



ราชบัณฑิตยสภา

จุลสารสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา

Bulletin of the Academy of Science
The Royal Society of Thailand

ปีที่ ๕ ฉบับที่ ๒
(เมษายน-มิถุนายน ๒๕๖๙)

ISSN 2774-1338 (Online)



ราชบัณฑิตยสภา

จุลสารสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา

Bulletin of the Academy of Science
The Royal Society of Thailand

ปีที่ ๕ ฉบับที่ ๒
(เมษายน-มิถุนายน ๒๕๖๙)

ISSN 2774-1338 (Online)

ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ สุระกำพลธร
ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.มงคล เดชนครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.สวัสดี ตันตระรัตน์
ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.สุดา เกียรติกำจรวงศ์
ศาสตราจารย์ นพ.ยง ภู่วรรณ
ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.สายชล เกตุษา

ศาสตราจารย์ ดร. ภก.ชยันต์ พิเชียรสุนทร
ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.สาวิตรี ลิ้มทอง

นางสาวกุลศิรินทร์ นาคไพจิตร

ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิศวกรรมศาสตร์
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิศวกรรมศาสตร์
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิศวกรรมศาสตร์
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาเทคโนโลยี
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาแพทยศาสตร์
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
การเกษตรและสัตวแพทยศาสตร์
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ
ประธานสำนักวิทยาศาสตร์
ผู้อำนวยการกองวิทยาศาสตร์

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ

ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิศวกรรมศาสตร์

บรรณาธิการประจำฉบับ

ศาสตราจารย์ ดร. ทพญ.วรานันท์ บัวจิบ
ศาสตราจารย์ นพ.ก้องเกียรติ ภูณท์กัณทราก

ราชบัณฑิต ประเภทวิชาแพทยศาสตร์
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาแพทยศาสตร์

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ชิดชนก เหลือสินทรัพย์
ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร. ภก.สมพล ประคองพันธ์
ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์

ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
การเกษตร และสัตวแพทยศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.สั๊กมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา
ศาสตราจารย์ ดร. นพ.นรัตถพล เจริญพันธุ์
ศาสตราจารย์ ดร. ภก.พรศักดิ์ ศรีอมรศักดิ์
ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา
ดร.วียงค์ กังวานสุขมงคล
ศาสตราจารย์ ดร.มะลิ ทุ่งสม
ศาสตราจารย์ ดร.อลิศรา เรืองแสง
ศาสตราจารย์ ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร

ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิศวกรรมศาสตร์
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาวิศวกรรมศาสตร์
ราชบัณฑิต ประเภทวิชาเทคโนโลยี
ภาคีสมาชิก ประเภทวิชาวิศวกรรมศาสตร์
ภาคีสมาชิก ประเภทวิชาเทคโนโลยี
ภาคีสมาชิก ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
การเกษตร และสัตวแพทยศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.สุภา ทารหนองบัว
นางสาวยลดา ไยประยูร
นางสาวมณฑิรา เกษมสุข

ภาคีสมาชิก ประเภทวิชาวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ
นักวรรณศิลป์ชำนาญการ กองวิทยาศาสตร์
นักวรรณศิลป์ชำนาญการ กองวิทยาศาสตร์

สารบัญ

บรรณาธิการประจำฉบับแถลง	ก
วรานันท์ บัวจิบ และ ก้องเกียรติ ภูณท์กันทรารกร	
การเปลี่ยนแปลงของสมองในผู้สูงอายุ	๑
(Brain Aging Change)	
ก้องเกียรติ ภูณท์กันทรารกร	
การตรวจหาแบคทีเรียทรวงแท่งหรือบาซิลลัสติดสีทนกรด	๖
(acid-fast bacillus) ในวัณโรคทางพยาธิวิทยา	
(Detection of Acid-fast Bacillus in Tuberculosis in Pathology)	
สัญญา สุขพนิชนันท์	
Computer Vision Syndrome: ความผิดปกติของการเห็นในยุคดิจิทัล	๑๒
(Computer Vision Syndrome: Visual Disorders in the Digital Age)	
สบบง ศรีวรรณบุรณ์	
การพัฒนาดินให้มีธาตุอาหารสูงสุด :	
นวัตกรรม “ดินพรีเมียม” เพื่อการเกษตรยั่งยืน	๑๖
(Development of High-Nutrient Soil:	
“Premium Soil” Innovation for Sustainable Agriculture)	
อานัฐ ตันโช	
หอย : อาหารดี ๆ ที่ต้องรับประทานอย่างระมัดระวัง	๒๒
(Shellfish: A Nutritious Food to Be Consumed with Care)	
อุทัยรัตน์ ณ นคร	
ไฮโดรเจลและการประยุกต์ใช้ในงานด้านอาหาร	๒๗
(Hydrogels and Their Applications in Foods)	
ชลิดา เนียมนุ่น, สักกมน เทพหัสติน ณ อยุธยา	

บรรณาธิการประจำฉบับแถลง

จุลสารของสำนักวิทยาศาสตร์ ฉบับนี้มีบทความทั้งหมด ๖ บทความ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสมองในผู้สูงอายุ, การตรวจหาแบคทีเรียทรงแท่งหรือบาซิลลัสติดสีทนกรด (acid-fast bacillus) ในวัณโรคทางพยาธิวิทยา, Computer Vision Syndrome: ความผิดปกติของการเห็นในยุคดิจิทัลเป็นบทความที่เกี่ยวข้องกับประเพณีวิชาแพทยศาสตร์, หอย : อาหารดี ๆ ที่ต้องรับประทานอย่างระมัดระวัง, การพัฒนาดินให้มีธาตุอาหารสูงสุด : นวัตกรรม “ดินพรีเมียม” เพื่อการเกษตรยั่งยืน เป็นบทความที่เกี่ยวข้องกับประเพณีวิชาประเพณีวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร และสัตวแพทยศาสตร์ และไฮโดรเจลและการประยุกต์ใช้ในงานด้านอาหาร เป็นบทความที่เกี่ยวข้องกับประเพณีวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งบทความในฉบับนี้ให้ความรู้ทั้งด้านสุขภาพและการแพทย์ รวมถึงนวัตกรรมทางด้านการเกษตรและอาหารที่น่าสนใจ

บรรณาธิการประจำฉบับนี้ต้องขอขอบพระคุณศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.มงคล เดชนครินทร์ ราชบัณฑิต ที่ได้ช่วยตรวจทานภาษา และศาสตราจารย์ ดร. นพ.นรุตพล เจริญพันธุ์ ราชบัณฑิต ที่ได้ช่วยจัดรูปเล่มฉบับนี้ และผู้เขียนบทความทุกท่าน หวังว่าท่านผู้อ่านคงได้รับความรู้ที่เป็นประโยชน์จากบทความเหล่านี้

ศาสตราจารย์ ดร. ทพญ.วรานันท์ บัวจิบ ราชบัณฑิต
ศาสตราจารย์ นพ.ก้องเกียรติ ภูณัทกันทรากร ราชบัณฑิต
ประเพณีวิชาแพทยศาสตร์
สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา
ทำหน้าที่คณะบรรณาธิการประจำฉบับ

นางสาวมณฑิรา เกษมสุข
เจ้าหน้าที่สำนักงานราชบัณฑิตยสภา
ทำหน้าที่ผู้ประสานงานประจำฉบับ

การเปลี่ยนแปลงของสมองในผู้สูงอายุ

Brain Aging Change

ก้องเกียรติ ภูณท์กันทรารกร^{๑,๒}

^๑ราชบัณฑิต สาขาวิชาอายุรศาสตร์ ประสาทวิทยาแพทยศาสตร์ สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา

^๒คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, kongkiat@tu.ac.th

บทคัดย่อ

การที่ประชากรผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นนั้นเป็นปรากฏการณ์สำคัญที่เกิดขึ้นทั่วโลก ส่งผลให้ประเด็นด้านสุขภาพสมองได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการเสื่อมของสมอง (brain aging) และภาวะสมองเสื่อม (dementia) การเสื่อมของสมองตามอายุเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ แต่สามารถทำให้สมรรถภาพทางสติปัญญาและคุณภาพชีวิตด้อยลง หากกระบวนการดังกล่าวดำเนินไปอย่างรวดเร็วหรือรุนแรง

การเสื่อมของสมองตามวัยนี้ไม่ได้เกิดจากอายุเพียงอย่างเดียว แต่เป็นกระบวนการทางชีวภาพที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีความแปรปรวนสูงในบุคคลแต่ละคน เป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยหลายมิติ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทั้งเชิงโครงสร้างและการทำงานของสมอง อีกทั้งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลายมิติ ด้าน โดยเฉพาะปัจจัยที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ เช่น วิถีชีวิต สุขภาพกาย การมีส่วนร่วมทางสังคม ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการชะลอการเสื่อมของสมองและลดความเสี่ยงของภาวะสมองเสื่อมในวัยสูงอายุ งานวิจัยในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้ช่วยให้เราเข้าใจปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเร่งหรือชะลอการเสื่อมของสมองได้ดียิ่งขึ้น

บทนำ

ในปัจจุบันและอนาคตอันใกล้ อายุขัยเฉลี่ยของประชากรโลกเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยเป็นผลมาจากความก้าวหน้าทางเศรษฐกิจ เทคโนโลยีทางการแพทย์ และระบบสาธารณสุข ส่งผลให้โครงสร้างประชากรของหลายประเทศเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างรวดเร็ว ปรากฏการณ์ดังกล่าวนำไปสู่ความสนใจในประเด็นด้านสุขภาพสมอง โดยเฉพาะภาวะสมองเสื่อมและโรคทางระบบประสาทเสื่อมอย่างอื่น ๆ จำนวนผู้ป่วยกลุ่มนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงของสมองจะเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการชราภาพตามธรรมชาติ แต่หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ชี้ให้เห็นว่า อัตราและรูปแบบของการเสื่อมแตกต่างกันอย่างมากในบุคคลแต่ละคน ความแตกต่างดังกล่าวสะท้อนถึงบทบาทของปัจจัยหลายมิติที่ส่งผลต่อสุขภาพสมองตลอดช่วงชีวิต

กระบวนการสูงวัยของสมองเป็นปรากฏการณ์ทางชีววิทยาที่ซับซ้อน ซึ่งส่งผลต่อทั้ง โครงสร้างสมองและการทำงานของระบบประสาท นำไปสู่ความเสื่อมถอยด้านสมรรถนะการรู้คิด การควบคุมอารมณ์ และรูปแบบพฤติกรรมในผู้สูงอายุ แม้ว่าการเสื่อมของสมองจะถือเป็นกระบวนการทางสรีรวิทยาตามปกติของ

การสูงวัย แต่อัตราและระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงทางประสาทชีวภาพมีความแปรผันระหว่างบุคคลอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสะท้อนอิทธิพลของปัจจัยกำกับหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นพันธุกรรม เมแทบอลิซึม โรคร่วม พฤติกรรมสุขภาพ หรือปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง

การเปลี่ยนแปลงของสมอง

การเปลี่ยนแปลงของสมองสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มสำคัญได้ ๒ กลุ่ม ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงจากการสูงอายุปกติ (normal aging) และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากพยาธิสภาพของโรค (pathological aging) เช่น โรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease) โรคพาร์กินสัน (Parkinson's disease) แม้ว่าการสูงอายุปกติจะไม่ก่อให้เกิดความพิการรุนแรงเหมือนการเป็นโรค แต่จะมีผลสะสมในระยะยาวต่อโครงสร้างและการทำงานของสมอง ซึ่งจะทำให้สมรรถภาพทางสติปัญญาด้อยลงและเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคทางระบบประสาทเสื่อมในอนาคต

การเปลี่ยนแปลงในระดับโครงสร้าง

สมองจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างอย่างค่อยเป็นค่อยไปเมื่ออายุมากขึ้น ลักษณะที่พบได้ชัดเจนคือการฝ่อของสมอง (brain atrophy) โดยเฉพาะในบริเวณสมองส่วนหน้า (prefrontal cortex) ฮิปโปแคมปัส (hippocampus) และสมองกลีบขมับ (temporal lobe) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเรียนรู้ ความจำ การตัดสินใจ และการควบคุมพฤติกรรม

การที่เนื้อสมองลดลงนั้นสัมพันธ์กับการบางลงของเปลือกสมอง (cerebral cortex or gray matter) และการลดลงของใยประสาท (white matter) ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพของการส่งสัญญาณระหว่างบริเวณต่าง ๆ ของสมอง สัมพันธ์กับการชะลอตัวของความเร็วกระบวนการประมวลผลข้อมูลและการตอบสนองทางพฤติกรรม การเสื่อมลงของความจำ และความสามารถด้านการบริหารจัดการ (executive function)

การเปลี่ยนแปลงในระดับจุลภาค

ในระดับจุลภาค เราจะพบว่าจำนวนเซลล์ประสาทอาจไม่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในหลายบริเวณของสมอง แต่การเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาท (synaptic connectivity) กลับลดลงอย่างเด่นชัด โดยเฉพาะการลดลงของเดนไดรติกสไปน์ (dendritic spine) และความหนาแน่นของไซแนปส์ (synapse) ในบริเวณ CA1 ของฮิปโปแคมปัส ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสร้างความจำระยะยาว การลดลงของการเชื่อมต่อนี้ส่งผลทำให้การสื่อสารระหว่างเซลล์ประสาทด้อยประสิทธิภาพลง ส่งผลต่อความสามารถในการเรียนรู้และการจดจำข้อมูลใหม่

การเปลี่ยนแปลงของสารสื่อประสาท

การสูงวัยสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของระบบสารสื่อประสาทหลายชนิด ได้แก่ อะเซทิลโคลีน (acetylcholine) ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อความจำและการเรียนรู้และพบว่าลดลงในสมองสูงอายุ โดพามีนและนอร์เอพิเนฟริน (dopamine and norepinephrine) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการควบคุมอารมณ์ แรงจูงใจ และการเคลื่อนไหว เซโรโทนิน (serotonin) ซึ่งมีบทบาทต่ออารมณ์และพฤติกรรม การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้อาจเป็น

กลไกพื้นฐานที่อธิบายภาวะความจำเสื่อม อารมณ์แปรปรวน และการลดลงของสมรรถภาพทางปัญญาในผู้สูงอายุ

สารในกลุ่มนิวโรสเตอรอยด์ (neurosteroid) เช่น เอสโตรเจน เทสโทสเตอโรน มีบทบาทในการปกป้องเซลล์ประสาทและส่งเสริมการคงอยู่ของไซแนปส์ การที่ฮอร์โมนเหล่านี้ลดลงในวัยสูงอายุนั้นสัมพันธ์กับการลดลงของจำนวนไซแนปส์และเดนไดรติกสไปน์ โดยเฉพาะในฮิปโปแคมปัส นอกจากนี้ นิวโรสเตอรอยด์ยังมีบทบาทในการควบคุมการนำกลูโคสเข้าสู่เซลล์ประสาท ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักของสมอง การรบกวนกระบวนการดังกล่าวอาจนำไปสู่ความผิดปกติของเมแทบอลิซึมในสมอง

การเปลี่ยนแปลงระดับเซลล์และโมเลกุล (Cellular and Molecular Aging)

พันธุกรรมมีบทบาททั้งในแง่การเพิ่มความเสี่ยงและการปกป้องสมองจากการเสื่อม ยีนบางชนิด เช่น APOE E4 มีความสัมพันธ์กับการเสื่อมของสมองและโรคอัลไซเมอร์ อย่างไรก็ตาม พันธุกรรมเพียงอย่างเดียวไม่สามารถอธิบายความแตกต่างทั้งหมดได้ จำเป็นต้องพิจารณาร่วมกับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมและพฤติกรรม

การสูงอายุนั้นสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการแสดงออกของยีนประมาณร้อยละ ๔ ของยีนทั้งหมดในสมอง โดยเฉพาะยีนที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของไซแนปส์ การส่งสัญญาณแคลเซียม และการทำงานของไมโทคอนเดรีย ซึ่งการแสดงออกมักถูกทำให้ลดลง ในขณะเดียวกัน ยีนที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อความเครียด การอักเสบ และการซ่อมแซม DNA กลับแสดงออกมากขึ้น ส่งผลให้สมองสูงอายุนั้นมีความเปราะบางต่อโรคทางระบบประสาทเสื่อมมากขึ้น

ไมโทคอนเดรียในสมองสูงอายุนั้นมีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานลดลง นำกลูโคสไปใช้น้อยลง และสร้างอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น สิ่งเหล่านี้กระตุ้นกระบวนการตายของเซลล์แบบ apoptosis ซึ่งเกี่ยวข้องกับพยาธิสภาพของโรคอัลไซเมอร์และพาร์กินสัน

การควบคุมสมดุลของแคลเซียมในเซลล์ประสาทเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานของสมองในวัยสูงอายุจะมีความผิดปกติของตัวรับ NMDA และช่องแคลเซียมชนิด L-type ส่งผลให้กระบวนการ long-term potentiation (LTP) ซึ่งเป็นกลไกพื้นฐานของการเรียนรู้และความจำระยะยาวลดลง

การป้องกันหรือชะลอความเสื่อมของสมอง

อายุเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สัมพันธ์กับการเสื่อมของสมองอย่างชัดเจน โดยที่ปริมาตรสมองลดลงอย่างเห็นได้ชัดหลังจากผู้ป่วยมีอายุ ๔๐-๕๐ ปี นอกจากนี้ เพศและพันธุกรรมยังมีบทบาทในการกำหนดรูปแบบและอัตราการเสื่อมของสมอง โดยที่ยีนบางชนิดเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงต่อการเสื่อมของสมองและโรคทางระบบประสาทเสื่อม งานวิจัยพบว่า จุดเริ่มต้นของความไม่เสถียรในการทำงานของสมองเริ่มเกิดขึ้นในช่วงวัยกลางคน ๔๐-๖๐ ปี การแทรกแซง (intervention) ด้วยวิธีต่าง ๆ ในช่วงวัยกลางคนจึงมีความสำคัญมากในการป้องกันการเสื่อมของสมองในอนาคต

งานวิจัยร่วมสมัยมักใช้แนวคิด “อายุสมอง” (brain age) ซึ่งคำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายสมองด้วยปัญญาประดิษฐ์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอายุจริง หากอายุสมองสูงกว่าอายุจริง ก็แสดงว่าสมองเสื่อมเร็วกว่าปกติ และสัมพันธ์กับความเสี่ยงต่อภาวะสมองเสื่อม อีกทั้งอัตราการเสียชีวิตที่สูงขึ้น

โรคทางกาย

โรคหัวใจและหลอดเลือด เบาหวาน ความดันโลหิตสูง ภาวะเมแทบอลิซึมที่เกี่ยวข้องกับการดื้ออินซูลิน อีกทั้งภาวะขาดวิตามินบี ๑๒ และอื่น ๆ สัมพันธ์กับการเสื่อมของสมองผ่านกลไกการลดการไหลเวียนเลือด การอักเสบเรื้อรัง และความเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) อย่างชัดเจน การควบคุมปัจจัยเหล่านี้มีหลักฐานยืนยันว่าช่วยชะลอโรคในผู้ที่เป็นโรคอัลไซเมอร์อยู่แล้ว หรือลดอุบัติการณ์ของโรคสมองเสื่อมในอนาคต

ปัจจัยด้านพฤติกรรมและวิถีชีวิต

พฤติกรรมการดำเนินชีวิตมีบทบาทสำคัญในการกำหนดวิถีการเสื่อมของสมอง การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอสัมพันธ์กับปริมาตรสมองที่มากขึ้นและการทำงานของสมอง ขณะที่การสูบบุหรี่และการดื่มแอลกอฮอล์ในปริมาณมากสัมพันธ์กับการเสื่อมที่เร็วขึ้นของสมอง ปัจจัยเหล่านี้สามารถปรับเปลี่ยนได้และมีศักยภาพสูงในการป้องกันภาวะสมองเสื่อม นอกจากนี้ โภชนาการที่เหมาะสม โดยเฉพาะอาหารที่มีลักษณะใกล้เคียงกับ Mediterranean diet สัมพันธ์กับการลดการอักเสบและการคงอยู่ของโครงสร้างสมองในวัยสูงอายุ

ปัจจัยด้านจิตสังคมและการกระตุ้นทางปัญญา

ในช่วงหลังนี้การศึกษาด้านสมองเน้นบทบาทของ “ความจำสำรอง” (cognitive reserve) ซึ่งหมายถึงความสามารถของสมองในการทดแทนความเสียหายผ่านเครือข่ายประสาท ปัจจัยที่ช่วยเพิ่มความจำสำรองซึ่งได้แก่ ระดับการศึกษา การเรียนรู้ตลอดชีวิต การทำกิจกรรมที่ท้าทายทางปัญญา และการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมอย่างสม่ำเสมอ อีกทั้งสุขภาพจิตที่ดี ล้วนมีบทบาทในการเสริมสร้างความจำสำรอง ซึ่งช่วยลดผลกระทบของการเสื่อมของสมองต่อสติปัญญา

สรุป

การเสื่อมของสมองตามวัยเป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางชีวภาพ สุขภาพ และพฤติกรรมตลอดช่วงชีวิต มีกระบวนการหลายอย่างที่สามารถชะลอหรือบรรเทาได้ผ่านการจัดการปัจจัยเสี่ยงที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ การส่งเสริมวิถีชีวิตที่ดีต่อสุขภาพสมองจึงเป็นแนวทางสำคัญในการชะลอการเสื่อมของสมองและลดความเสี่ยงของสมองต่อเหตุความเสื่อมต่าง ๆ การแทรกแซงเพื่อลดการเสื่อมของสมองจึงควรเป็นแนวทางแบบองค์รวม ตั้งแต่การส่งเสริมสุขภาพหัวใจและหลอดเลือด การสนับสนุนการออกกำลังกายและโภชนาการที่เหมาะสม ไปจนถึงการสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเรียนรู้และการมีส่วนร่วมทางสังคมในวัย

สูงอายุ การส่งเสริมสุขภาพสมองควรเริ่มตั้งแต่วัยกลางคน และต้องอาศัยความร่วมมือระหว่างบุคคล ระบบ
สาธารณสุข และนโยบายสังคม

บรรณานุกรม

- Wrigglesworth, J., Ward, P., Harding, I.H. et al. (2021). Factors associated with brain ageing-
a systematic review. *BMC Neurol*, 21, 312.
- Antal, B. B., van Nieuwenhuizen, H., Chesebro, A. G., et al. (2025). Brain aging shows nonlinear
transitions, suggesting a midlife "critical window" for metabolic intervention.
Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,
122(10), e2416433122.
- Lee, J. and Kim, H-J (2022). Normal aging induces changes in the brain and neurodegeneration
progress: review of the structural, biochemical, metabolic, cellular, and molecular
changes. *Front. Aging Neurosci.* 14:931536. doi: 10.3389/fnagi.2022.931536
- Livingston, G., Huntley, J., Liu, K. Y, et al. (2024). Dementia prevention, intervention, and care:
2024 report of the Lancet standing Commission. *Lancet* (London, England), 404(10452),
572–628.
- Dai, S., Yuan, S., Zhang, X, et al. (2026). Effect of physical activity on Cognitive Function of
Patients with Alzheimer's Disease: A Meta-analysis. *J Integr Neurosci*, 25(1), 42702.
- Jiang, Y., Jin, Z., Wang, H., et al. (2025). A dose-response meta-analysis of physical activity
and the risk of alzheimer's disease in prospective studies. *J Neurol*, 272(4), 256.

การตรวจหาแบคทีเรียทรงแทงหรือบาซิลลัสติดสีทึบกรด

(Acid-fast bacillus) ในวัณโรคทางพยาธิวิทยา

Detection of Acid-fast Bacillus in Tuberculosis in Pathology

สัญญา สุขพนิกชนันท์^{๑,๒}

^๑ภาควิชาพยาธิวิทยา ศาสตราจารย์คลินิก ประภาพร แพทย์ศาสตร์ สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา

^๒ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล, sanya.suk@mahidol.ac.th

บทนำ

เมื่อก้าวถึงแบคทีเรียทรงแทงหรือบาซิลลัสติดสีทึบกรด (Acid-fast bacillus) ซึ่งต่อไปจากนี้จะขอเรียกว่า เชื้อเอเอพี (AFB) แพทย์จะนึกถึงเชื้อแบคทีเรียสกุลไมโคแบคทีเรีย (Genus *Mycobacterium*) ซึ่งมีเชื้อก่อโรคร้อยหลายชนิด ที่สำคัญได้แก่เชื้อก่อวัณโรค ไมโคแบคทีเรีย *ทูเบอร์คูโลซิส* (*Mycobacterium tuberculosis*) เชื้อก่อโรคเรื้อน ไมโคแบคทีเรีย *เลพร่า* (*Mycobacterium leprae*) (แต่นิยมออกเสียงว่า “ไม-โค-แบค-ที-เรีย เลพ-แพร์”) และเชื้อไมโคแบคทีเรียชนิดที่ไม่ใช่เชื้อก่อวัณโรค (non-tuberculous mycobacterium species) อีกจำนวนหนึ่ง รอยโรคที่เกิดขึ้นจากเชื้อแบคทีเรียสกุลไมโคแบคทีเรียมีลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphology) ที่หลากหลาย ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อก่อโรคและระยะของโรคที่ขึ้นอยู่กับระดับภูมิคุ้มกัน (immune response) ของผู้ป่วยที่มีต่อเชื้อแบคทีเรียสกุลนี้ ทั้งนี้ ในวัณโรคและโรคเรื้อนมักพบรอยโรคที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาจำเพาะในระดับหนึ่ง ซึ่งพยาธิแพทย์สามารถวินิจฉัยจากการตรวจเนื้อเยื่อที่ได้จากรอยโรคด้วยกล้องจุลทรรศน์ว่าน่าจะเป็นวัณโรคหรือโรคเรื้อน แต่ถ้าจะให้ระบุแน่ชัดว่าเป็นโรคใด ต้องตรวจพบเชื้อเอเอพีในรอยโรค และต้องยืนยันด้วยการตรวจทางจุลชีววิทยาว่าเป็นไมโคแบคทีเรียชนิดใด

การย้อมสีทึบกรด (acid-fast stain)

นับจากวันที่ Robert Koch แพทย์และนักจุลชีววิทยาชาวเยอรมัน บรรยายเรื่องสมุฏฐานของวัณโรค (the etiology of tuberculosis หรือ Die Aetiologie der Tuberkulose) เมื่อวันที่ ๒๔ มีนาคม พ.ศ. ๒๔๒๕ (ค.ศ. 1882) นั้น เขาได้บรรยายถึงการย้อมสีแสดงเชื้อก่อวัณโรคให้วงการแพทย์ได้ทราบเป็นครั้งแรก จึงมีผู้สนใจพัฒนาเทคนิคการย้อมสีทึบกรด (acid-fast stain) เพื่อแสดงเชื้อก่อวัณโรคจนได้เทคนิคการย้อมสีภายในเวลา ๑๖ เดือน คือ Paul Ehrlich แพทย์และนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันผู้พัฒนาเทคนิคของ Koch, Franz Ziehl นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันผู้พัฒนาเทคนิคของ Ehrlich, Georg Eduard von Rindfleisch พยาธิแพทย์และนักจุลชีววิทยาชาวเยอรมันผู้พัฒนาเทคนิคของ Koch, และ Friedrich Neelsen พยาธิแพทย์ชาวเยอรมันผู้พัฒนาเทคนิคของ Ziehl เทคนิคการย้อมสีพิเศษนี้ใช้กันมาจนถึงปัจจุบันในชื่อ Ziehl-Neelsen (ZN) acid-fast stain เพื่อตรวจหาเชื้อเอเอพี โดยมีผู้พัฒนาเทคนิคให้ดีขึ้นอีก หลักการของ

ZN acid-fast stain คือการใช้สีย้อม carbol fuchsin ซึ่งมีสีแดงเข้มและละลายในลิพิด (lipid) ซึ่งจะจับกับผนังเซลล์ของเชื้อเออเฟปีได้ดีโดยอาศัย Phenol ช่วย จากนั้นก็ใช้กรดล้างสีออก ทำให้แบคทีเรียที่ไม่ใช่เชื้อเออเฟปีย้อมไม่ติดสีแดงของ carbol fuchsin เพราะถูกกรดล้างออกหมด แต่ถ้าเป็นเชื้อเออเฟปีก็จะทนกรดได้ และย้อมติดสีแดงของ carbol fuchsin กรดที่ Neelsen ใช้ นั้นเป็นสารละลายกรดกำมะถันร้อยละ ๒๕ แต่ในปัจจุบัน เราใช้น้ำยาผสมระหว่างกรดเกลือร้อยละ ๓ กับเอทานอลร้อยละ ๙๕ และเรียกชื่อว่า น้ำยาผสมกรด-แอลกอฮอล์ (acid-alcohol mixture) (Vilchèze & Kremer, 2017)

นอกจากนี้ ยังมีเทคนิคอื่น ๆ ที่พัฒนาขึ้นเพื่อตรวจเชื้อเออเฟปี เช่น Kinyoun stain (Vilchèze & Kremer, 2017) หรือปรับลดความแรงของกรดที่ใช้ล้าง เรียกว่า modified acid-fast stain เช่น modified ZN, modified Kinyoun, Fite-Faraco, Wade-Fite ทั้งนี้ พบว่าเชื้อก่อโรคเรื้อนติดสีทนกรดได้บ้าง (partially acid-fast) แต่ไม่ดีเท่าเชื้อก่อวัณโรค และยังพบแบคทีเรียชนิดอื่น เช่น *Nocardia*, *Rhodococcus*, *Tsukamurella*, *Gordonia* หรือโปรโตซัวบางชนิด เช่น *Cryptosporidium*, *Cyclospora*, *Isospora* ก็ติดสีทนกรดได้บ้าง (Rice, 2023)

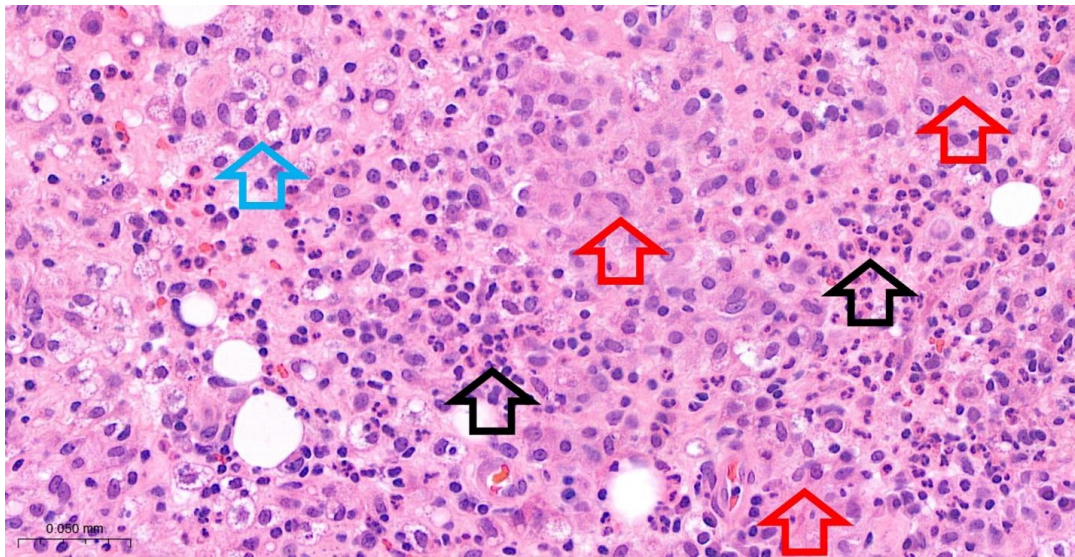
รอยโรคที่พบบ่อยในวัณโรคมีชื่อเรียกว่า แกรนูโลมา (Granuloma) ประกอบด้วย epithelioid macrophage จำนวนมากรวมกันเป็นกลุ่มก้อน ล้อมรอบด้วยเซลล์น้ำเหลืองหรือลิมโฟไซต์ (lymphocyte) และเซลล์น้ำเลือดหรือเซลล์พลาสมา (plasma cell) จากประสบการณ์การทำงานเป็นพยาธิแพทย์มานานกว่า ๔๐ ปี ผู้นิพนธ์ได้พบความลำบากในการตรวจหาเชื้อเออเฟปีในรอยโรคทางพยาธิวิทยา แม้ว่าบางครั้งจะตรวจพบเชื้อเออเฟปีจำนวนมากมาก็ตาม สิ่งที่เกิดขึ้นได้คือรอยโรคของวัณโรคที่มีเนื้อตายตรงกลางนั้นมีโอกาสตรวจพบเชื้อเออเฟปีได้ง่ายกว่ารอยโรคที่เริ่มมีเนื้อเยื่อพังผืด ถ้ามีเม็ดเลือดขาวชนิดนิวโทรฟิล (neutrophil) ปะปนด้วยมากเท่าใด ก็จะมีโอกาสตรวจพบเชื้อเออเฟปีได้มากขึ้นเท่านั้น ส่วนการพบเซลล์ยักษ์ที่มีหลายนิวเคลียส ซึ่งมักเรียงตัวเป็นพระจันทร์เสี้ยวและมีชื่อเรียกว่า Langhans giant cell นั้น ไม่ได้เพิ่มโอกาสในการตรวจพบเชื้อเออเฟปี ที่น่าแปลกใจก็คือบางครั้งเนื้อเยื่อส่งตรวจมีรอยโรคของวัณโรคเป็นบริเวณกว้าง แต่ตรวจหาเชื้อเออเฟปีได้ยาก จนมักต้องใช้เวลาตรวจหาเชื้ออยู่นาน บางครั้งมากกว่า ๑ รอบ จึงจะพบเชื้อเออเฟปีเพียงตัวเดียว แต่ก็นับว่าโชคดี เพราะถือว่าตรวจพบเชื้อก่อวัณโรคแล้ว

ผู้นิพนธ์สังเกตว่า เมื่อตรวจพบเชื้อเออเฟปีจำนวนมากเมื่อใด เชื้อเหล่านี้จะย้อมติดสีพิเศษอื่นได้ด้วย ไม่ว่าจะเป็นการย้อมจีเอ็มเอส (GMS stain) เพื่อหาเชื้อรา (ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป), การย้อมสี PAS (periodic acid Schiff), หรือการย้อมสี Warthin-Starry เพื่อหาเชื้อสไปโรคีต (spirochete) แต่การย้อมสี Gram หรือ Giemsa มักเห็นไม่ชัด การย้อมจีเอ็มเอสเป็นชื่อย่อของ Grocott-Gomori methenamine silver nitrate technique ตำราบางเล่มหรือบทความวิชาการบางบทก็ให้เกียรติเฉพาะชื่อแรก ขณะที่ตำราเล่มอื่นหรือบทความวิชาการบทอื่นก็ให้เกียรติเฉพาะชื่อหลัง ที่จริงแล้ว Gyorgi Gomori พยาธิแพทย์ชาวอเมริกันเชื้อสายฮังการี ที่มหาวิทยาลัยแพทยศาสตร์แห่งชิคาโก (University of Chicago Medical School) เป็นคนแรก que คิดค้นเทคนิคย้อมพิเศษนี้เมื่อ พ.ศ. ๒๔๘๙ (ค.ศ. 1946) ทำให้เกิดเกลื่อนเงินจับที่ผนังเซลล์เชื้อรา โดยใช้กรด

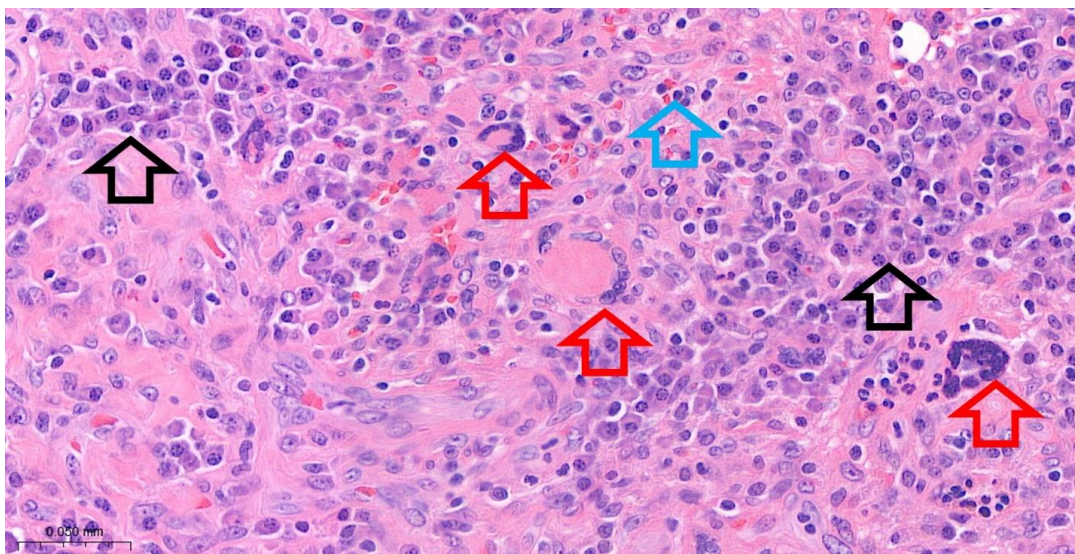
โครมิก (chromic acid) ซึ่งออกซิไดส์ (oxidise) พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) หรือคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ของผนังเซลล์เชื้อราให้กลายเป็นแอลดีไฮด์ (aldehyde) จากนั้นรีดิวส์ (reduce) ให้เป็นเกลือเงินที่มีสีดำ ทำให้เห็นเชื้อราที่ติดสีดำในรอยโรคที่เป็นพื้นสีขาวได้ ต่อมา ใน พ.ศ. ๒๔๙๘ (ค.ศ. 1955) Robert G. Grocott หัวหน้าเทคนิคการแพทย์ในห้องปฏิบัติการคณะกรรมการสุขภาพ (Board of Health Laboratory) ของโรงพยาบาลโกรกาส (Grogas Hospital) บริเวณภูเขาแอนคอน (Ancon Hill) อันเป็นที่ขุดคลองปานามาในสมัยที่อยู่ในความดูแลของสหรัฐอเมริกา ได้ปรับปรุงเทคนิคการย้อมพิเศษของ Gomori เพื่อใช้ย้อมเชื้อราให้ดีขึ้น เป็นที่เชื่อถือและนิยมใช้เป็นมาตรฐานจนถึงปัจจุบัน โดยพัฒนา alkaline hexamine-silver solution รีดิวส์ให้ได้เกลือเงินที่เสถียร เห็นเชื้อราที่ติดสีดำในรอยโรคที่เป็นพื้นสีเขียวย่อ (Grocott, 1955)

ในทางปฏิบัติของผู้นิพนธ์ เมื่อตรวจพบแกรนูลوما ก็จะย้อมพิเศษ ZN acid-fast stain เพื่อตรวจหาเชื้อเอเอพี พร้อมกับการย้อมจีเอ็มเอสเพื่อตรวจหาเชื้อราที่ก่อรอยโรคแกรนูลوماได้เช่นกัน บ่อยครั้งที่ผู้นิพนธ์ตรวจพบขีดสีดำในรอยโรคบนสไลด์ที่ย้อมจีเอ็มเอส และค่อนข้างมั่นใจว่าเป็นเชื้อเอเอพี ผู้นิพนธ์ก็จะพยายามตรวจหาเชื้อเอเอพีในรอยโรคบนสไลด์ที่ย้อม ZN อย่างตั้งใจจนกระทั่งพบตัวเชื้อเอเอพีได้ในที่สุด (ภาพที่ ๑-๔)

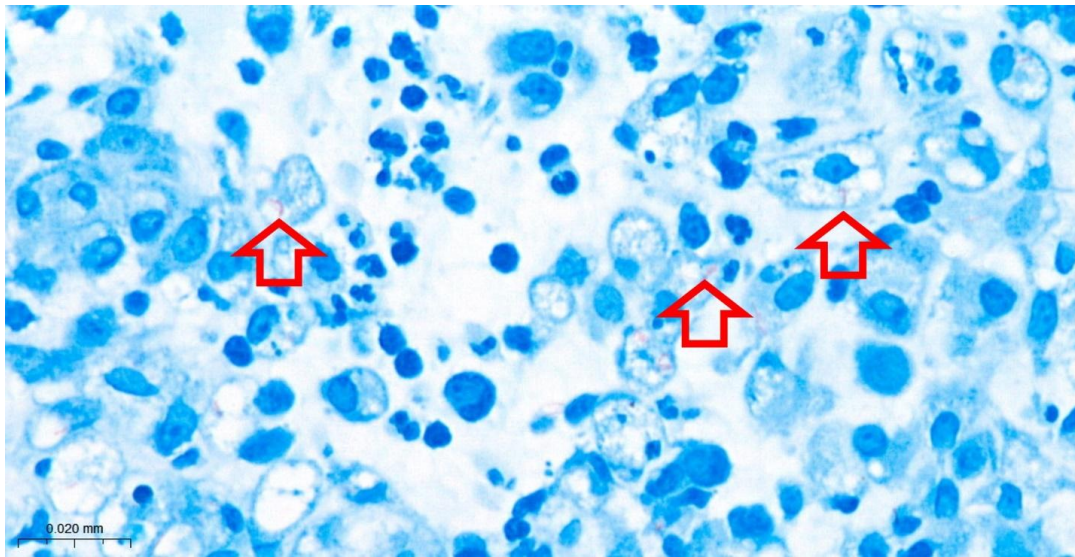
แม้ว่าการตรวจหาเชื้อก่อวัณโรคด้วยวิธีที่ไวกว่า เช่น พีซีอาร์ (PCR) จะเป็นที่ยอมรับใช้ในโรงพยาบาลหรือห้องปฏิบัติการที่พร้อม (Aslanzadeh et al., 1998) แต่ในปัจจุบัน พยาธิแพทย์ก็ยังนิยมย้อมสีพิเศษ ZN เพื่อหาเชื้อเอเอพีในรอยโรคของเนื้อเยื่อ ซึ่งหลายครั้งสามารถยืนยันเชื้อได้ภายในเวลา ๒๔-๔๘ ชั่วโมง เมื่อได้รับชิ้นเนื้อส่งตรวจที่สงสัยว่าติดเชื้อวัณโรค ทำให้แพทย์เริ่มการรักษาวัณโรคได้ นับว่าเป็นประโยชน์แก่ผู้ป่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่แพทย์ผู้รักษาต้องการคำยืนยันจากพยาธิแพทย์ว่าตรวจพบรอยโรคของวัณโรคและเชื้อเอเอพีในรอยโรคนั้น บางครั้ง แม้ไม่พบเชื้อวัณโรค แต่ก็ไม่พบเชื้อราหรือสาเหตุอื่นที่ทำให้เกิดแกรนูลوما แพทย์ก็อาจลองรักษาวัณโรคดูก่อน เมื่อผลตรวจทางจุลชีววิทยายืนยันว่าเป็นเชื้อก่อวัณโรคจริง ก็รักษากันต่อไปหรือปรับยาให้เหมาะสมถ้ามีผลทดสอบเชื้อไวหรือดื้อต่อยาชนิดใด นอกจากนี้ ยังพบว่าเชื้อก่อวัณโรคอาจทนกรดไม่ได้ ทำให้ย้อมไม่ติดสีทนกรดในการย้อมพิเศษ ZN แต่เชื้อก่อวัณโรคที่ไม่ติดสีทนกรดนี้อาจจะไม่รุนแรง เพียงแต่แฝงตัวซ่อนอยู่และอาจกลับมาก่อโรคใหม่ได้ ทำให้แพทย์ต้องพยายามหาวิธีตรวจยืนยันเชื้อก่อวัณโรคกันต่อไป (Vilchèze & Kremer, 2017)



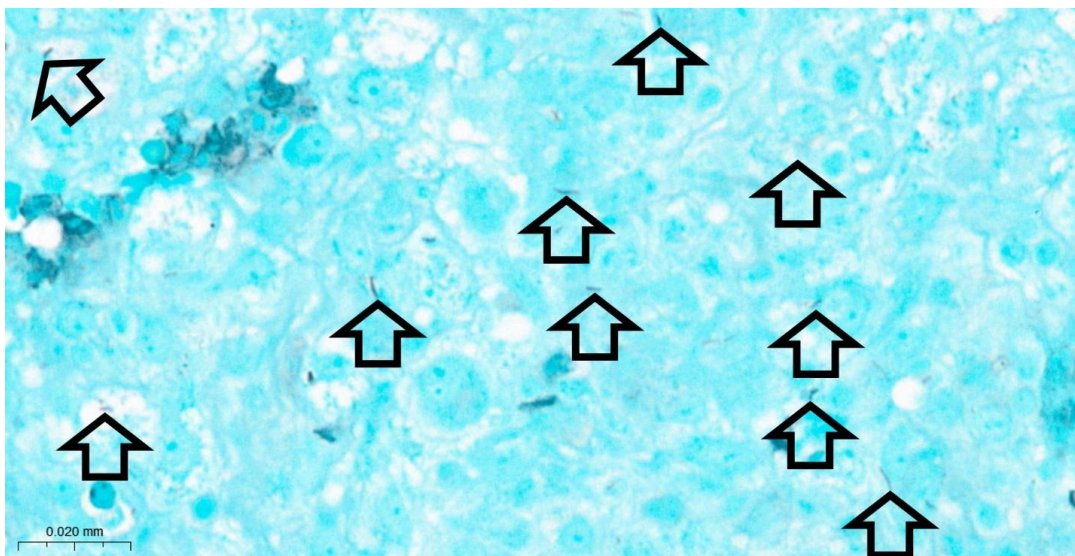
ภาพที่ ๑ แกรนูโลมา (Granuloma) ประกอบด้วย epithelioid macrophage (ลูกศรสีแดง) บางเซลล์จะมีฟองเล็ก ๆ ในไซโทพลาซึม (ลูกศรสีฟ้า) เรียกชื่อว่า foamy macrophage ในภาพนี้ ยังพบนิวโทรฟิล (neutrophil) จำนวนมาก (ลูกศรสีดำ) (H&E, กำลังขยาย ๔๐๐ เท่า)



ภาพที่ ๒ แกรนูโลมานี้มีเซลล์ยักษ์ที่มีหลายนิวเคลียสเรียงตัวเป็นพระจันทร์เสี้ยว มีชื่อเรียกว่า Langhans giant cell (ลูกศรสีแดง) นอกจากนี้ ยังมีเซลล์น้ำเหลืองหรือลิมโฟไซต์ (ลูกศรสีฟ้า) และเซลล์น้ำเลือดหรือเซลล์พลาสมา (ลูกศรสีดำ) (H&E, กำลังขยาย ๔๐๐ เท่า)



ภาพที่ ๓ แบคทีเรียทรวงแท่งหรือบาซิลลัสติดสีทนกรด (Acid-fast bacillus) หรือเชื้อเอเเอฟบี (AFB) ในรอยโรคของผู้ป่วยวัณโรค เห็นเป็นขีดสีแดง (ลูกศรสีแดง) (Ziehl-Neelsen acid-fast stain, กำลังขยาย ๑,๐๐๐ เท่า)



ภาพที่ ๔ ขีดสีดำ (ลูกศรสีดำ) ที่พบในการย้อมจีเอ็มเอสเพื่อตรวจหาเชื้อรานั้นคือเชื้อเอเเอฟบี (AFB) สังเกตว่ามีจำนวนมากกว่าเชื้อเอเเอฟบีในภาพที่ ๓ ซึ่งมาจากรอยโรคเดียวกันของผู้ป่วยวัณโรค (GMS stain, กำลังขยาย ๑,๐๐๐ เท่า)

บทสรุป

การตรวจพบเชื้อเอเอฟบีในรอยโรคของวัณโรคได้นั้นมีความสำคัญในการดูแลรักษาผู้ป่วย ผู้นิพนธ์จึงอยากให้ใช้ประโยชน์จากการย้อมจีเอ็มเอสในแผ่นสไลด์ถัดไปจากการย้อมพิเศษ ZN เมื่อตรวจพบแกรนูลโฌมาหรือรอยโรคอื่นที่อาจจะตรวจพบได้ในวัณโรค ถ้าตรวจพบขีดสีดำในรอยโรคบนสไลด์ย้อมจีเอ็มเอส ก็น่าจะมีโอกาสสูงในการตรวจพบเชื้อเอเอฟบีในบริเวณรอยโรคนั้น พยาธิแพทย์ควรตั้งใจตรวจหาให้ละเอียดถี่ถ้วนมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Aslanzadeh, J., de la Viuda, M., Fille, M., Smith, W. B., & Namdari, H. (1998). Comparison of culture and acid-fast bacilli stain to PCR for detection of *Mycobacterium tuberculosis* in clinical samples. *Mol Cell Probes*, 12(4), 207–11.
- Grocott, R. G. (1955). A stain for fungi in tissue sections and smears using Gomori's methenamine-silver nitrate technic. *Am J Clin Pathol*, 25(8), 975–79.
- Rice, B. M. (2023). Modified Acid-Fast. In: ASCP BOC's Content Guideline for the Technologist in Microbiology, M(ASCP), and the Specialist in Microbiology, SM(ASCP).
<https://microbiology.mlsascp.com/modified-acid-fast.html>
- Vilchèze, C., & Kremer, L. (2017). Acid-Fast Positive and Acid-Fast Negative *Mycobacterium tuberculosis*: The Koch Paradox. *Microbiol Spectr*, 5(2), 10.1128/microbiolspec. tbtb2-0003-2015.

Computer Vision Syndrome: ความผิดปกติของการเห็นในยุคดิจิทัล

Computer Vision Syndrome: Visual Disorders in the Digital Age

สบง ศรีวรรณบุรณ์ ^{๑,๒}

^๑ภาควิชาศัลยกรรมตาและเลนส์ โรงพยาบาลศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล

^๒ภาควิชาจักษุวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล, sabong.sri@mahidol.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันเราใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในชีวิตประจำวันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทั้งในด้านการสื่อสาร การทำงาน และการศึกษา ดังนั้น การใช้คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ และอุปกรณ์ดิจิทัลอื่น ๆ เป็นเวลานานย่อมส่งผลเสียต่อการเห็น เพราะเกิดกลุ่มอาการที่เรียกว่า **คอมพิวเตอร์วิชันซินโดรม (Computer Vision Syndrome: CVS)** หรือกลุ่มอาการผิดปกติในการเห็นเหตุใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งต่อไปจะเรียกโดยย่อว่า “ซีวีเอส” บางครั้ง ผู้ใช้อาจมีภาวะตาล้าจากจอดิจิทัล (**Digital Eye Strain**) ซึ่งนับเป็นปัญหาสุขภาพตาที่พบเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระดับโลก และส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานอีกทั้งคุณภาพชีวิตของประชากรในวงกว้าง

“ซีวีเอส” มิได้เป็นเพียงอาการเมื่อยล้าของนัยน์ตาเท่านั้น แต่เป็นกลุ่มอาการที่ซับซ้อน ครอบคลุมทั้งระบบของนัยน์ตา เช่น น้ำตา ผิวกระจกตา ระบบกล้ามเนื้อในการเพ่ง ระบบการรวมภาพ ระบบกล้ามเนื้อบริเวณต้นคอ ไหล่ และหลัง การทำความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับกลไก อาการ การวินิจฉัย และแนวทางการรักษาและป้องกันจึงสำคัญแก่การดูแลสุขภาพตาในยุคดิจิทัล

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ความรู้เกี่ยวกับ“ซีวีเอส” ซึ่งมักเกิดจากการใช้สายตานานเกินไปกับอุปกรณ์ดิจิทัล รวมถึงการดูแล รักษา และข้อแนะนำในการใช้สายตา เพื่อให้ผู้อ่านสามารถนำไปปรับปรุงวิธีการใช้สายตากับอุปกรณ์ดิจิทัลได้อย่างถูกต้องและลดอาการทางสายตาที่อาจจะเกิดขึ้น

ความหมาย ขอบเขต และความชุกของโรค

“ซีวีเอส” หมายถึงกลุ่มอาการผิดปกติทางตาและการเห็นที่สัมพันธ์กับการใช้หน้าจออุปกรณ์ดิจิทัลในระยะใกล้เป็นเวลานานเกินไป สมาคมทัศนมาตรศาสตร์แห่งอเมริกา (American Optometric Association: AOA) ได้ให้นิยาม “ซีวีเอส” ว่าเป็นกลุ่มปัญหาทางสายตาและการเห็นที่เกิดขึ้นระหว่างหรือภายหลังการใช้คอมพิวเตอร์ แท็บเล็ตพีซี (tablet PC) รวมถึงโทรศัพท์มือถือและอุปกรณ์ดิจิทัลอื่น ๆ (AOA, 2017) ความชุกของ “ซีวีเอส” อยู่ในช่วงประมาณร้อยละ ๕๐-๙๐ ในผู้ใช้คอมพิวเตอร์เป็นประจำ โดยเฉพาะในกลุ่มวัยทำงานและนักเรียนนักศึกษา ปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญได้แก่ระยะเวลาที่ใช้จอหน้าจอนานเกินไป การใช้โทรศัพท์มือถือในระยะใกล้ การกะพริบตาน้อยลง และการจัดสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม

มีผู้รวบรวมข้อมูลพบว่า ผู้ใช้งานหน้าจอดิจิทัลติดต่อกันนานกว่า ๒ ชั่วโมงต่อวันมีความเสี่ยงสูง กลุ่มผู้เล่นเกมส์จะใช้เวลาหน้าจอเฉลี่ยกว่า ๘ ชั่วโมงต่อวัน และมักประสบปัญหาภาวะตาล้าจากจอดิจิทัล (AOA, 2020)

พยาธิสรีรวิทยา

กลไกการเกิด “ซีวีเอส” มีองค์ประกอบหลัก ๓ อย่าง (Loh et al., 2008) ได้แก่

๑. ความไม่เสถียรของฟิล์มน้ำตา (tear film instability) เมื่อจ้องหน้าจอนานเกินไปผู้ใช้อุปกรณ์ดิจิทัลจะกะพริบตาในอัตราที่ต่ำลง เหลือเพียง ๑ ใน ๔ ของอัตราการกะพริบตาปกติ (๑๔-๑๖ ครั้งต่อนาทีโดยเฉลี่ย) ส่งผลให้ฟิล์มน้ำตาเคลือบผิวตาไม่ดี แฉกตัวง่ายขึ้น ทำให้ผิวดวงตาขาดความชุ่มชื้น

๒. ความเครียดเหตุระบบการเพ่ง (accommodative stress) เมื่อใช้สายตาในระยะใกล้ต่อเนื่องนานเกินไป กล้ามเนื้อเพ่งมองใกล้ของผู้ใช้อุปกรณ์ดิจิทัลจะทำงานด้อยลง ทำให้เห็นภาพไม่ชัดเจน

๓. การรวมภาพผิดปกติ (vergence dysfunction) เมื่อใช้สายตาในระยะใกล้ต่อเนื่องนานเกินไป กล้ามเนื้อตาที่ใช้ประสานการเคลื่อนไหวเพื่อกองการเห็นภาพเดียวจากตาทั้ง ๒ ข้างจะทำงานด้อยลง

อาการทางคลินิก

อาการของ “ซีวีเอส” สามารถแบ่งออกเป็น ๒ กลุ่ม ได้แก่

๑. กลุ่มอาการของนัยน์ตาและการเห็น (Jaiswal et al., 2019) เป็นกลุ่มอาการที่เกิดขึ้นนัยน์ตาโดยตรง เช่น

- อาการตาล้า (Asthenopia): อาการที่ทำให้รู้สึกเหนื่อยล้า ปวด หรือตึงเครียดในบริเวณรอบนัยน์ตาและภายในนัยน์ตาเอง
- ตาแห้ง (Dry Eyes): อาการที่ทำให้รู้สึกกระคายเคืองและแสบตา คล้ายมีฝุ่นหรือผงในตา
- ตาพร่ามัวหรือภาพซ้อน (Blurred/Double Vision): อาการที่ทำให้มองเห็นภาพไม่ชัดเจน มีขอบฟุ้ง ๆ หรือมีภาพปรากฏมากกว่า ๑ ภาพ มักเกิดโดยเฉพาะหลังจากการทำงานในระยะใกล้เป็นเวลานาน
- ปวดศีรษะ (Headache): อาการปวดบริเวณขมับ หน้าผาก เกิดจากความเครียดในการเพ่งมองใกล้ (Visual Stress)

๒. อาการทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูก (Musculoskeletal System) (Breen et al., 2007) เป็นกลุ่มอาการของกล้ามเนื้อบริเวณอื่น เช่น ปวดคอ บ่า ไหล่ และหลัง สาเหตุหลักมาจากท่าทางที่ไม่เหมาะสมและการจัดวางอุปกรณ์ที่ผิดหลักสรีรศาสตร์

ปัจจัยเสี่ยงและสาเหตุของการเกิดโรค

“ซีวีเอส” เกิดจากปัจจัยหลายอย่างดังนี้ (Neetha Dalvi et al., 2023)

๑. ระยะเวลาการใช้งาน เช่น จ้องหน้าจอนานเกิน ๒ ชั่วโมงติดต่อกัน ทำงานเพ่งมองหน้าจอทุกวัน เกินวันละ ๘ ชั่วโมงโดยไม่ค่อยได้พักสายตา
๒. ลักษณะการแสดงผลบนหน้าจอ เนื่องจากตัวอักษรบนหน้าจอมีสีสว่างมากกว่าปกติ รวมถึงมีแสงสะท้อน ทำให้ต้องเพ่งมากขึ้น
๓. แสงสว่างและระยะห่างไม่เหมาะสม เนื่องจากแสงจ้าเกินไปหรือมืดเกินไป ระยะห่างระหว่างตากับหน้าจอไม่พอดี และการตั้งมุมหน้าจอที่สูงหรือต่ำกว่าระดับสายตาเกินไป
๔. ปัญหาสายตาที่ไม่ได้รับการแก้ไข เช่น สายตาสั้น ยาว หรือเอียง แต่ไม่ได้สวมแว่นตาให้ถูกต้อง ทำให้ต้องเพ่งมากกว่าปกติ โดยเฉพาะผู้ที่มีอายุมากกว่า ๔๐ ปีขึ้นไปจะเริ่มมีภาวะสายตาวายตามอายุร่วมด้วย หรือในรายที่ใช้เลนส์สัมผัส (Contact lens) อาจมีผลให้ตาแห้งได้

การรักษาและแนวทางการป้องกัน

โดยทั่วไป การป้องกันย่อมส่งผลดีกว่าการรักษา มีข้อเสนอแนะเพื่อป้องกันไม่ให้เกิด “ซีวีเอส” ดังนี้ (AOA, 2020)

๑. กฎ ๒๐-๒๐-๒๐ และการพักสายตา คือ
 - ทุก ๒๐ นาที ให้ละสายตาจากหน้าจอ
 - พักสายตา ๒๐ วินาที เพื่อให้กล้ามเนื้อตาได้ผ่อนคลายในระยะเวลาที่เหมาะสม
 - พักสายตาโดยมองไกล ๒๐ ฟุต ไปที่วัตถุที่อยู่ห่างออกไป เพื่อให้กล้ามเนื้อตาได้คลายตัวจากการเพ่ง ซึ่งดีกว่าการหลับตา
- ๒ การปรับสภาพแวดล้อมตามหลักสรีรศาสตร์ให้เหมาะสม โดย
 - จัดระยะห่างระหว่างหน้าจอคอมพิวเตอร์กับดวงตา ให้อยู่ที่ระยะ ๕๐-๗๐ เซนติเมตร
 - จัดมุมมองหน้าจอโดยให้จุดกึ่งกลางหน้าจอต่ำกว่าระดับสายตาประมาณ ๑๕-๒๐ องศา
 - จัดความสว่างของหน้าจอให้ใกล้เคียงกับความสว่างภายในห้อง ไม่ควรให้ห้องมืดเกินไป
 - ควรปรับตำแหน่งโต๊ะเพื่อให้แสงจากหน้าต่างหรือภายนอกสะท้อนเข้าที่จอ
 - ใช้ท่านั่งที่ถูกต้องโดยนั่งให้หลังพิงพนัก เท้าวางราบกับพื้น หรือใช้ที่พนักเท้า
 - ควรจัดวางตำแหน่งของโต๊ะทำงานให้เหมาะสม เพราะการใช้สายตาในห้องปรับอากาศที่มีความชื้นในอากาศต่ำและมีแนวโน้มที่พัดมาทางหน้าต่าง จะส่งผลให้ตาแห้งมากขึ้น

สำหรับผู้ที่มีอาการ “ซีวีเอส” แล้ว จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพักสายตาในระยะเวลาหนึ่ง โดยอาจพิจารณาให้ใช้ยากลุ่มคลายกล้ามเนื้อ ร่วมกับการหยอดน้ำตาเทียมชนิดไม่มีสารกันเสีย (Preservative-free artificial tears) และพิจารณาตรวจวัดค่าสายตาเพื่อปรับแว่นตาตามความเหมาะสม

บทสรุปและข้อเสนอแนะเพื่อสุขภาพดวงตาที่ยั่งยืน

“ซีวีเอส” เป็นผลโดยตรงจากพฤติกรรมการใช้เทคโนโลยีที่เกินขีดจำกัดตามธรรมชาติของนัยน์ตา แม้เทคโนโลยีจะช่วยอำนวยความสะดวก แต่การใช้งานอย่างถูกต้องและเหมาะสมก็เป็นสิ่งจำเป็น

แนวทางที่ควรปฏิบัติ มีดังนี้

๑. ตรวจสอบสุขภาพตาประจำปี เพื่อประเมินสุขภาพของนัยน์ตาโดยรวมและแก้ไขปัญหาสายตาที่ซ่อนอยู่

๒. ปรับพฤติกรรม โดยฝึกการกะพริบตาบ่อย ๆ และใช้กฎ ๒๐-๒๐-๒๐ อย่างเคร่งครัด อาจพิจารณาหยอดน้ำตาเทียมร่วมด้วยในกรณีที่ใช้นัยน์ตาเป็นเวลานาน

๓. ปกป้องผู้เกี่ยวข้อง คือ หากมีอาการรุนแรง ควรปรึกษาจักษุแพทย์เพื่อรับการวินิจฉัยและสั่งตัดแว่นเฉพาะสำหรับการทำงานหน้าจอ (Computer glasses) ซึ่งอาจแตกต่างกับแว่นสายตาทั่วไป

การเริ่มให้ความสำคัญแก่สุขภาพนัยน์ตาจะช่วยให้เราสามารถใช้งานและสร้างสรรค์ผลงานในโลกออนไลน์ได้อย่างยาวนานและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

American Optometric Association. (2017). *Computer vision syndrome*.

American Optometric Association. (2020). *Eye Health Guidance for Screen Time*.

Loh, K., Redd, S. (2008). Understanding and preventing computer vision syndrome. *Malays Fam Physician*, 3(3), 128–130.

Jaiswal, S., Asper, L., Long, J., Lee, A., Harrison, K., Golebiowski, B. (2019). Ocular and visual discomfort associated with smartphones, tablets and computers: what we do and do not know. *Clin Exp Optom*, 102(5), 463–477.

Breen, R., Pyper, S., Rusk Y, Dockrell, S. (2007). An investigation of children’s posture and discomfort during computer use. *Ergonomics* 50, 1582–1592.

Neetha Dalvi, S., Sukanya, V., Renukadevi, D. N. (2023). Computer Vision Syndrome: A Brief Overview. *Saudi J Nurs Health Care*, 6(11), 443–444.

การพัฒนาดินให้มีธาตุอาหารสูงสุด : นวัตกรรม “ดินพรีเมียม” เพื่อการเกษตรยั่งยืน Development of High-Nutrient Soil: “Premium Soil” Innovation for Sustainable Agriculture

อานัฐ ตันโช^{๑,๒}

^๑ราชบัณฑิต สาขาปฐพีวิทยา ประเพณีวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางเกษตร และสัตวแพทยศาสตร์
สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา

^๒ศูนย์วิจัยและพัฒนาเกษตรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้, arnat009@yahoo.com

พืชแทบทุกชนิดในโลกนี้ต้องอาศัย “ดิน” ในการเจริญเติบโต ตั้งแต่เริ่มงอกออกจากเมล็ด แตกใบ
สร้างราก ออกดอก จนถึงให้ผลผลิต ดินจึงเปรียบเสมือนทั้งบ้านและแหล่งอาหารของพืช หากดินมีคุณภาพดี
พืชก็สามารถเจริญเติบโตได้แข็งแรง ให้ผลผลิตที่สมบูรณ์และมีคุณค่าทางอาหารสูง ในทางตรงกันข้าม หากดิน
เสื่อมโทรม ขาดธาตุอาหาร หรือมีโครงสร้างไม่เหมาะสม พืชก็จะเติบโตได้ไม่เต็มที่

หลายคนอาจมองว่าดินเป็นเพียงวัสดุสำหรับปลูกต้นไม้ แต่ในความเป็นจริง “ดิน” เป็นระบบนิเวศ
ขนาดเล็กที่เต็มไปด้วยสิ่งมีชีวิตจำนวนมากอาศัยอยู่ในดินเพียง ๑ กรัม อาจพบจุลินทรีย์ตั้งแต่ ๑๐๐ ล้านเซลล์
จนถึงระดับล้านล้านเซลล์ รวมถึงสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กอีกจำนวนมาก เช่น ไส้เดือนฝอย แมลงตัวเล็ก ไส้เดือนดิน
สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ เปลี่ยนเศษซากพืชและสัตว์ให้กลายเป็นธาตุอาหารที่พืชสามารถดูด
ไปใช้ได้

ดินโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็นประเภทหลักได้ ๓ ประเภท ได้แก่ ดินเหนียว ดินร่วน และดิน
ทราย แต่ละประเภทมีสมบัติและความเหมาะสมแก่การปลูกพืชแตกต่างกัน ดินร่วนถือเป็นดินที่เหมาะสมแก่
การเพาะปลูกมากที่สุด เนื่องจากสามารถอุ้มน้ำและระบายน้ำได้ดี ขณะที่ดินเหนียวเหมาะกับพืชที่ต้องการน้ำ
มาก ส่วนดินทรายเหมาะกับพืชที่ไม่ชอบน้ำขัง

ด้วยเหตุนี้ จึงมีแนวคิด “ดินที่ดีคือดินที่มีชีวิต” เพราะดินที่มีชีวิตจะสามารถปลดปล่อยธาตุอาหาร
ให้แก่พืชได้อย่างต่อเนื่อง มีจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์อาศัยอยู่จำนวนมาก อีกทั้งมีคุณภาพทั้งด้านน้ำ อากาศ
และอินทรีย์วัตถุในดินอย่างเหมาะสม

ดินที่ดีควรเป็นอย่างไร

ดินที่เหมาะสมแก่การปลูกพืชควรมีองค์ประกอบที่ได้ดุล ทั้งในด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยทั่วไป ดินที่มีคุณภาพจะต้องมีความชื้นประมาณร้อยละ ๒๕ มีช่องว่างอากาศในดินประมาณร้อยละ ๒๕ มีแร่ธาตุราวร้อยละ ๔๕ และมีสิ่งมีชีวิตรวมถึงรากพืชประมาณร้อยละ ๕

นอกจากนี้ ดินที่ดีควรมีอินทรีย์วัตถุในปริมาณมากกว่าร้อยละ ๕-๗ เพราะอินทรีย์วัตถุถือเป็นแหล่งอาหารสำคัญของจุลินทรีย์ในดิน ช่วยเพิ่มความร่วนซุย อุ้มน้ำได้ดี และช่วยให้ดินสามารถกักเก็บธาตุอาหารไว้ใช้ได้ในระยะยาว

ปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่งคือค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือค่า pH ของดิน หากดินมีความเป็นกรดหรือด่างมากเกินไป จะทำให้พืชดูดซึมธาตุอาหารได้ไม่ดี ดินที่เหมาะสมแก่การปลูกพืชส่วนใหญ่ควรมีค่า pH ใกล้เคียงค่ากลาง หรือประมาณ ๖.๕-๗.๕

ปัญหาดินเสื่อมโทรมจากการเกษตรยุคใหม่

ในปัจจุบัน พื้นที่เกษตรจำนวนมากประสบปัญหาดินเสื่อมโทรมจากการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีทางการเกษตรอย่างต่อเนื่อง แม้ในระยะแรกอาจช่วยเพิ่มผลผลิตได้รวดเร็ว แต่เมื่อใช้เป็นเวลานานจะทำให้ดินแข็งตัว สูญเสียอินทรีย์วัตถุ และมีจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ลดลง

ดินที่เสื่อมโทรมมักมีลักษณะแน่น แห้ง ระบายน้ำไม่ดี พืชเจริญเติบโตช้า และต้องใช้ปุ๋ยในปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อรักษาระดับผลผลิต ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ขณะเดียวกันยังเกิดปัญหาสารตกค้างในดินและสิ่งแวดล้อมตามมา

ด้วยเหตุนี้ แนวคิดการฟื้นฟูดินด้วยอินทรีย์วัตถุและการใช้วัสดุปลูกจากธรรมชาติจึงได้รับความสนใจมากขึ้น โดยเฉพาะในระบบเกษตรอินทรีย์และเกษตรปลอดภัย

จุดเริ่มต้นของนวัตกรรม “ดินพรีเมียม”

นวัตกรรม “ดินพรีเมียม” พัฒนาขึ้นจากแนวคิดการสร้าง “ดินที่มีชีวิต” โดยใช้วัสดุอินทรีย์ร้อยละ ๑๐๐ เพื่อให้เป็นวัสดุปลูกที่มีธาตุอาหารครบถ้วน มีโครงสร้างดินที่เหมาะสม และสามารถส่งเสริมการทำงานของจุลินทรีย์ในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดินพรีเมียมไม่ได้เน้นเพียงการใส่ปุ๋ยหรือเพิ่มธาตุอาหารเท่านั้น แต่ให้ความสำคัญแก่ “คุณภาพของดิน” ทั้งด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ เพื่อให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้อย่างแข็งแรงในระยะยาว ดังภาพที่ ๑



ภาพที่ ๑ การเจริญเติบโตของพืชจากการใช้ดินพรีเมียม

จุดเด่นของดินพรีเมียม

จากแนวคิดดังกล่าว จึงมีผู้พัฒนาสมบัติของดินพรีเมียมให้ตอบโจทย์ทั้งด้านโครงสร้างดิน ความอุดมสมบูรณ์ และความปลอดภัยต่อพืช โดยมีจุดเด่นสำคัญดังต่อไปนี้

๑. ค่า pH เหมาะแก่การดูดซึมธาตุอาหาร

ดินพรีเมียมมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ที่ ๗.๒๔ ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับเหมาะสมแก่การดูดซึมธาตุอาหารของพืช ทำให้พืชสามารถนำธาตุอาหารสำคัญ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ไปใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

๒. ค่า EC ต่ำ ปลอดภัยแก่รากพืช

ค่า EC หรือค่าการนำไฟฟ้า เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณเกลือสะสมในดิน หากมีค่าสูงเกินไปอาจทำให้เกิดอาการรากไหม้หรือใบไหม้ได้ โดยเฉพาะในต้นกล้าและพืชอ่อน ดินพรีเมียมได้รับการพัฒนาให้มีค่า EC ต่ำจึงเหมาะแก่การเพาะเมล็ด การอนุบาลต้นกล้าและพืชที่ต้องการความอ่อนโยนต่อระบบราก

๓. มีอัตราส่วน C/N Ratio ที่ได้ดุล

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน หรือ C/N Ratio เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของอินทรีย์วัตถุ หากค่า C/N สูงเกินไป จุลินทรีย์จะดึงไนโตรเจนจากดินไปใช้ ทำให้พืชขาดธาตุอาหาร ดินพรีเมียมมีค่า C/N Ratio เพียง ๑๑:๑ ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่เหมาะสม แสดงถึงการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุอย่างสมบูรณ์ พืชสามารถนำธาตุอาหารไปใช้ได้ทันทีโดยไม่ต้องรอกการบ่มเพิ่มเติม

๔. อินทรีย์วัตถุสูง ช่วยฟื้นฟูดิน

ดินพรีเมียมมีอินทรีย์วัตถุสูงถึงร้อยละ ๒๓ ซึ่งช่วยเพิ่มความร่วนซุย อุ้มน้ำได้ดี และช่วยกระตุ้นกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ทำให้ดินสามารถปลดปล่อยและกักเก็บธาตุอาหารได้ดีขึ้น

๕. มีธาตุอาหารหลักครบถ้วน

ดินพรีเมียมมีธาตุอาหารหลัก N-P-K ครบถ้วน ได้แก่

- ไนโตรเจน (N) ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของใบและลำต้น
- ฟอสฟอรัส (P) ช่วยกระตุ้นการแตกรากและการออกดอก
- โพแทสเซียม (K) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงและคุณภาพผลผลิต

ธาตุอาหารทั้ง ๓ ชนิดถือเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นแก่การเจริญเติบโตของพืชทุกชนิด

แนวทางการฟื้นฟูดินและเพิ่มอินทรีย์วัตถุเพื่อพัฒนาดิน

การใช้ไส้เดือนดิน

หนึ่งในเทคนิคที่ช่วยฟื้นฟูดินได้ดีก็คือการเพิ่มอินทรีย์วัตถุรวมกับการใช้ไส้เดือนดิน ทั้งนี้เพราะมีรายงานว่า การปล่อยไส้เดือนดินสีเทาสายพันธุ์ *Amyntas* sp. จำนวน ๒๐ ตัวต่อพื้นที่ปลูก ๑ ตารางเมตร สามารถเพิ่มปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในดินได้ถึง ๘ เท่า

การใช้ไบโอชาร์

ในแง่ของการใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรนั้น ถ่านชีวภาพหรือไบโอชาร์ได้รับสมญานามว่าเป็นทองคำสีดำของชาวเกษตร ด้วยสมบัติที่มีสารคาร์บอนสูง และมีรูพรุนตามธรรมชาติมากมาย จึงได้รับความนิยมนำไปใช้ปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มการระบายอากาศ การอุ้มน้ำ การดูดซับธาตุอาหารหรือปุ๋ยที่ใส่ลงดินไม่ให้ถูกน้ำฝนชะล้างหายไปจากดิน โดยเฉพาะช่วยดูดซับฟอสเฟตและลดการสูญเสียไนโตรเจนในดิน ลดความเป็นกรดของดิน และเป็นที่อยู่อาศัยหลบภัยของจุลินทรีย์ในดินทั้งหลาย ช่วยเพิ่มคุณภาพผลผลิต ลดการสะสมสารเคมี และช่วยตรึงโลหะหนักในดิน ทำให้พืชปลอดภัยมากขึ้น

การปลูกพืชคลุมดิน

วิธีปฏิบัติแบบนี้ช่วยหมุนเวียนการใช้ธาตุอาหารในดิน พืชคลุมดินช่วยในการปรับปรุงโครงสร้างของดิน ทำให้ดินมีความโปร่งและสามารถเก็บรักษาความชื้นได้ดีขึ้น ช่วยป้องกันการพังทลายของดิน ลดการเกิดวัชพืช และสร้างสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของแมลงศัตรูพืช ซึ่งส่งผลให้พืชและจุลินทรีย์ในดินเจริญเติบโตดีขึ้น พืชคลุมดินบางชนิด เช่น พืชตระกูลถั่ว สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศลงในดินได้ ซึ่งช่วยเพิ่มปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์แก่พืช

การไม่เผา

การไม่เผาเศษพืชหลังการเก็บเกี่ยวมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน เศษพืชเหล่านี้จะเน่าเปื่อยกลายเป็นอินทรีย์วัตถุที่มีประโยชน์แก่ดิน แทนที่จะถูกเผาทำลาย อินทรีย์วัตถุเหล่านี้จะถูกนำกลับไปใช้ในกระบวนการหมุนเวียนของธาตุอาหาร เศษพืชที่เน่าเปื่อยจะช่วยในการปรับปรุงโครงสร้างของดิน ทำให้ดินระบายอากาศดีขึ้นและสามารถกักเก็บน้ำได้มากขึ้น เศษพืชที่ค้างอยู่บนพื้นดินจะช่วยป้องกันการกัดเซาะของดินจากลมและน้ำ โดยทำหน้าที่เป็นชั้นป้องกันหน้าดินจากการถูกชะล้าง

การไถกลบวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

การไถกลบวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน อินทรีย์วัตถุที่เกิดจากการไถกลบวัสดุเหลือใช้จะเป็นแหล่งอาหารสำคัญสำหรับจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตในดิน ซึ่งช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์และเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน เมื่อดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารมากขึ้น เกษตรกรจะสามารถลดปุ๋ยเคมีที่ใช้อยู่ได้ ทำให้ลดค่าใช้จ่ายและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อวัสดุเหลือใช้ถูกย่อยสลาย ธาตุอาหารต่าง ๆ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม จะถูกปลดปล่อยออกมาและกลายเป็นแหล่งอาหารที่มีประโยชน์แก่พืช อีกทั้งวัสดุเหลือใช้ที่ถูกไถกลบลงในดินจะช่วยรักษาความชื้นในดิน ลดการสูญเสียความชื้น และทำให้ดินมีความชื้นที่เพียงพอแก่การเจริญเติบโตของพืช

การเติมปุ๋ยอินทรีย์

การเติมปุ๋ยอินทรีย์เป็นวิธีการสำคัญในการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งมีผลดีแก่การปรับปรุงคุณภาพดิน และการเกษตรโดยรวม การเพิ่มสารอินทรีย์ทางตรงสามารถทำได้โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด ซึ่งต่างก็ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่เป็นผลจากการย่อยสลายของวัสดุธรรมชาติ เมื่อเติมลงในดิน สารอินทรีย์เหล่านี้จะเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินทันที เพิ่มความเป็นต่าง และปรับสภาพดิน ปุ๋ยอินทรีย์จะช่วยปรับสภาพดินให้เหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืช ลดความเป็นกรดของดิน และเพิ่มความเป็นต่างในบางกรณี

เกษตรอินทรีย์กับความยั่งยืนในระยะยาว

แม้ว่าระบบเกษตรเคมีจะช่วยเพิ่มผลผลิตได้รวดเร็ว แต่ในระยะยาวอาจทำให้ต้นทุนสูงขึ้นและดินเสื่อมโทรม ในทางตรงกันข้าม การใช้วัสดุปลูกอินทรีย์และการฟื้นฟูดินด้วยวิธีธรรมชาติจะช่วยให้ดินดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง ลดการพึ่งพาสารเคมี และช่วยสร้างความปลอดภัยให้แก่ทั้งเกษตรกร ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม

ดินเป็นหัวใจสำคัญของการเกษตร และดินที่ดีต้องเป็น “ดินที่มีชีวิต” มีทั้งธาตุอาหาร อินทรีย์วัตถุ น้ำ อากาศ และจุลินทรีย์ที่ได้ดูล การพัฒนาดินด้วยแนวทางอินทรีย์จึงเป็นวิธีสำคัญในการฟื้นฟูคุณภาพดิน และเพิ่มประสิทธิภาพการปลูกพืชอย่างยั่งยืน

นวัตกรรม “ดินพรีเมียม” เป็นตัวอย่างของการนำองค์ความรู้ด้านดิน อินทรีย์วัตถุ จุลินทรีย์ และเทคโนโลยีการปรับปรุงดินมาผสมผสานกัน เพื่อสร้างวัสดุปลูกคุณภาพสูงที่ช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างแข็งแรง ปลอดภัย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

การดูแลดินจึงไม่เพียงเป็นการเพิ่มผลผลิตในวันนี้ แต่คือการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติ เพื่อการเกษตรที่มั่นคงและยั่งยืนสำหรับอนาคต

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาที่ดิน. (๒๕๖๕). *คู่มือการจัดการอินทรีย์วัตถุเพื่อปรับปรุงดินทางการเกษตร*. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมวิชาการเกษตร. (๒๕๖๔). *แนวทางการผลิตพืชอินทรีย์ตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์*. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย. (๒๕๖๒). *การผลิตถ่านชีวภาพและแนวทางการใช้ประโยชน์*. <https://erp.mju.ac.th/articleDetail.aspx?qid=1072>.
- อานัฐ ตันโช. (๒๕๖๐). *การผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากขยะอินทรีย์*. สำนักพิมพ์ ทรีโอ แอดเวอร์ไทซิง แอนด์ มีเดีย จำกัด, เชียงใหม่.
- อานัฐ ตันโช. (๒๕๖๕). *การปลูกพืชในระบบเกษตรอินทรีย์*. สำนักพิมพ์ ทรีโอ แอดเวอร์ไทซิง แอนด์ มีเดีย จำกัด, เชียงใหม่.
- อานัฐ ตันโช. (๒๕๖๖). *เกษตรธรรมชาติประยุกต์ แนวคิด หลักการ เทคนิคปฏิบัติในประเทศไทย*. พิมพ์ครั้งที่ ๖. สำนักพิมพ์ ทรีโอ แอดเวอร์ไทซิง แอนด์ มีเดีย จำกัด, เชียงใหม่.
- อานัฐ ตันโช. (๒๕๖๖). *การปลูกพืชในระบบเกษตรอินทรีย์ในระดับอุตสาหกรรม*. สำนักพิมพ์ ทรีโอ แอดเวอร์ไทซิง แอนด์ มีเดีย จำกัด, เชียงใหม่.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The Nature and Properties of Soils* (15th ed.). Pearson Education.
- FAO. (2023). *Soil Organic Matter Management for Sustainable Agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2014). *Soil Fertility and Fertilizers*. Pearson Education.

หอย : อาหารดี ๆ ที่ต้องรับประทานอย่างระมัดระวัง

Shellfish: A Nutritious Food to Be Consumed with Care

อุทัยรัตน์ ณ นคร^{๑,๒}

^๑ภาควิชาชีววิทยา สาขาสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร และสัตวแพทยศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ราชบัณฑิตยสภา

^๒คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ffisurn@ku.ac.th

บทนำ

หอยเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในไฟลัม Mollusca อาศัยอยู่ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม พบได้ในน้ำจืดประมาณ ๖,๐๐๐-๗,๐๐๐ ชนิด และในทะเลประมาณ ๕๐,๐๐๐-๕๕,๐๐๐ ชนิด ส่วนหอยที่มนุษย์นำมาบริโภคเป็นอาหารนั้นระบุจำนวนที่แน่นอนได้ยาก เนื่องจากขึ้นอยู่กับท้องถิ่นและเกณฑ์การนับ แต่คาดว่าจะมีอย่างน้อยหลายร้อยชนิด

หอยหลายชนิดเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพสูง ไขมันต่ำ (ตารางที่ ๑) หอยทะเลให้กรดไขมันโอเมกา-๓ รวมทั้งวิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญแก่ร่างกาย เช่น วิตามินบี ๑๒ สังกะสี ซีลีเนียม และธาตุเหล็ก หอยที่นิยมบริโภคในประเทศไทยมีหลายชนิด โดยเฉพาะที่บริโภคกันแพร่หลายเนื่องจากมีการเลี้ยงเป็นการค้า ได้แก่ หอยแมลงภู่ (ผลผลิตประมาณ ๓๕,๐๐๐ ตัน/ปี) หอยแครง (ผลผลิตประมาณ ๒๕,๐๐๐ ตัน/ปี) และหอยนางรม (ผลผลิตประมาณ ๑๑,๐๐๐ ตัน/ปี) นอกจากนั้น ยังมีหอยชนิดอื่น ๆ ที่มีผลผลิตไม่มากนัก เช่น หอยตลับ หอยเป่าฮื้อ และหอยหวาน

ตารางที่ ๑ คุณค่าทางโภชนาการโดยประมาณของหอยทะเลบางชนิด (ต่อน้ำหนักเนื้อ ๑๐๐ กรัม) (หมายเหตุ : ค่าทางโภชนาการแตกต่างกันไปตามชนิด แหล่งผลิต ฤดูกาล และวิธีปรุง) (ดัดแปลงจาก Batista & Pires, 2023)

ชนิดหอย	โปรตีน (มิลลิกรัม)	ไขมัน (มิลลิกรัม)	EPA (มิลลิกรัม)	DHA (มิลลิกรัม)	ธาตุเหล็ก (ไมโครกรัม)	ธาตุสังกะสี (ไมโครกรัม)
หอยแมลงภู่	๑๑.๐	๑.๗	๑๓๕.๖	๑๒๖.๓	๖.๓	๒.๕๙
หอยนางรม	๑๓.๓๑	๑.๒๔	๑๑๒.๐	๙๑.๖	๓.๗	๐.๔๓
หอยแครง	๑๕.๙๙	๑.๙๓	—	—	๖.๒๑	๐.๘๒
หอยตลับ	๑๒.๗๕	๑.๕๘	๒๑๓.๒๓	๔๘๖.๔๗	๑๓.๒	๑.๗

[EPA (Eicosapentaenoic acid) และ DHA (Docosahexaenoic acid) เป็นกรดไขมันโอเมกา-๓ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย โดย EPA เกี่ยวข้องกับการลดการอักเสบและสุขภาพหัวใจ ส่วน DHA มีความสำคัญต่อสมอง ระบบประสาท และการมองเห็น]

อันตรายที่อาจเกิดจากการรับประทานหอย

แม้หอยจะมีประโยชน์ทางโภชนาการ แต่การบริโภคหอยมีความเสี่ยงต่อสุขภาพอยู่หลายประการ โดยเฉพาะหอยสองฝา (bivalve) ซึ่งกินอาหารโดยการกรองแพลงก์ตอนและอนุภาคอินทรีย์จากน้ำ จึงอาจสะสมสารพิษที่แพลงก์ตอนบางชนิดสร้างขึ้นได้ นอกจากนี้ หอยยังอาจสะสมสารก่อมลพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำและดินตะกอน เช่น โลหะหนัก สารเคมีตกค้างต่าง ๆ รวมทั้งอาจเป็นแหล่งสะสมของเชื้อก่อโรค จนทำให้เกิดปัญหาสุขภาพและปรากฏเป็นข่าวอยู่เป็นระยะ อันตรายจากการบริโภคหอยสามารถแบ่งได้เป็น ๕ ประเภท ดังนี้

๑. พิษจากแพลงก์ตอนหรือสาหร่ายพิษ (marine biotoxins)

แพลงก์ตอนพืชหลายชนิดสร้างสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เช่น

๑.๑ สารพิษกลุ่ม PSP (Paralytic shellfish poisoning) สารพิษหลักคือสาร Saxitoxin ซึ่งสร้างขึ้นโดย Dinoflagellate เช่น *Alexandrium* spp. และ *Gymnodinium catenatum* สารพิษกลุ่มนี้มีพิษรุนแรงที่สุด อาการที่พบคือชารอบปาก ลิ้น หน้า มือเท้า เวียนศีรษะ เดินเซ กลืนและพูดลำบาก กล้ามเนื้ออ่อนแรง กล้ามเนื้อหายใจอาจเกิดอัมพาตและผู้บริโภคอาจเสียชีวิตได้ อาการอาจเริ่มภายในไม่กี่นาทีถึงไม่กี่ชั่วโมงหลังบริโภคหอยปนเปื้อน

๑.๒ สารพิษกลุ่ม DSP (Diarrhetic shellfish poisoning) สารพิษหลักคือ Okadaic acid และ dinophysistoxins ซึ่งเกิดจาก Dinoflagellate ชนิด *Dinophysis* spp. และ *Prorocentrum* spp. สารพิษกลุ่มนี้ก่อให้เกิดอาการที่ไม่รุนแรง โดยทำให้ท้องเสีย คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง โดยทั่วไปผู้บริโภคไม่ค่อยถึงตาย อาการมักเกิดภายในประมาณ ๓๐ นาที ถึงไม่กี่ชั่วโมงหลังรับประทานหอย

๑.๓ สารพิษกลุ่ม ASP (Amnesic shellfish poisoning) สารพิษหลักคือ Domoic acid ซึ่งสร้างขึ้นโดย Diatom เช่น *Pseudo-nitzschia* spp. อาการที่เกิดคือคลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย ปวดท้อง ต่อมาอาจปวดศีรษะ เวียนศีรษะ สับสน เสียความจำระยะสั้น ชัก โคม่า อาการของทางเดินอาหารมักเกิดภายใน ๒๔ ชั่วโมง และอาการทางประสาทอาจเกิดภายใน ๔๘ ชั่วโมง

๑.๔ สารพิษกลุ่ม NSP (Neurotoxic shellfish poisoning) สารพิษหลักคือ Brevetoxins ซึ่งสร้างขึ้นโดย Dinoflagellate ชนิดหลัก คือ *Karenia brevis* สารนี้ทำให้คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย ปวดท้อง ร่วมกับชารอบปาก/ลิ้น ชาปลายมือปลายเท้า เดินเซ พูดไม่ชัด เวียนศีรษะ อาการมักไม่รุนแรงถึงขั้นเสียชีวิต

๑.๕ สารพิษกลุ่ม AZP (Azaspiracid shellfish poisoning) สารพิษหลักคือ Azaspiracids ซึ่งสร้างขึ้นโดย Dinoflagellate ขนาดเล็ก เช่น *Azadinium spinosum* อาการคล้ายกับ DSP

สารพิษเหล่านี้ทนต่อความร้อน ไม่ถูกทำลายแม้จะปรุงสุก ดังนั้น หอยที่มีพิษ แม้ต้ม นึ่ง หรือย่างแล้วก็ยังอาจทำให้ป่วยได้ อนึ่ง ความสำคัญของสารพิษแต่ละกลุ่มแตกต่างกันตามภูมิภาค เช่น NSP ที่เกี่ยวกับ *Karenia brevis* เป็นปัญหาเด่นในบางพื้นที่ เช่น รัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา มากกว่าจะเป็นประเด็นหลักที่พบทั่วไปในไทย

ปรากฏการณ์หอยเป็นพิษมักสัมพันธ์กับปรากฏการณ์การเพิ่มจำนวนอย่างผิดปกติของแพลงก์ตอน ที่เรียกว่า “แพลงก์ตอนบลูม” (plankton bloom) ซึ่งสัมพันธ์กับสภาวะแสงที่เหมาะสมและการเพิ่มของ สารอาหารในน้ำทะเล ในเขตอบอุ่นปรากฏการณ์นี้มักเกิดในฤดูใบไม้ผลิ และอาจเกิดอีกครั้งในฤดูใบไม้ร่วง สำหรับประเทศไทยพบว่าแพลงก์ตอนบลูมมักเกิดในฤดูมรสุม แต่ก็เกิดในฤดูแล้งได้ด้วย ตัวอย่างแพลงก์ตอนที่ สร้างสารพิษ แสดงดังภาพที่ ๑



ภาพที่ ๑ แพลงก์ตอนกลุ่ม Dinoflagellate และ Diatom บางชนิดที่สร้างสารพิษ

กรณีการป่วยจากสารพิษในหอยนั้นพบครั้งแรกในประเทศไทยเมื่อ พ.ศ. ๒๕๒๖ ที่ปากน้ำ ปรานบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ผู้ป่วยจากการรับประทานหอยแมลงภู่มี ๖๓ ราย และเสียชีวิต ๑ ราย

ในเวลาต่อมา เมื่อวันที่ ๓๐ มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๖๐ ก็พบผู้ป่วย ๒ ราย (จาก อ.บาเจาะ จ. นราธิวาส และ อ.ไม้แก่น จ.ปัตตานี) ซึ่งป่วยจากการบริโภคหอยติเปง (*Gari elongata*) โดยมีอาการชาที่ปาก ปลายมือ ปลายเท้า เวียนศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน เกิดหลังจากรับประทานหอยชนิดนี้ ๓๐ นาที-๑ ชั่วโมง ตรวจพบสารพิษ saxitoxin สูงกว่าค่ามาตรฐาน ๓๑.๘ เท่าในแหล่งน้ำที่พบแพลงก์ตอน *Alexandrium* spp. ซึ่งเป็นปริมาณสูง (สุวรรณยา จันทุตานนท์ และคณะ, ๒๕๖๓)

๒. เชื้อก่อโรค หอยอาจปนเปื้อนแบคทีเรีย เช่น *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus*, *Salmonella*, ไวรัส (เช่น Norovirus, ไวรัสตับอักเสบเอและอี) และปรสิตบางชนิด

หอยนางรมดิบมีความเสี่ยงสูงต่อผู้บริโภค เพราะอาจมีเชื้อ *Vibrio* สะสมอยู่ได้ การกินหอย นางรมดิบอาจทำให้ป่วยรุนแรง และในกรณีของ *Vibrio vulnificus* ผู้ติดเชือรุนแรงบางรายอาจเสียชีวิตได้ เพราะมีรายงานการเสียชีวิตเพราะเหตุนี้บ่อยครั้ง โดยเฉพาะในต่างประเทศ

ในประเทศไทยนั้น มีรายงานผู้ป่วย *Vibrio vulnificus* septicemia ในประเทศไทยย้อนหลัง ๑๒ ปี ที่โรงพยาบาลศิริราช ระหว่าง พ.ศ. ๒๕๔๐-๒๕๕๑ รวม ๒๙ ราย ผู้ป่วยโรคนี้มีอัตราการเสียชีวิตสูงมาก คือ เสียชีวิต ๒๐ จาก ๒๙ ราย หรือร้อยละ ๖๙ และผู้เสียชีวิตจำนวนมากเสียชีวิตอย่างรวดเร็ว คือ ร้อยละ ๕๘.๖ เสียชีวิตภายใน ๒๔ ชั่วโมงหลังจากมาถึงโรงพยาบาล ผู้ป่วยส่วนใหญ่เป็นเพศชาย (ร้อยละ ๗๕.๙) มีอายุมัธยฐาน (median age) ๔๙ ปี ปัจจัยพื้นฐานที่พบบ่อยที่สุดคือโรคตับเรื้อรัง โดยเฉพาะตับแข็ง นอกจากนี้ยังพบร่วมกับภาวะอื่น เช่น พิษสุราเรื้อรัง เบาหวาน ติดเชื้อไวรัสตับอักเสบบี/ซี และมะเร็งตับ อาการแสดงที่พบบ่อยคือการติดเชื้อผิวหนังและเนื้อเยื่ออ่อนแบบรุนแรง (ร้อยละ ๖๕.๕) ผู้ป่วยบางรายมาด้วยอาการไข้ ปวดกล้ามเนื้อ หรือท้องเสีย และบางรายเข้าสู่ภาวะช็อกตั้งแต่มาถึงโรงพยาบาล (Kiratisin et al., 2012)

นอกจากเชื้อโรคที่กล่าวถึงแล้ว ในประเทศไทยเคยมีรายงานการเสียชีวิตเนื่องจากบริโภคหอยแมลงภู่หนึ่งที่ปนเปื้อนด้วยเชื้ออหิวาตกโรค (ไทยรัฐออนไลน์, ๒๕๖๓)

๓. สารปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อม หอยอาจสะสมโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียมปรอท สารหนู สารเคมีตกค้าง ไมโครพลาสติก มลพิษจากสิ่งแวดล้อม การสะสมโลหะหนักในหอยเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัย จากการศึกษาหอยสองฝาหลายชนิด เช่น หอยแมลงภู่ หอยนางรม หอยแครง หอยตลับ และหอยลาย พบว่าปริมาณโลหะหนัก (ชนิดที่สำคัญ ๆ ได้แก่ ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว สารหนู) ยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัย แต่ก็มีตัวอย่างจำนวนหนึ่งที่มีค่าเกินมาตรฐาน

ไมโครพลาสติกและสาร Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) เป็นสารปนเปื้อนสำคัญที่ทำให้เกิดความกังวลในปัจจุบัน จากการศึกษาในประเทศเวียดนามพบว่า หอยสองฝานิยมบริโภคกันในเวียดนามตอนกลางมีการปนเปื้อนไมโครพลาสติกอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะหอยนางรมและหอยแมลงภู่ ซึ่งมีแนวโน้มสะสมสูงกว่าหอยลาย การบริโภคหอยสองฝาอาจทำให้ผู้บริโภคได้รับไมโครพลาสติกประมาณ ๕,๐๐๐-๑๐,๐๐๐ ชิ้นต่อปี (Tran et al., 2025) ในประเทศไทยนั้นแม้จะยังไม่พบรายงานลักษณะดังกล่าว แต่เชื่อได้ว่าสถานการณ์คงจะคล้าย ๆ กัน นอกจากนั้นยังมีรายงานการพบสาร PAHs ในหอยหลายชนิด เช่น หอยนางรม หอยแมลงภู่ หอยลาย/หอยแครง หอยเชลล์ สาร PAHs เป็นสารมลพิษที่ควรเฝ้าระวัง เนื่องจากบางชนิดมีสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง ก่อเกิดการกลายพันธุ์ และเป็นพิษต่อพันธุกรรม

๔. ภูมิแพ้หอย ภูมิแพ้หอยเกิดจากระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายตอบสนองผิดปกติต่อโปรตีนบางชนิดในเนื้อหอย โปรตีนก่อภูมิแพ้ที่สำคัญคือ tropomyosin ซึ่งพบได้ในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหลายชนิด รวมทั้งหอย กุ้ง ปู หมึก และไรฝุ่น โปรตีนดังกล่าวทำให้ผู้แพ้หอยบางรายอาจมีอาการแพ้อาหารทะเลชนิดอื่นร่วมด้วย หรือเกิดปฏิกิริยาข้ามระหว่างสารก่อภูมิแพ้ต่างชนิดกันได้

๕. พิษจาก biogenic amines หอยที่ไม่สดอาจเกิดการสลายตัวของกรดอะมิโนอิสระด้วยเอนไซม์ในตัวสัตว์เองหรือจากกิจกรรมการเผาผลาญของจุลินทรีย์ ทำให้เกิด biogenic amines โดยเฉพาะ histamine ซึ่งเป็นสาเหตุของ scombroid fish poisoning และทำให้เกิดการแพ้ ความรุนแรงของอาการจะมากน้อยตาม

ปริมาณหอยที่รับประทาน ซึ่งแตกต่างกับภูมิแพ้หอย เพราะภูมิแพ้หอยอาจแสดงอาการได้แม้ว่าผู้ป่วยจะรับประทานหอยในปริมาณเพียงเล็กน้อย

ข้อควรระวังในการรับประทานหอย

ดังนั้น ในการรับประทานหอย เราควรหลีกเลี่ยงการรับประทานหอยดิบหรือสุก ๆ ดิบ ๆ โดยเฉพาะหอยนางรม ผู้บริโภคควรเลือกซื้อจากแหล่งที่เชื่อถือได้ และควรมีการควบคุมแหล่งเก็บเกี่ยวหรือระบบสุขอนามัย ควรปรุงให้สุกอย่างเหมาะสม เพราะช่วยลดความเสี่ยงจากแบคทีเรีย ไวรัส และปรสิต แม้จะไม่สามารถทำลายสารพิษทางทะเลบางชนิดได้ทั้งหมด ควรรับประทานหอยในช่วงเกิดแพลงก์ตอนบลูม เลือกซื้อหอยที่สดมาปรุงอาหาร ผู้บริโภคกลุ่มเสี่ยง เช่น ผู้สูงอายุ หญิงตั้งครรภ์ ผู้มีโรคตับ โรคเรื้อรัง หรือภูมิคุ้มกันบกพร่อง ควรหลีกเลี่ยงหอยดิบอย่างเด็ดขาด

แม้การรับประทานหอยจะมีความเสี่ยงหลายประการ หากเลือกรับประทานอย่างถูกวิธีและไม่บ่อยเกินไป ก็จะทำให้ได้ประโยชน์จากสารอาหารในหอยได้อย่างเต็มที่

เอกสารอ้างอิง

สวรยา จันทูตานนท์, อารีย์ ตาหามาด, ลัดดาวัลย์ สุขุม, พิตรียะห์ สาและ, นิสุไลดา นิโซะ. (๒๕๖๓). หอยสองฝาทำให้เกิดอัมพาตได้จริงหรือ (Paralytic Bivalva Shellfish Poisoning) ในอำเภอไม้แก่น อำเภอสาบური จังหวัดปัตตานี และอำเภอบาเจาะ จังหวัดนราธิวาส เดือนกรกฎาคม ๒๕๖๐. รายงานการเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาประจำสัปดาห์, ๕๑, ๖๒๕-๖๓๓.

ไทยรัฐออนไลน์. (๒๕๖๓, ๑๐ ธันวาคม). สสจ.มุกดาหารพบ หอยแมลงภู่หนึ่งมีเชื้ออหิวาตกโรค เน้นต้มในน้ำเดือดก่อนกิน.

Batista, I., & Pires, C. (2023). A review of the nutritional value of bivalve molluscs and gastropods. Relatórios Científicos e Técnicos do IPMA – Série Digital, 41, 1–41.

Kiratisin, P., Leelaporn, A., & Sangruchi, T. (2012). *Vibrio vulnificus* septicemia in Thailand: A 12-year case series and report of two fatal massive rhabdomyolysis cases. *Asian Biomedicine*, 6(3), 495–502.

Tran, T.A.M., Nguyen, D.D., Nguyen, Q.H., Ton, T.T.T., Phan, T.T.H., Nguyen, D.L. (2025). Microplastic abundance and characteristics in bivalves from Tam Giang-Cau Hai and O Loan Lagoons, coastal regions in Central Vietnam: Implication on human health. *Marine Pollution Bulletin*, 216, 117937.

ไฮโดรเจลและการประยุกต์ใช้ในงานด้านอาหาร Hydrogels and Their Applications in Foods

ชลิดา เนียมน้ย^๑ และ สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา^{๒,๓}

^๑ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

^๒ราชบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร ประเพณีวิศวกรรมศาสตร์ สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา

^๓ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,
sakamon.dev@kmutt.ac.th

บทนำ

ไฮโดรเจล (hydrogel) คือวัสดุอ่อนนุ่ม (soft material) ที่ประกอบด้วยโครงข่าย ๓ มิติของพอลิเมอร์ กักเก็บน้ำได้มาก โครงสร้างดังกล่าวเกิดจากการเชื่อมขวางสายพอลิเมอร์ด้วยอันตรกิริยาทางเคมีหรือทางกายภาพ ทำให้วัสดุมีสมบัติเป็นทั้งของแข็งและของเหลวในเวลาเดียวกัน ไฮโดรเจลมีสมบัติเด่นหลายประการ เช่น สามารถดูดซับและบวมน้ำ และสามารถคืนตัวหลังรับแรง (elastic recovery) ซึ่งส่งผลต่อความยืดหยุ่น รวมถึงความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) ด้วยเหตุนี้ จึงมีผู้นำไฮโดรเจลไปใช้งานหลากหลาย เช่น ในงานด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ (tissue engineering) การดูดซับสารพิษ การนำส่งและควบคุมการปลดปล่อยยา การผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยืดหยุ่น วัสดุทางการแพทย์ รวมถึงในงานด้านอาหาร ซึ่งมุ่งเน้นการปรับปรุงคุณภาพอาหาร การควบคุมเนื้อสัมผัส การนำส่งสารอาหาร และการคงเสถียรภาพของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

โครงสร้างไฮโดรเจล

หลักการสำคัญของการออกแบบไฮโดรเจลคือแนวคิด “โครงสร้างกำหนดหน้าที่” (structure determines function) ซึ่งหมายถึง การปรับแต่งชนิดของพอลิเมอร์และรูปแบบการเชื่อมขวางให้สามารถควบคุมสมบัติต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น และใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ เช่น ไฮโดรเจลที่มีพันธะไฮโดรเจนจำนวนมากจะมีความยืดหยุ่นสูง ไฮโดรเจลที่มีการเชื่อมขวางด้วยพันธะโคเวเลนต์ (covalent bond) จะมีความแข็งแรงและทนต่อการเสื่อมสภาพได้ดี ทั้งนี้ เราสามารถออกแบบไฮโดรเจลได้หลายขนาดและรูปแบบ ตั้งแต่ระดับนาโนเมตรจนถึงเซนติเมตร ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ไมโครเจล

ไมโครเจล (microgel) มีขนาด ๑๐๐ นาโนเมตร ถึง ๑๐ ไมโครเมตร ปรากฏอยู่ในรูปของอนุภาคคอลลอยด์ที่บวมตัวในน้ำ สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชัน (emulsion polymerization) ใช้ในระบบนำส่งยา หรือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ลักษณะสำคัญของไมโครเจลคือความสามารถในการปรับรูปร่างและสมบัติให้ไวต่อสิ่งเร้า เช่น อุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นาโนเจล

นาโนเจล (nanogel) มีขนาดเล็กกว่า ๑๐๐ นาโนเมตร สามารถซึมผ่านเยื่อเซลล์ได้ มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเป็นค่าสูง จึงเหมาะสำหรับงานทางการแพทย์ เช่น การนำส่งยาแบบแม่นยำ การป้องกันการสลายของสารชีวโมเลกุล ตัวอย่างเช่น นาโนเจลจากไคโทซาน-เดกซ์ทราน (chitosan-dextran) ที่ใช้ห่อหุ้มโปรตีนหรือพอลิเพปไทด์เพื่อป้องกันการเสื่อมสลายขณะผ่านระบบทางเดินอาหาร

ไฮโดรเจลแบบชั้นเปลือกแกน

ไฮโดรเจลแบบชั้นเปลือกแกน (core-shell structured hydrogel) มีแกนใน (core) และเปลือกนอก (shell) โดยที่เปลือกนอกมีสมบัติไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช เช่น การพองตัว การละลาย ขณะที่แกนในยึดเกาะกับเนื้อเยื่อชีวภาพ เช่น ผิวเยื่อบุ กระเพาะ ลำไส้ ผิวแผล ได้ดี จึงมีประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ภายในร่างกาย เหมาะกับการปลดปล่อยสารอาหารหรือยาแบบควบคุมทิศทาง

ไฮโดรเจลหลายชั้น

ไฮโดรเจลหลายชั้น (multi-layered hydrogel) ประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ ซ้อนกันหลายชั้น (onion-like layers) หรือมีโครงสร้างสองหน้า (Janus structure) แต่ละชั้นอาจมีสมบัติแตกต่างกัน เช่น ด้านหนึ่งดูดซับน้ำ ด้านหนึ่งกันน้ำ จึงอาจใช้ควบคุมการปลดปล่อยสารอาหาร ๒ ชนิดที่ไม่เข้ากัน

ไฮโดรเจลพรุน

ไฮโดรเจลพรุน (porous hydrogel) มีความพรุนในเนื้อเจลที่อาจใช้เร่งการซึมผ่านของน้ำและสารละลาย การสร้างรูพรุนทำได้โดยการอบแห้งแบบแช่แข็ง (freeze drying) การเกิดโฟมแก๊ส (gas foaming) หรือการแยกชั้นของสาร (phase separation) เหมาะสำหรับระบบส่งสารอาหารหรือเอนไซม์ในอาหาร

ไฮบริดไฮโดรเจล

ไฮบริดไฮโดรเจล (hybrid hydrogel) เป็นผลจากการผสมระหว่างพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ หรือผสมกับอนุภาคนาโน เช่น ซิลิกา อนุภาคดินเหนียวนาโน กราฟีน เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและสมบัติพิเศษอื่น ๆ เช่น สภานำไฟฟ้า ความสามารถในการดูดซับโลหะหนัก

การประยุกต์ในงานด้านอาหาร

แม้ไฮโดรเจลจะมีจุดเริ่มต้นจากงานด้านชีวการแพทย์ แต่ในทศวรรษที่ผ่านมาผู้นำไฮโดรเจลมาใช้ในงานด้านอาหารอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในด้านต่าง ๆ ดังนี้

การใช้งานด้านโภชนาการและสุขภาพ

ไฮโดรเจลสามารถใช้เป็นตัวห่อหุ้มสารอาหารที่ไวต่อสภาวะแวดล้อม เช่น วิตามิน โปรตีน สารเสริมชีวณะ (probiotics) กรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยมีข้อดี คือ ป้องกันการสลายด้วยสาเหตุจากออกซิเจน แสง หรือค่าพีเอช และสามารถปลดปล่อยสารออกฤทธิ์อย่างควบคุมในระบบทางเดินอาหาร พอลิเมอร์ที่ใช้ในการสร้าง

ไฮโดรเจลมักเป็นชนิดที่ย่อยได้ในระบบทางเดินอาหาร เช่น แอลจินेट เพกทิน ไคโทซาน เวย์โปรตีน และ เจลาติน

โครงสร้างสามมิติของไฮโดรเจลสามารถใช้ในการดักจับหรือลดการดูดซึมไขมันและคาร์โบไฮเดรต อีกทั้งยังขยายตัวได้ในกระเพาะอาหาร ช่วยเพิ่มความรู้สึกอิ่ม ทำให้ลดปริมาณการบริโภคอาหาร ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเตรียมไฮโดรเจลประเภทนี้ได้แก่คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และคอนยัค กุลโคแมนแนน

ในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เจล ผลิตภัณฑ์นม ขนมหวาน อาจใช้ไฮโดรเจลปรับเนื้อสัมผัสของอาหาร โดยให้ทำหน้าที่เป็นสารก่อเจลหรือสารทดแทนไขมัน เช่น เพกทินและคาราจีแนน ซึ่งใช้สร้างเจลเนียนนุ่มในโยเกิร์ต แขนแทนกัม และโลคัสพีนกัม (locust bean gum) ซึ่งใช้เพิ่มความหนืดในไอศกรีม

การใช้ในกระบวนการแยกสารและฟอกสี

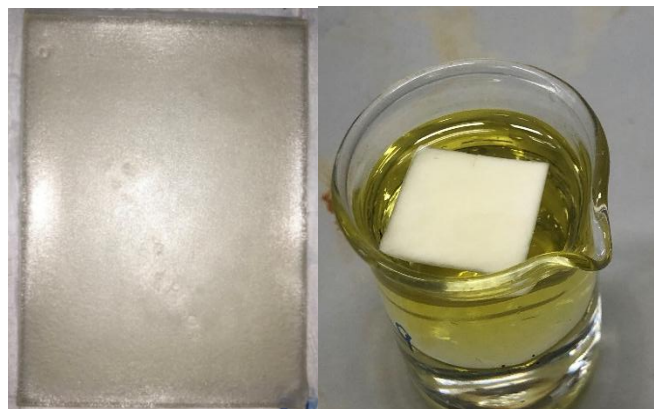
ไฮโดรเจลที่มีหมู่ประจุสามารถดูดซับโลหะหนักหรือสารปนเปื้อน เช่น Pb^{2+} , Cu^{2+} สีย้อมอาหาร ได้ ตัวอย่างเช่นไฮโดรเจลไคโทซาน-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งใช้ดูดซับโลหะหนักในน้ำผลไม้ และไฮโดรเจลพอลิอะคริลามิด-ดินเหนียว (clay) ซึ่งใช้กรองโปรตีนในกระบวนการผลิตเวย์โปรตีน

บรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ

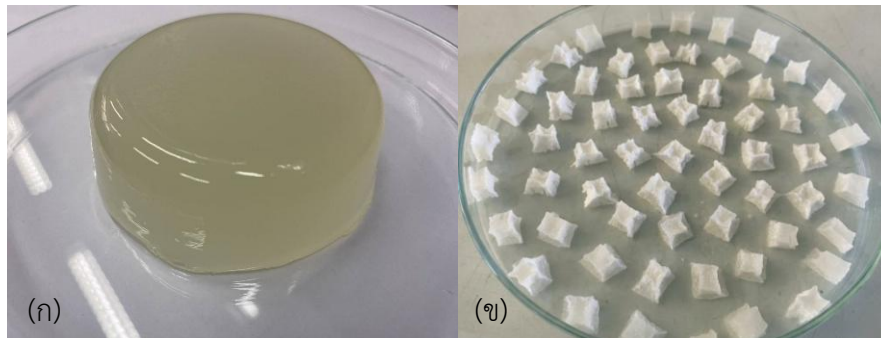
ไฮโดรเจลสามารถทำหน้าที่เป็นตัวรับรู้ชีวภาพ (biosensor) ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช แก๊ส หรือสารระเหยในอาหาร โดยอาจใช้งานในลักษณะฟิล์มห่ออาหาร เช่น ไฮโดรเจลพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-แอนโทไซยานินที่จะเปลี่ยนสีเมื่ออาหารเน่าเสีย ไฮโดรเจลไคโทซาน-สังกะสีออกไซด์ที่มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียและยืดอายุการเก็บอาหาร

ตัวดูดซับความชื้น แก๊ส น้ำมัน และสารพิษ

ไฮโดรเจลบางชนิด เช่น ไฮโดรเจลซิลิกา-พอลิอะคริลิกแอซิด ใช้ดูดซับความชื้นในบรรจุภัณฑ์ผลไม้สด ไฮโดรเจลสตาร์ช-ไคโทซานใช้ดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และรักษาความสด ไฮโดรเจลเซลลูโลส-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ใช้ดูดซับน้ำมันทอด (ภาพที่ ๑) และสารกำจัดศัตรูพืช (ภาพที่ ๒)



ภาพที่ ๑ แผ่นฟิล์มไฮโดรเจลเซลลูโลส-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สำหรับการดูดซับน้ำมันทอด



ภาพที่ ๒ ไฮโดรเจลเซลลูโลส-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สำหรับการดูดซับสารกำจัดศัตรูพืช
(ก) ก่อน (ข) หลัง การอบแห้งแบบแช่แข็ง

การใช้ในกระบวนการตรวจสอบความปลอดภัย

ไฮโดรเจลสามารถฝังเอนไซม์หรือสารบ่งชี้ (indicator) ไว้ในตัว จึงสามารถใช้ตรวจสอบหาสารพิษตกค้างได้ เช่น การตรวจโลหะหนักด้วยไฮโดรเจลสารประกอบระดับนาโนที่เปลี่ยนสีเมื่อจับกับไอออนโลหะ

แนวโน้มในอนาคตของการใช้ไฮโดรเจลในงานด้านอาหาร

เทคโนโลยีไฮโดรเจลในงานด้านอาหารกำลังพัฒนาอย่างรวดเร็วจากการบูรณาการความรู้ด้านวัสดุศาสตร์ ชีวเคมี และวิศวกรรมอาหาร เราอาจจำแนกแนวโน้มในอนาคตเป็นทิศทางหลักต่าง ๆ ดังนี้

ไฮโดรเจลตอบสนองต่อสิ่งเร้า

ไฮโดรเจลตอบสนองต่อสิ่งเร้า (stimuli-responsive hydrogel) ออกแบบให้ตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายนอก เช่น อุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช แสง สนามแม่เหล็ก ยกตัวอย่างเช่น ไฮโดรเจลจากพอลิไอโซโพรพิลอะคริลาไมด์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนสถานะจากเจลเป็นของเหลวได้เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิ ใช้ควบคุมการปลดปล่อยสารอาหารในร่างกาย ไฮโดรเจลตอบสนองต่อค่าพีเอช ซึ่งใช้ในระบบปลดปล่อยสารอาหารแบบเจาะจงตำแหน่งในทางเดินอาหาร และไฮโดรเจลตอบสนองต่อแสงหรือสนามแม่เหล็ก ซึ่งใช้ในบรรจุภัณฑ์ที่สามารถตรวจจับความสดของอาหารผ่านการเปลี่ยนสีหรือสัญญาณแม่เหล็ก

ไฮโดรเจลสำหรับการประยุกต์ในอาหารเฉพาะกลุ่ม

การประยุกต์ไฮโดรเจลในอนาคตจะเน้นการตอบสนองความต้องการเฉพาะบุคคล เช่น อาหารสำหรับผู้สูงอายุที่ต้องมีเนื้อสัมผัสนุ่มและย่อยง่าย อาหารที่ทำหน้าที่นำส่งสารเสริมชีวิต วิตามิน หรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอย่างตรงจุด อาหารสำหรับผู้ป่วย (ได้แก่ อาหารโปรตีนสูง อาหารควบคุมระดับน้ำตาล) และอาหารสำหรับผู้ป่วยกลืนลำบากและผู้ป่วยโรคกระเพาะ

การผสมผสานเทคโนโลยีดิจิทัลและนาโนเทคโนโลยี

การพัฒนาไฮโดรเจลในงานด้านอาหารมีแนวโน้มเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น การใช้ปัญญาประดิษฐ์ช่วยออกแบบโครงสร้างและสูตรของไฮโดรเจลให้เหมาะกับวัตถุดิบ การผสมผสานอนุภาคนาโน

(เช่น ซิลิกา แกรไฟต์ หรือโลหะนาโน) เพื่อปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ เช่น สภาพการนำไฟฟ้าหรือความสามารถในการตรวจจับสารพิษ การจำลองพฤติกรรมของไฮโดรเจลในอาหารเพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพในระหว่างการเก็บรักษา

บทสรุปและประเด็นความท้าทาย

ไฮโดรเจลเป็นวัสดุอเนกประสงค์ที่มีโครงสร้าง ๓ มิติ และมีสมบัติพิเศษ เช่น การดูดซับน้ำ การคืนรูป การตอบสนองต่อสิ่งเร้า จึงมีบทบาทสำคัญในงานด้านอาหารสมัยใหม่ ทั้งในแง่โภชนาการ กระบวนการผลิต และบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ แนวโน้มในอนาคตจะมุ่งสู่การพัฒนาไฮโดรเจลจากแหล่งธรรมชาติที่ย่อยสลายได้ ปลอดภัยและสามารถปรับสมบัติให้เหมาะสมกับความต้องการเฉพาะของผู้บริโภค โดยผสมเทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น นาโนเทคโนโลยี ปัญญาประดิษฐ์ ตลอดจนการพิมพ์ ๓ มิติ เพื่อสร้างอาหารที่ปลอดภัย มีคุณค่า และยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อม

แม้ว่าไฮโดรเจลจะมีศักยภาพสูง แต่ยังคงมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ด้านความปลอดภัยของวัตถุดิบ ซึ่งต้องมั่นใจได้ว่าพอลิเมอร์และสารเชื่อมขวางไม่มีพิษและได้รับอนุญาตจากหน่วยงานกำกับดูแล อีกทั้งวัสดุชีวภาพบางชนิดยังมีราคาสูงและควบคุมคุณภาพได้ยาก นอกจากนี้ นักวิจัยยังต้องศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับจุลภาคและสมบัติทางกลเพิ่มเติมเมื่อต้องการขยายขนาดการผลิต

บรรณานุกรม

- Li, J., Jia, X., & Yin, L. (2021). Hydrogel: Diversity of structures and applications in food science. *Food Rev. Int.* 37, 313–372.
- Nath, P. C., Debnath, S., Sridhar, K., Inbaraj, B. S., Nayak, P. K., & Sharma, M. (2023). A comprehensive review of food hydrogels: Principles, formation mechanisms, microstructure, and its applications. *Gels*, 9, 1.
- Nourmohammadi, N., Austin, L., & Chen, D. (2023). Protein-based fat replacers: A focus on fabrication methods and fat-mimic mechanisms. *Foods*, 12, 957.
- Thongrueng, M., Sudsakorn, K., Charoenchaitrakool, M., Seubsai, A., Panchan, N., Devahastin, S., & Niamnuy, C. (2024). Synthesis and characterization of environmentally friendly β -cyclodextrin cross-linked cellulose/poly(vinyl alcohol) hydrogels for adsorption of malathion. *ACS Omega*, 9, 22635–22649.
- Yang, Z., Chen, L., McClements, D. J., Qiu, C., Li, C., Zhang, Z., Miao, M., Tian, Y., Zhu, K., & Jin, Z. (2022). Stimulus-responsive hydrogels in food science: A review. *Food Hydrocoll.*, 124, 107218.



ราชบัณฑิตยสภา

จุลสารสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา จัดทำโดยสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา เพื่อเป็นสื่อกลางในการให้ข้อมูลและความรู้กับผู้อ่านที่เป็นประชาชนทั่วไปที่สนใจการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยี แพทยศาสตร์ ทันตแพทยศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การเกษตร และสัตวแพทยศาสตร์ อันเป็นพื้นฐานองค์ความรู้และการพัฒนาการด้านการผลิตที่เปลี่ยนแปลงโลก ทั้งนี้ เน้นการนำเสนอเนื้อหาแบบไม่ซับซ้อน เข้าใจง่าย และทันเหตุการณ์ ในรูปแบบบทความปริทัศน์ฉบับย่อ จุลสารสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา ไม่ตีพิมพ์บทความวิจัย และไม่รับบทความจากบุคคลภายนอก ราชบัณฑิตยสภา

จุลสารสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา จัดพิมพ์ในรูปแบบดิจิทัล และปรากฏบนเว็บไซต์ <https://www.orst.go.th> และ <https://science.royalsociety.go.th> กำหนดออกเผยแพร่ปีละ ๔ ฉบับ คือ (๑) มกราคม-มีนาคม (๒) เมษายน-มิถุนายน (๓) กรกฎาคม-กันยายน และ (๔) ตุลาคม-ธันวาคม ผู้อ่านสามารถอ่านจุลสารสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา ได้โดยไม่ต้องสมัครเป็นสมาชิก และสามารถนำเนื้อหาในบทความที่ตีพิมพ์ในจุลสารสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา ไปอ้างอิงได้ตามหลักวิชาการ



ราชบัณฑิตยสภา The Royal Society of Thailand

ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ ๘๐ พรรษา (อาคารซี)
๑๒๐ ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง
เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร ๑๐๒๑๐
โทร. ๐ ๒๑๔๑ ๑๗๑๘

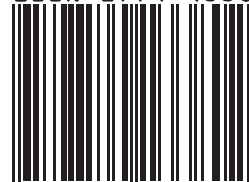
<https://www.orst.go.th>



<https://science.royalsociety.go.th>



ISSN 2774-1338



9 772774 133802