *Anabaena variabilis, A. oryzae* และ *Nostoc calcicola* เจริญได้ดีในระดับความเค็ม (ของเกลือแกง) 9,000, 21,000 และ 9,000 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ตามลำดับ นอกจากนั้นในแต่ละระดับความเค็มจะมีผลต่อกระบวนการสรีรวิทยาของ

สาหร่ายแตกต่างกัน ซึ่งมีรายงานว่าความเค็มมีผลต่อกระบวนการตรึงไนโตรเจนมากกว่ากระบวนการสังเคราะห์แสง เช่น *Calothrix* เจริญได้ในระดับความเค็ม 795–1,590 ppm โดยความเค็มไม่มีผลต่อการตรึงไนโตรเจน แต่ถ้าระดับความเค็ม 4,000 ppm สาหร่ายชนิดนี้เจริญได้แต่ประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนลดลง เพราะกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยเฉพาะ photosystem I ปรับตัวให้เข้ากับความเค็มได้ดีกว่า เอนไซม์ ferredoxin NADP reductase ในกระบวนการตรึงไนโตรเจน

2. สาหร่ายที่ชอบเกลือ (halophilic)

เป็นสาหร่ายที่เจริญได้ในระดับความเค็มที่สูงกว่าสาหร่ายที่ทนต่อเกลือ มีรายงานว่าสาหร่ายในกลุ่มนี้สามารถเจริญได้ในระดับความเค็ม 23.5–40% เช่น *Spirulina subsalsa*

แนวทางการนำสาหร่ายมาใช้ประโยชน์ในดินเค็มที่ปลูกข้าวเนื่องจากดินเค็มเป็นดินที่มีสารละลายจำพวกเกลือ (soluble salt) อยู่มากจนเป็นอันตรายต่อพืชที่ปลูก วิธีลดความเค็มให้เหมาะสมแก่การปลูกพืช และเพิ่มผลผลิตโดยการล้างดิน และระบายเกลือออกจากดินเป็นการลงทุนสูง และไม่คุ้มค่าตอบแทนทางเศรษฐกิจ นอกจากนั้นยังเป็นการสูญเสียธาตุอาหาร-

จากดิน โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตและการผลิตพืช แต่ถ้านำสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนและเจริญได้ในดินเค็มมาใช้แทนวิธีข้างต้น ก็จะเป็นการลดการสูญเสียธาตุอาหาร และยังเป็นการเสริมความอุดมสมบูรณ์ของดินให้เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นสาหร่ายยังนำเกลือเข้าไปใช้ในกระบวนการเสริมสร้างการเจริญเติบโตของมัน เช่น ธาตุโซเดียมในเกลือ สาหร่ายนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง

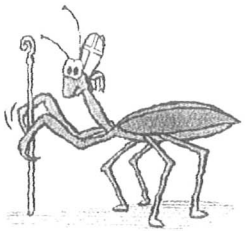
ในขณะนี้ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) ได้ศึกษาและคัดเลือกสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่มีคุณสมบัติดังกล่าว เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาเรื่องความเค็มของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อันจะเป็นผลให้การปลูกข้าวมีผลผลิตสูงขึ้น

แนวทางในการกำจัดศัตรูพืชในทศวรรษหน้า

จิราภรณ์ พลชัย

ในปัจจุบัน กระแสความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการอาหารที่ปลอดภัยต่อสารพิษ รวมทั้งตระหนักถึงความสำคัญของผลกระทบของสารพิษทางการเกษตรที่ตกค้างในสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้น จึงได้เกิดการส่งเสริมให้มีการผลิตผักปลอดสารพิษออกจำหน่ายตามท้องตลาดกันมากมาย ซึ่งก็ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคกันมากขึ้น ยิ่งกระแสความต้องของผู้บริโภคที่ต้องการอาหารที่ปลอดภัยเพิ่มมากขึ้นเท่าใด กระแสความต่อต้านการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชก็เพิ่มมากขึ้นเท่านั้น

การลดปริมาณการใช้สารเคมีทางการเกษตรเป็นนโยบายที่สำคัญของรัฐบาล โดยมุ่งเน้นในการลดความเสี่ยงของผู้บริโภคและลดมลพิษในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะสารเคมีที่มีอันตรายสูงมาก นอกจากนี้ ยังมีเป้าหมายในการส่งเสริมการผลิตสินค้าทางการเกษตรให้มีคุณภาพและได้มาตรฐานสากล เพื่อการบริโภคทั้งภายในประเทศและเพื่อการส่งออกไปขายต่างประเทศ ในขณะนี้ได้มีกำหนดมาตรฐานเพื่อกีดกัน

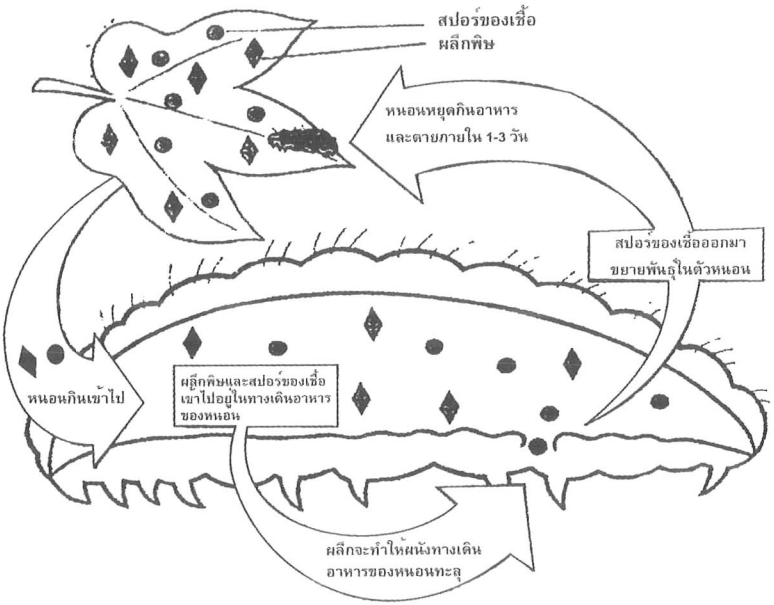


พิษภัยดังกล่าวเรียกว่า ISO 14000 ซึ่งกล่าวไว้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกระบวนการทำลายสิ่งแวดล้อม-ให้เสื่อมลง จะจำหน่ายไม่ได้ในตลาดโลก รวมไป-ถึงผลผลิตทางการเกษตรด้วย ฉะนั้น ในอนาคต อันใกล้นี้ ประเทศที่กำลังพัฒนารวมถึงประเทศไทย-ด้วย จะต้องเน้นการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชให้น้อยที่สุด เพื่อสินค้าทาง การเกษตรของประเทศไทยจะได้แข่งขันในตลาดโลกได้

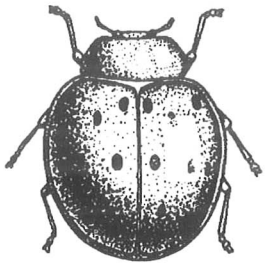
แนวทางในการ-ลดปริมาณการใช้สารเคมี-กำจัดศัตรูพืชคือ การกำจัดศัตรูพืชในลักษณะ-ผสมผสาน (Integrated Pest Management, IPM) โดยเป็นการรวมเอาวิธีการ-ควบคุมโดยชีววิธีและวิธี-อื่นๆ ที่เหมาะสมเข้าไว้ด้วย-กัน ซึ่งนอกจากจะเป็นการ-ลดปริมาณการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชแล้ว ยังช่วยลดต้นทุนการผลิต รวมทั้งลดอันตรายที่เกิดขึ้นต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การใช้-ศัตรูธรรมชาติของแมลงศัตรูพืช ได้แก่ ตัวห้ำ ตัวเบียน รวมทั้งพวกจุลินทรีย์-ชนิดต่างๆ เช่น แบคทีเรีย ไวรัส เชื้อราและไส้เดือนฝอย จะเข้ามามีบทบาท อย่างยิ่งในการจัดการศัตรูพืชในศตวรรษที่ 21

แบคทีเรียควบคุมแมลงศัตรูพืช Bt : อาวุธร้ายสำหรับเกษตรกร

จิราภรณ์ พลชัย



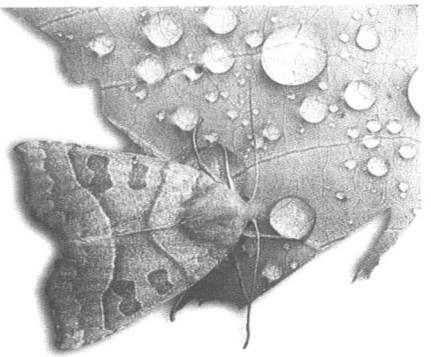
ที่กล่าวว่า "อาวุธร้าย" ไม่ได้ หมายถึง อาวุธที่ทำร้ายเกษตรกร หากแต่ Bt เปรียบเหมือนอาวุธของเกษตรกรที่เข้ามาช่วยปราบปรามแมลงศัตรูพืชตัวร้ายนั่นเอง Bt ไม่ใช่สารเคมี แต่ Bt คือแบคทีเรียที่นำมาใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูพืชที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน Bt มีชื่อเต็มหรือชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Bacillus thuringiensis* สามารถพบได้ทั่วๆ ไปในสภาพธรรมชาติ เช่น ในดิน พืช และแมลง เป็นต้น Bt ถูกนำเข้ามาควบคุม



แมลงศัตรูพืชในไทยครั้งแรกในปี พ.ศ. 2512 แต่เนื่องจากว่าเกษตรกรคุ้นเคยกับการใช้สารเคมีกำจัดแมลง ซึ่งมีฤทธิ์รุนแรงและสามารถทำลายแมลงได้อย่างรวดเร็ว ในสมัยนั้น Bt จึงไม่เป็นที่นิยมของเกษตรกรมากนัก แต่ต่อมาภายหลัง Bt ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ เนื่องมาจากสาเหตุที่ว่าแมลงศัตรูพืช เช่น หนอนใยผัก สามารถต้านทานต่อสารเคมีกำจัดแมลง ทำให้หนอนไม่ตายเมื่อได้รับสารเคมีดังกล่าว แต่ Bt สามารถทำลายหนอนได้

Bt ทำให้แมลงตายได้อย่างไร

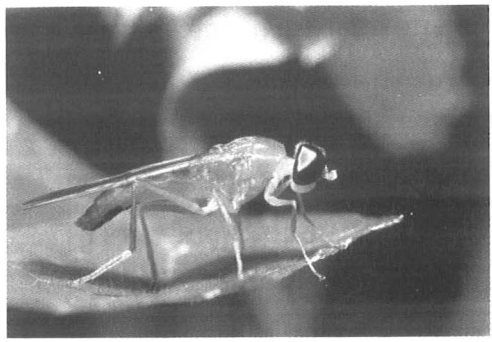
Bt ไม่เหมือนกับสารเคมีกำจัดแมลงตรงที่ว่า สารเคมีเมื่อพ่นถูกตัวแมลงจะทำให้แมลงตาย แต่สำหรับ Bt เมื่อพ่นถูกตัวแมลงจะไม่ทำให้แมลงตาย แต่แมลงจะตายก็ต่อเมื่อกินเชื้อ Bt เข้าไป เชื้อ Bt เมื่อเจริญเต็มที่จะสร้างสปอร์ที่ปลายข้างหนึ่งของเซลล์และสร้างผลึกโปรตีน (crystal protein) ที่ปลายอีกข้างหนึ่งของเซลล์ไปพร้อมๆ กัน ผลึกโปรตีนอาจมีหลายรูปแบบ เช่น คล้ายปิรามิด 2 อันในลักษณะฐานชนกัน รูปทรงกลม รูปลูกบาศก์ เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ เมื่อตัวอ่อนของแมลงกินเชื้อ Bt เข้าไป กระเพาะอาหารของแมลง ที่มีสภาพเป็นด่างนั้นจะย่อยสลายผนึกโปรตีนและถูกกระตุ้นให้กลายเป็นสารพิษ (delta-endotoxin) ซึ่งสารพิษนี้จะไปทำลายระบบย่อยอาหารและอวัยวะของแมลง ทำให้ขากรรไกรแข็ง กินอาหารไม่ได้ เคลื่อนไหวช้าลง จนกระทั่งหยุดเคลื่อนไหวและในที่สุดแมลงจะตาย



ทำไม Bt จึงเป็นพิษต่อแมลง แต่ไม่เป็นพิษต่อคน

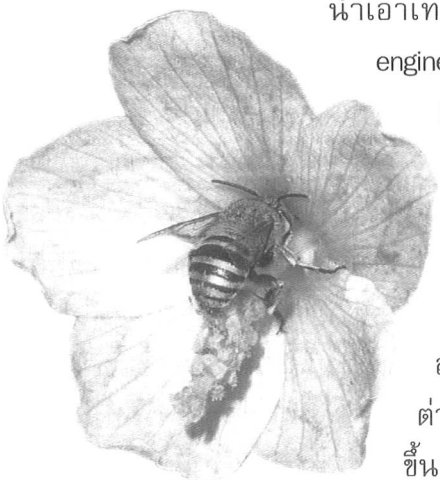
เชื้อ Bt สามารถสร้างผลึกโปรตีนที่เป็นพิษต่อแมลงโดย Bt แต่ละสายพันธุ์จะสร้างสารพิษที่เป็นโปรตีนต่างชนิดกัน ซึ่งมีความจำเพาะเจาะจงกับแมลงต่างชนิดกัน การสร้างสารพิษของเชื้อ Bt ถูกควบคุมด้วยยีนต่างๆ กัน โดยเรียกยีนที่ควบคุมการสร้างสารพิษแต่ละชนิดว่า "cry gene" และเรียกโปรตีนหรือสารพิษที่สร้างขึ้นว่า "cry protein" การจำแนก cry gene และ cry protein นั้นแยกตามความจำเพาะเจาะจงของสารพิษที่มีต่อแมลง เช่น cry I และ cry II (I และ II ระบุถึงโปรตีนที่สร้างจากยีนต่างชนิดกัน) คือโปรตีนที่เป็นพิษต่อหนอนผีเสื้อใน order Lepidoptera ส่วน cry III คือโปรตีนที่เป็นพิษต่อหนอนด้วงใน order Coleoptera และ cry IV คือโปรตีนที่เป็นพิษต่อหนอนแมลงวันและยุงใน order Diptera เป็นต้น

การมีความจำเพาะเจาะจงต่อแมลง หมายถึง สารพิษดังกล่าวจะทำลายหรือเป็นพิษเฉพาะแมลงเป้าหมายแต่เพียงเท่านั้น แต่ไม่เป็นอันตรายกับแมลงศัตรูธรรมชาติหรือแมลงที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม นก และสัตว์เลื้อยคลานใดๆ และถึงแม้มนุษย์จะได้รับผลึกโปรตีนนี้เข้าไป-



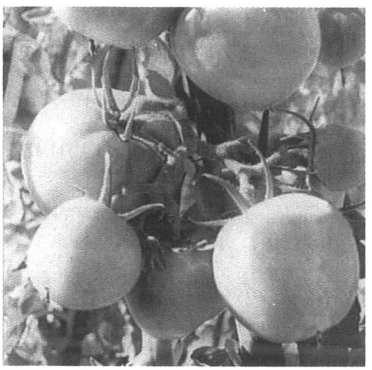
ในร่างกายก็ตาม เนื่องจากกระเพาะของมนุษย์มีสภาพเป็นกรดจึงเป็นสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการย่อยสลายผลึกโปรตีนให้กลายเป็นสารพิษได้ ดังนั้น มนุษย์จึงไม่ได้รับอันตรายจากสารพิษนี้เลย

สำหรับข้อดีและข้อจำกัดของ Bt ในการกำจัดแมลงศัตรูพืช ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า Bt ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และไม่ก่อให้เกิดพิษตกค้างในธรรมชาติ เพราะ Bt ไวต่อแสงอัลตราไวโอเลต ทำให้อยู่ได้ไม่นานในสภาพแวดล้อม และจากการที่ Bt ไวต่อแสงอัลตราไวโอเลตมาก ทำให้บางครั้ง Bt สลายตัวไปก่อนที่แมลงจะกิน Bt เข้าไป ทำให้ไม่สามารถกำจัดแมลงได้ นอกจากนี้ Bt ยังไม่สามารถทำลายหนอนแมลงที่เจาะเข้าไปทำลายภายในลำต้นพืชหรือหนอนแมลงที่กัดกินรากพืชได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาเทคนิคทางพันธุวิศวกรรม (genetic engineering) เข้ามาช่วยเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เช่น ใช้ในการปรับปรุงสายพันธุ์ Bt ให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงดีขึ้น หรือใช้ในการสร้างพืชจำลองพันธุ์ (transgenic plant) โดยการนำยีนที่ควบคุมการสร้างสารพิษจาก Bt ใส่เข้าไปในพืชชนิดต่างๆ เพื่อให้พืชสามารถผลิตสารพิษขึ้นมาต่อต้านแมลงศัตรูพืชได้



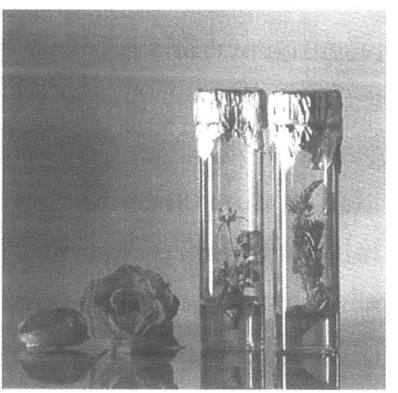
พืชจำลองพันธุ์ (transgenic plant)

จิราภรณ์ พลชัย



พืชจำลองพันธุ์ (transgenic plant) หมายถึง พืชที่ได้รับการตัดแต่งยีนหรือปรับปรุงเปลี่ยนแปลงยีนบางส่วน-แล้วเสริมยีนบางยีนที่ไม่ใช่ยีนของพืชเข้า-ไป ซึ่งมักเป็นยีนที่ควบคุมลักษณะบางอย่างที่ต้องการ ทำให้ได้พันธุ์พืชพันธุ์ใหม่ๆ ที่มี-คุณสมบัติตามต้องการ ซึ่งคุณสมบัติดัง-กล่าวนี้ไม่สามารถทำได้ด้วยวิธีผสมพันธุ์-พืชแบบปกติ เช่น ในการสร้างพืชจำลองพันธุ์ที่มี Bt gene โดยการตัดยีนที่-ควบคุมการสร้างสารพิษของ Bt (cry gene) แล้วถ่ายยีนเข้าไปในโครโมโซม-ของพืช ทำให้พืชสามารถสร้างโปรตีนสารพิษที่เป็นอันตรายต่อแมลงได้ และ-ลักษณะดังกล่าวนี้สามารถถ่ายทอดไปยังพืชรุ่นต่อๆ ไปได้

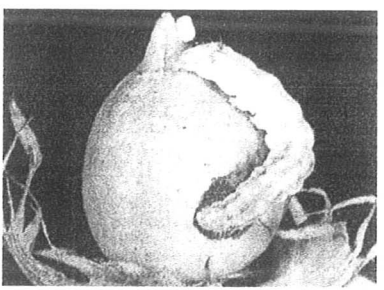
ขั้นตอนการสร้างพืชจำลองพันธุ์ที่มี Bt gene โดยในขั้นแรกเป็นการ-เพิ่มปริมาณ cry gene โดยการเพิ่มปริมาณสามารถเพิ่มได้ทั้งในเซลล์สิ่งมีชีวิต คือ แบคทีเรีย *Escherichia coli* หรือเพิ่มปริมาณยีน โดยใช้เทคนิค Polymerase Chain Reaction (PCR) โดยสามารถเพิ่มปริมาณยีนในสภาพหลอดทดลองได้ หลังจากเพิ่มปริมาณ-ยีนที่ต้องการแล้วจะถ่าย cry gene เข้า-สู่พืชโดยแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ การถ่ายยีนโดยตรง เป็นการถ่ายยีนเข้า-



สู่พืชโดยไม่อาศัยพาหะ เช่น การใช้สารพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) สารนี้ทำให้เกิดแผลบนเยื่อหุ้มเซลล์ การถ่ายฝากยีนโดยใช้เข็มฉีดยาขนาดเล็ก (microinjection) และการถ่ายฝากโดยใช้เครื่องยิงอนุภาค (particle gun) สำหรับการถ่ายยีนในอีกลักษณะคือ การถ่ายยีนทางอ้อม วิธีนี้ต้องอาศัยพาหะ เช่น อะโกรแบคทีเรียหรือไวรัส ในการนำยีนเข้าสู่พืช โดยทั่วไปแล้วนอกจากจะตัดต่อยีนที่เราต้องการแล้ว มักจะตัดต่อยีนที่ต้านทานต่อสารปฏิชีวนะและยีนอื่นๆ ที่ช่วยทำให้สามารถตรวจสอบการแสดงออกของยีน (report gene) ร่วมเข้าไปด้วย เพื่อช่วยคัดเลือกเฉพาะพืชที่ได้รับการถ่ายยีนสามารถทำได้ง่ายขึ้น เมื่อถ่ายยีนเข้าสู่เซลล์พืชแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะนำเอาเนื้อเยื่อหรือชิ้นส่วนของพืชที่ได้รับการถ่ายยีนเรียบร้อยแล้วมาเพาะเลี้ยงในอาหารวุ้นเพื่อให้เจริญเป็นต้นที่สมบูรณ์ต่อไป ในระหว่างการเพาะเลี้ยงในอาหารวุ้นจะทำการคัดเลือกไว้แต่เฉพาะเซลล์ที่ได้รับการถ่ายยีน เช่น นำเซลล์พืชไปเพาะเลี้ยงในอาหารที่มียาปฏิชีวนะ ถ้าเซลล์ไหนได้รับการถ่ายยีนจะสามารถเจริญบนอาหารที่มีสารปฏิชีวนะได้ หลังจากการคัดเลือกแล้วขั้นตอนต่อไปจะเป็นการตรวจสอบยืนยันว่า พืชที่ได้รับการถ่ายยีนมี cry gene และ cry gene สามารถแสดงออกได้ตามที่ต้องการหรือไม่ โดยมีหลายเทคนิคด้วยกัน ได้แก่ เทคนิค PCR เทคนิค Southern blot analysis ใช้ตรวจสอบยืนยันว่าในโครโมโซมพืชมี cry gene แทรกอยู่จริง และเทคนิค Northern hybridization หรือ ELISA ใช้ตรวจวิเคราะห์การแสดงออกของ cry gene และสิ่งที่ขาดไม่ได้คือ จะต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติทางชีววิทยา (bioassay) ของ

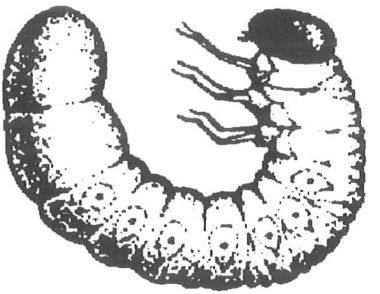
พืชจำลองพันธุ์ โดยทำการทดสอบโดยตรงกับแมลงศัตรูพืช เพราะประสิทธิภาพในการสร้างโปรตีนสารพิษของพืชจำลองพันธุ์ แต่ละต้นอาจไม่เหมือนกัน ต้นหนึ่งอาจสร้างได้มาก อีกต้นหนึ่งอาจสร้างได้น้อยแตกต่างกัน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องคัดเลือกหาต้นที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการต้านทานแมลงศัตรูพืช

หลายคนคงยังไม่คุ้นเคยกับคำว่า "พืชจำลองพันธุ์" เท่าไรนัก พืชจำลองพันธุ์สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาเกี่ยวกับแมลงศัตรูพืช โดยจะใส่ยีนที่ผลิตสารพิษของ Bt เข้าไปในพืช เพื่อให้พืชดังกล่าวนี้ผลิตสารพิษที่เป็นพิษต่อแมลงศัตรูพืช ทำให้แมลงไม่เข้ามาทำลายพืชนี้ ในต่างประเทศพืชเศรษฐกิจหลายชนิดถูกนำมาสร้างเป็นพืชจำลองพันธุ์ เช่น ฝ้าย มันฝรั่ง ยาสูบ ข้าวโพด และมะเขือเทศ และที่สามารถผลิตสำเร็จจนได้พัฒนาเป็นการค้าแล้ว ได้แก่ ฝ้าย และมันฝรั่ง สำหรับประเทศไทยเทคโนโลยีทางด้านนี้ ยังอยู่ในระหว่างการทดลอง ยังไม่มีการผลิตจนถึงระดับการค้า และในอดีตที่ผ่านมา ได้มีบริษัทในภาคธุรกิจเอกชนร่วมมือกับภาครัฐบาลต่างประเทศได้พัฒนาฝ้ายจำลองพันธุ์ Bt ขึ้นมา และได้ทดลองปลูกฝ้ายจำลองพันธุ์เพื่อทดสอบเปรียบเทียบกับพันธุ์ที่ไม่มีการตัดต่อสารพันธุกรรม Bt พันธุ์เดียวกัน ผลการศึกษาพบว่า สมอฝ้ายธรรมดาถูกหนอนเจาะสมอฝ้ายทำลายเสียหาย ส่วนฝ้ายจำลองพันธุ์ไม่พบร่องรอยความเสียหายแต่อย่างใด แต่อย่างไรก็ตามพบว่าฝ้ายจำลองพันธุ์ให้ผลตอบแทนน้อย



การทำลายของหนอนเจาะสมอฝ้าย

กว่าพันธุ์ฝ้ายธรรมดา เนื่องจากว่าในช่วงต้นและกลางฤดูปลูกฝ้าย ฝ้ายจำลองพันธุ์สามารถป้องกันการทำลายของหนอนได้ดี แต่ในระยะปลายฤดูประสิทธิภาพจะลดลง จึงจำเป็นต้องใช้สารฆ่าแมลงเกือบเท่าฝ้ายธรรมดา และต้องใช้สารเคมีที่มีประสิทธิภาพสูงราคาแพง เพราะหนอนมีขนาดใหญ่กว่าต้นฤดู

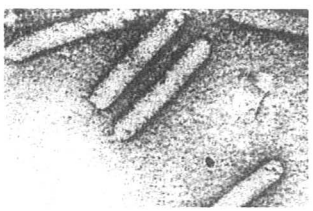


การนำพืชจำลองพันธุ์ไปใช้บุคลากรหรือองค์กร รวมทั้งตัวเกษตรกรเองคงต้องตระหนักถึงความปลอดภัย โดยเฉพาะความปลอดภัยทางชีวภาพจะต้องมีความเข้าใจ และมีการใช้อย่างระมัดระวัง รวมทั้งมีความรับผิดชอบต่อผลเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น เป็นต้นว่า พืชจำลองพันธุ์ทำให้สูญเสียความหลากหลายของพันธุ์พืชในธรรมชาติ สารพิษที่พืชจำลองพันธุ์ที่มี Bt ยีนสร้างขึ้นมาอาจทำอันตรายต่อแมลงศัตรูธรรมชาติหรือแมลงที่เป็นประโยชน์ และเนื่องจากว่ามักตัดต่อยีนต้านทานต่อสารปฏิชีวนะเข้าไปในเมล็ดพืชรวมกับยีนที่ผลิตสารพิษด้วย เพื่อเป็นยีนที่ช่วยในการตรวจสอบการแสดงออกของยีนที่ผลิตสารพิษ จึงอาจเป็นไปได้ที่ว่าสามารถเกิดการส่งถ่ายยีนไปยังจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ทำให้จุลินทรีย์นั้นสามารถต้านทานต่อยาปฏิชีวนะขึ้นได้เป็นต้น

ถึงแม้ว่าจะยังไม่มีหลักฐานหรือการศึกษาอย่างแน่ชัดเกี่ยวกับการบริโภคผลิตผลที่ได้จากพืชจำลองพันธุ์ว่าจะมีผลกระทบหรือผลเสียอะไรต่อผู้บริโภค แต่ผู้ผลิตควรให้ความยุติธรรมต่อผู้บริโภคโดยควรจะติดป้ายหรือฉลากเพื่อบอกให้ผู้บริโภคได้ทราบว่านี่เป็นผลิตผลที่ได้จากพืชจำลองพันธุ์เพื่อให้ผู้บริโภคเป็นคนตัดสินใจเองว่าจะเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนี้หรือไม่

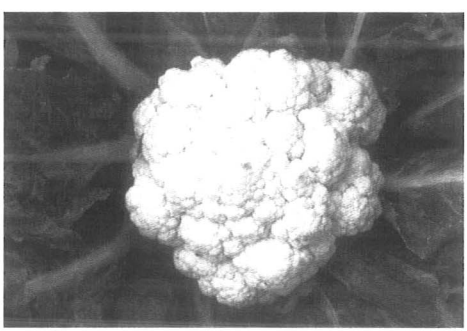
เชื้อโรคของแมลงมีประโยชน์ในการกำจัดศัตรูพืช

จิราภรณ์ พลชัย



เชื้อไวรัสที่ใช้กำจัดศัตรูพืช

เชื้อโรคของแมลงก็นำมาใช้ประโยชน์ในการกำจัดศัตรูพืช ไวรัสที่ใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูพืชจริงๆ แล้วก็คือ ไวรัสที่พบตามธรรมชาติที่ก่อให้เกิดโรคกับแมลงนั่นเองก็คงทำนองเดียวกันกับไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคในมนุษย์ หากแต่ไวรัสนี้ก่อให้เกิดโรคกับแมลงเท่านั้น ไม่ทำอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์และพืช รวมทั้งไม่มีพิษตกค้างและไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย ไวรัสชนิดที่มีความรุนแรงและมีประสิทธิภาพสูงสุดในพวกไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคกับแมลง คือ ไวรัสชนิดนิวเคลียร์พอลิฮีโดรซีส (nuclear polyhedrosis virus, NPV) ซึ่งจัดอยู่ในสกุล *Baculovirus* และนอกจากนี้ยังมีความเฉพาะเจาะจงสูงมากต่อแมลง เป้าหมายคือจะเกิดเฉพาะแมลงสกุลใดสกุลหนึ่งเท่านั้น จึงช่วยอนุรักษ์แมลงศัตรูธรรมชาติ และแมลงที่มีประโยชน์ด้วย



โดยส่วนมากแล้วพบว่าไวรัส NPV จะทำลายในระยะตัวอ่อน และจะทำให้เกิดโรคได้ต่อเมื่อตัวอ่อนของแมลงกินอาหารที่มีไวรัสปะปนเข้าไป โดยกระเพาะอาหารส่วนกลางของแมลงมีสภาพเป็นด่างจะ-

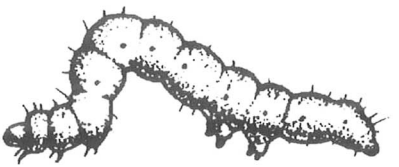
ย่อยสลายผลึกโปรตีนออก ทำให้อนุภาคไวรัสหลุดกระจายออกจากผลึกโปรตีนเข้าทำลายเซลล์บุกระเพาะอาหารส่วนกลางเป็นอันดับแรก จากนั้นจะแพร่กระจายเข้าสู่ภายในร่างกายของแมลง ทำลายเม็ดเลือด เนื้อเยื่อ ไขมัน ท่ออากาศ ระบบประสาท ระบบกล้ามเนื้อ เซลล์เนื้อเยื่อลำตัว โดยไวรัสจะไปทวีจำนวนอยู่เฉพาะในส่วนของนิวเคลียสของเซลล์ที่มันเข้าทำลายเท่านั้น โดยทั่วไปหลังจากหนอนกินไวรัสเข้าไปประมาณ 3-6 วัน จึงจะปรากฏอาการออกมาให้เห็น คือหนอนจะไม่ค่อยกินอาหาร เคลื่อนไหวช้าลง ผนังลำตัวมีสีซีดลง ผนังลำตัวเป็นมัน ลำตัวเปลี่ยนเป็นสีขาวขุ่นหรือสีครีม และในระยะสุดท้ายหนอนมักพยายามไต่ขึ้นส่วนยอดของพืชเกาะอยู่นิ่งๆ หยุดกินอาหารและตายในที่สุด การใช้ไวรัสในการควบคุมหนอนแมลงศัตรูพืช เมื่อหนอนตาย ไวรัสสามารถแพร่ระบาดต่อไปได้เองในธรรมชาติ นอกจากนี้ยังสามารถนำเชื้อ NPV ไปใช้ร่วมกับสารเคมีกำจัดแมลงได้ รวมทั้งเกษตรกรสามารถเก็บหนอนที่ตายด้วยเชื้อไวรัสนี้ไปต่อเชื้อใช้เองในคราวต่อไปได้

เซลล์ของแมลงช่วยกำจัดศัตรูพืช

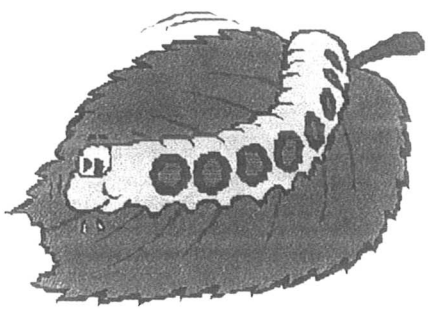
จิราภรณ์ พลชัย

เซลล์ของแมลงเองก็มีส่วนช่วยในการกำจัดศัตรูพืช โดยปกติแล้ว แมลงศัตรูพืชเป็นตัวการสำคัญที่ทำลายผลผลิตทางการเกษตร หลายคนคงสงสัยว่าแล้วเซลล์แมลงมีประโยชน์อะไรทางการเกษตร ทำไมถึงต้องมีการเพาะเลี้ยง การเพาะเลี้ยงเซลล์แมลงในอันดับ Lepidoptera เพื่อประโยชน์ในการผลิตเชื้อไวรัส NPV (Nuclear polyhedrosis virus) ควบคุมแมลงศัตรูพืช ทั้งนี้เนื่องจากไวรัสเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีอนุภาคขนาดเล็กและแตกต่างจากเซลล์สิ่งมีชีวิตอื่น คือไม่มีส่วนประกอบของไมโตคอนเดรีย นิวเคลียสและส่วนประกอบอื่นๆ ทั่วไปที่ควรจะมีของเซลล์สิ่งมีชีวิต ดังนั้นไวรัสจึงไม่สามารถขยายตัวหรือเพิ่มปริมาณออกไปเหมือนกับเซลล์สิ่งมีชีวิตอื่นๆ จึงทำให้ไม่สามารถผลิตขยายปริมาณไวรัสบนอาหารได้เหมือนเชื้อรา แบคทีเรียหรือไส้เดือนฝอย โดยการเลี้ยงไวรัสทำได้ 2 วิธีการ คือการใช้แมลงอาศัยมาเพาะเลี้ยงโดยตรง หรือการนำเอาเซลล์เนื้อเยื่อของแมลงมาเพิ่มจำนวนในอาหารเลี้ยงเซลล์จนได้เซลล์ปริมาณมากแล้ว จึงทำการเพาะไวรัสลงในเซลล์หรือเนื้อเยื่อนั้น การเพาะเลี้ยงเซลล์แมลงเพื่อผลิตไวรัส NPV จะสามารถลดต้นทุนและขั้นตอนการผลิตลงได้

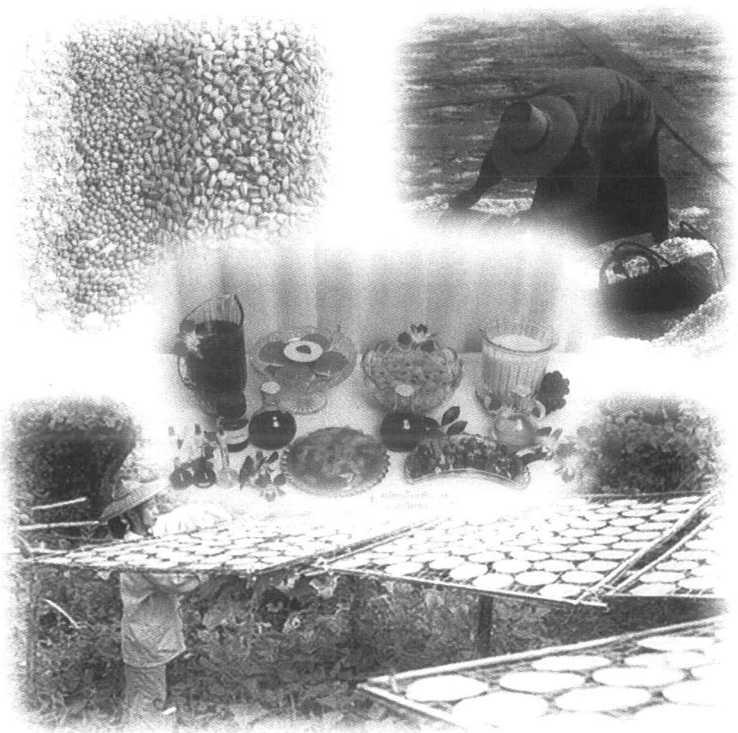
สามารถควบคุมอัตราการผลิตได้ง่ายและคงที่ รวมทั้งไม่มีการปนเปื้อนของเชื้อโรคอื่นๆ ทำให้ประสิทธิภาพเชื้อแน่นอน



การเพาะเลี้ยงเซลล์แมลง ถ้าตั้งต้นจากระยะไข่ หรือหนอนวัย 1 จะทำให้ได้เซลล์หลายชนิดปนกัน เพราะเป็นการตั้งต้นเพาะเลี้ยงจากหลายอวัยวะรวมกัน แต่ถ้าตั้งต้นจากหนอนวัย 4 ดักแด้หรือผีเสื้อ จะสามารถแยกเอาเฉพาะส่วนของอวัยวะต่างๆ เช่น เซลล์ไขมัน ฐานปีกท่อหายใจ ลำไส้ส่วนกลาง รังไข่ และอัณฑะ เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ได้เซลล์ประเภทเดียวกัน โดยทั่วไปเซลล์เพาะเลี้ยงของแมลงเป็นเซลล์ที่ได้จากเนื้อเยื่อ ซึ่งมีเซลล์หลายชนิดปนกันอยู่หลังจากเซลล์เริ่มแรก (primary culture) เจริญเป็นเซลล์ชั้นเดียว (mono layer) มีการย้ายเซลล์ไปยังอาหารใหม่ (subculture) จนเซลล์เจริญในอาหารเลี้ยงเซลล์ได้อย่างต่อเนื่อง จะเรียกเซลล์นั้นว่า cell line ซึ่งแต่ละ cell line จะประกอบด้วยเซลล์ที่มีรูปร่างหลายลักษณะ เนื้อเยื่อแต่ละชนิดจะให้ cell line ที่มีคุณภาพต่างกันทั้งอัตราการเจริญและการเป็นเซลล์ อาศัยให้ไวรัสเพิ่มปริมาณ แม้จะเป็น cell line ที่มาจากแมลงที่เป็นแมลงอาศัยของไวรัสก็ตาม ความอ่อนแอต่อเชื้อไวรัสก็ต่างกันไป ดังนั้นการผลิตไวรัสด้วยเซลล์เพาะเลี้ยงต้องเลือก cell line ที่อ่อนแอต่อการทำลายของไวรัส เพื่อเพิ่มปริมาณของไวรัสได้มาก



เทคโนโลยีชีวภาพ กับการอาหาร

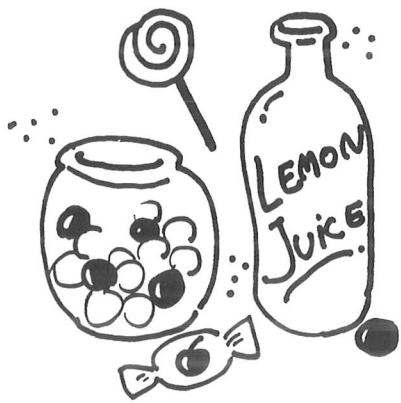


กรดมะนาว

ดร. สุภาพ อัจฉริยศรีพงศ์

กรดมะนาว หรือ กรดซิตริก (citric acid) มีชื่อทางเคมีว่า 2–hydroxy–1, 2, 3–propane tricarboxylic acid ($HOC(CH_2CO_2H)_2CO_2H$) สำหรับกรดมะนาวผงไร้น้ำ (anhydrous, $C_6H_8O_7$) มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 153 ° ซ. ส่วนกรดมะนาวผงที่มีน้ำหนึ่งโมเลกุล (monohydrate, $C_6H_8O_7H_2O$) มีจุดหลอมเหลวที่ 100 ° ซ. กรดมะนาวมีคุณสมบัติสามารถละลายน้ำได้ มีรสเปรี้ยว และมีกลิ่นหอม

การผลิตกรดมะนาว



ทำได้โดยใช้วัตถุดิบจำพวกน้ำตาลหรือแป้งและเติมเชื้อราหรือยีสต์ที่สามารถผลิตกรดมะนาวได้ ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมจะเกิดกรดมะนาวในอาหารที่เติมเชื้อ การผลิตเพื่อให้ได้ปริมาณกรดมะนาวสูงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่

- ประสิทธิภาพของเชื้อราหรือยีสต์ ที่ใช้ในการผลิตกรดมะนาว
- ความเหมาะสมของวัตถุดิบต่อเชื้อราหรือยีสต์
- ชนิดเกลืออนินทรีย์ที่เติมลงในวัตถุดิบ
- ความเป็นกรดด่าง
- ปริมาณออกซิเจน
- อุณหภูมิ

ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นจะต้องมีความสัมพันธ์กันจึงจะสามารถผลิตกรดมะนาวได้ประสิทธิภาพสูง

การผลิตกรดมะนาวมี 2 วิธี คือ การผลิตกรดมะนาวโดยการเลี้ยงเชื้อบนถาดหรือพื้น (solid state) หรือโดยการเลี้ยงเชื้อในอาหารเหลว (liquid culture หรือ submerged culture)

เชื้อราที่ใช้ในการผลิตกรดมะนาว ได้แก่ *Aspergillus niger, A. clavatus, A. foetidus, Penicillium luteum, P. citrinum, P. janthinellum, P. restrictum, Paecilomyces divaricatum, Mucor piriformis* และ *Mucor* sp.

เชื้อยีสต์ที่ใช้ในการผลิตกรดมะนาว ได้แก่ *Candida albicans, C. zeylanoides, C. guilliermondii* และ *Dekkera lambicus* เป็นต้น

ประโยชน์ของกรดมะนาวนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ

1. *อุตสาหกรรมอาหาร* ใช้เป็นส่วนผสมในการทำลูกกวาด น้ำหวาน น้ำผลไม้ น้ำอัดลม แยม

2. *อุตสาหกรรมการผลิตยา* ใช้เติมลงในยาบางชนิด เพื่อควบคุมความเป็นกรดด่าง และทำให้เกิดกลิ่นรสที่ดี

3. *อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง* ใช้เป็นส่วนผสมของครีมนวดผม โลชั่น ซึ่งกรดมะนาว จะควบคุมระดับความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์ และยังมีผลทำให้เกิดความแวววาวและความอ่อนนุ่มต่อการใช้

4. *อุตสาหกรรมอื่น ๆ* ใช้เป็นส่วนผสมในน้ำยาขัดโลหะ น้ำยาล้างสนิม เป็นต้น

กากน้ำตาล

ดร. สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์

กากน้ำตาล (molasses) เป็นของเหลวที่มีลักษณะข้นเหนียว สีน้ำตาลดำ ที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อย เนื่องจากกรรมวิธีการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อยนั้น เริ่มจากการนำอ้อยเข้าหีบได้น้ำอ้อย กรองเอากากออกจากน้ำอ้อยแล้วเคี่ยวน้ำอ้อยจนได้ผลึกของน้ำตาลทรายตกตะกอนออกมา แยกผลึกน้ำตาลทรายด้วยหม้อปั่น (centrifuge) ผลพลอยได้ที่สำคัญจากการผลิตน้ำตาลทรายด้วยวิธีนี้ได้แก่ กากน้ำตาล ขี้ตะกอน (filter cake) และกากอ้อย (bagasses)

กากน้ำตาลเป็นผลพลอยได้ที่มีคุณค่ามากที่สุด เป็นส่วนของของเหลวที่เหลือหลังจากการแยกเอาผลึกของน้ำตาลออกแล้วมีลักษณะเหนียวข้น สีน้ำตาลเข้ม องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลซูโครสที่ไม่ตกผลึก ในการผลิตน้ำตาลทรายนั้นจะมีกากน้ำตาลซึ่งเป็นผลพลอยได้

เกิดขึ้นประมาณ 4 ถึง 6% ของปริมาณอ้อยที่ใช้ในการผลิต กากน้ำตาลสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามกรรมวิธีในการผลิตน้ำตาลทราย คือ

1. กากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายขาว (plantation white sugar) ซึ่งเราเรียกว่า black-strap molasses จะมีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณ 50-60%

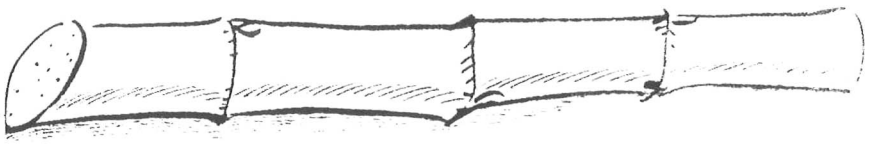
2. กากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (refine sugar) ซึ่งเราเรียกว่า refinery molasses จะมีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณ 48%

3. กากน้ำตาลที่ได้จากการทำบางส่วนของน้ำอ้อยแปรสภาพให้เข้มข้นโดยการระเหย (inverted can juice) ซึ่งเราเรียกว่า invert molasses หรือ hightest molasses วิธีนี้เป็นการผลิตกากน้ำตาลโดยตรง

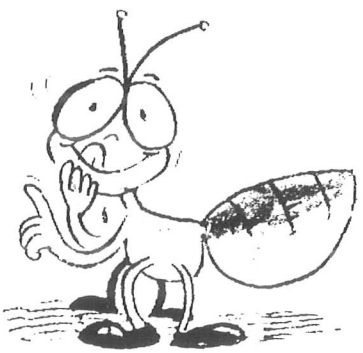
ประโยชน์ที่ได้จากกากน้ำตาลมีมากมาย เนื่องจากในกากน้ำตาลประกอบด้วยน้ำตาลประมาณ 50-60% และแร่ธาตุต่างๆ ประโยชน์ที่เห็นได้โดยตรง เช่น ใช้เป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากกากน้ำตาลประกอบด้วยน้ำตาลเป็นส่วนใหญ่ซึ่งเป็นแหล่งอาหารพลังงานที่เหมาะสมและราคาไม่แพง จึงมีการใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์หลายชนิด ใช้เป็นปุ๋ย เพราะในกากน้ำตาลมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งเป็นสารอาหารที่สำคัญสำหรับพืช นอกจากนี้กากน้ำตาลยังใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการหมักหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมการหมักแอลกอฮอล์ สุรา กรดมะนาว กรดน้ำส้ม กรดแล็กติก ผงชูรส ยีสต์ขนมปัง และยีสต์อาหารสัตว์ เนื่องจากกากน้ำตาลมีราคาถูกและเหมาะสมกว่าเมื่อเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่นๆ

ไฮเทสต์โมลาสจากอ้อย

ดร. ธีรภัทร ศรีนรคุตร



ประเทศไทยประสบปัญหาเรื่องอ้อยและน้ำตาลมานานแล้ว โดยที่รัฐบาลได้พยายามแก้ไขด้วยการใช้มาตรการต่างๆ หลายอย่าง เช่น การแบ่งปันผลประโยชน์ระหว่างชาวไร่อ้อยและโรงงานน้ำตาล การขยายปริมาณการส่งออก เป็นต้น ซึ่งในภาวะที่เกิดน้ำตาลล้นตลาดโลก การนำอ้อยส่วนที่เหลือเกินความต้องการในการผลิตน้ำตาลไปผลิตเป็นไฮเทสต์โมลาส (high test molasses) จะเป็นทางออกทางหนึ่งในการแก้ปัญหา

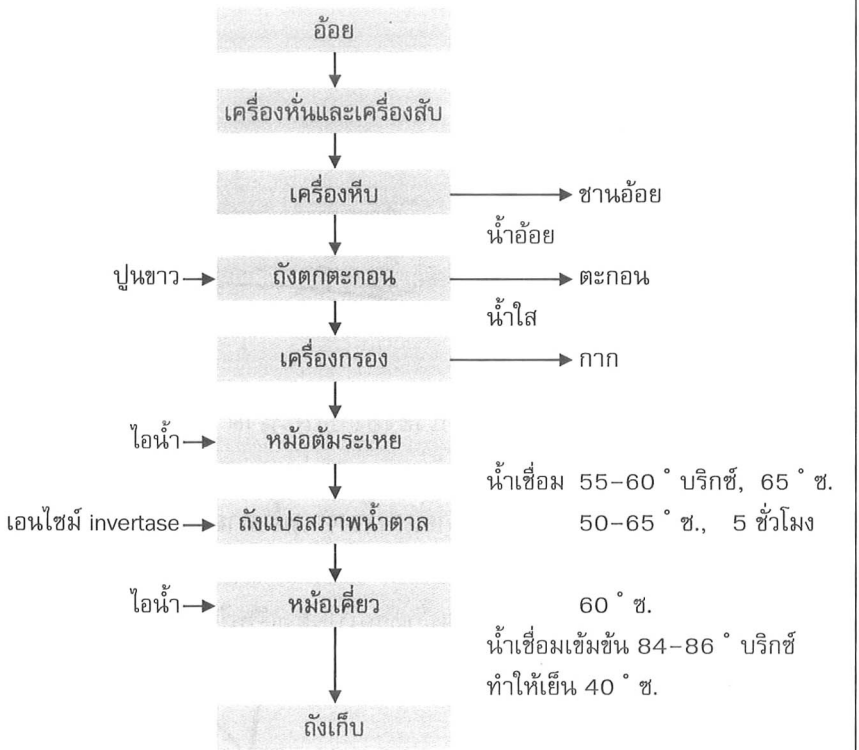


ไฮเทสต์โมลาสมีลักษณะเป็นน้ำเชื่อมเข้มข้นที่ผ่านการแปรสภาพด้วยกรดหรือเอนไซม์แล้ว มีสีน้ำตาล และมีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ น้ำตาลรวม 76.06% เถ้า 2.85% และน้ำ 15.09%

วิธีการผลิตไฮเทสต์โมลาส

ขั้นตอนการผลิตประกอบด้วย การหีบอ้อย การทำใส การระเหยน้ำ การแปรสภาพน้ำตาลซูโครส และการทำเข้มข้น โดยมีแผนผังกรรมวิธีการผลิตดังรูป

แผนผังกรรมวิธีการผลิตไฮเทสต์โมลาส

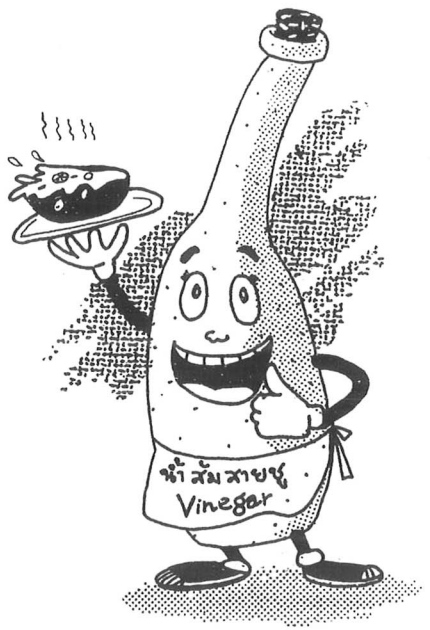


การใช้ประโยชน์

ไฮเทสต์โมลาสมีการใช้ประโยชน์เช่นเดียวกับกากน้ำตาล (black-strap molasses) แต่มีข้อได้เปรียบเนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลสูงกว่า (ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 95) และปริมาณเถ้ามีน้อยกว่าจึงสามารถนำไปใช้งานได้กว้างกว่า กล่าวคือ ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมหลักเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์นานาชนิด เช่น เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เอทิลแอลกอฮอล์ บิวทิลแอลกอฮอล์ ยีสต์ น้ำส้มสายชู กรดอะมิโน เป็นต้น

น้ำส้มสายชู

ดร. สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์



น้ำส้มสายชู (vinegar) คือเครื่องปรุงรสอาหารชนิดหนึ่งที่ทำให้อาหารมีรสเปรี้ยว ซึ่งความเปรี้ยวของน้ำส้มสายชูเกิดจากกรดอะซีติก (acetic acid) หรือกรดน้ำส้มเป็นส่วนใหญ่ แม้ว่าน้ำส้มสายชูจะเป็นที่รู้จักและใช้กันมานานเป็นพันๆ ปีแล้วก็ตาม แต่กระบวนการในการเกิดกรดน้ำส้มได้ถูกค้นพบเมื่อประมาณร้อยกว่าปีที่ผ่านมานี้เอง โดยในปี พ.ศ. 2380 นักวิทยาศาสตร์ชื่อ Katzing ได้รายงานว่า ในการทำน้ำส้มสายชูนั้นเป็นการเปลี่ยนเอทานอลไปเป็นกรดน้ำส้มโดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ กระบวนการในการผลิตกรดน้ำส้มมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธีคือ

1. วิธีการทางเคมี

จะอาศัยปฏิกิริยาเคมีในการเปลี่ยนสารอะเซทิลีน (acetylene) หรือเอทานอล (ethanol) ให้เป็นอะเซทัลดีไฮด์ (acetaldehyde) โดยปฏิกิริยาการเติมน้ำ (hydration) ในอะเซทิลีน หรือปฏิกิริยาการขจัดไฮโดรเจน (dehydrogenation) จากเอทานอล ซึ่งจะได้กรดน้ำส้ม (acetic acid) โดยปฏิกิริยาเติมออกซิเจน (oxidation) ในอะเซทัลดีไฮด์ ดังสมการ

$$C_2H_2 \xrightarrow[\text{(hydration)}]{H_2O,\ H_2SO_4,\ HgSO_4} CH_3CHO \xrightarrow[\text{(oxidation)}]{O_2,\ Mn^{++}} CH_3COOH$$

(acetylene) (acetaldehyde) (acetic acid)

$$CH_3CH_2OH \xrightarrow[\text{(dehydrogenation)}]{Cu,\ 250\text{–}300\ ^\circ c} CH_3CHO \xrightarrow[\text{(oxidation)}]{O_2,\ Mn^{++}} CH_3COOH$$

(ethanol) (acetaldehyde) (acetic acid)

2. วิธีการทางชีววิทยา

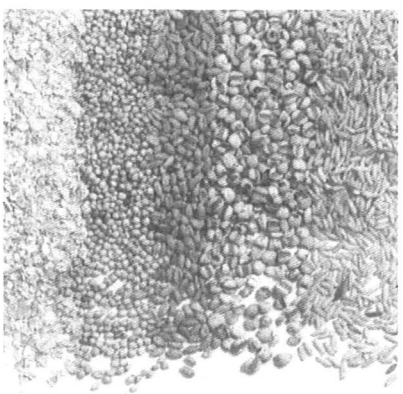
โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะแบคทีเรียในกลุ่มอะซีโตแบกเตอร์ *Acetobacter* sp. ซึ่งมีอยู่หลายสายพันธุ์ ในการเปลี่ยนเอทานอลให้เป็นกรดน้ำส้ม โดยอาศัยออกซิเจนในอากาศ ดังแสดงในสมการ

$$CH_3CH_2OH + \tfrac{1}{2}O_2 \longrightarrow CH_3CHO + H_2O$$

ethanol acetaldehyde

$$CH_3CHO + \tfrac{1}{2}O_2 \longrightarrow CH_3COOH$$

acetaldehyde acetic acid



น้ำส้มสายชูหมัก (fermented vinegar) หมายถึง น้ำส้มสายชูที่ได้จากการนำธัญพืช น้ำผลไม้ น้ำตาล หรือกากน้ำตาล มาหมักกับส่าเหล้า แล้วนำมาหมักกับเชื้อน้ำส้มสายชู (*Acetobacter* sp.)

น้ำส้มสายชูกลั่น แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามกรรมวิธีการผลิต คือ

1. น้ำส้มสายชูที่ได้จากการกลั่นน้ำส้มสายชูหมัก

2. น้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมักเอทานอลเจือจางกับเชื้อน้ำส้มสายชู แล้วนำมากลั่นหรือกรอง

ส่วนคุณสมบัติของน้ำส้มสายชู ไม่ว่าจะเป็นน้ำส้มสายชูกลั่นหรือน้ำส้มสายชูหมักนั้น ตามประกาศของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ว่าด้วยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม "น้ำส้มสายชู" ระบุว่าน้ำส้มสายชูควรมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีสีตามธรรมชาติของวัตถุดิบที่ใช้ ซึ่งผ่านกรรมวิธีการผลิต

2. มีกลิ่นของกรดอะซีติก และอาจมีกลิ่นของวัตถุดิบที่ใช้อยู่ด้วย

3. ใส ไม่มีหนอนน้ำส้ม สิ่งสกปรก หรือสิ่งเจือปนอื่นใดในกรณีน้ำส้มสายชูหมัก หรือใส ไม่มีสิ่งสกปรกหรือสิ่งเจือปนอื่นใดในกรณีน้ำส้มสายชูกลั่น

4. ไม่มีตะกอนในกรณีน้ำส้มสายชูกลั่น หรือไม่มีตะกอนนอกจากตะกอนที่เกิดโดยธรรมชาติของน้ำส้มสายชูหมัก ในกรณีน้ำส้มสายชูหมัก

แอล–ไลซีน

ดร. ธีรภัทร ศรีนรคุตร

ไลซีน (lysine) เป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย (essential amino acid) ชนิดหนึ่ง ซึ่งสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ ต้องได้รับจากอาหาร ดังนั้นในอาหารสัตว์จึงควรมีกรดอะมิโนเหล่านี้ในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของร่างกายที่จะนำไปใช้ในการสร้างโปรตีนโดยไลซีนจะมีรูปแบบของแอล–ไลซีน (L–lysine) และดี–ไลซีน (D–lysine) ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะแอล–ไลซีน

การขาดแอล–ไลซีน ในอาหารสัตว์จะทำให้ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสัตว์ต่ำ เช่น อัตราการเจริญเติบโตช้า ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารต่ำ คุณภาพซากไม่ดี เป็นต้น โดยทั่วไปอาหารสัตว์ตามธรรมชาติจะมีปริมาณของไลซีนอยู่น้อยมาก ไม่เพียงพอกับความต้องการของสัตว์

แอล–ไลซีน มีกรรมวิธีการผลิตตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

การเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาล

โดยใช้เอนไซม์อะไมเลส (amylase) เป็นตัวช่วยในการเปลี่ยนแป้ง เช่น แป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น ให้เป็นกลูโคส ซึ่งจะใช้เป็นแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์ในขั้นตอนการหมัก

การหมัก

จะใช้จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตแอล–ไลซีน เช่น corynebacterium โดยจุลินทรีย์–เหล่านี้จะถูกเพาะเลี้ยงด้วยสารอาหารต่างๆ อันประกอบด้วยกลูโคส แหล่งไนโตรเจน และ–สารอาหารที่จำเป็นอื่นๆ ในถังหมัก

การทำให้บริสุทธิ์

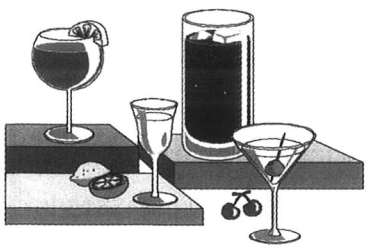
หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการหมัก–แอล–ไลซีน จะถูกแยกออกจากสารละลายที่–ได้จากการหมักโดยใช้ระบบการแลกเปลี่ยนไอออนด้วย–สารเรซิน (ion–exchange resin) ซึ่งจะดูดแอล–ไลซีนไว้ ต่อจากนั้นไล่แอล–ไลซีน ออกจากเรซินที่ใช้ในการแลก–เปลี่ยนไอออน โดยใช้น้ำแอมโมเนีย แล้วนำสารละลาย–นั้นมาทำให้เข้มข้น จะได้ผลึกของแอล–ไลซีน นำมาแยก–และอบแห้งต่อไป

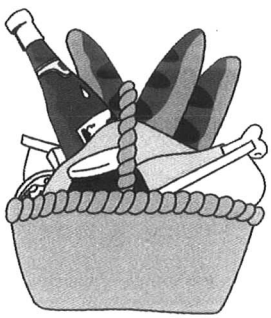
การบรรจุ

แอล–ไลซีน จะถูกบรรจุในถังบรรจุสำหรับส่งจำหน่ายต่อไป

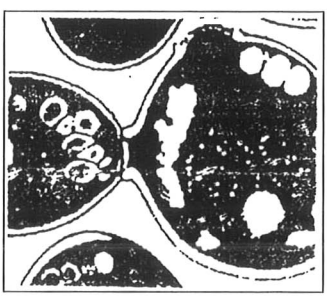
สารชีวภาพจากยีสต์

ดร. ธีรภัทร ศรีนรคุตร

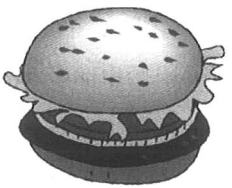


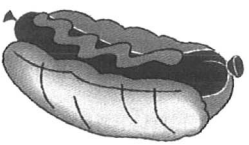


ในยุคโลกาภิวัตน์ ทั้งคนรุ่นเก่า-และรุ่นใหม่หันมานิยมบริโภคผลิตภัณฑ์-ที่ได้จากธรรมชาติมากกว่าผลิตภัณฑ์-สังเคราะห์ เพราะเชื่อว่าหลังจากใช้แล้วจะไม่เกิดผลข้างเคียงต่อร่างกาย วันนี้จะ-ขอแนะนำสารชีวภาพที่สามารถสกัดได้-จากยีสต์ ถ้าเอ่ยถึงยีสต์อาจจะมีคนไม่มากนักที่รู้จักคุ้นเคยกับมัน แต่ถ้าพูดถึงเหล้า เบียร์ ไวน์ หรือเครื่องดื่ม-ประเภทแอลกอฮอล์หลายประเภท บางชนิดลักลอบผลิตกันในท้องถิ่น เชื่อ-ว่าเกือบทุกคนจะรู้จักมันเป็นอย่างดี หลายคนอาจได้ลิ้มรสชาติมาแล้ว เชื่อ-ไหมว่าเครื่องดื่มเหล่านี้ได้มาจากการทำงานที่มีศักยภาพอย่างสูงสุดของ-จุลินทรีย์ตัวเล็กๆ ที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ที่เราเรียกว่า ยีสต์ กรรมวิธีการ-เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ จะไม่ขอพูดเพราะเก่าเกินไป ขออนุญาต มองลึกเข้าไปที่เซลล์ยีสต์ ถัดจากผนังเซลล์-ที่แข็งเหนียวและยอมให้สารผ่านได้บ้าง (semipermeable) จะมีโปรโตพลาสมิก เมมเบรน (protoplasmic membrane) และ-ไซโตพลาสซึม (cytoplasm) อยู่ภายใน ขณะที่ไซโตพลาสซึมประกอบด้วยกรดนิวคลีอิก



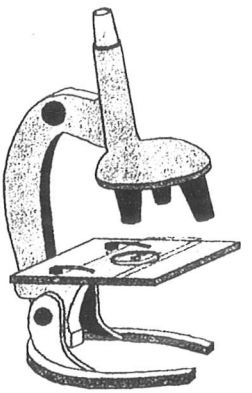
โปรตีน กรดอะมิโน แร่ธาตุ เอนไซม์ วิตามิน สารสี ไลปิดหรือกรดไขมัน และน้ำ จะเห็นว่าสารเหล่านี้เป็นสารชีวภาพที่มีประโยชน์โดยเฉพาะด้านโภชนาการ ส่วนประกอบและปริมาณของสารเหล่านี้จะขึ้นกับสายพันธุ์และสภาวะการเพาะเลี้ยงยีสต์ บางสายพันธุ์อาจให้โปรตีนถึงร้อยละ 50 โดยน้ำหนักแห้ง รวมทั้งโปรตีนที่ได้รับจากยีสต์มีกรดอะมิโนอยู่ในรูปเวโลฟอร์มซึ่งร่างกายสามารถนำไปใช้ได้เลย แตกต่างจากโปรตีนที่ได้จากเนื้อสัตว์ ที่ร่างกายต้องย่อยให้เป็นกรดอะมิโนก่อนที่จะนำไปใช้



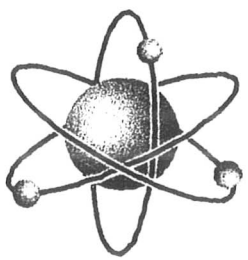


การสกัดสารชีวภาพจากยีสต์

ดร. ธีรภัทร ศรีนรคุตร



สารชีวภาพจากยีสต์ที่ได้กล่าวถึงไปแล้วนั้น ส่วนประกอบและปริมาณที่มีอยู่จะขึ้นกับชนิดหรือสายพันธุ์ สารอาหาร (substrate) และสภาวะที่ใช้เพาะเลี้ยงเซลล์ ในเรื่องนี้จะกล่าวถึงกรรมวิธีในการสกัดสารเหล่านี้ เพื่อนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร แม้ว่าในทางอุดมคติ มวลเซลล์ของยีสต์สามารถบริโภคได้โดยตรง แต่การมีผนังเซลล์ที่หนาจะไปลดประสิทธิภาพการย่อย (digestibility) และการนำโปรตีนไปใช้ สารประกอบของผนังเซลล์ที่เป็นสาเหตุของอาการแพ้หลังจากบริโภค เช่น ทำให้ท้องเสียและท้องอืด เป็นต้น ปัญหาเหล่านี้จะหมดไปเมื่อผนังเซลล์ถูกแยกออกจากสารภายในเซลล์ ซึ่งมีความจำเป็นต้องทำให้เซลล์แตก (cell disruption) เสียก่อน โดยอาจใช้วิธีทางกายภาพ ทางเคมี ทางกล หรือผสมผสานมากกว่า 1 วิธี เช่น



วิธีออโตไลซีส

ผนังเซลล์จะถูกทำลายโดยเอนไซม์ที่มีอยู่ในเซลล์ วิธีนี้จะช้ามากและทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพ (denaturation)

วิธีไฮโดรไลซีส

เกี่ยวข้องกับการใช้กรดอย่างแรง เช่น กรดเกลือ และสามารถผลิตเกลือที่มีความเข้มข้นสูงในผลิตภัณฑ์สุดท้าย

วิธีใช้เอนไซม์

เป็นกระบวนการที่ค่อนข้างช้าอีกกระบวนการหนึ่ง ปกติจะใช้กับ-ตัวอย่างเล็กๆ

วิธีใช้สารเคมี

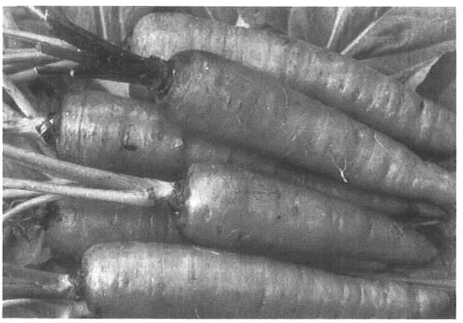
ผนังเซลล์จะถูกทำให้เปลี่ยนแปลงด้วยสารเคมี เช่น บิวทานอล หรือ-ยูเรีย เป็นต้น แต่จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียสภาพโปรตีน การใช้สารเคมีจะ-เสียค่าใช้จ่ายสูง และเกิดปัญหาอีกมากต่อการนำสารกลับมาใช้ใหม่ รวมทั้ง-มีสารพิษเกิดขึ้นด้วย

วิธีทางกล (mechanical method)

เช่น การใช้เครื่องอัลทราโซนิก เครื่องบดเม็ดความเร็วสูง French press และ pressure bombs เป็นต้น ในปริมาตรขนาดใหญ่วิธีทางกลที่ใช้-เม็ดบด (beads) กลับมาผ่านเครื่องบด หรือปล่อยให้อยู่ในเครื่องบดเป็น-เวลานาน จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสูญเสียสภาพของโปรตีน เนื่องจาก-อุณหภูมิที่สูงที่เกิดขึ้นในของเหลวและการปนเปื้อน (contamination) ใน-ผลิตภัณฑ์ซึ่งอาจเกิดจากวัสดุที่ใช้ทำเม็ดบด การใช้อัลทราโซนิก และ French press ไม่เหมาะในการผลิตปริมาณมากๆ ปัจจุบันเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ (homogenizer) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ใช้ความดันสูง เดิมทีถูกจำกัดการใช้เฉพาะในอุตสาหกรรมนม (ป้องกันการเกิดครีม) ได้มีการ-ประยุกต์ไปใช้อย่างกว้างขวาง ทั้งในอุตสาหกรรมยา และเคมี โดยเฉพาะกับเซลล์-จุลินทรีย์ เช่น ยีสต์ และแบคทีเรียบาง-ชนิด เป็นต้น

แคโรทีน

ดร. อาภารัตน์ มหาขันธ์



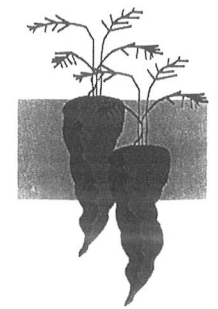
แคโรทีน (carotene) เป็นสารโมเลกุลใหญ่มีสูตรทางเคมี $C_{40}H_{56}$ และมีคุณสมบัติเป็นโปรวิตามินเอ (provitamin A) คือเมื่อแคโรทีนแตกตัวจะได้วิตามินเอ ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นภายในตับ

แคโรทีนบริสุทธิ์จะมีผลึกเป็นสีแดงทับทิม (ruby–red crystal) ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ แคโรทีนจะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายโดยออกซิเจนในอากาศ แหล่งธรรมชาติของแคโรทีนได้แก่พืชผักที่มีสีส้มเหลือง เช่น ฟักทอง และแครอท สาหร่าย เช่น คลอเรลลา (*Chlorella*) และดูนาลิเอลลา (*Dunaliella*) โดยแคโรทีนจะมีบทบาทที่สำคัญคือเป็นรงควัตถุ (เม็ดสี) ในการสังเคราะห์แสงและป้องกันเซลล์จากการเสียสภาพเนื่องจากแสง

แคโรทีนที่พบในธรรมชาติจะมีอยู่ 3 ไอโซเมอร์ (isomer) คือ แอลฟา บีตา และแกมมาแคโรทีน มากกว่า 85% ของแคโรทีนที่พบจะอยู่ในรูปของบีตาแคโรทีน ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดเป็นอย่างมาก โดยบีตาแคโรทีนที่ผลิตได้ส่วนใหญ่มาจากการสังเคราะห์ทางเคมี บางส่วนได้

มาจากการสกัดจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ เช่น จากหัวแครอท น้ำมันปาล์ม อัลฟัลฟา (alfalfa) หรือจากสาหร่ายดูนาลิเอลลา ส่วนน้อยได้มาจากกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ ซึ่งใช้ข้าวโพดและน้ำมันถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบ

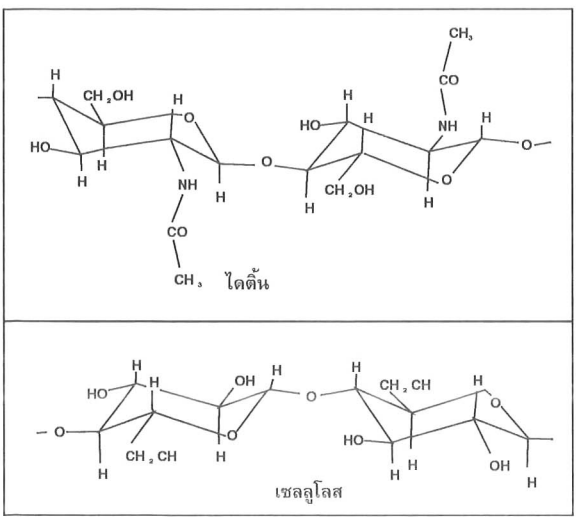
ในปัจจุบันบีตาแคโรทีนมีบทบาทเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมการผลิตเภสัชภัณฑ์ และอุตสาหกรรมอาหาร โดยใช้เป็นสีผสมอาหารหรือสารปรุงแต่งในอาหาร บีตาแคโรทีนที่ได้จากธรรมชาติกำลังได้รับความนิยมอย่างมากในแง่เป็นอาหารเสริมสุขภาพ โดยทำหน้าที่ในการป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย ซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่อวัยวะในส่วนต่างๆ เช่น ทำความเสื่อมโทรมให้แก่เซลล์จนเป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง หรือก่อให้เกิดการอุดตันของหลอดเลือดแดง เป็นต้น



ไคติน

ดร. จิราภรณ์ สุขุมาวาสี

ไคติน (chitin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (high polymer) ของ β –1, 4–*N*–acetyl–D–glucosamine จัดเป็นพวกสารอินทรีย์โมเลกุลยาว-ที่มีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส (cellulose) สูตรโครงสร้างของไคติน ต่างจาก-เซลลูโลสที่คาร์บอน (carbon) ตำแหน่งที่ 2 เป็น NH–CO–CH_3 แทนที่จะ-เป็นหมู่ –OH ดังแสดงในภาพ



ไคติน เป็น-สารอินทรีย์ที่เกิดตาม-ธรรมชาติ ซึ่งมีปริมาณ-มากเป็นที่สองของโลก-รองจากเซลลูโลส เรา-จะพบไคตินได้ในยีสต์-ที่ใช้ทำเบียร์ ในพืช บางชนิด ในไดอะตอม (diatoms) และในสัตว์-ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน-สัตว์ที่มีเปลือก และกระดอง (mollusks and shellfish) เช่น หอย แมลง กุ้ง และปู (crustacean) ดังนั้น เราจึงสามารถพบไคตินได้ทั้งบนบก ในทะเล และในน้ำจืด ไคตินเป็นสารโมเลกุลยาวที่ไร้ประจุ (non–electrolytic polymer) ซึ่งทำให้ไม่สามารถละลายในน้ำหรือสารละลายทั่วๆไป แต่หาก-แยกเอาหมู่อะเซทีล (acetyl, CO–CH_3) ออกมา จะได้สารชื่อว่า "ไคโตซาน" (chitosan) ซึ่งละลายน้ำ และสารละลายหลายชนิดได้ดี เพราะมีประจุบวก-

บนหมู่อะมิโน (amino, NH_2)

สมัยก่อนไคตินบริสุทธิ์มีราคาแพง เนื่องจากการผลิตให้บริสุทธิ์ค่อนข้างยาก มักจะมีสารอื่น เช่น แคลเซียมซัลไฟต์ ($CaSO_3$) ซึ่งไม่ละลายน้ำปะปนมา หากผลิตจากเปลือกหอยหรือกระดองปู อันประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ซึ่งในกระบวนการผลิตไคติน ต้องใช้กรดซัลฟิวริกละลายแคลเซียมคาร์บอเนตเพื่อแยกออกจากไคติน หากใช้กรดซัลฟิวริกผิดส่วน จะได้แคลเซียมซัลไฟต์ปนเปื้อนอยู่ในไคติน

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการผลิตไคตินให้ง่ายขึ้น และใช้เทคโนโลยีใหม่ช่วย เพื่อลดต้นทุนการผลิต ทำให้ไคตินและไคโตซานมีราคาถูก ในเมืองไทยมีการค้นคว้าวิจัยเพื่อผลิตไคตินและไคโตซาน โดยใช้วิธีทางเคมีหลายหน่วยงาน เช่น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ได้วิจัยผลิตไคโตซานจากไคติน โดยใช้วิธีทางชีววิทยา คือใช้จุลินทรีย์ที่ให้เอนไซม์ไคติเนส (chitinase) ย่อยสลายไคตินเป็นไคโตซานเกรดต่างๆ ที่สามารถใช้ประโยชน์แพร่หลายในทางอุตสาหกรรม

ประโยชน์ของไคติน

กล่าวได้โดยย่อดังนี้

1. ทางการแพทย์

เช่น ใช้ทำไหมเย็บแผล โดยใช้ไคตินปั่นเป็นเส้น ใช้เย็บแผลได้ดีกว่าไหมเย็บสังเคราะห์ เพราะผูกเป็นปมง่าย แผลหายเร็ว เพราะเป็นสารอินทรีย์ สามารถสลายตัวได้เองเมื่อแผลติดกัน และคนไข้ไม่เกิดอาการแพ้

2. ทางการเกษตร

เช่น นำไคตินไปปรับปรุงดินให้มีคุณภาพดี เหมาะแก่การเพาะปลูก

3. ทางด้านอาหาร

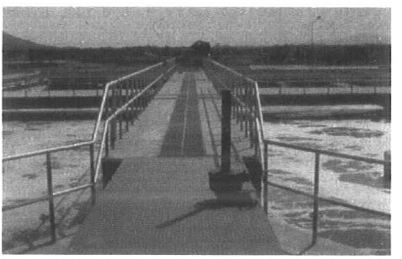
ใช้ไคตินเติมในอาหารเพื่อให้อาหารคงตัว และเพิ่มน้ำหนักของอาหาร นอกจากนั้น ไคตินรูปผลึกละเอียด (microcrystalline chitin) มีคุณสมบัติดีกว่าเซลลูโลสผลึกละเอียด (microcrystalline cellulose) ตรงที่ทนต่ออุณหภูมิสูง ใช้ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร และทนต่อการแช่แข็งสลับการหลอมละลาย (freeze–thaw) หลายๆ ครั้ง มีการใส่ไคตินในการทำขนมปังเพื่อเพิ่มปริมาตรขนม

4. ทางเภสัชกรรม

ใช้ทำเครื่องสำอาง เช่น ครีมนวดผม ฯลฯ

5. ทางอุตสาหกรรม

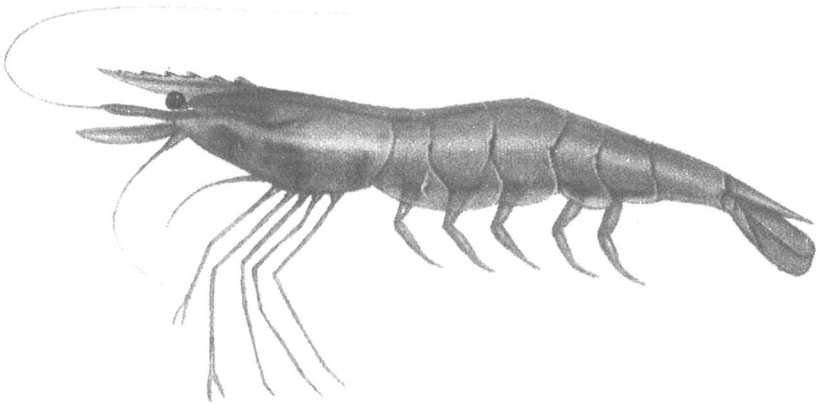
ใช้เป็นสารตกตะกอนหรือเป็นตัวกรอง เช่น ในการผลิตวุ้นจากสาหร่ายทะเล (agar from algae) การใช้ไคตินตกตะกอนโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในกระบวนการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น นอกจากนั้นยังใช้ไคตินในอุตสาหกรรมสิ่งทอ สีย้อม และกาวอีกด้วย



ประเทศไทยเป็นประเทศแนวหน้าในการส่งออกอาหารทะเลปีละหลายพันตัน จึงมีเปลือกกุ้ง ปู หอย ที่ใช้ประโยชน์แค่เป็นอาหารสัตว์ราคาถูกๆ ที่เหลือก็ทิ้งสูญเปล่า หากนำมาผลิตไคตินหรือไคโตซานซึ่งเป็นสารราคาแพง และในอนาคตจะมีการค้นคว้าการใช้ประโยชน์มากขึ้น ทำให้มีตลาดการจำหน่ายมากขึ้นทั้งในและนอกประเทศ ก็จะสามารถทำเงินได้มหาศาลอย่างคาดไม่ถึง หากจะมีผู้ผลิตเป็นการค้าระดับอุตสาหกรรมอย่างจริงจัง

กุ้งฝอย

ดร. สุภาพ อัจฉริยศรีพงศ์

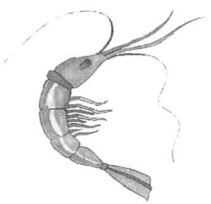


กุ้งฝอยเป็นกุ้งน้ำจืดขนาดเล็กอยู่ในวงศ์ Palaemonidae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Macrobachium lanchesteri* De Man Lanchester ตั้งชื่อว่า *Palaemon paucideno* จนกระทั่ง De Man ได้ศึกษาลักษณะและเรียกว่า *Palaemon (Eupalaemon) lanchesteri* ต่อมา Holithius (1950) ได้ทบทวนลักษณะอนุกรมวิธานแล้วให้ชื่อว่า *Palaemon lanchesteri* ลักษณะรูปร่างมีลำตัวใส เปลือกหุ้มตัวบาง ขนาดความยาวกุ้งฝอยอยู่ระหว่าง 15–54 มิลลิเมตร ขาคู่ที่สองของเพศผู้เรียบ ด้านในนิ้วหนีบมีหยักเล็ก 2 หยักอยู่ชิดทางต้นโคนนิ้ว กรีสั้นกว่าแผ่นหนวดของหนวดคู่ที่สอง (scaphocerite) เล็กน้อย มีรอยหยักข้างบน 5–9 หยัก และมีรอยหยักข้างล่าง 2–4 หยัก หลังวงขอบตามีหยัก 3 หยัก

กุ้งฝอยพบได้ทั่วไปตามแม่น้ำและคลองต่างๆ ในประเทศไทย มักซ่อนตัวอยู่ตามใต้ก้อนหินระหว่างพันธุ์ไม้น้ำต่างๆ ตามปกติจะพบกุ้งฝอยอยู่ในน้ำลึกไม่เกิน 1 เมตร ในบริเวณที่มีพวกอินทรียสารทับถมกันมากๆ ปริมาณกุ้งฝอยที่พบในรอบปีหนึ่งจะมีมากตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือน-

กุมภาพันธ์ และจะมีมากที่สุด-ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึง-มกราคม

กุ้งฝอยนับเป็นกุ้งที่มี-ความสำคัญทางเศรษฐกิจ-อย่างหนึ่ง สามารถที่จะซื้อมา-รับประทานได้ในราคาถูกกว่า-กุ้งชนิดอื่นๆ และมีคุณค่าทาง-อาหารสูง ส่วนประกอบทางเคมีของกุ้งฝอย คือให้ความร้อน 75 แคลอรีต่อน้ำหนัก 100 กรัม ความชื้น 79.4% ไขมัน 0.88–1.2% โปรตีน 15.46–15.8% เถ้า 3.02% คาร์โบไฮเดรต 1% นอกจากนี้ยังมีแคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก ส่วนวิตามินเอ วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง และวิตามินซี ไม่พบ



จุลินทรีย์ที่พบในกุ้งส่วนมากเป็นพวก psychrophile (ชอบเจริญที่อุณหภูมิต่ำ) และ mesophile (ชอบเจริญที่อุณหภูมิ 10–40 °ซ.) ซึ่งเป็นแบคทีเรียในน้ำ และอาจติดตัวกุ้งมาได้แก่ *Pseudomonas, Achromobacter* และ *Alcaligenes* ในกุ้งสดพบว่ามีจำนวนแบคทีเรีย 1.3×10^6 ถึง 3.0×10^6 โคโลนีต่อน้ำหนักกุ้ง 1 กรัม แบคทีเรียที่พบมี *Acinetobacter, Moraxella, Flavobacterium, Pseudomonas,* แบคทีเรียรูปกลมแกรมบวก และ *Bacillus* sp. ไม่พบยีสต์ นอกจากนี้ยัง-ตรวจพบ Coryneform, Micrococcus และ *Lactobacillus* sp. อีกด้วย

เกลือกับจุลินทรีย์

ดร. สุภาพ อัจฉริยศรีพงศ์

เมื่อพูดถึงเกลือ คนทั่วไปก็มักจะนึกถึงเกลือที่เป็นเม็ดสีขาวๆ ที่ผลิตได้จากน้ำทะเลที่เรียกว่า "เกลือทะเล หรือ เกลือสมุทร" แต่ที่จริงแล้วยังมีเกลืออีกชนิดหนึ่งซึ่งผลิตได้จากดินเค็ม ซึ่งเราเรียกว่า "เกลือสินเธาว์" เกลือมีส่วนประกอบทางเคมีคือ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เกลือมักจะมีสิ่งเจือปนต่างๆ อยู่มาก โดยเฉพาะเกลือของโลหะต่างๆ เช่น แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) และแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$)

เกลือ นอกจากใช้ในการปรุงอาหารทั้งคาวและหวานแล้ว ยังสามารถใช้ในการถนอมอาหารอีกด้วย โดยที่เกลือมีผลต่อจุลินทรีย์ทั้งทางตรงและทางอ้อมคือ

1. ทำให้เกิดแรงดันออสโมซีส เป็นผลให้เซลล์จุลินทรีย์เกิดการแตกหรือ plasmolysis ทำให้จุลินทรีย์ตายหรือชะงักการเจริญเติบโตและปล่อยเอนไซม์ออกมาสู่น้ำเกลือ

2. ดึงน้ำออกจากอาหาร เป็นตัวคุมปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ (available water) ของจุลินทรีย์ ซึ่งแต่ละชนิดจะเจริญได้ในสภาพที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์มากน้อยแตกต่างกัน เชื้อจุลินทรีย์จึงสามารถเจริญเติบโตได้ในที่มีความเข้มข้นของเกลือแตกต่างกัน

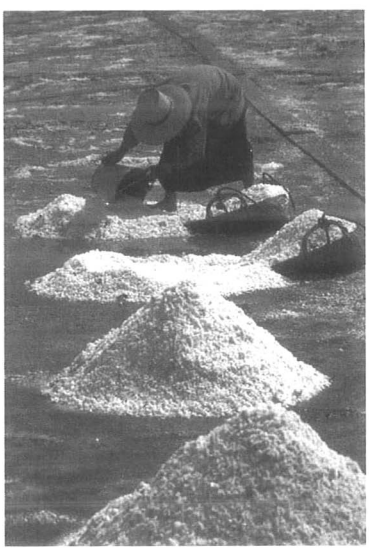
3. การแตกตัวของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เป็นโซเดียมอิออน (Na^+) และคลอไรด์อิออน (Cl^-) เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ที่อ่อนแอต่ออิออน

ชนิดนั้นๆ โดย Na^+ ซึ่งมีประจุบวกจะไปทำปฏิกิริยากับอิออนที่มีประจุลบในโปรโตพลาสซึมของเซลล์ทำให้จุลินทรีย์ตายได้ ส่วน Cl^- ที่มีประจุลบจะไปรวมตัวกับสารที่มี sulfhydryl group (–SH) ทำให้สารนั้นไม่สามารถย้าย acetyl group ได้ ซึ่งมีผลยับยั้งต่อกระบวนการสร้างและสลาย (metabolism) ของจุลินทรีย์

4. ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน

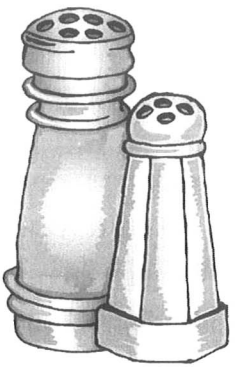
5. ลดการละลายของออกซิเจนในอาหาร ทำให้เกิดสภาพที่ค่อนข้างไร้อากาศเป็นเหตุให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่

6. ทำให้การเจริญเติบโตและรูปร่างของเซลล์แบคทีเรียพวกชอบเกลือเปลี่ยนไป



สาเหตุต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นนี้ทำให้เกลือมีคุณสมบัติในการถนอมอาหารไม่ให้เกิดการเน่าเสียได้ดี

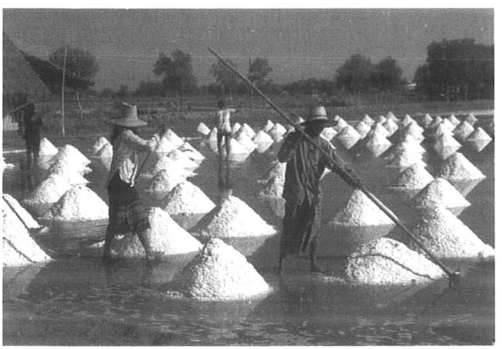
โดยทั่วไปมีจุลินทรีย์ในเกลือทะเล ประมาณ 27,000 ถึง 150,000 เซลล์ต่อกรัม จุลินทรีย์ที่พบส่วนมากจะเป็นแบคทีเรียพวกชอบเกลือซึ่งติดมากับน้ำทะเล เช่น แบคทีเรียพวก *Bacillus* ประมาณ 75% ได้แก่ *Bacillus subtilis* และ *Bacillus megaterium* นอกนั้นเป็น



พวก *Micrococcusies, Halobacterium* sp., *Serratia salinaria* และ *Sarcina* sp. ได้แก่ *Sarcina rosea* และ *Sarcina citrina*

ในเกลือสินเธาว์ จุลินทรีย์ที่พบส่วนใหญ่เป็น *Micrococcus* ประมาณ 70% *Coryneform* 20% *Bacillus* 4% นอกนั้นเป็นจุลินทรีย์พวกที่ทำให้เกิดการเน่าเสียในสภาพไร้อากาศ

ด้วยเหตุนี้ ทั้งเกลือทะเลและเกลือสินเธาว์จึงไม่เป็นแหล่งของแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเน่าเสีย นอกจากนั้นเกลือทั้งสองชนิดนี้ยังมีปริมาณแบคทีเรียพวกที่ทนเกลืออยู่เป็นจำนวนน้อยด้วย จุลินทรีย์ที่ติดมากับเกลือจะมีชีวิตอยู่ได้นาน ขึ้นอยู่กับสภาพของการเก็บ ถ้าเก็บในที่มีความชื้นสูงปริมาณของแบคทีเรียพวกที่ชอบเกลือจะมากขึ้น ถ้าเก็บในสภาพแห้งปริมาณแบคทีเรียเหล่านี้จะลดลง



อาหารหมักพื้นเมือง

ดร. สุภาพ อัจฉริยศรีพงศ์

การหมักเป็นการถนอมอาหารวิธีการหนึ่ง เพื่อเก็บรักษาไว้รับประทานในช่วงที่อาหารมีราคาแพงหรือขาดแคลน ซึ่งมักจะทำกันในช่วงที่มีวัตถุดิบหรืออาหารจำนวนมากจนไม่สามารถรับประทานได้หมด และเพื่อไม่ให้วัตถุดิบหรืออาหารเกิดการเน่าเสีย ดังนั้นจึงต้องถนอมอาหารเก็บไว้ นอกจากนี้การหมักยังเป็นการแปรรูปวัตถุดิบหรืออาหารสดไปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหมักที่มีรสชาติที่แปลกออกไปตามความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งมักจะมีกลิ่นและรสชาติเฉพาะตัว การทำอาหารหมักในแต่ละท้องถิ่น มีวิธีการทำที่แตกต่างออกไป และผลิตภัณฑ์อาหารหมักในแต่ละท้องถิ่นก็แตกต่างกันด้วย ซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุดิบหรืออาหารที่จะนำมาทำอาหารหมักในแต่ละท้องถิ่นนั้นว่ามีชนิดใด ดังนั้นอาหารหมักบางชนิดจึงอาจจะพบเฉพาะในท้องถิ่นนั้นเท่านั้น ส่วนการทำโดยมากมักจะทำแบบง่ายๆ เป็นกรรมวิธีแบบพื้นเมือง (ชาวบ้าน) ในท้องถิ่นนั้นๆ และมักจะทำเก็บไว้รับประทานภายในครัวเรือน หรืออาจจะทำเป็นการค้าในระดับอุตสาหกรรมภายในครัวเรือนก็มี ซึ่งอาหารหมักดังกล่าวนั้นก็คือ อาหารหมักพื้นเมือง

อาหารหมักโดยปกติทั่วไปมักจะเติมเกลือ และอาจเติมวัตถุดิบบางอย่างลงไปในการหมักด้วย เช่น ข้าวคั่ว ข้าวสุก ยางมะละกอ สับปะรด ข้าวแดง เป็นต้น ในระหว่างการหมักจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารจำพวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และสารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ โดยการกระทำของจุลินทรีย์ และหรือจากการกระทำของเอนไซม์จากอาหารที่ใช้ในการหมัก ผลจากการหมักจะเกิดกรดแล็กติก ทำให้อาหารหมักมีสภาพเป็นกรด รสเปรี้ยว สามารถเก็บไว้ได้เป็นเวลานาน

ประเภทของอาหารหมัก

อาหารหมักของประเทศไทยแบ่งได้เป็น 4 ประเภทตามวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการหมัก คือ

1. อาหารหมักประเภทสัตว์น้ำ ได้แก่ หอยดอง กะปิ กุ้งเจ่า กุ้งจ่อม กุ้งส้ม บูดู น้ำเคย น้ำปลา ปลาเจ่า ปลาจ่อม ปลาส้ม ปลาแป้งแดง ปลาแป้ง ข้าวหมาก ปลาร้า ปลาทูเค็ม ส้มฟัก ไตปลา

2. อาหารหมักประเภทเนื้อสัตว์ ได้แก่ แหนมหมูสับ เนื้อเค็ม ไส้กรอกเปรี้ยว

3. อาหารหมักประเภทข้าวและเมล็ดพืช ได้แก่ ขนมจีน ขนมตาล ขนมถ้วยฟู ข้าวหมาก น้ำส้มสายชู ซีอิ้ว ถั่วเน่า เต้าหู้ยี้ เต้าเจี้ยว

4. อาหารหมักประเภทผักและผลไม้ ได้แก่ ใบเมี่ยง หัวไชโป๊เกี๊ยมฉ่าย ก๊งฉ่าย น้ำตาลเมา ผักดอง ผลไม้ดอง ซีเซ็กฉ่าย ตังฉ่าย เป็นต้น

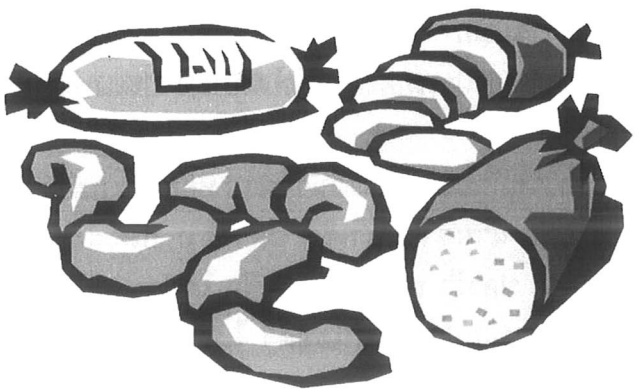
ลักษณะการหมัก

อาหารหมักพื้นเมืองนั้นสามารถแบ่งตามลักษณะการหมักออกได้-เป็น 3 ชนิด คือ

1. อาหารหมักพื้นเมืองที่อาศัยเอนไซม์จากเนื้อสัตว์และเครื่องใน-สัตว์เป็นตัวการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการหมัก ได้แก่ กะปิ น้ำปลา ไตปลา

2. อาหารหมักพื้นเมืองที่อาศัยเอนไซม์จากเนื้อสัตว์และจาก-จุลินทรีย์ร่วมกันโดยเติมเกลือและวัตถุดิบบางชนิด เช่น ข้าวต้ม ข้าวคั่ว น้ำผึ้ง น้ำตาล โกจิ ข้าวแดง เป็นต้น ลงไปด้วย ได้แก่ ปลาร้า ปลาแป้งแดง ปลาเจ่า ปลาจ่อม

3. อาหารหมักไม่ใช่พื้นเมือง เป็นอาหารหมักที่เกิดจากการเติม-สารเคมีลงไปหรืออาศัยกรรมวิธีอื่นๆ นอกเหนือจากกรรมวิธีแบบพื้นเมือง



อาหารหมักพื้นเมือง : กุ้งจ่อม

ดร. สุภาพ อัจฉริยศรีพงศ์

กุ้งจ่อม เป็นอาหารหมักที่มีลักษณะคล้ายกับอาหารหมักบางชนิดของไทย เช่น ปลาร้า ปลาจ่อม ส่วนอาหารหมักของประเทศในแถบเอเชียที่มีลักษณะคล้ายกุ้งจ่อมของไทย ได้แก่ Balao-balao เป็นอาหารหมักทำจากกุ้งใส่เกลือและข้าวคั่วหมักทิ้งไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ และ Burong-hipon เป็นอาหารหมักของฟิลิปปินส์ที่ทำจากกุ้งใส่เกลือและข้าวสุก Mam-ruoc และ Nuoc-mam-rouc เป็นอาหารหมักของกัมพูชาทำจากกุ้งใส่เกลือ Balechong และ Shidal Sutki เป็นอาหารหมักของอินเดียและปากีสถาน และ Mam-tom เป็นอาหารกุ้งหมักของเวียดนาม

ลักษณะทั่วไปของกุ้งจ่อม

มีส่วนของข้าวคั่วผสมกับกุ้ง ซึ่งเป็นส่วนเนื้อมากกว่าส่วนน้ำ มีสีส้มหรือสีน้ำตาลอมส้ม เนื่องจากข้าวคั่วซึ่งถูกนำไปคั่วจนกระทั่งมีสีเหลืองหรือสีน้ำตาลไหม้

การเติมข้าวคั่วลงในอาหารหมักมีข้อดีดังนี้

1. ทำให้อัตราการสลาย (disintregration) ของอาหารหมักช้าลง สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น

2. ทำให้กลิ่นเป็นที่ต้องการของตลาด

3. ทำให้มีสีซึ่งตลาดต้องการ

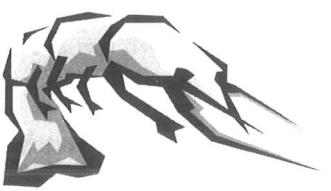
4. เมื่อถูกแสงแดด ข้าวคั่วจะมีปฏิกิริยากับเกลือเกิดสารที่ให้รสชาติเฉพาะ

นอกจากนี้ข้าวคั่วยังมีสารที่สามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน ช่วยให้เก็บรักษาไว้ได้นานขึ้น มีสารประกอบพวกคาราเมล (caramel) อันอาจมีผลทำให้แบคทีเรียบางชนิดตาย และเป็นตัวการของการสร้างกรดแล็กติกหรือสารอื่นๆ ที่กลบกลิ่นที่ไม่ต้องการจากการหมักโปรตีนและบางครั้งในกระบวนการหมักกุ้งจ่อมยังอาจมีการเติมสีผสมลงไปด้วย

กุ้งจ่อมเป็นอาหารหมักที่บริโภคกันมากในจังหวัดภาคกลาง เช่น กรุงเทพฯ สมุทรสาคร นครปฐม ราชบุรี นนทบุรี อยุธยา และบางจังหวัดของภาคตะวันออกและภาคใต้ จึงมีการผลิตอาหารหมักนี้ตามท้องถิ่นนั้น

กรรมวิธีในการหมักกุ้งจ่อม

มีอยู่หลายวิธีด้วยกันคือ ใช้กุ้งตัวเล็กๆ หรือกุ้งฝอยล้างน้ำ แล้วไปคลุกกับเกลืออัดใส่ไหทิ้งไว้ประมาณ 2 วัน จึงนำออกมาคลุกกับข้าวสุกแล้วหมักไว้อีก 3 วัน หลังจากนั้นนำมาผสมกับข้าวคั่ว นำไปอัดใส่ไหใหม่แล้วทิ้งไว้ 3–4 วัน จึงรับประทาน ส่วนกรรมวิธีการหมักกุ้งจ่อมของผู้ผลิตซึ่งเป็นที่นิยมของผู้บริโภคมีดังนี้ นำกุ้งฝอยมาล้างน้ำให้สะอาด แล้วผสมกับเกลือในอัตราส่วนกุ้ง 10 ส่วน ต่อเกลือ 1 ส่วน โดยน้ำหนัก หมักไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วจึงเติมข้าวคั่วลงไป 3 ส่วนโดยน้ำหนัก คลุกเคล้าให้เข้ากันโดยตลอด หมักทิ้งไว้ 5–7 วัน จึงรับประทานได้ ในการหมักกุ้งจ่อมของผู้ผลิตบางรายจะหมักกุ้งฝอยกับเกลือทิ้งไว้เป็นระยะเวลานาน และเมื่อต้องการจำหน่าย จึงนำกุ้งฝอยหมักเกลือมาผสมกับข้าวคั่ว แล้วหมักต่อไปประมาณ 7 วัน จึงนำออก-



จำหน่าย การหมักกุ้งฝอยกับเกลือทิ้งไว้นานๆ นั้น เนื่องจากในบางฤดูกุ้งฝอยมีจำนวนมาก ถ้าหมักตามวิธีดังกล่าวข้างต้นอาจจำหน่ายไม่หมด ซึ่งการหมักวิธีการนี้จะได้กุ้งจ่อมที่มีคุณภาพไม่สู้ดีนัก เพราะตัวกุ้งมักจะมีลักษณะค่อนข้างแห้ง สีคล้ำและมีกลิ่นไม่ค่อยดี

สีของกุ้งจ่อม

จะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นไปจากเดิม เมื่อทิ้งไว้นานเป็นเดือนจะมีสีคล้ำมากเป็นสีน้ำตาลไหม้ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากปฏิกิริยา non-enzymatic browning reaction หรือ Maillard reaction เช่นเดียวกับในน้ำปลาและซีอิ๊ว ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดระหว่าง amino group กับ carboxyl group ทำปฏิกิริยากันแล้วเกิดสารสีน้ำตาลขึ้น สารประกอบนี้เปลี่ยนแปลงมาจากน้ำตาล หรือ derivative ของน้ำตาล หรือมาจากการ oxidize พวกไขมัน นอกจากนี้เนื้อกุ้งเมื่อนำไปหมักจะมีสีเปลี่ยนไปเป็นสีส้มอมแดง เนื่องจากเกิดกรดขึ้นในอาหารหมักแล้วซึมเข้าสู่ตัวกุ้งฝอย และเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในตัวกุ้ง

กลิ่นของกุ้งจ่อม

เป็นกลิ่นที่เกิดจากสารพวกกรดไขมันระเหย (volatile fatty acid) ที่ได้จากการเมตาโบไลส์กรดอะมิโนของเชื้อ *Pediococcus halophilus* และยังอาจมีกรดระเหยพวกฟอร์มิก อะซิติก โปรปิโอนิก และไอโซบลูธีริก ที่ทำให้เกิดกลิ่นได้ในกุ้งจ่อม กุ้งจ่อมมีกลิ่นเฉพาะตัวอย่างหนึ่ง ซึ่งผู้บริโภคคุ้นเคย กุ้งจ่อมบางครั้งมีกลิ่นที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งอาจเป็นเพราะการหมักไว้นานเกินไป

รสของกุ้งจ่อม

มีรสเปรี้ยวและเค็ม แต่ความเปรี้ยวและเค็มของกุ้งจ่อมนั้นจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับวิธีการหมักของแต่ละท้องถิ่น บางตัวอย่างมีรสเค็มมาก บางตัวอย่างมีรสเปรี้ยวมากกว่าเค็ม แสดงว่าปริมาณเกลือที่ใช้แตกต่างกันไปตามท้องถิ่นที่ทำการผลิต การเติมเกลือลงไปในปริมาณมากมีผลในการจำกัดชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ ทำให้กระบวนการหมักเกิดขึ้นได้ช้า

กุ้งจ่อมมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 4.46–5.50 ค่าเฉลี่ย 4.77 ปริมาณกรด 0.87–2.97% ค่าเฉลี่ย 2.26% ปริมาณเกลือ 4.62–10.96% ค่าเฉลี่ย 7.56% และปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 2.95×10^5 –4.74×10^9 เซลล์ต่อกรัม ค่าเฉลี่ย 4.72×10^8 เซลล์ต่อกรัม

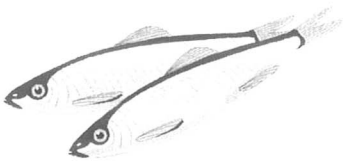
จุลินทรีย์ที่ตรวจพบในกุ้งจ่อมที่จำแนกได้เป็น *Pediococcus halophilus* ซึ่งเป็นตัวการสำคัญในการหมักกุ้งจ่อม โดยเป็นตัวสร้างกรดและให้กลิ่นรสในอาหาร *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus* sp. และ *Staphylococcus epidermidis* น่าจะมีความสำคัญรองลงไป พบมากโดยเฉพาะในช่วงแรกของการหมัก ส่วน sarcinae bacteria และ coryneform bacteria พบในปริมาณน้อยมาก และพบในช่วงเริ่มหมักถึงวันที่ 1 เท่านั้น

อาหารหมักพื้นเมือง : บูดู

ดร. สุภาพ อัจฉริยศรีพงศ์

บูดู เป็นอาหารหมักพื้นเมืองของไทยและมาเลเซีย ส่วนใหญ่มักทำจากปลาทะเลขนาดเล็ก เช่น ปลาไส้ตัน (*Stolephorus* spp.) ปลากะตัก (*Clupeoides* spp.) และปลาหลังเขียว (*Sardinella* spp.) นำมาผสมเกลือหมักไว้ตามธรรมชาติ การหมักเกิดจากเอนไซม์จากจุลินทรีย์และเอนไซม์จากปลาร่วมกันย่อยสลายเนื้อปลาการย่อยสลายดำเนินไปจนกระทั่งเนื้อปลาเปื่อยยุ่ยหลุดออกจากก้างปลา กลายเป็นของเหลวข้นสีน้ำตาลแดงกลิ่นรสคล้ายน้ำปลา ซึ่งประกอบด้วยน้ำหมักปลาและเนื้อปลาที่เป็นผงละเอียด บูดูนิยมใช้เป็นเครื่องชูรสกลิ่นของอาหารที่บริโภคเช่นเดียวกับน้ำปลา ประชาชนส่วนใหญ่ทางภาคใต้โดยเฉพาะในหมู่ชาวไทยมุสลิมบริโภคกันมากโดยการนำบูดูปรุงกับหัวหอมซอย พริกขี้หนู มะนาว ทำให้บูดูมีลักษณะคล้ายน้ำพริก แล้วนำมารับประทานกับยอดผักหรืออาจปรุงบูดูให้มีลักษณะแบบต้มยำปลาก็ได้ นอกจากนี้บูดูยังเป็นเครื่องปรุงของอาหารที่เรียกว่า "ข้าวยำ" อีกด้วย

บูดูผลิตกันมากทางภาคใต้แถบจังหวัดที่ติดกับชายทะเลไทย โดยเฉพาะที่อำเภอสายบุรี จังหวัดปัตตานี เป็นแหล่งผลิตบูดูที่มีชื่อเสียงจนกลายเป็นอุตสาหกรรมภายในครอบครัวที่สำคัญอย่างหนึ่ง ส่วนประเทศใกล้เคียง เช่น ประเทศมาเลเซีย โดยเฉพาะรัฐทางตะวันออก เช่น รัฐกลันตัน และตรังกานู มีการผลิตบูดูกันอย่างเป็นล่ำเป็นสันเหมือนกันและชาวบ้านใช้เป็น

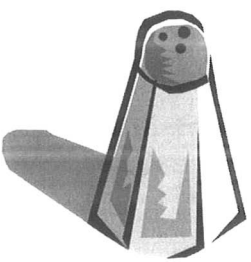


เครื่องชูรสแทนน้ำปลา การทำบูดูเป็นการถนอมอาหารวิธีหนึ่งที่ทำได้ง่าย ประหยัด ยังช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร ป้องกันการเน่าเสียซึ่งมักจะเกิดจากการกระทำของจุลินทรีย์บางชนิดและเป็นการแปรรูปอาหาร ทำให้อาหารมีลักษณะ สี กลิ่น รส ที่แปลกเฉพาะตัว ในเวลาที่มีปลาทะเลเกินความต้องการของตลาด สามารถดัดแปลงเป็นอาหารหมัก ทำให้ท้องถิ่นที่อยู่ห่างไกลทะเล มีอาหารประเภทโปรตีนเก็บไว้บริโภคได้ในเวลาขาดแคลน

คุณค่าทางด้านโภชนาการ

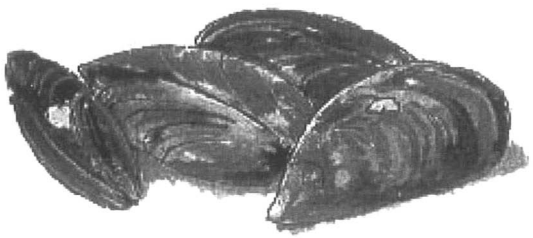
บูดู 100 มิลลิลิตร มีคุณค่าทางโภชนาการดังนี้

- ความเข้มข้นเกลือ อยู่ในช่วง 18.88–26.84%
- โปรตีน 9.17–11.01 กรัม
- ปริมาณด่างที่ระเหยได้ 121.68–197.37 มิลลิกรัมของไนโตรเจน
- กรดระเหยได้ 176.7–191.54 มิลลิกรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล
- ความชื้น 71.1% (โดยประมาณ)
- ไขมัน 0.4 กรัม
- คาร์โบไฮเดรต 0.5 กรัม
- แคลเซียม 42.4 มิลลิกรัม
- ฟอสฟอรัส 41.4 กรัม
- เหล็ก 4.3 มิลลิกรัม
- วิตามินบี 1 เล็กน้อย
- วิตามินบี 2 0.17 มิลลิกรัม และ
- พลังงานที่ได้จากการบริโภค 24 แคลอรีต่อหนึ่งร้อยกรัม

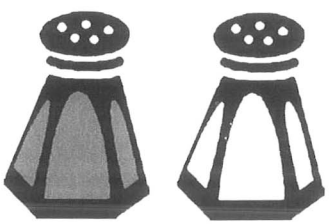


อาหารหมักพื้นเมือง : หอยแมลงภู่ดอง

ดร. สุภาพ อัจฉริยศรีพงศ์



หอยแมลงภู่ดองเป็นอาหารหมักพื้นเมืองของประเทศไทยชนิดหนึ่งที่นิยมรับประทานมากในภาคกลางและภาคใต้บางจังหวัด ลักษณะทั่วไปของหอยแมลงภู่ดองส่วนของน้ำมีสีคล้ำและมักมีปริมาณน้ำมากกว่าเนื้อหอย ทั้งนี้เป็นเพราะเกลือไปขับน้ำภายในหอยให้ซึมออกมา บางครั้งจะพบว่าน้ำมีสีม่วงซีดหรือสีน้ำตาลม่วง ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าผู้ผลิตเติมน้ำส้มมะขามลงไปเพื่อให้มีรสเปรี้ยวยิ่งขึ้น ปกติหอยแมลงภู่ดองจะมีรสเค็มมากกว่ารสเปรี้ยว เนื่องจากการเติมเกลือมักจะใส่ในปริมาณมาก เพื่อให้เก็บไว้ได้นานไม่เสีย ถ้าเติมเกลือน้อยจะเก็บไว้ได้ไม่นาน ดังนั้นผู้ผลิตจึงนิยมหมักหอยแมลงภู่ดองโดยการใส่เกลือในปริมาณมาก เกลือที่เติมลงไปมีส่วนทำให้เนื้อหอยยุ่ยเล็กน้อย หอยแมลงภู่ดองมีกลิ่นคาวของหอย กลิ่นเค็มของเกลือ และกลิ่นของกรดระเหย เช่น กรดฟอร์มิก โปรปิออนิก และกรดไม่ระเหยของกรดแล็กติก



หอยแมลงภู่ดองที่จำหน่ายในท้องตลาดมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 4.51–5.81 มีปริมาณกรดแล็กติกอยู่ในช่วง 0.27–1.31% ปริมาณเกลือที่ใช้หมักมีค่าระหว่าง 12.0–14.2% จุลินทรีย์ที่พบในหอยแมลงภู่ดอง ได้แก่ *Pediococcus*

halophilus ซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียที่พบมาก และเป็นตัวการสำคัญในการหมัก ส่วนแบคทีเรียที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการหมักด้วยคือ *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* และ *Staphylococcus* sp.

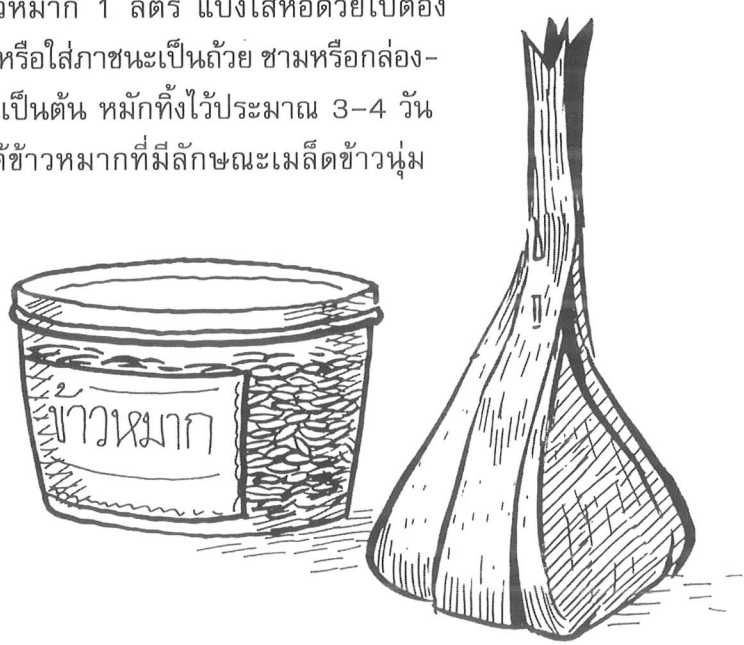
การหมักหอยแมลงภู่ดองทำโดยนำหอยแมลงภู่ที่แกะเปลือกออกแล้ว ล้างน้ำเกลือ 5–10% 1 ครั้ง แล้วล้างน้ำสะอาดและสงให้สะเด็ดน้ำ จะคลุกหอยแมลงภู่กับเกลือในอัตราส่วน 7 ต่อ 1 ใส่ขวดปิดฝาเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 7–10 วัน ก็สามารถรับประทานได้ โดยนำมาผสมกับต้นหอม พริก ขิง ใบมะกรูดซอย และตะไคร้ซอย รับประทานกับผักต่างๆ

อาหารหมักพื้นเมือง : ข้าวหมาก

ดร. สุภาพ อัจฉริยศรีพงศ์

ข้าวหมากจัดเป็นอาหารหมักพื้นเมืองชนิดหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งมีกลิ่นหอม รสหวานและแอลกอฮอล์เล็กน้อย นิยมบริโภคเป็นของหวาน เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคส มีขายตามท้องตลาดทั่วไป บางประเทศในแถบเอเชีย ก็มีข้าวหมากเช่นกัน ได้แก่ ข้าวหมากของอินโดนีเซียที่เรียกว่า "Tape" ข้าวหมากของจีนเรียกว่า "Lao-chao"

ข้าวหมากทำจากข้าวเหนียวนึ่งให้สุก แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด 2-3 ครั้ง ให้ยางข้าวเหนียวออกเพื่อไม่ให้เมล็ดข้าวเหนียวเกาะกันแน่น จากนั้นทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำลูกแป้งข้าวหมากที่มีหัวเชื้อราและยีสต์บดละเอียดมาคลุกเคล้ากับข้าวเหนียวให้ทั่ว ในอัตราส่วนลูกแป้ง 0.5-1 ลูกต่อข้าวหมาก 1 ลิตร แบ่งใส่ห่อด้วยใบตองใบบัว หรือใส่ภาชนะเป็นถ้วย ชามหรือกล่องเล็กๆ เป็นต้น หมักทิ้งไว้ประมาณ 3-4 วัน ก็จะได้ข้าวหมากที่มีลักษณะเมล็ดข้าวนุ่ม



รสหวานปนแอลกอฮอล์เล็กน้อย รับประทานได้โดยตรง หรือนำไปทำปลาเจ่า เหล้าแดง และน้ำส้มสายชู เป็นต้น

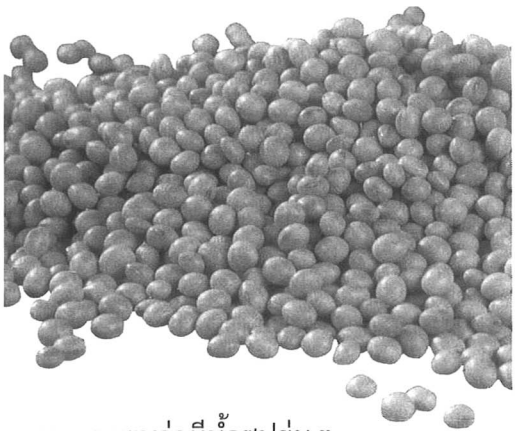
การใช้ลูกแป้งข้าวหมากน้อยไปหรือมากไปผสมกับข้าวเหนียวสุก จะทำให้ได้ข้าวหมากคุณภาพไม่ดี กล่าวคือ ถ้าใส่ลูกแป้งข้าวหมากน้อยไป จะเป็นข้าวหมากช้า เมล็ดข้าวนุ่มไม่ทั่วตลอด ทั้งมีสีไม่น่ารับประทานเนื่องจากไม่ขาวใส ซึ่งอาจจะเป็นเพราะมีเชื้อราชนิดอื่นปะปนอยู่ทำให้เกิดสีดำแดง หรือคล้ำหม่นเป็นจุด ถ้าใส่ลูกแป้งข้าวหมากมากไป จะเป็นข้าวหมากเร็วเกินไป ทำให้เก็บไว้ไม่ได้นาน เพราะจะเกิดรสเปรี้ยว

จุลินทรีย์ในลูกแป้งข้าวหมากที่เป็นตัวการสำคัญทำให้เกิดการหมักเป็นข้าวหมาก ได้แก่ เชื้อราสกุล *Rhizopus, Mucor, Chlamydomucor, Aspergillus* และเชื้อยีสต์สกุล *Endomycopsis, Hansenula* และ *Saccharomyces* แต่จุลินทรีย์ที่ทำให้ข้าวหมากมีกลิ่นและรสชาติที่ดีได้แก่ เชื้อราสกุล *Chlamydomucor* และยีสต์สกุล *Hansenula*

กระบวนการที่เกิดขึ้นในช่วงของการหมักมี 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกเชื้อราและยีสต์บางชนิด ทำให้แป้งข้าวเหนียวเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ขั้นต่อไปน้ำตาลที่เกิดบางส่วน จะเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์และเกิดกลิ่นหอมโดยยีสต์บางชนิด

มิโซ

ดร. สุภาพ อัจฉริยศรีพงศ์



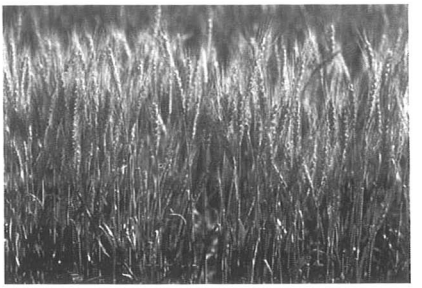
มิโซ (miso) เป็นชื่อเรียกอาหารหมักประเภทถั่วเหลืองชนิดหนึ่งของญี่ปุ่น ซึ่งเป็นอาหารหมักที่รู้จักดีสำหรับญี่ปุ่น ซึ่งมักจะนิยมนำไปใช้ทำเป็นน้ำซุป (น้ำแกง) หรือนำไปประกอบกับอาหารอื่นๆ ได้มากมาย เมื่อเข้าภัตตาคารญี่ปุ่นและสั่งอาหาร จะพบว่ามีน้ำซุปข้นๆ ถ้วยหนึ่งรวมมาด้วย นั่นก็คือน้ำซุปที่ใส่มิโซลงไป ซึ่งมีกลิ่นและรสชาติเฉพาะตัว อาหารหมักชนิดนี้มีต้นกำเนิดที่ประเทศจีนเมื่อประมาณ 2,500 ปีมาแล้ว มีชื่อเรียกว่า "เชียง" (Chiang) ในศตวรรษที่ 17 มีพระสงฆ์กลุ่มหนึ่งได้นำอาหารหมักชนิดนี้เข้าประเทศญี่ปุ่น แล้วญี่ปุ่นได้ดัดแปลงอาหารหมักชนิดนี้ไปจากต้นฉบับเดิม และตั้งชื่อใหม่ว่า "มิโซ" ส่วนประเทศเกาหลีเรียกอาหารหมักชนิดนี้ว่า "แจง" (Jang)

ชนิดของมิโซ

มิโซ แบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

- มิโซข้าว (rice miso) ทำจากข้าวเจ้า ถั่วเหลือง และเกลือ
- มิโซบาร์เลย์ (barley miso) ทำจากข้าวบาร์เลย์ ถั่วเหลือง และเกลือ
- มิโซถั่วเหลือง (soybean miso) ทำจากถั่วเหลือง และเกลือ

การทำมิโซ



แบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. *การทำโคจิ (koji)* นำข้าวเจ้า ข้าวบาร์เลย์ หรือถั่วเหลือง-ไปนึ่งแล้วทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นคลุกกับ-สปอร์ของเชื้อรา *Aspergillus oryzae* แล้วนำไปใส่ไว้ในถาดไม้หรือกระด้ง บ่มที่อุณหภูมิ 30–35 ° ซ. นานประมาณ 45–48 ชั่วโมง จะมีเส้นใยของเชื้อราขึ้นปกคลุมขาว

2. *การหมัก* นำโคจิที่ทำได้จากข้อ 1 ผสมกับถั่วเหลืองต้มสุกแล้ว และเกลือในสัดส่วนที่เหมาะสมผสมคลุมเคล้าให้เข้ากัน ใส่ในภาชนะหมัก แล้วนำไปบ่มอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการบ่มมิโซจะแตกต่างกันออกไปแล้ว-แต่ชนิดของมิโซ *Aspergillus oryzae* เป็นเชื้อราที่มีความสำคัญที่สุดในการ-ผลิตมิโซ และในระหว่างการหมักมักจะพบ lactic acid bacteria, *Bacillus* sp., *Saccharomyces rouxii* และ *Zygosaccharomyces* spp. เชื้อดังกล่าว-อาจจะเป็นตัวที่มีความสำคัญรองลงมาจาก *Aspergillus oryzae* ทำให้มิโซ-มีรสชาติและกลิ่นที่แตกต่างกันออกไป

มิโซมีคุณค่าทางอาหารสูง อุดมด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และเกลือแร่ ชาวญี่ปุ่นถือว่ามิโซเป็นอาหารที่ช่วยทำให้-อายุยืนยาว ร่างกายสมบูรณ์ เพราะว่ามิโซ-จะช่วยทำให้ระบบย่อยอาหารทำหน้าที่ได้ดี วิธีการปรุงอาหารก็ง่าย ไม่ยุ่งยาก สามารถ-เติมลงในอาหารเหมือนอย่างน้ำปลา ส่วนการทำน้ำซุปก็เพียงแต่ต้มน้ำให้-เดือดแล้วใส่มิโซลงไปในปริมาณที่ต้องการ อาจจะใส่ต้นหอมหรือเต้าหู้หั่น-เป็นชิ้นเล็กๆ ลงไปด้วย ก็จะได้น้ำซุปมิโซ ถ้าต้องการทดลองรับประทาน สามารถหาซื้อได้จากซุปเปอร์มาร์เก็ตบางแห่ง

จุลินทรีย์ในน้ำตาลสด

ดร. สุภาพ อัจฉริยศรีพงศ์

น้ำตาลสดได้จากต้นตาลโตนด (*Barassus flabellifer*) และต้นมะพร้าว (*Cocos nucifera*) น้ำตาลสดที่ได้อาจนำมาบริโภคโดยตรง เพราะว่ามีรสหวานและกลิ่นหอม แต่ส่วนมากมักจะนำไปเคี่ยวให้งวดทำเป็นน้ำตาลก้อนหรือน้ำตาลปี๊บ นอกจากนี้ตามหมู่บ้านชนบทมักจะนำน้ำตาลสดไปหมักเป็นน้ำตาลเมา หรือทำเป็นน้ำส้มสายชู

การได้น้ำตาลสด จากต้นตาลหรือต้นมะพร้าว โดยการทำให้ส่วนของช่อดอกหรือยอดอ่อนช้ำ ต้นตาลหรือต้นมะพร้าวจะส่งน้ำตาลออกมาตามท่อน้ำตาลเพื่อรักษาอาการบอบช้ำ เมื่อปาดส่วนของช่อดอกหรือเจาะที่ส่วนยอดก็จะมีน้ำตาลไหลออกมา

ในช่วงรองน้ำตาลสดจากช่อดอก มักจะมีการปนเปื้อนของแบคทีเรียทำให้น้ำตาลสดเสีย คือมีรสเปรี้ยว เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรด และเป็นเมือกหรือเป็นฟอง แบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญทำให้น้ำตาลสดเสีย ได้แก่ พวก *Lactobacillus* sp., *Acetobacter* sp., *Leuconostoc* sp., *Streptococcus* sp. นอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียที่สร้างแอลกอฮอล์ ได้แก่ *Zymomonas congolensis* สำหรับรานั้นพบน้อยมาก และไม่ค่อยมีบทบาทมากนักในการทำให้น้ำตาลสดเสีย เชื้อราที่พบได้แก่พวก *Aspergillus niger* และ *Rhizopus*

nigricans ส่วนยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่พบมากในน้ำตาลสด และน้ำตาลเมาโดยทำให้กลิ่นรสของน้ำตาลสดเสียไป และทำให้เกิดแอลกอฮอล์ในน้ำตาลเมา ยีสต์ที่พบมากได้แก่ *Saccharomyces cerevisiae, S. chevalieri, Kloeckera apiculata, Pichia* sp., *Candida* sp., *Schizosaccharomyces pombe*

การป้องกันการเสียของน้ำตาลสด โดยทั่วไปนิยมใส่เปลือกไม้บางชนิด เช่น เคี่ยม (*Cotylelobium lanceolatum*) ตะเคียน (*Hopea odorata*) พะยอม (*Shorea roxburghii*) ลงไปเล็กน้อยที่ก้นกระบอกก่อนนำไปรองน้ำตาล สำหรับการเก็บรักษาน้ำตาลสดด้วยวิธีการพาสเจอร์ไรส์ ที่อุณหภูมิ 70 ° ซ. นาน 30 นาที พบว่าดีกว่าการใช้สารเคมีทุกชนิด และถ้านำน้ำตาลสดไปพาสเจอร์ไรส์ก่อนแล้วเติม sorbic acid ลงไปด้วย จะป้องกันการเสียได้ดีที่สุด

อาหารธรรมชาติจากสาหร่าย

ดร. อาภารัตน์ มหาขันธ์

ประชากรของประเทศต่างๆ ทั่วโลกรู้จักนำสาหร่ายมาใช้เป็นอาหาร-มากกว่า 160 ชนิด ส่วนใหญ่จะเป็นสาหร่ายสีแดง (Rhodophyta) สาหร่าย-สีน้ำตาล (Phaeophyta) และสาหร่ายสีเขียว (Chlorophyta) มีเพียงส่วนน้อย-ที่เป็นสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (Cyanophyta)

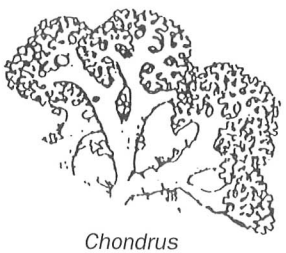
สาหร่ายทะเลจัดเป็นแหล่งอาหารที่ดีที่ให้วิตามินและเกลือแร่ เนื่อง-จากมีองค์ประกอบดังกล่าวอยู่ในปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสม สาหร่าย-ทะเลนอกจากจะมีปริมาณไขมันต่ำแล้ว คาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบยัง-เป็นชนิดที่ย่อยได้ยาก ทำให้สาหร่ายทะเลเป็นแหล่งอาหารพลังงานต่ำ อย่างไรก็ตามน้ำตาลหลายโมเลกุลหรือวุ้น (agarose และ agaropectin) ที่มี-อยู่ในสาหร่ายเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นตัวระบาย (laxative) อย่างอ่อนๆ

Porphyra หรือ "จีฉ่าย" เป็นสาหร่าย-ทะเลที่มีโปรตีนอยู่สูงถึงร้อยละ 40 ของน้ำหนัก-แห้ง ส่วนสาหร่ายทะเลชนิดอื่นๆ จะมีโปรตีนอยู่-ในปริมาณร้อยละ 7–15 กรดอะมิโนที่มีอยู่ใน-สาหร่ายทะเล ได้แก่ กลูตามิก อะลานีน ไกลซีน แอสปาร์ติก โพรลีน และทรีโอนีน เกลือแร่ที่มีอยู่-ในสาหร่ายทะเล ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม ไอโอดีน นิกเกิล โมลิบดีนัม สังกะสี เหล็ก และทองแดง ส่วนวิตามินที่มี ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และกรดนิโคตินิก

Porphyra

สาหร่ายทะเลซึ่งเป็นที่นิยมรับประทาน-มากที่สุดคือ *Porphyra* รองลงไปได้แก่ *Laminaria*

Laminaria



Chondrus

Enteromorpha

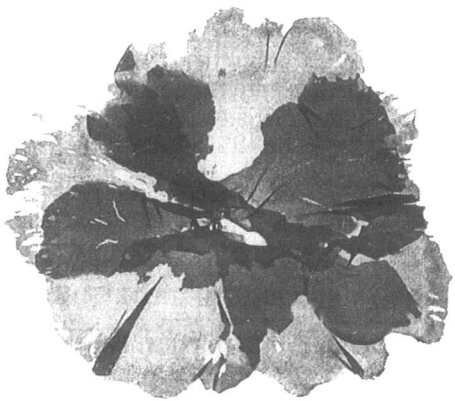
Gelidiella

และ *Undaria* ในแต่ละปีมีการบริโภคสาหร่ายดังกล่าวมากถึงประเภทละกว่า 30,000 ตัน โดยมีการเพาะเลี้ยงมากในประเทศญี่ปุ่น จีน และเกาหลี ในประเทศแคนาดาและสหราชอาณาจักร นิยมบริโภค *Palmaria palmata* (dulse) และ *Chondrus crispus* (Irish moss) โดยตรง โดยจัดเป็นแหล่งของอาหารที่มีโปรตีนและวิตามินอยู่สูง ในประเทศฟิลิปปินส์นิยมบริโภค *Enteromorpha* sp., *Caulerpa racemosa, Gelidiella acerosa Larencia* sp. และ *Gracilaria* sp. ในลักษณะสลัดสด บริโภค *Ulva lactuca* และ *Gelidiella acerosa* ในลักษณะปรุงร่วมกับผักต่างๆ บริโภค *Porphyra crispata* โดยใส่ในซุป และมีอาหารหวานที่ปรุงโดยสาหร่าย *Gracilaria* sp. ผสมกับน้ำตาลและกะทิ สำหรับในประเทศไทยนิยมนำสาหร่ายสายใบหรือจีฉ่าย (*Porphyra*) มาปรุงเป็นแกงจืด นำสาหร่ายเขากวางหรือผมนาง (*Gracilaria*) และสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa*) มารับประทานโดยการลวกจิ้มน้ำพริก หรือยำ

ในปัจจุบันหน่วยงานวิจัยหลายแห่งในประเทศไทยกำลังพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยง *Porphyra* และ *Gracilaria* เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตวุ้น

สายใบ

ดร. อาภารัตน์ มหาขันธ์



สายใบหรือจีฉ่าย (laver) จัดอยู่ในกลุ่มสาหร่ายสีแดง (Rhodophyta) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Porphyra* sp. มีลักษณะเป็นแผ่นแบนบางเป็นเมือกลื่น บริเวณขอบมีรอยจีบย่น ส่วนโคนมีลักษณะคล้ายรากขนาดเล็กใช้สำหรับยึดเกาะกับหินหรือพื้นผิวอาศัย สายใบจัดเป็นสาหร่ายทะเลที่มีราคาสูง สามารถนำมาปรุงอาหารได้หลายชนิด โดยคุณค่าทางอาหารประกอบด้วยโปรตีนประมาณร้อยละ 35–40 กรดอะมิโนมีอยู่ 19 ชนิด โดยจะมีกรดอะมิโนที่จำเป็น คือ ไอโซลูซีน ลูซีน ไลซีน เมทไธโอนีน เฟนิลอลานีน ทรีโอนีน ทริพโตเฟน และแวลีน อยู่อย่างครบถ้วน สำหรับวิตามินที่มีในสายใบ ได้แก่ วิตามินเอ บี1 บี2 บี6 บี12 ซี ไนอาซีน และกรดโฟลิก ชาวญี่ปุ่นและชาวจีนนิยมนำสายใบมาบริโภคอย่างแพร่หลาย สายใบนับเป็นผลิตภัณฑ์อาหารทะเลที่มีมูลค่าสูงสุดของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งในแต่ละปีจะมีการเก็บเกี่ยวสายใบเป็นมูลค่ามากกว่า 450 ล้านเหรียญสหรัฐ จากพื้นที่การผลิตกว่า 60,000 เฮกเตอร์ (375,000 ไร่)

การเพาะเลี้ยงสายใบบริเวณชายฝั่งนิยมใช้วิธีตัดสายใบออกเป็นชิ้นเล็กหรือใช้สปอร์ผูกกับเชือกบนตาข่ายไม้ไผ่ที่ตรึงอยู่ในระดับความลึกต่างๆ ของทะเล ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาการเพาะเลี้ยงสายใบในทะเลเปิด

(ocean farm) โดยนำท่อพลาสติกมาต่อเข้าเป็นโครงลึกประมาณ 20 เมตร-จากผิวน้ำทะเล ท่อเหล่านี้จะถูกใช้เป็นพื้นผิวเพื่อการยึดเกาะของสาหร่าย ปัญหาการขาดแคลนสารอาหารไนเตรตและฟอสเฟต ซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสามารถแก้ไขได้โดยการติดปั๊มดึงน้ำทะเลออกจาก-บริเวณท้องทะเล ซึ่งจะมีธาตุอาหารเข้มข้นกว่าขึ้นมาสู่บริเวณผิวหน้าน้ำที่ทำการเพาะเลี้ยง

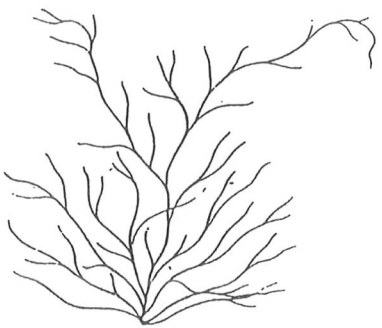
สายใบที่เจริญเติบโตเต็มที่จะถูกเก็บเกี่ยว ทำให้แห้ง และอัดเป็น-แผ่นก่อนออกจำหน่ายในท้องตลาดเนื่องจากสายใบมีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว-และสารป้องกันการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (antioxygenic factor) เป็นองค์ประกอบ จึงทำให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่มีกลิ่นหืน นอกจาก-นี้สายใบบางชนิด เช่น *Porphyra linearis* ยังมีกลิ่นหอมชวนรับประทานเป็น-พิเศษ เนื่องจากมีสารไอโซฟลอริโดไซด์ (isofloridoside) กรดอิโนซินิก (inosinic acid) และกรดอะมิโนที่สร้างกลิ่นและรส (flavor–inducing amino acid) หลายชนิด คือ ทอรีน (taurine) แอสปาราจีน (asparagine) กรด-กลูตามิก (glutamic acid) และอลานีน (alanine) เป็นองค์ประกอบ ดังนั้น-นอกจากจะใช้บริโภคโดยตรงแล้วยังใช้เป็นตัวปรุงแต่งกลิ่นและรสในอาหาร-ชนิดอื่นอีกด้วย

ในประเทศญี่ปุ่น จีน และเกาหลี พบว่ามีสายใบอยู่ 2 ชนิดใหญ่ คือ *Porphyra tenera* และ *P. yezoensis* สำหรับประเทศไทยพบว่ามีสายใบอยู่ 2 ชนิด คือ *P. crispata* และ *P. vietnamensis*

สาหร่ายเขากวาง

ดร. อาภารัตน์ มหาขันธ์

สาหร่ายเขากวางหรือสาหร่ายผมนาง จัดอยู่ในกลุ่มของสาหร่ายสีแดง (Rhodophyta) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Gracilaria* sp. มีลักษณะเป็นเส้นสายกลมหรือแบนอวบน้ำ มีการแตกแขนงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิด ชนิดที่แตกแขนงแผ่สั้นมีลักษณะคล้ายเขากวาง ส่วนชนิดที่แตกแขนงเป็นเส้นสายยาวมีลักษณะคล้ายเส้นผม สาหร่ายสกุลนี้มีมากกว่า 150 ชนิด พบมากในเขตร้อนและเขตอบอุ่น รวมทั้งชายฝั่งทะเลของประเทศไทย ซึ่งพบว่ามีอยู่มากถึง 13 ชนิด ได้แก่ *Gracilaria bangmeiana, G. changii, G. edulis, G. eucheumodies, G. firma, G. fisheri, G. irregulais, G. lemaneiformis, G. minata, G. percurrens, G. salicornia, G. tenuistipitata* var. *tenuistipitata, G. tenuistipitata* var. *liui* และ *G. textorii*



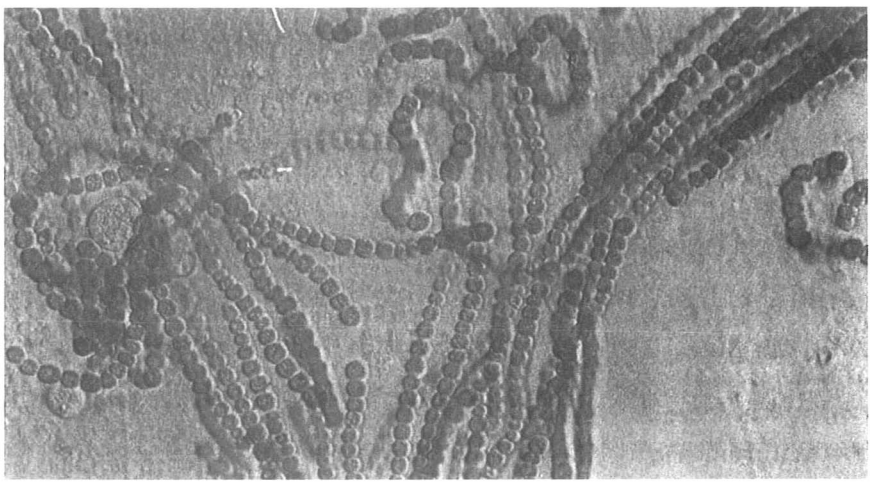
Gracilaria

ประเทศที่บริโภคสาหร่ายเขากวางเป็นอาหาร ได้แก่ ญี่ปุ่น จีน เกาหลี สหรัฐอเมริกา (ฮาวาย) ฟิลิปปินส์ ไทย หมู่เกาะฟิจิ และหมู่เกาะตาฮิติ โดยจะมีการบริโภคในหลายรูปแบบแตกต่างกันไปแล้วท้องถิ่น เช่น นำมาผัด ทำเป็นสลัด หรือบริโภคโดยการปรุงรสด้วยน้ำส้มสายชู หรือเกลือ ฯลฯ นอกจากการนำมาบริโภคโดยตรงแล้ว สาหร่ายเขากวางยังใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตวุ้นอีกด้วย

ในปัจจุบันสาหร่ายเขากวางในหลายประเทศกำลังจะหมดไปเนื่องมาจากการถูกเก็บเกี่ยวไปใช้ประโยชน์อย่างมาก ตัวอย่างเช่น การนิยมบริโภคสาหร่ายเขากวางเป็นอย่างมากของชนพื้นเมืองในหมู่เกาะฮาวาย ทำให้สาหร่ายที่ขึ้นตามธรรมชาติในแถบนั้นกำลังจะหมดไป แม้ปัญหาดังกล่าวจะได้รับการแก้ไขโดยการผลิตสาหร่ายเขากวางในอ่างเพาะเลี้ยงแบบลู่ (receway pond) ก็ยังไม่เพียงพอต่อการแก้ปัญหาได้ ในชายทะเลของประเทศจีนและญี่ปุ่น สาหร่ายเขากวางและสาหร่ายผลิตวุ้นชนิดอื่น ก็ถูกเก็บเกี่ยวไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตวุ้นเป็นอย่างมากเช่นกัน สำหรับในประเทศชิลี สาหร่ายเขากวางกำลังตกอยู่ในสภาวะที่ใกล้จะสูญพันธุ์ ขณะนี้เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเขากวางเพื่อใช้บริโภคเป็นอาหารโดยตรง และเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตวุ้น กำลังได้รับการพัฒนาในหลายประเทศทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทยด้วย

การผลิตสารสีธรรมชาติจากสาหร่าย-เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

ดร. สุริยา สาสนรักกิจ



ปัจจุบัน ประเทศไทยมีการนำเข้าสีผสมอาหารจากต่างประเทศ เพื่อ-ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มเป็นจำนวนมาก สารสีเหล่านี้ส่วน-ใหญ่เป็นสีสังเคราะห์ ซึ่งกระทรวงสาธารณสุขอนุญาตให้ใช้ผสมอาหารได้ใน-ปริมาณจำกัด สีผสมอาหารส่วนใหญ่ไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ แต่จะใช้เพื่อ-แต่งสีอาหารให้ดูสวยงามและน่ารับประทาน

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) ได้ดำเนินการวิจัยและพัฒนาผลิตสารสีธรรมชาติจากสาหร่าย โดยเริ่มศึกษา-สารสีฟ้า เรียกว่า "ไฟโคไซยานิน" และสารสีเหลืองที่เรียกว่า แคโรทีนอยด์ จากสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว เม็ดสี (pigments) เหล่านี้พบเฉพาะใน-สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงแล้วถ่ายทอดพลังงานไปยัง-

เม็ดสีคลอโรฟีลล์ เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตสังเคราะห์แสง ไฟโคไซยานิน เป็นสารประกอบโปรตีนที่มีโครงสร้างเป็นแบบเตตราไพโรล์ ประกอบด้วย-กรดอะมิโนหลายชนิด จากการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ วท. ได้ทำการ-คัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่มีการเจริญเติบโตรวดเร็ว และมีการสร้างสารสีธรรมชาติในปริมาณที่สูง จากสาหร่ายจำนวน 95 สายพันธุ์ จากคลังเก็บเชื้อของ วท. ทำการเพาะเลี้ยงในหลอดเพาะเลี้ยงขนาด 300 มิลลิลิตร โดยใช้สูตรอาหาร BG–11 ที่ไม่ใส่ $NaNO_3$ พบว่าสาหร่าย-สายพันธุ์ *A. siamensis* มีการเจริญเติบโตรวดเร็วกว่าสายพันธุ์อื่น สามารถ-ผลิตสารสีไฟโคไซยานินได้ 79.9 มิลลิกรัม/ลิตร และสารสีแคโรทีนอยด์ 3.86 มิลลิกรัม/ลิตร

การสกัดสารสีไฟโคไซยานินที่เหมาะสมโดยวิธีการทางเคมีคือ การใช้ $CaCl_2$ 0.1 โมลาร์ หรือ NaCl 0.2 โมลาร์ ในสัดส่วนเซลล์สดต่อ-ปริมาณสารสกัด 0.75 : 1 ที่ระยะเวลาสกัด 2–4 ชั่วโมง ได้ปริมาณสาร-ไฟโคไซยานินสูงสุด 0.326 ไมโครกรัม/ลิตร ส่วนสารแคโรทีนอยด์ สามารถสกัดได้โดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 99.8% ปริมาณ 200 มิลลิลิตร/กรัมเซลล์ และพบว่าสารที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ บีตาแคโรทีน 3.79 มิลลิกรัม/กรัมเซลล์ การทดสอบความเป็นพิษของ-สาหร่ายกับหนูถีบจักร พบว่าไม่เป็นอันตรายต่อหนูโดยไม่พบอาการผิดปกติ-ตลอดระยะเวลาการทดสอบ และไม่พบอาการผิดปกติทางอวัยวะภายใน ของสัตว์

สารไฟโคไซยานินที่ได้ ทำให้บริสุทธิ์โดยการตกตะกอนลำดับส่วน-กับแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 99.8% ซึ่งสารสีที่ได้มีความเสถียรที่ค่าความ-เป็นกรดด่าง 5–8 และทนความร้อนไม่เกิน 60 ° ซ. การเติมกรดซิตริก ที่ความเข้มข้น 0.02% หรือน้ำตาลเข้มข้น ทำให้สารสีมีคุณสมบัติทนต่อ-ความร้อนที่ 60 ° ซ. ได้ดีขึ้น ส่วนสารแคโรทีนอยด์พบว่าการใช้น้ำมันพืช-และสาร BHT 0.2% ทำให้สารมีความเสถียร

สารสีธรรมชาติจากสาหร่ายสามารถนำมาเป็นสีผสมในน้ำหวานเข้มข้น โดยปรุงแต่งกลิ่นบลูโซดา บรรจุขวดขนาด 750 มิลลิลิตร มีต้นทุนการผลิตที่ 36.76 บาท/ขวด ราคาขายที่เหมาะสมคือ 39 บาท/ขวด มีอัตราการตอบแทนประมาณร้อยละ 16 และระยะคืนทุน 2.7 ปี นอกจากนี้ยังใช้เป็นสีผสมขนมไทยได้อีกหลายชนิดที่ใช้อุณหภูมิความร้อนไม่สูงมากนัก

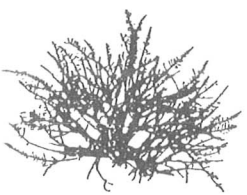
วุ้น

ดร. อาภารัตน์ มหาขันธ์

วุ้น (agar–agar) เป็นสารประกอบของน้ำตาลหลายโมเลกุล (polysaccharide) 2 กลุ่ม คือ เอกาโรส (agarose) และเอกาโรเพกติน (agaropectin) ซึ่งสกัดได้จากสาหร่ายทะเลให้วุ้น (agarophytes) เป็นสาหร่ายสีแดงในดิวิชั่นโรโดไฟต้า (Division Rhodophyta) สาหร่ายสกุลที่นิยมใช้เป็นหลักในการสกัดวุ้นในเชิงอุตสาหกรรม ได้แก่ *Gelidium. Gracilaria* และ *Pterocladia* โดยใช้สกุล *Ceramium, Campylaephora* และ *Ahnfeltia* เป็นตัวเสริมนอกจากสาหร่ายในสกุลดังกล่าวแล้ว ยังมีอีกหลายสกุลที่มีความสำคัญในเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากมีการกระจายอยู่ตามชายฝั่งทะเลของประเทศต่างๆ ในเขตศูนย์สูตร และเขตอบอุ่น ซึ่งได้แก่ สาหร่ายในสกุล *Gelidiella, Acanthopeltis, Chondrus, Hypnea, Gracilariopsis, Gigartina, Suluria, Phyllophora, Furcellaria* และ *Eucheuma*

สาหร่ายให้วุ้นเหล่านี้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามความสามารถในการแข็งตัวของวุ้น (setting power) คือ

Eucheuma



Gelidiella

Chondrus

Hypnea

1. เจลิเดียม (Gelidium type)

เป็นสาหร่ายชนิดที่ให้วุ้น ซึ่งสามารถแข็งตัวได้ดี แม้จะใช้วุ้นในปริมาณต่ำ

2. กราซิลลาเรีย ฮิบเนีย (Glacilaria, Hypnea type)

เป็นสาหร่ายที่ให้วุ้น ซึ่งจะแข็งตัวได้เมื่อใช้ในปริมาณค่อนข้างสูงหรือต้องเติมสารอิเล็กทรอไลต์

3. คอนดรัส (Chondrus type)

เป็นสาหร่ายที่ให้วุ้นซึ่งจะแข็งตัวได้ เมื่อใช้ในปริมาณความเข้มข้นสูงเท่านั้น

สาหร่ายให้วุ้น ที่มาจากแหล่งต่างกันจะให้วุ้นในปริมาณและคุณภาพที่ต่างกันไป สำหรับมาตรฐานของสาหร่ายให้วุ้น จะกำหนดจากองค์ประกอบต่างๆ ของสาหร่าย ได้แก่ สี ความแห้ง ความแข็งของวุ้น และปริมาณวุ้นที่ได้ รวมทั้งความบริสุทธิ์ของสาหร่ายและปริมาณสิ่งเจือปนอื่นๆ คุณภาพของวุ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดและแหล่งที่มาของสาหร่าย สภาพแวดล้อมของทะเล รวมทั้งกรรมวิธีการสกัด อันได้แก่ การกำจัดสิ่งเจือปนก่อนสกัด อุณหภูมิ ความดัน ความเป็นกรด ด่าง และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด

ประโยชน์ของวุ้น นอกจากจะใช้เป็นอาหารแล้ว การที่วุ้นมีคุณสมบัติพิเศษคือ สามารถแข็งตัวได้ เมื่อใช้ในระดับความเข้มข้นเพียงร้อยละ 0.5 ทำให้มีการนำวุ้นไปใช้ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมอาหาร โดยเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์นม ขนมปัง และอาหารกระป๋อง เพื่อให้อาหารมีความเหนียวข้นน่ารับประทานและในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น เครื่องสำอาง เครื่องหนัง และสิ่งทอ นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ และวิทยาศาสตร์โดยใช้ในการเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ใช้เป็นส่วนประกอบของยาระบายใช้เป็นทันตวัสดุ และใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช เป็นต้น

เพชรในครัว

สามารถ จิตนาวสาร

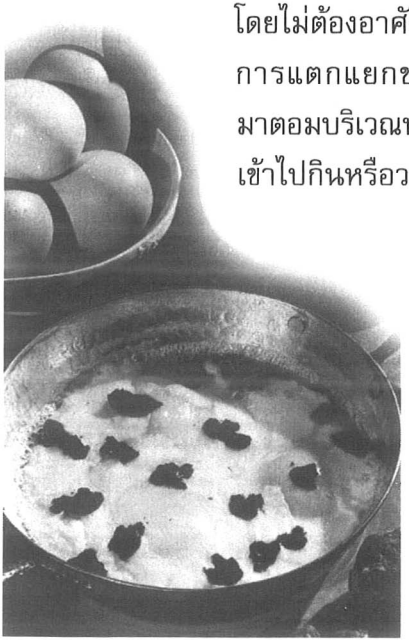
เมื่อพูดถึงเห็ดทุกคนรู้จักกันดี และเป็นที่นิยมรับประทานกันมาก ไม่ว่าจะอยู่ในเขตเมืองหรือในชนบทสามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิด นอกจากนี้ยังให้สารอาหารและแร่ธาตุที่มีคุณค่าแก่ผู้บริโภคอีกด้วย แต่เราอาจจะไม่ทราบว่าในโลกนี้ยังมีเห็ดที่มีราคาแพงที่สุดในโลกคือ ราคากิโลกรัมละ 8,000–10,000 บาท ถ้าปรุงให้ถูกวิธีแล้วจะมีรสชาติอร่อยที่สุด เห็ดที่กล่าวถึงนี้ก็คือ "Truffle" เป็นเห็ดที่พบขึ้นในป่าโอ๊ค (Oak) ของประเทศฝรั่งเศสและประเทศอิตาลี ซึ่งถือกันว่าเป็น "เพชรในครัว" (diamond in the kitchen)

Truffle เป็นเห็ดรากลุ่มเล็กๆ ที่จัดอยู่ใน Class Ascomycetes ซึ่งจะออกดอกอยู่ใต้พื้นดิน ทำให้เป็นปัญหาต่อนักล่าเห็ดชนิดนี้เป็นอย่างมาก เพราะต้องฝึกหมูและสุนัขไว้สำหรับล่าเห็ดชนิดนี้ เห็ด Truffle นั้นมีความสัมพันธ์กับระบบรากของต้นโอ๊ค เพราะเห็ดจะเกิดรากซึ่งอยู่ใต้ผิวดินลึกประมาณ 10–20 เซนติเมตร Truffle มีหลายชนิด แต่มี 2 ชนิดที่เป็นที่นิยมแพร่หลายคือ Truffle ขาว (*Tuber melanosporum*) และ Truffle ดำ (*T. magnatum*) Truffle สีดำ–

จะมีราคาแพงกว่าสีขาว ซึ่งพบมากในประเทศฝรั่งเศส ส่วนสีขาวพบในประเทศอิตาลี

เนื่องจาก Truffle เป็นเห็ดที่มีวงจรชีวิตอยู่ใต้ผิวดิน ฉะนั้นการเก็บเห็ดชนิดนี้ จึงจำเป็นต้องอาศัยสัตว์ เช่น สุนัขและหมู ซึ่งเป็นวิธีการที่ทำกันมาตั้งแต่สมัยบรรพบุรุษแล้ว โดยการนำสัตว์มาฝึกให้รู้จักดมกลิ่นในฤดูกาลเห็ดออกดอก ผู้เก็บเห็ดจะพาสัตว์เหล่านี้ออกล่าเห็ดไปตามพื้นดิน เมื่อสัตว์ได้กลิ่นเห็ดก็จะหยุดและขุดคุ้ย โดยเฉพาะหมูนั้นชอบรสชาติของ Truffle มาก ฉะนั้นเวลาพบเจ้าของจะต้องคอยเฝ้าระวัง มิฉะนั้นหมูจะกินเห็ดหมด แต่หมูจะรับกลิ่นเห็ดได้ดีกว่าสุนัข แต่ถ้าสุนัขได้รับการฝึกที่ดีก็สามารถดมกลิ่นได้ไกล 30–50 เมตร เหมือนสัตว์ชนิดอื่นๆ เช่น แพะ หมี และกระรอกก็สามารถหาเห็ดชนิดนี้ได้เหมือนกัน

มนุษย์ก็มีความสามารถที่จะหาเห็ดชนิดนี้ได้โดยไม่ต้องอาศัยสัตว์ ถ้ามีความสังเกตโดยดูจากสีและการแตกแยกของผิวดิน ซึ่งจะมีแมลงตามกลิ่นเห็ดมาตอมบริเวณนั้นและเข้าไปตามรอยแตกแยกของผิวดิน เข้าไปกินหรือวางไข่บนเห็ด Truffle



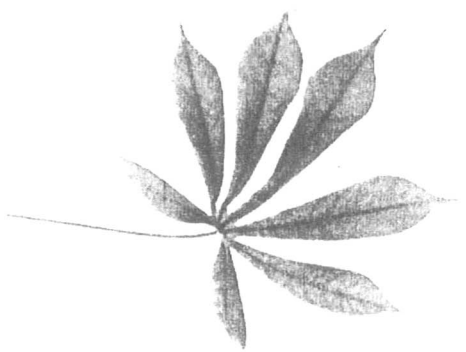
ใน ค.ศ. 1810 ชาวฝรั่งเศสชื่อ JOSEPH TALON ได้ทำการเพาะเมล็ดโอ๊ค แล้วนำต้นกล้าไปปลูกเป็นสวนป่า เขารู้สึกประหลาดใจมาก เพราะภายใน 2–3 ปีต่อมาก็มีเห็ด Truffle เกิดขึ้นในสวนป่าโอ๊คของเขา เขาจึงได้ศึกษาวิธีการผลิตเห็ดและเป็นจุดเริ่มต้นของการเพาะเห็ด Truffle เป็นธุรกิจเชิงพาณิชย์ตั้งแต่นั้นมา

หมักใบมันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์

ดร. จิราภรณ์ สุขุมาวาสี

ประเทศไทยผลิตมันสำปะหลังมากเป็นลำดับที่สองของโลก ประมาณ 95% ของผลผลิตนี้ ได้ส่งออกในรูปของมันสำปะหลังอัดเม็ด ส่วนใบมันสำปะหลังซึ่งคาดว่ามีปริมาณมากถึง 1.9 ล้านตัน ยังมิได้มีการนำมาใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่า จากผลของการวิเคราะห์ พบว่าใบมันสำปะหลังมีคุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 25 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 40 (โดยน้ำหนักแห้ง) นอกจากนั้นยังมีวิตามินและเกลือแร่อีกหลายชนิด การที่เกษตรกรไม่นิยมใช้ประโยชน์ มีสาเหตุเนื่องจากในใบสำปะหลังมีสารพิษไซยาไนด์อยู่ในรูปของไซยาโนเจนิกกลูโคไซด์ (cyanogenic glucoside) หากสัตว์กินใบมันที่มีไซยาไนด์ปริมาณสูงเข้าไปจะทำให้เกิดอาการเป็นพิษอย่างเฉียบพลันถึงตายทันที หรือถึงแม้ว่าปริมาณไซยาไนด์ต่ำจะทำให้เกิดอาการพิษอย่างเรื้อรัง เช่น โรคคอบิดในไก่ หรือโรคคอพอกในหมู

ในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยสูญเสียโปรตีนในรูปของใบมันสำปะหลังประมาณปีละ 1 แสนตัน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) จึงวิจัยหาวิธีทำลายสารพิษไซยาไนด์ เพื่อจะได้นำใบมันสำปะหลังมาใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนสำหรับสัตว์ โดยมีจุดมุ่งหมายให้เป็นกรรมวิธีที่ง่ายและสะดวก เกษตรกรสามารถทำได้เองในระดับท้องถิ่น



การหมักใบมันสำปะหลังเพื่อทำลายสารพิษไซยาไนด์กระทำได้ 2 วิธี คือ

1. หมักโดยใช้แบคทีเรียตามธรรมชาติ

โดยการนำใบมันสำปะหลังมาทำให้ช้ำ อัดให้แน่นในหลุม 3 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์ธรรมชาติที่ใช้อากาศน้อย (facultative bacteria) เจริญเติบโต การหมักแบบธรรมชาตินี้สามารถลดไซยาไนด์ได้ประมาณ 30% และเมื่อผึ่งแดดต่ออีก 2 วัน (วันละประมาณ 7 ชั่วโมง) จะทำให้ไซยาไนด์ลดไปได้ประมาณ 94% โดยที่ปริมาณของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตยังคงเดิม คือมีเท่าใบมันสด

2. หมักโดยใช้ราบริสุทธิ์ (mold inoculum)

ใช้เวลา 7 วัน วท. ได้คัดเลือกสายพันธุ์ราที่สามารถเจริญเติบโตโดยใช้ใบมันได้ และเป็นราชนิดที่ใช้กันอยู่ในอุตสาหกรรมผลิตอาหารซึ่งจะไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ การหมักโดยใช้ราบริสุทธิ์นี้สามารถลดไซยาไนด์ได้ประมาณ 94% เช่นกัน โดยปริมาณโปรตีนของใบมันหมักเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่คาร์โบไฮเดรตจะลดลงกว่าใบมันสด ใบมันที่หมักได้ที่แล้วอาจนำไปผสมอาหารเลี้ยงสัตว์โดยตรงหรือจะเก็บไว้ใช้ภายหลังจากที่ทำให้แห้งโดยการผึ่งแดด

ใบมันหมักตากแห้งที่ได้จากกรรมวิธีทั้ง 2 นี้ เมื่อนำไปเลี้ยงสุกรในระยะเจริญเติบโต ปรากฏว่าได้ผลดี โดยใช้ใบมันแทนที่โปรตีนจากพืช (เช่น แทนที่ข้าวโพด หรือถั่วเหลือง) ในสูตรอาหารได้สูงถึง 80% และสุกรเจริญเติบโตได้ดีโดยไม่มีอาการเป็นพิษเนื่องจากไซยาไนด์เลย เมื่อคำนวณราคาโปรตีนที่ใช้ในอาหารจะลดต้นทุนอาหารได้จากเดิมประมาณ 2 บาท ต่อราคาโปรตีนที่ใช้ในการเพิ่มน้ำหนักสุกร 1 กิโลกรัม

ดัชนีเรื่อง

เรื่อง	หน้า
กรดมะนาว	45
กุ้งฝอย	65
กากน้ำตาล	47
การตรึงไนโตรเจน	17
การใช้เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อเพิ่มคุณภาพปุ๋ยหินฟอสเฟต	6
การผลิตปุ๋ยชีวภาพ	14, 19, 23
จากสาหร่ายในประเทศไทย	23
จากสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	19
แคโรทีน (carotene)	60
ไคติน (chitin)	62
จีฉ่าย ดูที่ สายใบ	
จุลินทรีย์	
เกลือกับจุลินทรีย์	67
คุณสมบัติของจุลินทรีย์ที่นำมาผลิตปุ๋ยชีวภาพ ดูที่ ปุ๋ยชีวภาพ	
ในน้ำตาลสด	85
เทคโนโลยีชีวภาพ	
กับการเกษตร	1
กับการอาหาร	43
น้ำส้มสายชู	51
แบคทีเรียควบคุมแมลงศัตรูพืช (Bt, *Bacillus thuringiensis*)	31
ปุ๋ยชีวภาพ	9, 11, 19, 23
การผลิต ดูที่ การผลิตปุ๋ยชีวภาพ	
คุณสมบัติของจุลินทรีย์ที่นำมาผลิต	12
ปุ๋ยไนโตรเรีย	14

เรื่อง	หน้า
ปุ๋ยไบโอฟอสก้า	9, 15
ปุ๋ยอัลจินัว	12
เสริมคุณภาพเพิ่มผลผลิตด้วย	11
พืชจำลองพันธุ์ (transgenic plant)	35
เพชรในครัว ดูที่ เห็ด truffle	
แร่อะพาไทต์ (apatite)	3
แมลงศัตรูพืช	31, 35, 39, 41
เชื้อโรคของแมลงมีประโยชน์ในการกำจัด	39
เซลล์ของแมลงช่วยกำจัด	41
แบคทีเรียควบคุมแมลงศัตรูพืช (Bt, *Bacillus thuringiensis*)	31
วุ้น	96
ไวรัส NPV (nuclear polyhedrosis virus)	39, 41
สายใบ	89
สารชีวภาพจากยีสต์	56, 58
การสกัด	58
สาหร่าย	
การผลิตปุ๋ยชีวภาพจากสาหร่าย ดูที่ การผลิตปุ๋ยชีวภาพ	
การผลิตสารสีธรรมชาติจากสาหร่ายเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร	93
สาหร่ายเขากวาง	91
สาหร่ายผมนาง ดูที่ สาหร่ายเขากวาง	
สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว	19, 26
สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวในดินเค็ม	26
อาหารธรรมชาติจากสาหร่าย	87

เรื่อง	หน้า
หินฟอสเฟต	3
เห็ด truffle	98
อาหารสัตว์จากใบมันสำปะหลัง	100
อาหารหมักพื้นเมือง	70, 73, 77, 79, 81
กุ้งจ่อม	73
ข้าวหมาก	81
บูดู	77
มิโซ	83
หอยแมลงภู่ดอง	79
แอล-ไลซีน (L-lysine)	54
ไฮเทสต์โมลาส (high test molasses) จากอ้อย	49

ดัชนีผู้แต่ง

จิราภรณ์ พลชัย	29, 31, 35, 39, 41
จิราภรณ์ สุขุมาวาสี	62, 100
ธีรภัทร ศรีนรคุตร	49, 54, 56, 58
ประเสริฐ อะมริต	3, 11, 26
พงศ์เทพ อันตะริกานนท์	6, 9, 11
สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์	47, 51
สามารถ จิตนาวสาร	98
สุภาพ อัจฉริยศรีพงศ์	45, 65, 67, 70, 73, 77, 79, 81, 83, 85
สุริยา สาสนรักกิจ	93
อาภารัตน์ มหาขันธ์	17, 19, 23, 60, 87, 89, 91, 96

หนังสือวิทยาศาสตร์สำหรับเยาวชน

ติดตามอ่านเรื่องน่ารู้ สาระความบันเทิงด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ใน **หนังสือวิทยาศาสตร์สำหรับเยาวชน**

เล่ม 1	สัตว์น่ารู้ : นก (1)
เล่ม 2	สัตว์น่ารู้ : นก (2)
เล่ม 3	สัตว์น่ารู้ : สัตว์น้ำ
เล่ม 4	สัตว์น่ารู้ : สัตว์ป่า
เล่ม 5	สัตว์น่ารู้ : สัตว์โลก
เล่ม 6	อาหารและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ (1)
เล่ม 7	อาหารและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ (2)
เล่ม 8	เกราะป้องกันชีวิต (1)
เล่ม 9	เกราะป้องกันชีวิต (2)
เล่ม 10	เทคโนโลยีชีวภาพใกล้ตัว (1)
เล่ม 11	เทคโนโลยีชีวภาพใกล้ตัว (2)
เล่ม 12	เกษตรน่ารู้ (1)
เล่ม 13	เกษตรน่ารู้ (2)
เล่ม 14	รอบรู้เรื่องบรรจุภัณฑ์ (1)
เล่ม 15	รอบรู้เรื่องบรรจุภัณฑ์ (2)
เล่ม 16	ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม (1)
เล่ม 17	ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม (2)
เล่ม 18	นานาสาระ (1)
เล่ม 19	นานาสาระ (2)
เล่ม 20	นานาสาระ (3)

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.)
THAILAND INSTITUTE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH (TISTR)

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) เป็นรัฐวิสาหกิจประเภทที่จัดตั้งขึ้นเพื่อดำเนินการตามนโยบายพิเศษของรัฐ ในสังกัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (วว.) เดิมมีชื่อว่า สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย (สวป.) ซึ่งตั้งขึ้นตามพระราชบัญญัติสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย พ.ศ.2506 และได้เปลี่ยนมาใช้พระราชบัญญัติสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยพ.ศ. 2522 สืบเนื่องจากการจัดตั้งกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่วันที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2522 จนถึงปัจจุบัน

5/6-053.
7:57.08
สถบ
ฉ.1

ศูนย์บริการเอกสารการวิจัยฯ
BT10233
วิทยาศาสตร์สำหรับเยาวชน : เล่ม

974-7360-89-6
9 789747 360899
ราคา 65 บาท