



การนำจุลินทรีย์ มาใช้ประโยชน์ ในการเกษตรและปศุสัตว์



เอกสารประกอบการบรรยาย

หลักสูตร “เวที 3/5 ประสานแบบมีส่วนร่วม” โครงการส่งเสริมเกษตรทฤษฎีใหม่
เรื่อง การนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในการเกษตรและปศุสัตว์
โดย พชช.จันทกานต์ อรณันท์ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิเคราะห์อาหารสัตว์
เรียบเรียงโดย กองงานพระราชดำริและกิจกรรมพิเศษ
กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์



การนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ ในการเกษตรและปศุสัตว์

ลิขสิทธิ์

กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

จัดพิมพ์โดย

ฝ่ายโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ
กองงานพระราชดำริและกิจกรรมพิเศษ กรมปศุสัตว์

พิมพ์ที่

ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด สาขา 4
145, 147 ถ.เลี้ยวเมืองนนทบุรี ต.ตลาดขวัญ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000
โทร. 0 2525 4807-9, 0 2525 4853-4 โทรสาร 0 2525 4855
E-mail : ACFT@co-opthai.com www.co-opthai.com

คณะผู้รวบรวม/เรียบเรียง

นางสาวจันทกานต์ อรณันท์
นายธีรวิทย์ ขาวบุบผา
นางสาวกาญจนา ธรรมรัตน์
นางสาวมนทกานต์ กันแก้ว
นายพิเชษฐ ทนไม้ะ
นางสาวรัชณี ธนะบริหาร

ISBN :

978-616-358-585-1

คำนำ

PREFACE

จุลินทรีย์ เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ที่มีมานาน มีทั้งคุณประโยชน์ สร้างสมดุลของระบบนิเวศวิทยา บางชนิด ก่อให้เกิดโทษ สำหรับบทบาทของจุลินทรีย์ในทางการเกษตรและการปศุสัตว์มีการนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์หลากหลาย สิ่งสำคัญของการนำจุลินทรีย์มาใช้ คือ ต้องรู้จักชนิด วงจรชีวิต รวมถึงธรรมชาติของจุลินทรีย์ เพื่อให้เข้าใจระบบกระบวนการในการดำรงชีวิต การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เพื่อประโยชน์การใช้ที่เหมาะสม สร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจได้

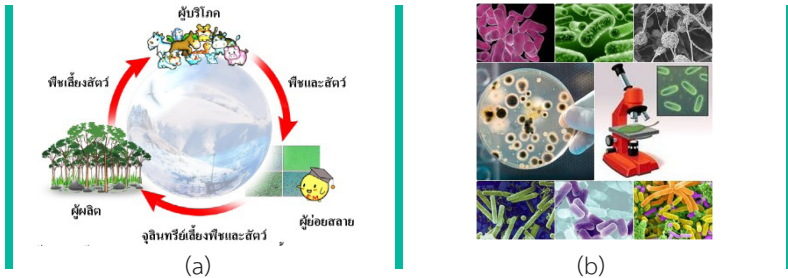
สารบัญ

CONTENTS

	หน้า
1. รู้จักจุลินทรีย์	1
2. ชนิดของจุลินทรีย์	2
- แบคทีเรีย (Bacteria)	3
- รา (Fungi) - ยีสต์ (yeast)	5
- แอคติโนมัยซิท์ (Actinomycetes)	7
- ไวรัส (Virus)	8
- สาหร่าย (Algae)	10
- โปรโตซัว (Protozoa)	12
3. การเจริญของจุลินทรีย์	14
- ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์	15
- อาหารและสภาพแวดล้อมในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์	18
4. กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตร	19
5. แนวทางการนำจุลินทรีย์จากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์	22
- การนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ทางด้านพืช	23
- การนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ทางด้านปศุสัตว์	41
- การนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในการผลิตสารสำคัญของจุลินทรีย์	47
- การนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในการเป็นอาหารคน	49

รู้จักจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ (Microorganism) คือ สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ต้องส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายต่างๆ จึงจะมองเห็น จุลินทรีย์มีทั้งที่เป็นเซลล์เดียวและหลายเซลล์ องค์ประกอบของเซลล์ไม่ซับซ้อน แตกต่างจากเซลล์ของสิ่งมีชีวิตชั้นสูงอย่างมนุษย์หรือสัตว์ที่มีความซับซ้อน จุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญต่อวัฏจักรต่างๆ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ เช่น วัฏจักรธาตุคาร์บอน ธาตุไนโตรเจน การผลิตและการย่อยสลาย ถ้าโลกนี้ไม่มีจุลินทรีย์กลุ่มผู้ย่อยสลาย จะทำให้มีซากพืชซากสัตว์มากมาย



ที่มาภาพ : (a) www.kyg.co.th/what-is-em

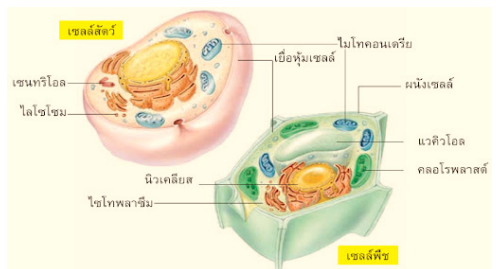
(b) kaset-saingam.blogspot.com/2015/10/blog-post.html

การนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในการเกษตรและปศุสัตว์ จะต้องเลือกใช้จุลินทรีย์ชนิดที่เหมาะสมต่อการใช้งาน ต้องรู้จักวงจรชีวิตและปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์และการให้ผลผลิตจากจุลินทรีย์

ความแตกต่างระหว่างเซลล์พืชและเซลล์สัตว์

เซลล์พืชและเซลล์สัตว์มีความแตกต่างกัน คือ เซลล์พืชจะมีโครงสร้างแข็งเป็นส่วนที่เรียกว่าผนังเซลล์ (cell wall) ประกอบด้วย เส้นใย พวกลูเซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) ขณะที่เซลล์สัตว์มีแต่ส่วนเยื่อหุ้มเซลล์ จึงมีลักษณะนุ่มนิ่ม

ผนังเซลล์ในพืช เป็นส่วนที่ช่วยป้องกันอันตรายให้แก่เซลล์พืช ทำให้เซลล์คงรูปเพิ่มความแข็งแรง และเป็นส่วนที่ย่อยได้ยาก การนำพืชไปใช้เป็นประโยชน์ในสัตว์ หรือย่อยสลายเป็นปุ๋ย ส่วนของผนังเซลล์จะต้องถูกย่อย ในปัจจุบันมีการผลิตเอนไซม์ (enzyme) มาช่วยย่อยได้โดยตรง แต่ในทางธรรมชาติผนังเซลล์จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ซึ่งจะมีจุลินทรีย์บางประเภทที่สามารถสร้างเอนไซม์ไปย่อยส่วนที่เป็นผนังเซลล์ได้

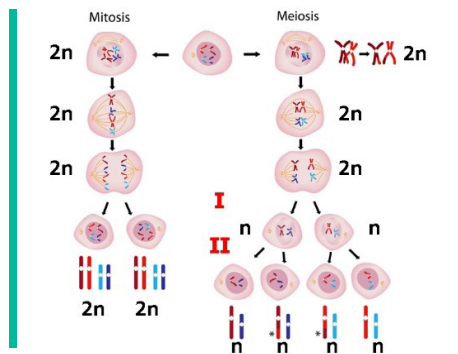


ที่มา : http://119.46.166.126/self_all/selfaccess7/m1/400/lesson4/lesson4.pdf

ในสิ่งมีชีวิตมีการแบ่งเซลล์ 2 แบบ คือ การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (mitosis) และการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis)

การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส เป็นการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ของร่างกายในการเจริญเติบโต เวลาเกิดแผลร่างกายจะซ่อมแซมส่วนที่เป็นแผล โดยเกิดการแบ่งเซลล์ ไม่มีการลดจำนวนชุดโครโมโซม เมื่อสิ้นสุดการแบ่งเซลล์จะได้ 2 เซลล์ใหม่ที่มีโครโมโซมเท่าๆ กัน และเท่ากับเซลล์ตั้งต้น

การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เป็นการแบ่งเซลล์เพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของสัตว์ ที่พบในอัณฑะ (testes) และรังไข่ (ovary) ส่วนในพืช พบในอับเรณู (anther) และในรังไข่ (ovule) โดยมีการลดจำนวนชุดโครโมโซมจาก $2n$ เป็น n เมื่อมีการผสมพันธุ์ n เพศผู้ และ n เพศเมีย รวมตัวกันเป็น $2n$ ซึ่งเป็นลักษณะของการสืบพันธุ์แบบใช้เพศ



ที่มา : www.shutterstock.com

ชนิดของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ตามประเภทของเซลล์ คือ

1. โปรคาริโอต (prokaryote) เซลล์ประกอบด้วยออร์แกเนลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้ม มักเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว เช่น ไวรัส แบคทีเรีย สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และไมโครพลาสมา
2. ยูคาริโอต (eukaryote) เป็นเซลล์มีนิวเคลียสและโครงสร้างอื่น (ออร์แกเนลล์) อยู่ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ เช่น เชื้อรา โปรโตซัว และสาหร่ายต่างๆ ยกเว้นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน



จุลินทรีย์ในธรรมชาติ

จุลินทรีย์ที่สำคัญในธรรมชาติ มี 6 ชนิด คือ แบคทีเรีย (Bacteria) เชื้อรา (Fungi) ยีสต์ (Yeast) แอคติโนมัยซีท (Actinomycetes) ไวรัส (Virus) สาหร่าย (Algae) และโปรโตซัว (Protozoa)

แบคทีเรีย (Bacteria)

เป็นพวกโพรคาริโอตเซลล์เดียว (unicellular) เพิ่มจำนวนเซลล์โดยการแบ่งเซลล์จาก 1 เป็น 2 เซลล์ (binary fission) เป็นการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ

การจำแนกแบคทีเรียต้องทำในห้องปฏิบัติการภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อดูลักษณะรูปร่าง รวมถึงคุณสมบัติทางเคมีโดยการย้อมสี (staining) การติดสีม่วงหรือติดสีแดง โดยทั่วไปมีรูปร่าง 3 แบบ คือ

1. แบบแท่ง (bacillus) มีรูปร่าง เป็นท่อน หรือเป็นแท่ง
 - 1) สเตรปโทบาซิลลัส (*Streptobacillus* sp.) เมื่อแบ่งเซลล์แล้วเรียงตัวต่อเป็นสายยาว
 - 2) ท่อนโค้ง (curverod)
2. แบบกลม (coccus)
 - 1) ไมโครค็อกคัส (*Micrococcus* sp.) เป็นแบคทีเรีย เซลล์เดี่ยวขนาดเล็ก
 - 2) ดิพโคค็อกคัส (*Diplococcus* sp.) แบ่งเซลล์แล้วติดกันเป็นคู่
 - 3) สเตรปโทค็อกคัส (*Streptococcus* sp.) เรียงตัวเป็นสายยาว เหมือนโซ่
 - 4) สแตฟีโลค็อกคัส (*Staphylococcus* sp.) เป็นลักษณะของ เซลล์ทรงกลมแบ่งตัวหลายระนาบ อยู่ติดกันเป็นกลุ่มคล้ายพวงองุ่น เช่น *Staphylococcus aureus*
3. แบบเกลียว (Spirochete) รูปร่างบิดเป็นเกลียว ผนังเซลล์ยืดหยุ่นได้



(a)

(b)

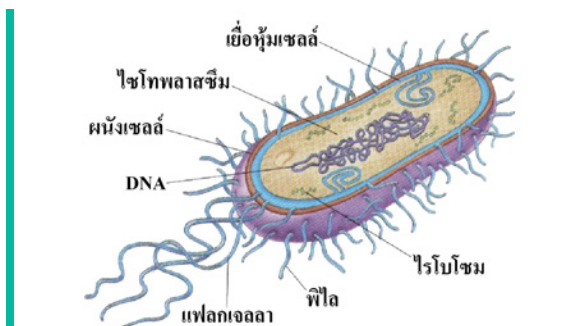
(c)

ที่มา : (a) https://biol1c201.blogspot.com/2012_02_01_archive.html

(b) <https://www.doribax.ru/infektsii-yavlyayutsya-odnoy-iz-osnovnih-prichin-raka-u-molodh>

(c) <https://sites.google.com/site/evolutionet2/baeb-thdsxb/xanacakr-mo-nex-ra>

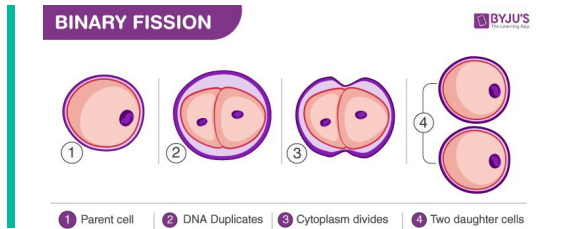
บางชนิดสามารถเคลื่อนที่ได้คือมีส่วนที่เป็นหางเรียกว่าแฟลกเจลลา



ที่มา : http://119.46.166.126/self_all/selfaccess12/m6/684/lesson1-4/index.php

วงจรชีวิตของแบคทีเรีย

วงจรชีวิตเริ่มต้นจากเซลล์เดียว แล้วเพิ่มจำนวนด้วยการแบ่งเซลล์ จาก 1 เป็น 2 เซลล์ จาก 2 เป็น 4 เซลล์ ในระยะเวลาอันสั้น จึงทำให้มีแบคทีเรียจำนวนมาก และแบคทีเรียทั้งหมดมีสารพันธุกรรมเหมือนกันทุกประการ เซลล์จะมีการแบ่งนิวเคลียสและส่วนไซโตพลาสซึมที่เป็นของเหลว แบคทีเรียที่เกิดจากการแบ่งเซลล์จะมีพันธุกรรมเหมือนเดิม ยกเว้นมีการผ่านรังสีหรือสารเคมีอาจทำให้แบคทีเรียกลายพันธุ์ได้



ที่มา : <https://www.imaidshare.com/blog/2020/3/16/the-difference-between-viruses-vs-bacteria>

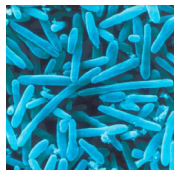
แบคทีเรียที่พบตามธรรมชาติมีหลายชนิด เช่น *Azotobacter* sp. *Bacillus* sp. ตัวที่ทำให้เกิดโรค หรือนำมาใช้ในการกำจัดศัตรูพืช *Lactobacillus* sp. พบในผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับนมเปรี้ยว การทำผักดอง *Streptococcus* sp. ตัวทำให้เกิดโรคและใช้ในทางเกษตรได้ด้วย *Salmonella* sp. ไม่เป็นที่ต้องการของผลิตภัณฑ์ ถือว่าเป็นตัวที่ทำให้เกิดโรค *E. coli* เป็นจุลินทรีย์ที่พบในระบบทางเดินอาหาร ซึ่งถ้าพบในผลิตภัณฑ์อาหารถือว่าการปนเปื้อนปนื้อ (มุล) Phototrophic bacteria เป็นจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง ใช้พลังงานจากแสงในการเปลี่ยนสารอาหารเพื่อมาใช้ประโยชน์ในตัวเองเพื่อเพิ่มจำนวน



(a) *Azotobacter* sp.



(b) *Bacillus* sp.



(c) *Lactobacillus* sp.



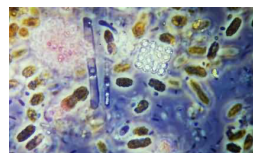
(d) *Streptococcus* sp.



(e) *Salmonella* sp.



(f) *E. coli*



(g) Phototrophic bacteria

ที่มา : (a) <http://foodsafety.merieuxnutrisciences.com/2014/06/26/3-main-steps-to-prevent-cross-contamination>

(b) <https://www.indiamart.com/proddetail/bacillus-subtilis-powder-22792168697.html?pos=6&pla=n>

(c) <https://www.mediastorehouse.com/cmsp/bacteria/lactobacillus-bulgaricus-sem-rod-like-bacteria-8008535.html>

(d) <https://whatsnext.pl/oto-jak-bakterie-jedzace-mieso-uczuj-na-ciele>

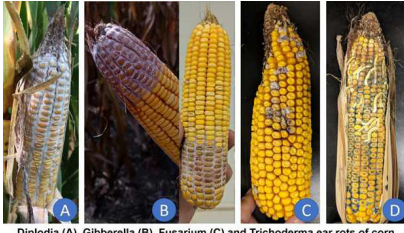
(e) <https://mac1t.foodsafetybrazil.org/principais-contaminantes-em-feeds-salmonella>

(f) www.shutterstock.com

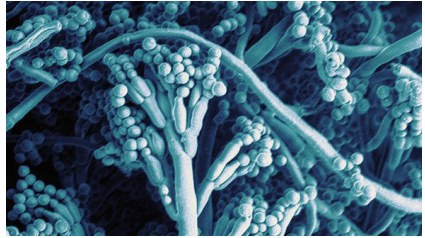
(g) <http://www.mikrobiologischer-garten.microbial-world.com/de/decon02.htm>

สา (Fungi)

เป็นพวกยูคาริโอตที่ไม่มีคลอโรพลาสต์ มีทั้งแบบเซลล์เดี่ยว เช่น ยีสต์ ที่ใช้ทำขนมปัง ทำข้าวหมาก ทำไวน์ เป็นอาหารสัตว์ และหลายเซลล์ เช่น ราเส้นสาย และเห็ด สิ่งมีชีวิตกลุ่มนี้ดำรงชีวิตเป็นผู้ย่อยสลาย (decomposer) ในห่วงโซ่อาหาร มีความสำคัญในวัฏจักรธาตุอาหาร พบมากในกองปุ๋ยหมัก สืบพันธุ์โดยการแบ่งตัว แยกหน่อ หรือการสร้างสปอร์



Diplodia (A), Gibberella (B), Fusarium (C) and Trichoderma ear rots of corn



(a)

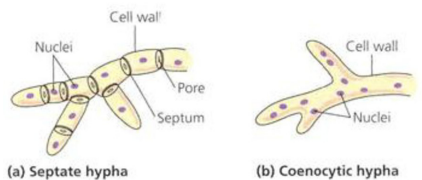
(b)

ที่มา : (a) <https://u.osu.edu/knoxcountygag/2018/08/>

(b) <https://fineartamerica.com/featured/penicillium-nalgiovense-fungus-sem-sciat.html?product=poster>

ราเส้นใย

เป็นจุลินทรีย์ที่มีการพัฒนามาดำรงชีวิตอยู่ในสภาพหลายเซลล์ โดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะการเจริญเป็นเส้นใย ส่วนของเส้นใยเรียกว่า ไฮฟี (hyphae) ถ้าไฮฟีมาอยู่รวมกันเป็นกลุ่มเรียกว่า ไมซีเลียม (mycelium) เส้นใยมีทั้งแบบมีผนังกัน และไม่มีผนังกัน เชื้อราเป็นจุลินทรีย์ที่มีความหลากหลาย มีความแตกต่างกันมากในด้านขนาดรูปร่างของโครงสร้างและระบบการสืบพันธุ์ เชื้อราเจริญได้ดีในที่ที่มีความเป็นกรดสูง อาหารเลี้ยงเชื้อราจึงปรับ pH ประมาณ 4 ราทุกชนิดเป็นพวกที่ต้องการอากาศ ส่วนใหญ่ชอบอุณหภูมิปานกลาง



ซ้าย เส้นใยแบบมีผนังกัน

ขวา เส้นใยแบบไม่มีผนังกัน

ที่มา : https://biology.mwit.ac.th/Resource/BiodiverPDF/6_diver_fungi.pdf

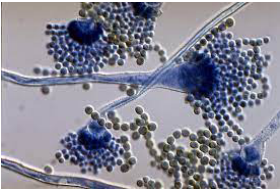
ยีสต์ (Yeast)

เป็นเชื้อราซึ่งมีการดำรงชีวิตอยู่ในสภาพเซลล์เดี่ยว รูปร่างกลม รูปไข่ หรือเหมือนผลเลมอน แทนที่จะเจริญเป็นเส้นใยเหมือนเชื้อราอื่นๆ ทั่วไป แม้ยีสต์บางชนิดมีการสร้างเส้นใยบ้าง แต่ก็ไม่เด่นเช่นเชื้อรา ปกติยีสต์เพิ่มจำนวนและแบ่งเซลล์โดยการแตกหน่อ เซลล์ยีสต์จะใหญ่กว่าแบคทีเรียและมีนิวเคลียสที่เห็นได้ชัดเจน นิยมใช้ยีสต์ในการทำข้าวหมาก ขนมปัง ไวน์ และอาหารสัตว์



ที่มา : <https://www.science.org/news/2019/01/junk-dna-may-help-yeast-survive-stress>

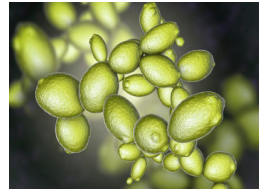
ราและยีสต์จากธรรมชาติ เช่น *Aspergillus* sp. พบได้บนขนมปังมีสีดำ *Candida* sp. (ยีสต์) ส่วนใหญ่จะไม่เกิดโรค *Saccharomyces* sp. เป็นยีสต์ที่ใช้ทำขนมปัง



(a)



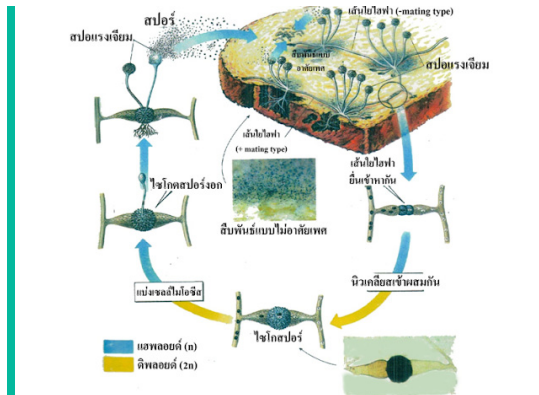
(b)



(c)

ที่มา : (a) <http://enfo.agt.bme.hu/drupal/en/node/2780>
 (b) <https://www.elnacional.com/>
 (c) <https://microbz.co.uk/saccharomyces-cervisiae/>

วงจรชีวิตของรา มี 2 แบบ คือ การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ และการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ



ที่มา : http://119.46.166.126/self_all/selfaccess12/m6/684/lesson1-6/index.php

การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (Sexual Reproduction)

การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ เกิดจากเส้นใย hyphae ยื่นเข้าหากัน มีการรวมตัวของนิวเคลียส ซึ่งรวมแล้วเป็น diploid (2n) สร้างไซโกสปอร์ขึ้น และมีการแบ่งตัวในขั้นตอนสุดท้ายแบบ meiosis เพื่อลดจำนวนโครโมโซมลงเป็น haploid (n) ตามเดิม เกิดเป็นสปอร์ เมื่อตัวสปอร์แก่ปลดปล่อยและกระจายไปในบรรยากาศ หากเจอสภาพที่เหมาะสม (อาหาร ความชื้น) ก็จะงอกและเจริญเติบโตขึ้นมา

การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (Asexual Reproduction)

1. Fragmentation : เกิดจากการแตกหักของเส้นใย ส่วนที่แตกหักสามารถเจริญไปเป็น hyphae ใหม่ได้

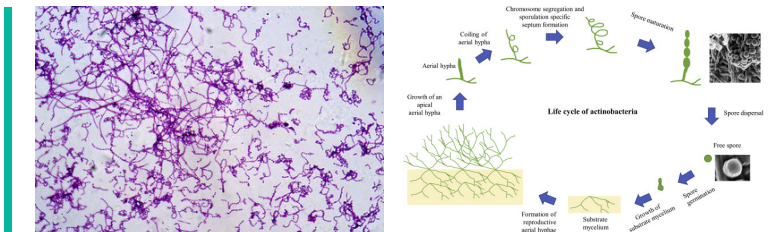
2. Budding (การแตกหน่อ) : เป็นการสืบพันธุ์ที่พบได้ในยีสต์ทั่วไป
 3. Fission : การแบ่งตัวออกเป็น 2 ส่วนที่เท่า ๆ กัน แต่ละเซลล์จะคอดเว้าตรงกลางและหลุดออกจากกันเป็น 2 เซลล์พบในยีสต์บางชนิดเท่านั้น
 4. การสร้างสปอร์แบบไม่อาศัยเพศ (Asexual sporulation) เป็นการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศที่พบมากที่สุด สปอร์แต่ละชนิดจะมีชื่อและวิธีสร้างที่แตกต่างกันไป เช่น Conidiospore หรือ conidia และ Sporangiospore
- เชื้อราที่พบเห็นทั่วไป เช่น เชื้อราที่เกิดอยู่บนขนมปังซึ่งมีลักษณะเป็นสีดำ สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยสร้างสปอร์ แล้วสปอร์จะงอกเป็นเส้นใย mycelium จากนั้นจะแบ่งเซลล์เป็น $2n$ และสร้างสปอร์ออกมา

แอคติโนมัยซิท (Actinomycetes)

เป็นจุลินทรีย์เซลล์เดียว มีขนาดเล็กคล้ายแบคทีเรียและเจริญเติบโตเป็นเส้นใยสร้างสปอร์คล้ายเชื้อรา พบบนกองปุ๋ยหมักเป็นจุดสีขาวๆ คล้ายผงปูน มีบทบาทสำคัญในการย่อยอินทรีย์สาร เช่น เซลลูโลส เป็นผนังเซลล์อยู่ในพืช ลิกนิน ไคตินและโปรตีน และสร้างสารปฏิชีวนะได้ เช่น ยา

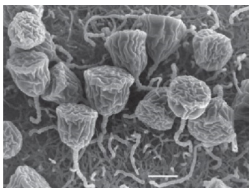
วงจรชีวิตของแอคติโนมัยซิท

แอคติโนมัยซิทสามารถแพร่ขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ พบ 2 แบบ คือ แบบ mycelium fragmentation และแบบ sporulation

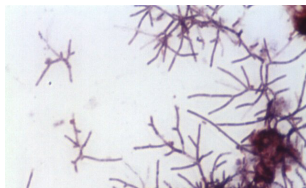


ที่มา : www.shutterstock.com

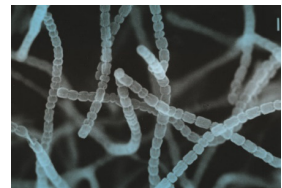
ตัวอย่างแอคติโนมัยซิทจากธรรมชาติ



(1) Actinoplanes



(2) Nocardioform



(3) Streptomycete

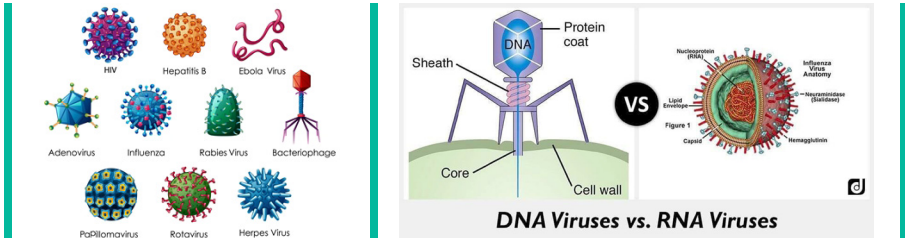
ที่มา : (1) <https://sites.google.com/site/chairatkong2025/2-1>

(2) <https://teamaquafix.com/common-wastewater-filaments>

(3) <https://www.nj.com>

ไวรัส (Virus)

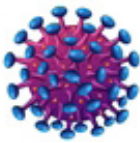
มีอนุภาคขนาดเล็กมาก ไม่สามารถมองเห็นด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเท่านั้น ไม่จัดว่าเป็นเซลล์จะเรียกเป็นอนุภาค เนื่องจากไม่มีองค์ประกอบของเซลล์ มีเอนไซม์ในกระบวนการเมแทบอลิซึม ประกอบด้วยสารพันธุกรรมชนิด DNA หรือ RNA และมีโปรตีนห่อหุ้มสารพันธุกรรม จึงเพิ่มจำนวนได้ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอื่น (host) เท่านั้น ตามธรรมชาติพบไวรัสได้ทั่วไปโดยอาศัยอยู่กับเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ไม่ว่าจะเป็นพืช สัตว์ หรือมนุษย์ ตลอดจนจุลินทรีย์



ที่มา : (1) <https://pt.depositphotos.com/164619564/stock-illustration-diagram-showing-different-kinds-of.html>
(2) <https://diffzi.com/dna-viruses-vs-rna-viruses/>

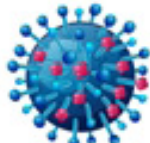
ตัวอย่างไวรัส

ไวรัสส่วนใหญ่จะเป็นตัวที่ทำให้เกิดโรค



HIV

ไวรัสก่อให้เกิดโรค HIV



Influenza

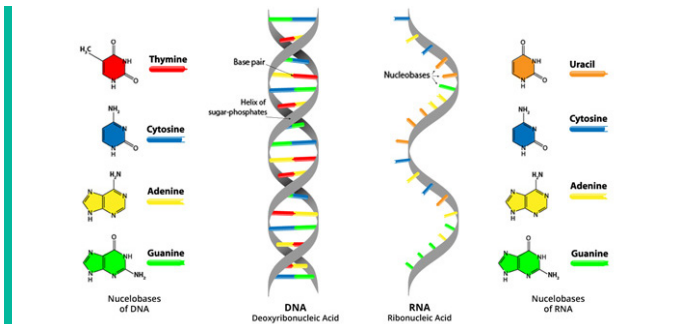
ไวรัสก่อให้เกิดโรคไข้หวัดนก



Rabies Virus

ไวรัสก่อให้เกิดโรคพิษสุนัขบ้า

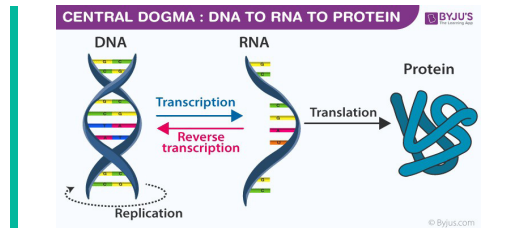
DNA & RNA



ที่มา : <https://ttafakar.com/en/viruses>

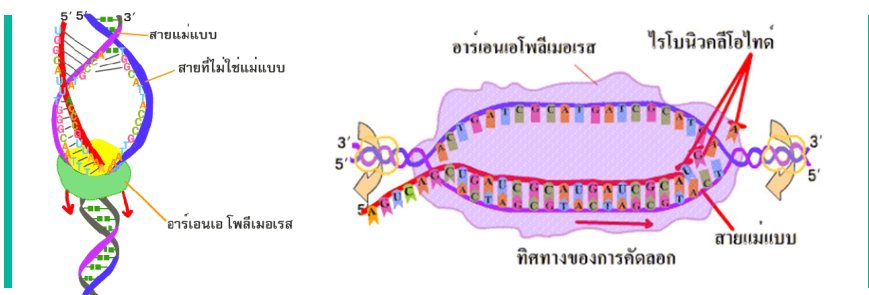
DNA ประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายเรียงตัวสลับทิศทางกัน ประกอบด้วยเบส 4 ตัว คือ อะดีนีน (Adenine; A) ไซโทซีน (Cytosine; C) กัวนีน (Guanine; G) และ ไทมีน (Thymine; T) ส่วนของเบสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน การเชื่อมต่อและการเรียงลำดับของเบสใน DNA ทำให้เกิดเป็นข้อมูลทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต มีหน้าที่หลักเกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีนของเซลล์

RNA จะเป็นพอลินิวคลีโอไทด์สายเดี่ยว ประกอบด้วยเบส 4 ตัว คือ อะดีนีน (Adenine; A) ไซโทซีน (Cytosine; C) กัวนีน (Guanine; G) และ ยูราซิล (Uracil; U)



ที่มา : <https://byjus.com/biology/central-dogma-inheritance-mechanism>

ในขั้นตอนการแบ่งเซลล์ สาย DNA ของสิ่งมีชีวิตจะคลายตัวออกเป็นสายเดี่ยว เพื่อให้มีการสร้างสาย RNA แล้วสาย RNA ที่เกิดขึ้นจะไปสร้างเป็นโปรตีนใช้ในร่างกาย ซึ่งโปรตีนที่สร้างขึ้นจะเป็นเอ็นไซม์ต่างๆ ที่นำไปใช้ในกระบวนการเผาผลาญพลังงาน หรือการสะสมพลังงานของสิ่งมีชีวิต

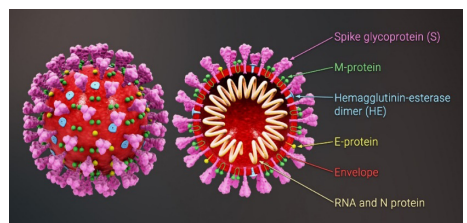


ที่มา : <https://kas-kasanapharayat.blogspot.com/2020/03/dna-3-dna-dna-synthesis.html>

เมื่อมีการคลายของ DNA จะเกิดการสร้างสาย RNA (เส้นสีแดง) กรณีที่เกิดโรคจากไวรัสที่เป็น RNA ตัวไวรัสจะจับคู่กับสาย DNA ของ host เพื่อสร้างเป็นโปรตีนของไวรัสออกมา ไวรัสจะเพิ่มจำนวนมากขึ้น

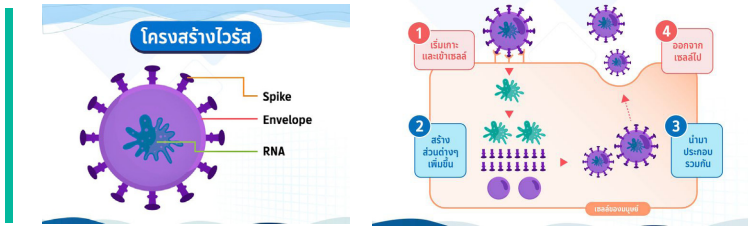
Corona virus

โคโรนา ไวรัส มีโครงสร้างที่เป็น M - protein และหนาม (spike glycoprotein) ซึ่งจะไปจับกับเซลล์ของสิ่งมีชีวิต



ที่มา : <https://africanyouth.info/a/HA1588438928.9265eada790e212d9.17466413>

วงจรชีวิตของไวรัส

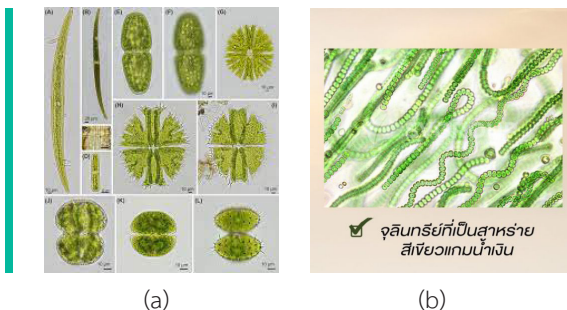


ที่มา : <https://www.blockdit.com/posts/5ed2637490e47a0cae90549c>

เมื่อไวรัสเข้าสู่เซลล์ร่างกาย จะปลดปล่อยสารพันธุกรรมออกมา เพื่อจับคู่กับสาย DNA ของ host เพื่อเพิ่มจำนวนของ RNA ของตัวไวรัส และสร้างโปรตีนที่เป็นส่วนหนาม ส่วนที่ห่อหุ้มตัวเอง ประกอบกันเป็นไวรัสเพิ่มจำนวนอยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

สาหร่าย (Algae)

พบทั้งที่เป็นเซลล์เดี่ยวและหลายเซลล์ (multicellular) มีคลอโรพลาสต์เพื่อทำหน้าที่สังเคราะห์แสง มีรูปร่างหลายแบบ เช่น กลม แฉก กระบอก เหลี่ยม เป็นเส้นสาย (filamentous) หรือ thallus ที่พบเห็นมากๆ คือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สาหร่ายเกลียวทอง



ที่มา : (a) <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/njb.01994>
(b) <https://www.svgroup.co.th/blog/จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์>

ตัวอย่างสาหร่าย

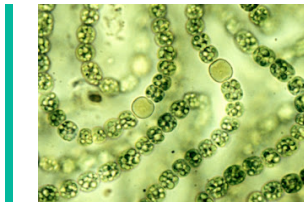
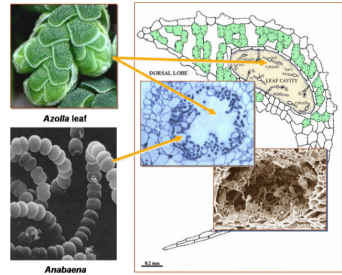
Anabaena เป็นสาหร่ายสีน้ำเงินที่อาศัยอยู่ในใบของแหนแดง ตรึงไนโตรเจนสะสมอยู่ในแหนแดง จึงส่งเสริมการใช้แหนแดงเป็นอาหารสัตว์ เพื่อเป็นแหล่งโปรตีน ด้านพืช เลี้ยงแหนแดงในนาข้าว จะทำให้ข้าวได้รับไนโตรเจนจากแหนแดง ส่งผลให้เจริญเติบโตได้ดี



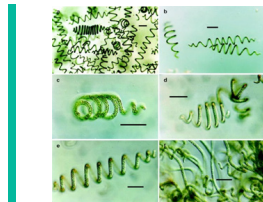
ที่มา : <https://alchetron.com/Anabaena>

แหนแดง เป็นเฟิร์นน้ำขนาดเล็กเป็นทั้งปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยชีวภาพ และอาหารสัตว์ ใบของแหนแดงมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอาศัยอยู่ซึ่งสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ ทำให้แหนแดงเจริญเติบโตได้เร็วและมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูง

ที่มา : <https://dramarnathgiri.blogspot.com/2015/07/azolla-goodsources-of-prokaryotic.html>



(a)



(b)

ที่มา : (a) <https://readforlearning.blogspot.com/2012/10/nostoc-hseb-notes.html>

(b) https://www.researchgate.net/publication/286196496_Arthrospira_Spirulina

วงจรชีวิตของสาหร่าย

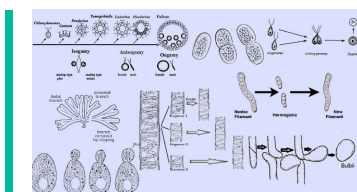
สาหร่ายสามารถสืบพันธุ์ได้ทั้งแบบอาศัยเพศ และแบบไม่อาศัยเพศ

การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ

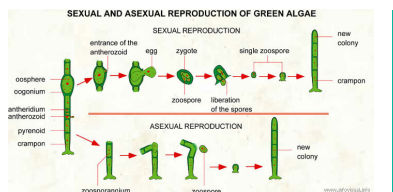
- การแบ่งเซลล์
- การแตกของโคโลนี
- การขาดเป็นท่อน
- การสร้างอะคิเน็ต (akinete)
- การสร้างสปอร์ มี 2 แบบ ได้แก่ Cytokinesis และ Progressive cleavag

การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ

เป็นการสืบพันธุ์ที่มีการผสมกันของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมียที่เรียกว่า แกมีต (gamete) เมื่อผสมแล้วจะเกิดเป็น zygote สร้าง zoospore ออกมาเพื่อเจริญเติบโต



(a)



(b)

ที่มา : (a) <https://microbiologynote.com/algae-reproduction>

(b) <https://infovisual.info/en>

โปรโตซัว (Protozoa)

เป็นพวกยูคาริโอตเซลล์เดียว รูปร่างหลายแบบ เช่น กลม รี ยาว โดยทั่วไปเพิ่มจำนวนเซลล์โดยวิธีแบ่งจาก 1 เป็น 2 มีความสำคัญต่อระบบนิเวศ พบได้ในน้ำจืด น้ำเค็ม พื้นที่ชื้นแฉะ แม้กระทั่งบนตัวของสัตว์บกบางชนิด โปรโตซัวมีทั้งที่เป็นประโยชน์และมิโทษ

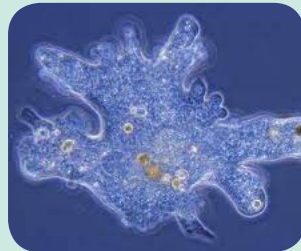


ที่มา : MetaMicrobe.com (2012)



ยูกลีนา (euglena) มีลักษณะเป็นรูปกระสวย หน้าป้าน ท้ายเรียว

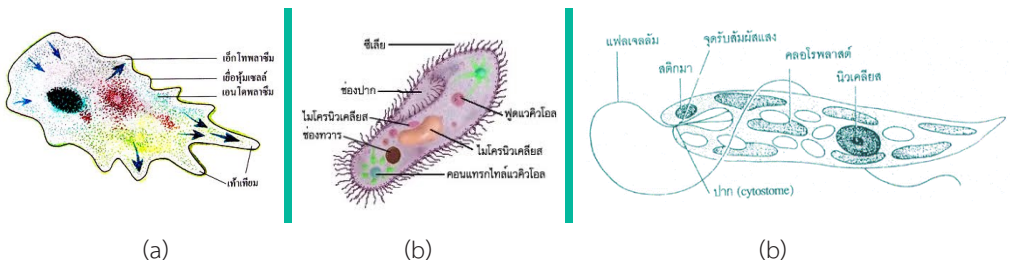
ที่มา : <https://www.greelane.com>



อะมีบา (amoeba, ameba) สามารถเคลื่อนไหวได้ด้วยส่วนของลำตัวที่ยื่นออกมาชั่วคราวเรียกว่าเท้าเทียม (pseudopods) พบในน้ำเป็นอาหารสัตว์น้ำ

ที่มา : <https://www.labroots.com/trending/microbiology/6759/amoeba-s-microbiome>

โครงสร้างเซลล์โปรโตซัว



ที่มา : (a) https://armjed.blogspot.com/p/blog-page_98.htm

(b) <https://sites.google.com/site/naphatnan06/kl-li-kar-raksa-dulyphaph-khxng-sing-mi-chiwit>

(c) http://www.geocities.ws/m3230_t/Yu.htm

ลักษณะเซลล์เป็นเซลล์เดียวและเป็นพวุกยูคาริโอตแต่ไม่มีผนังเซลล์ เป็นจุลินทรีย์ที่มีวิวัฒนาการของเซลล์ไปมากที่สุด สามารถเคลื่อนที่ได้ในบางช่วงของวงจรชีวิต ขนาดและรูปร่างของโปรโตซัวมีความแตกต่างกันมาก เช่น รูปกลม รูปไข่ รูปแท่งหรือท่อน บางชนิดมีรูปร่างหลายแบบในช่วงการเจริญโปรโตซัวมีการเคลื่อนที่ 3 แบบ คือ

1. ใช้ขาเทียม (Pseudopodium) ซึ่งเกิดจากการยืดหดของไซโทพลาซึม การเคลื่อนไหวนี้นี้เรียกว่า Ameboid movement เช่น Amoeba

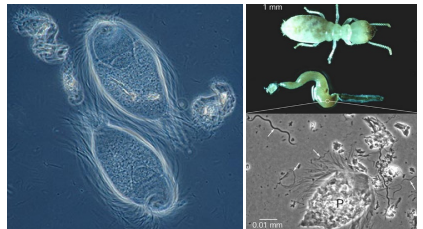
2. ใช้ระยางค์ขนาดยาว (Flagella) เช่น Euglena

3. ใช้ขนเล็กๆ เรียกว่า ซีเลีย (Cilia) โบกพัด เช่น Paramecium

ปกติโปรโตซัวกินแบคทีเรียเป็นอาหาร ดังนั้นบริเวณที่มีแบคทีเรียมากย่อมมีโปรโตซัวมากตามไปด้วย และสำหรับโปรโตซัวที่เป็นปรสิตของสัตว์ จะเลี้ยงอย่างอิสระไม่ได้ต้องอยู่กับ host เท่านั้น

ตัวอย่างโปรโตซัว

ไทรโคนิมฟา (Trichonympha) อาศัยในลำไส้ปลวก จะปล่อยเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อย่อยเนื้อไม้ เมื่อโปรโตซัวได้อาหาร ถ้าไม่มีโปรโตซัวนี้ ปลวกก็จะย่อยสลายไม้ให้เป็นสารอาหารไม่ได้ ในขณะที่โปรโตซัวก็ได้อาหารจากการย่อยสลายไม้ให้ปลวก ถ้าจับทั้งคู่แยกกัน มันจะตายไปในที่สุด Trichonympha ช่วยย่อยเซลลูโลสให้ปลวก ปลวกให้ที่อยู่อาศัยและอาหารแก่โปรโตซัว

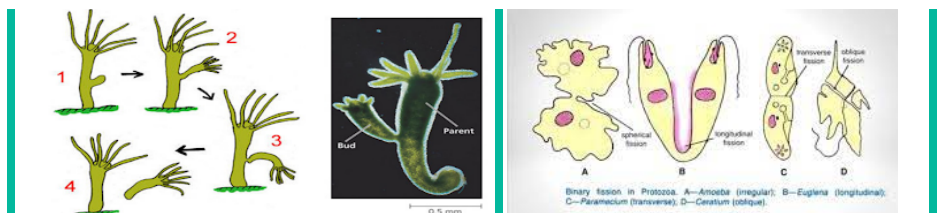


ที่มา : <https://www.doctorplouk.com/archives/1239>

ในการนำจุลินทรีย์จำพวกมาใช้ประโยชน์ เพราะมีไทรโคนิมฟายู่บางส่วนที่ออกมาจากมูลปลวก และมีจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียที่ย่อยเยื่อใยอยู่ด้วย

วงจรชีวิตของโปรโตซัว

การขยายพันธุ์มีทั้งแบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ เช่น ไฮดรา (Hydra) ขยายพันธุ์ด้วยการแตกหน่อ ยูกลีนา และ อะมีบา แบ่งเซลล์แบบ Binary fission



(a)

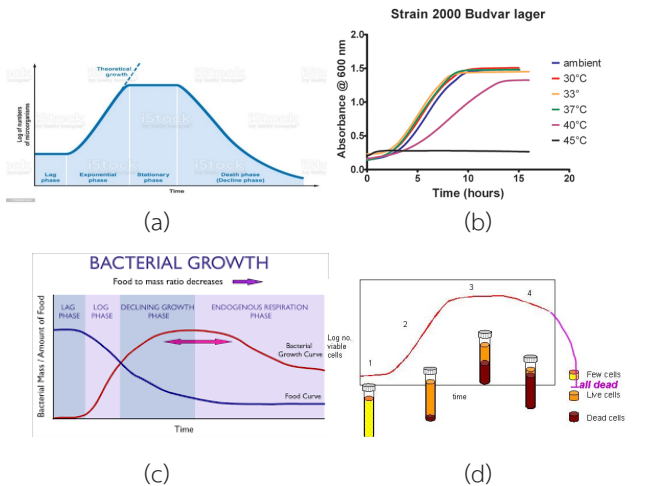
(b)

ที่มา : (a) http://119.46.166.126/self_all/selfaccess10/m4/biology4_2/lesson5/item22.php

(b) <http://blog.bru.ac.th>

การเจริญของจุลินทรีย์

การเจริญของจุลินทรีย์ทั้งแบคทีเรีย เชื้อรา ยีสต์ และโปรโตซัว มีลักษณะการเจริญเติบโตในอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเดียวกัน คือ เมื่อเพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีความเหมาะสมของสารอาหาร อุณหภูมิ และแสง ช่วงแรกจุลินทรีย์มีการปรับตัว จากนั้นจะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว จนถึงระดับที่จำนวนจุลินทรีย์คงที่ เนื่องจากสารอาหารใกล้หมด โดยมีอัตราการเกิดเท่ากับอัตราการตาย อีกทั้งจุลินทรีย์ขับสารต่างๆทำให้สภาวะไม่เหมาะสมต่อการเจริญและตายลง ทำให้เส้นกราฟตกลงมา



ที่มา : (a) <https://www.istockphoto.com/th>

(b) <https://www.biotek.pt/>

(c) <https://www.anamaibantum.com/2014/09/bacteria-ii.html>

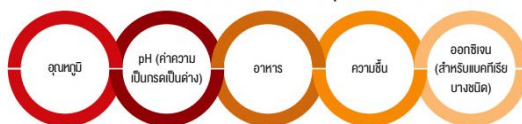
(d) https://www.maquah.net/media/IR/YEAST_GROWTH_CURVE.html

สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์

การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลักที่มีผลกับจุลินทรีย์ ประกอบด้วย

1. สารอาหาร (Nutrient)
2. ปริมาณออกซิเจน (Oxygen)
3. ความชื้น (Moisture)
4. อุณหภูมิ (Temperature) ถ้าหากอุณหภูมิไม่มีความเหมาะสมก็จะไม่มีการเจริญเติบโต
5. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ทั้ง 5 ปัจจัยมีความสำคัญในการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ในการเพาะเลี้ยงหากจัดสภาพที่ไม่เหมาะสม จุลินทรีย์ไม่มีการเจริญหรือเพิ่มจำนวน



ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์

1) พลังงาน ได้จาก แสงแดด กระบวนการออกซิเดชัน ขบวนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ โดยเฉพาะพวกแป้งและน้ำตาล (การหมัก)

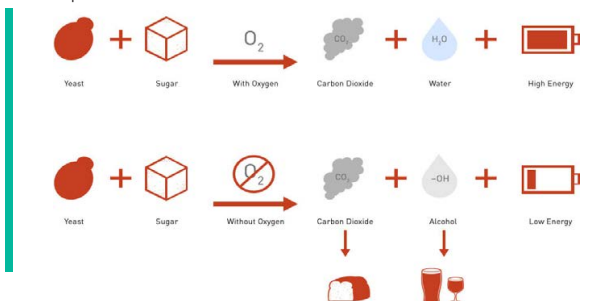
2) แหล่งคาร์บอน ได้จากคาร์บอนไดออกไซด์สารอินทรีย์ (โปรตีน ไลปิด คาร์โบไฮเดรต)

3) แหล่งของอิเล็กตรอน ได้จากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เพื่อใช้ในการกระบวนการเมตาบอลิซึม

4) แหล่งไนโตรเจน วัตถุดิบที่นิยมใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนให้จุลินทรีย์ในการหมัก เช่น แป้ง ถั่วเหลือง กากน้ำตาล ยูเรีย หางนม สารอินทรีย์ (กรตอะมิโน เพปไทด์และโปรตีน) สารอนินทรีย์ (เกลือไนโตรท์ ไนเตรตหรือแอมโมเนีย)

5) แหล่งของออกซิเจน ชัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส จุลินทรีย์

- ออกซิเจน – จากน้ำ และสารอาหาร เป็นองค์ประกอบจำเป็นในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์
 - กลุ่มที่เจริญได้เฉพาะที่มีออกซิเจนเท่านั้น เช่น ยีสต์
 - กลุ่มที่เจริญได้เฉพาะที่ไม่มีออกซิเจนเท่านั้น เช่น ใช้จุลินทรีย์หมักเพื่อให้เกิดกรดแลคติก
 - เจริญได้ทั้งสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจน
 - กลุ่มที่เจริญได้เฉพาะที่มีออกซิเจนเล็กน้อย ถ้ามีมากจะเจริญช้า



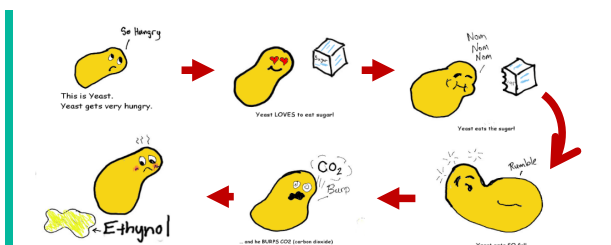
ที่มา : <https://www.singerinstruments.com/resource/what-is-yeast/>

2. แหล่งซัลเฟอร์

3. แหล่งของฟอสเฟต อยู่ในรูปของฟอสเฟตที่เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไทด์ ฟอสโฟไลปิด และอื่นๆ

ยีสต์ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic environment)

Sugar → CO₂ + alcohol + a little energy

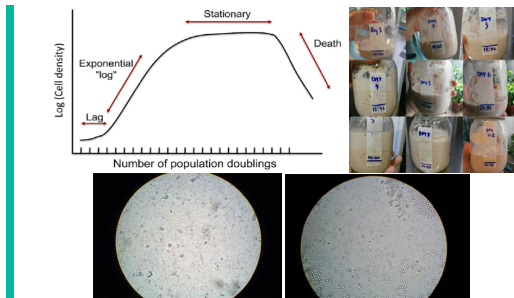


ที่มา : http://cambridgesas.blogspot.com/2014/07/the-story-of-very-hungry-yeast_27.html

ยีสต์ในสภาพที่มีออกซิเจน (Aerobic environment)

$\text{Sugar} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{water} + \text{high energy}$

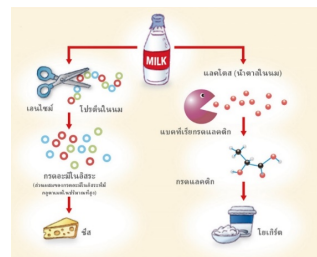
ในสภาพที่มีออกซิเจน เป็นการเพิ่มจำนวนของยีสต์ ยีสต์จะใช้ น้ำตาล ออกซิเจน เปลี่ยนเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน ซึ่งพลังงานจะนำมาใช้ในการเพิ่มจำนวน และเจริญเติบโตของยีสต์



ที่มา : <https://home.kku.ac.th/pracha/Yeast%20Culture.htm>

ปัจจุบันมีการผลิตยีสต์เป็นอาหารสัตว์ สกักยีสต์เป็น โปรตีนจากยีสต์ ในโรงงานน้ำตาลมิตรผล ใช้น้ำตาลอ้อยเลี้ยงยีสต์ เพิ่มจำนวนเพื่อผลิตยีสต์ผง ขายเป็นอาหารสัตว์ ยีสต์ไม่สามารถใช้แบ่งได้ ต้องใช้จุลินทรีย์ชนิดอื่นมาย่อยแบ่งให้เป็นน้ำตาลก่อน จึงค่อยใส่ยีสต์ เข้าไปในการกระบวนการหมัก

การหมักของแบคทีเรีย ใสแลคโตบาซิลลัสลงในน้ำนม จะเปลี่ยนน้ำตาลในน้ำนมเป็นกรดแลคติก เกิดเป็นนมเปรี้ยว หรือโยเกิร์ต



6) แร่ธาตุต่างๆ เช่น P, K, Mg, Fe, Mn, Ca, Cu, Zn, Co จุลินทรีย์ต้องการในปริมาณน้อยมาก เมื่อเทียบกับ carbon sources และ nitrogen sources แต่ก็ขาดไม่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดจุลินทรีย์ เพราะ แร่บางชนิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชีวเคมี เป็นส่วนประกอบบางอย่างของเอนไซม์ และองค์ประกอบบางอย่างของเซลล์ แร่ธาตุที่จำเป็นมาก ที่จะต้องมีอยู่ในสารอาหาร ได้แก่ P และ Mg เพราะเป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาการสร้าง และถ่ายเทพลังงานสำหรับจุลินทรีย์

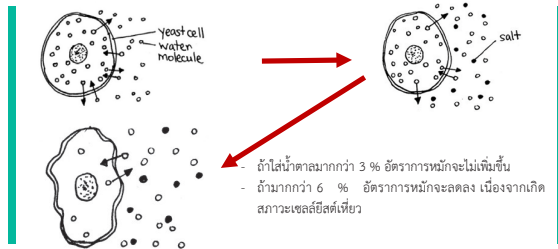
7) Growth factor จำแนกออกได้ 3 ชนิด ตามโครงสร้างทางเคมี และหน้าที่ในกระบวนการเมตาบอลิซึม ดังนี้

- กรดอะมิโน มีความสำคัญสำหรับจุลินทรีย์ เซลล์จะนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนเพื่อการเจริญ และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ โปรตีนที่มีความสำคัญ และจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับเซลล์คือ เอนไซม์ เพราะเอนไซม์จะย่อยสลายสารต่างๆ เพื่อเซลล์จะได้นำไปใช้ทำกิจกรรมของเซลล์ ให้ดำเนินตามปกติ ความต้องการกรดอะมิโนของจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป

- Purine และ Pyrimidine purine และ Pyrimidine เป็นสารที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับนำไปสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก ซึ่งมีความสำคัญต่อจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย เพราะทำหน้าที่เกี่ยวกับการควบคุมทางพันธุกรรม และการสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์

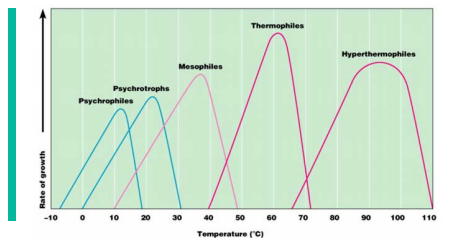
- วิตามิน มีความสำคัญต่อจุลินทรีย์ โดยจะนำไปใช้เป็น coenzyme ของเอนไซม์ต่างๆ จุลินทรีย์บางชนิด สามารถสังเคราะห์วิตามินต่างๆได้จากอาหารเลี้ยงเชื้อ บางชนิดต้องการวิตามิน 1 ชนิดหรือมากกว่าเพื่อการเจริญเติบโต

8) ความชื้น แบคทีเรียและยีสต์ต้องการน้ำมาก เชื้อราต้องการน้ำน้อย ความชื้นเกี่ยวข้องกับกระบวนการออสโมซิสของเซลล์ ถ้าแรงดันออสโมซิสภายในเซลล์แบคทีเรียมีมากกว่าสารละลายภายนอก จะทำให้น้ำไหลเข้าสู่เซลล์ จึงเกิดการเต่งพอง ดังนั้น ถ้าผนังเซลล์ไม่แข็งแรงจะทำให้เซลล์แตกได้ ถ้าสารละลายภายนอกเซลล์มีแรงดันออสโมซิสสูงกว่าภายใน เซลล์น้ำจากภายในเซลล์จะไหลสู่ภายนอก ทำให้ไซโทพลาสซึมของเซลล์เหี่ยว และขบวนการเมตาบอลิซึมหยุดชะงัก จุลินทรีย์ที่ปรับตัวให้เหมาะสมกับสภาพที่มีแรงดันออสโมซิสสูงๆ มีการเจริญและทวีจำนวนได้ เช่น ยีสต์เจริญในอาหารที่มีน้ำตาลเข้มข้นสูง โดยทั่วไปแล้ว ยีสต์และเชื้อราเจริญได้ดีในอาหารที่มีน้ำตาลเข้มข้น 2-4 % ส่วนแบคทีเรียเจริญได้ดีในอาหารที่มีน้ำตาลประมาณ 0.5-1 % เชื้อราที่เจริญในที่แห้งแล้งได้ดี เช่น อาหารตากแห้ง เชื้อราที่สำคัญ ได้แก่ *Aspergillus glaucus*



ที่มา : ดัดแปลง <https://foodchemblog.com/yeast-and-sugar> (Barham, H. N., Jr. and J. A. Johnson., 1951)

9) อุณหภูมิ (Temperature) เป็นสภาพแวดล้อมที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการเจริญ และการปรับตัวเพื่อการอยู่รอดของจุลินทรีย์ทั่วไป จุลินทรีย์แต่ละชนิดต้องการช่วงอุณหภูมิ ในการเจริญแตกต่างกันไป ในกลุ่มที่เป็น hyperthermophile สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง ดังนั้นการทำให้จุลินทรีย์กลุ่มนี้ ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมากกว่า 110 องศาเซลเซียส ในขณะที่กลุ่มที่สามารถเจริญเติบโตในช่วงอุณหภูมิ 20 – 50 องศาเซลเซียส สามารถใช้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียสทำลายการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้



ที่มา : <http://www.biotech.mju.ac.th>

10) ความเป็นกรด-ด่าง แบคทีเรียส่วนใหญ่เจริญได้ที่ pH 6-8 ส่วนยีสต์และเชื้อราส่วนใหญ่เจริญได้ดีในสภาวะเป็นกรด ในกระบวนการหมักของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก (lactic acid bacteria) เปลี่ยนน้ำตาลเป็นกรดแลคติก เมื่อกรดแลคติกเพิ่มขึ้นจำนวนมากจน pH 4.2 เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ รวมถึง lactic acid bacteria ก็ตายด้วย กรดแลคติกคงอยู่เป็นการถนอมพืชหมักคงคุณค่าทางโภชนาการ ถ้าแบคทีเรียอยู่ในสภาพ pH แตกต่างไปจากที่ๆ เคยอยู่ จะพบว่าเยื่อหุ้มเซลล์จะเกิดการฉีกขาด เอนไซม์หยุดการทำงาน การดูดซึมสารอาหารจะผิดปกติไป และในที่สุดแบคทีเรียจะตาย

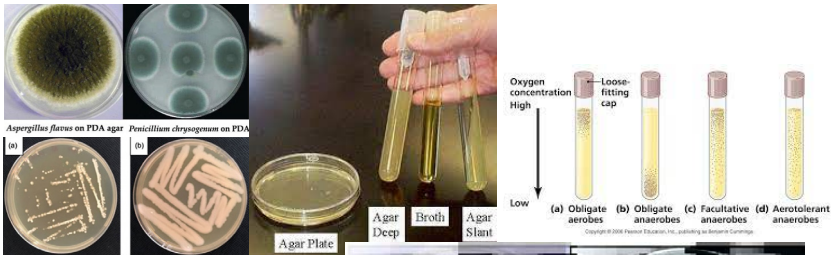
อาหารและสภาพแวดล้อมในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์

1. **Nutrient broth (NB)** คือ อาหารเหลว เป็นแหล่งของกรดอะมิโนและไนโตรเจน เช่น สารสกัดจากเนื้อวัว สารสกัดจากยีสต์

- Beef extract 3 กรัม
- Peptone 5 กรัม
- น้ำกลั่น 1 ลิตร
- ปรับ pH อยู่ระหว่าง 6.8-7.2

2. **Potato dextrose agar (PDA)**

- มันฝรั่ง 200 กรัม
- dextrose 20 กรัม
- วุ้น 15 กรัม
- น้ำกลั่น 1 ลิตร
- ปรับ ค่า pH อยู่ที่ 5.0-5.5



ความสำคัญของสารอาหารต่างๆ ในสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ

- Beef extract = มีคาร์โบไฮเดรต สารประกอบไนโตรเจน วิตามินที่ละลายน้ำ
- Peptone = ได้จากการย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์เปปโตเนส ประกอบด้วยสารประกอบไนโตรเจน วิตามิน คาร์โบไฮเดรต
- Agar = วุ้น เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ซับซ้อนได้จากสาหร่ายสีแดงบางชนิด ทำให้อาหารแข็งตัว ไม่มีคุณค่าทางอาหารแก่แบคทีเรีย
- Yeast Extract = สกัดจากยีสต์ มีวิตามินบีมาก และมีสารประกอบของคาร์บอนและไนโตรเจน

อาหารและสภาพแวดล้อมในการเพาะเลี้ยงยีสต์

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ YM Agar

- มอลท์เอ็กแทรก (Malt extract) 3 กรัม
- ยีสต์เอ็กแทรก (Yeast extract) 3 กรัม
- เปปโตเนส (Peptone) 5 กรัม
- กลูโคส (Glucose) 10 กรัม
- น้ำ 1,000 มิลลิลิตร
- ผงวุ้น (agar) 20 กรัม



อาหารและสภาพแวดล้อมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

- การเพาะเลี้ยงในห้องควบคุม
- นำสาหร่ายเกลียวทองที่ต้องการมาใส่ในหลอดแก้วปลายแหลมขนาด 200 มิลลิลิตร เพาะเลี้ยงในตู้ที่ควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นแสง 10-12 กิโลลักซ์ ช่วงเวลาให้แสง 16 ชม. และมืด 8 ชม. ให้อากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผสม 1-2 %
- อาหารเพาะเลี้ยงใช้สูตรอาหาร Zarrouk's
- ควบคุมการเจริญเติบโต โดยการวัดความเข้มข้นเซลล์ (OD 560), pH, น้ำหนักแห้ง ฯลฯ

สูตรอาหาร Zarrouk's

- โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) 16.8 กรัม
- ไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต (K_2HPO_4) 0.5 กรัม (หรือละลายเกลือ 10 กรัม/น้ำ 100 มิลลิลิตร นำไปใช้ 5 มิลลิลิตร)
- โซเดียมไนเตรด (NaNO_3) 2.5 กรัม
- โพแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 1 กรัม (หรือละลายเกลือ 10 กรัม/น้ำ 100 มิลลิลิตร นำไปใช้ 10 มิลลิลิตร)
- เกลือแกง (NaCl) 1 กรัม (หรือละลายเกลือแกง 12.5 กรัม/น้ำ 100 มิลลิลิตร นำไปใช้ 8 มิลลิลิตร)
- แมกนีเซียมซัลเฟต 7-ไฮเดรต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0.2 กรัม (หรือละลายเกลือ 4 กรัม/น้ำ 100 มิลลิลิตร นำไปใช้ 5 มิลลิลิตร)
- แคลเซียมคลอไรด์ 2-ไฮเดรต ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 0.04 กรัม (หรือละลายเกลือ 2 กรัม/น้ำ 100 มิลลิลิตร นำไปใช้ 2 มิลลิลิตร)
- เฟอร์รัสซัลเฟต 7-ไฮเดรต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0.01 กรัม
- โซเดียมอีดีทีเอ 2-ไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 0.08 กรัม
- ก. สารละลาย A5
- A5 1 มิลลิลิตร
- ข. สารละลาย B6
- B6 1 มิลลิลิตร

กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตร

1. กลุ่มของจุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจน (Nitrogen Fixing Microorganisms)

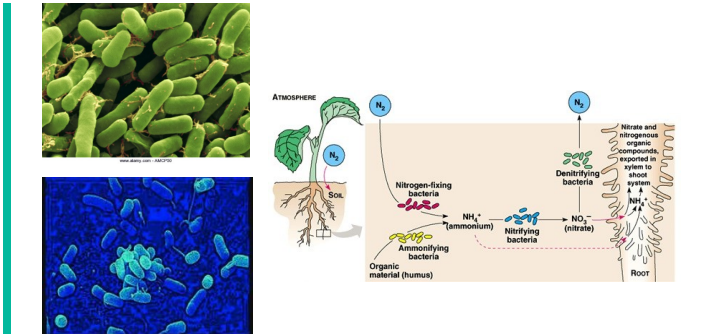
มักเป็นกลุ่มแบคทีเรีย เพราะทำงานเร็ว และมีจำนวนมาก โดยครึ่งหนึ่งของมวลจุลินทรีย์ทั้งหมดในโลก คือ แบคทีเรีย แบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนได้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

- กลุ่มที่ตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระ เช่น *Azotobacter* sp., *Clostridium* sp., *Azospirillum* sp.
- กลุ่มที่ต้องอยู่ร่วมแบบพึ่งพาอาศัยกันและกัน จึงจะตรึงไนโตรเจนได้ เช่น *Rhizobium* sp.

ในปมรากตระกูลถั่ว

ส่วนจุลินทรีย์ชนิดอื่น เช่น สาหร่ายเขียวแกมน้ำเงิน ที่สามารถเจริญได้ดีในสภาพนาข้าว จากการทดลองในหลายประเทศ พบว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตรึงไนโตรเจนจากอากาศในแต่ละฤดูปลูกได้มากถึงประมาณ 10 – 20 กิโลกรัมต่อไร่

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Anabaena* sp. สามารถตรึงไนโตรเจนได้แบบอาศัยพึ่งพากันและกัน กับแพนแดง มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มอินทรีย์วัตถุและตรึงไนโตรเจนในนาข้าว ทำให้แพนแดงกลายเป็นปุ๋ยพืชสดที่สำคัญและมีศักยภาพสูงใช้ร่วมกับนาข้าว



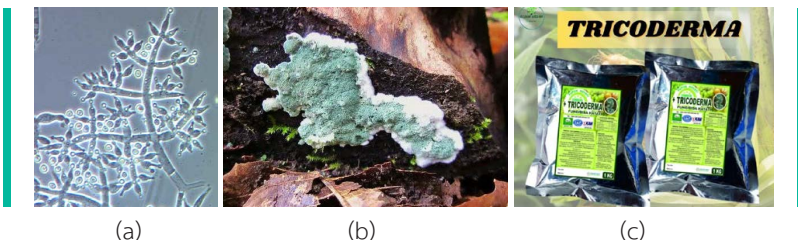
ที่มา : http://bio1152.nicerweb.com/Locked/media/ch37/nitrogen_fixation.html

Rhizobium sp. ในปมรากตรึงกลูต้า ตรึงไนโตรเจนในดิน เปลี่ยนให้มาอยู่ในรูป ammonium จากนั้นจะผ่านกระบวนการโดยจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่ง เปลี่ยนมาอยู่ในรูปของ Nitrate-Nitrite ซึ่งเป็นรูปที่พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

2. จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์

เป็นพวกที่ย่อยสลายเซลลูโลส ซากพืช ซากสัตว์ ประกอบไปด้วย แบคทีเรีย รา แอคติโนมัยซิฟ และโปรโตซัว เช่น *Bacillus* , *Aspergillus* , *Trichoderma* , *Penicillium* , *Thermoactinomyces*

- พบได้ทั่วไปในพืช ซากสัตว์ ใบไม้ กิ่งไม้ เศษหญ้า และขยะอินทรีย์ชนิดต่างๆ ทำให้เกิดปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ขึ้นมาได้ เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยคอก ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ น้ำหมักชีวภาพ
- ในปุ๋ยหมักที่มีกิจกรรมจุลินทรีย์ค่อนข้างดีพบว่า ในทุก 1 กรัมของปุ๋ยหมักจะต้องมีแบคทีเรีย 150–300 ไมโครกรัม และมีแบคทีเรียที่มีกิจกรรมสูง (active) อยู่ 15–30 ไมโครกรัม มีรา 150–200 ไมโครกรัม และมีเชื้อราที่มีกิจกรรมสูง 2–10 ไมโครกรัม มีพวกโปรโตซัว ซึ่งจะย่อยสลายเศษชิ้นส่วนขนาดใหญ่ให้เล็กลง ต้องมีถึงประมาณ 10,000 ตัวต่อ 1 กรัมของปุ๋ยหมัก และมีพวกไส้เดือนฝอยชนิดที่เป็นประโยชน์ 50 – 100 ตัว



(a)

(b)

(c)

ที่มา : (a) <https://en.wikipedia.org/wiki/Trichoderma>

(b) <https://www.indiamart.com/proddetail/tricoderma-neem-vermicompost-13884215855.html>

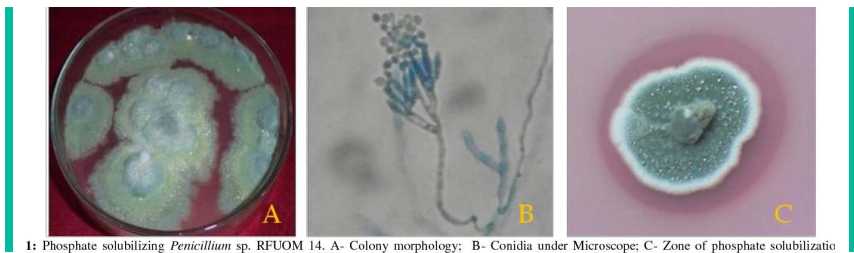
(c) <https://www.blibli.com/p/pupuk-fungisida-hayati-trichoderma-pupuk-fungisida-insektisida-layu-fusarium-pupuk-organik-padat-pupuk-hayati-tricoderma-pc--MTA-9254955>

3. จุลินทรีย์ที่ละลายฟอสเฟตและธาตุอาหารอื่นๆ

จุลินทรีย์พวกนี้สามารถทำให้ธาตุอาหารชนิด เช่น ฟอสฟอรัส เหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส ที่มีอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ (ไม่ละลาย) ให้ละลายออกมาอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ รวมทั้งจุลินทรีย์ที่ช่วยส่งเสริมให้รากพืชดูดกินอาหารได้ดีขึ้น ซึ่งโดยปกติแล้วจะไม่สามารถดูดกินธาตุอาหารบางชนิดได้ หรือดูดกินได้น้อย

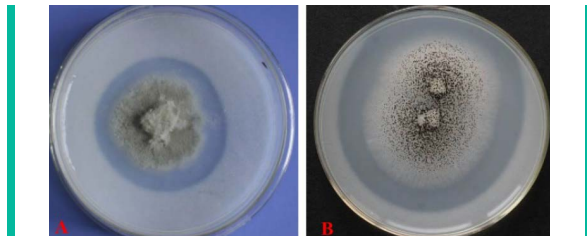
สารอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะอยู่ในรูปของฟิทิน และกรดฟอสฟอริก จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะสร้างเอนไซม์ Phytase , Phosphatase , Nucleotidases และ Glycerphosphate เพื่อแปรสภาพอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่เรียกว่า ออโรฟอสเฟต (Orthophosphate) ซึ่งเป็นพวกโมโน (Mono) และ Dihydrogen Phosphate จุลินทรีย์ดังกล่าว ได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Bacillus* sp. และราในสกุล *Aspergillus* sp. , *Thichoderma* sp. , *Penicillium* sp. และ *Rhizopus* sp.

จุลินทรีย์ในสกุล *Bacillus* sp. และ *Aspergillus* sp. จะสร้างกรดอินทรีย์ละลายฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของหินฟอสเฟตออกมาให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ นอกจากนี้เชื้อราไมคอร์ไรซา (Mycorrhizal Fungi) ยังมีบทบาทในการละลายและการส่งเสริมการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัส



1: Phosphate solubilizing *Penicillium* sp. RFUOM 14. A- Colony morphology; B- Conidia under Microscope; C- Zone of phosphate solubilization

(a)



(b)

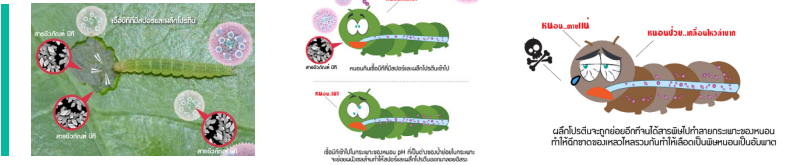
ที่มา : (a) <https://www.semanticscholar.org>

(b) <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199625.g001>

4. จุลินทรีย์ที่ผลิตสารป้องกันและทำลายโรคพืช

จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีประสิทธิภาพในการป้องกันและยับยั้งการเจริญของเชื้อราและแบคทีเรียพวกที่ก่อโรคบางชนิด เช่น แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก ได้แก่ *Lactobacillus* sp. บนใบพืชที่สมบูรณ์และมีสุขภาพดีจะพบแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดแลคติกมาก จุลินทรีย์กลุ่มนี้ส่วนใหญ่ไม่ต้องการออกซิเจน และมีประโยชน์อย่างมากในการเกษตร เช่น

- เปลี่ยนสภาพดินจากดินที่ไม่ดีหรือดินที่สะสมโรคให้กลายเป็นดินที่ต้านทานโรค
- ช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคพืชให้มีความน้อยลง มีประโยชน์กับพืชและสัตว์
- มีจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการสร้างสารปฏิชีวนะออกมาทำลายโรคพืชบางชนิด เช่น เชื้อรา *Aspergillus* sp. *Thichoderma* sp. และเชื้อแอคตินโนมัยซิทพวก *Streptomyces* sp.



ที่มา : ดัดแปลงจาก <https://www.svggroup.co.th/blog>

5. จุลินทรีย์ที่ผลิตฮอร์โมนพืช

เช่น *Bacillus* sp. สามารถสร้างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน ซึ่งสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

แนวทางการนำจุลินทรีย์จากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์

วิเคราะห์ปัญหา



ใช้จุลินทรีย์มาช่วย

- ใช้จุลินทรีย์ชนิดไหน
- อย่างไร
- วิธีไหน
- ทำอย่างไร

ในวัตถุดิบอะไรและจุลินทรีย์ทำอะไรได้บ้าง

วัตถุดิบ พืช ผัก ผลไม้	จุลินทรีย์
สารป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช	ผลิตเอนไซม์ช่วยย่อยสารอินทรีย์ และอนินทรีย์
ฮอร์โมน	ผลิตสารป้องกันกำจัดแมลง
วิตามิน	ผลิตกรดชนิดต่างๆ
น้ำตาล	ผลิตสารเคมีชนิดต่างๆ
แป้ง	เปลี่ยนสารตัวที่ 1 เป็นสารตัวที่ 2
ไฟเบอร์	

ตัวอย่าง การสกัดพืชสมุนไพรเพื่อใช้ป้องกันแมลงศัตรูพืช ต้องทราบ

- สารอะไรบ้างที่สามารถป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชได้
- สารแต่ละตัวนั้นจะถูกสกัดด้วยอะไร น้ำ หรือแอลกอฮอล์

การสกัดด้วยแอลกอฮอล์ต้องนำจุลินทรีย์ที่ผลิตแอลกอฮอล์เข้ามาช่วยในกระบวนการหมัก เพื่อให้จุลินทรีย์เข้าไปย่อยน้ำตาลแล้วผลิตเป็นแอลกอฮอล์ออกมา แล้วไปสกัดพืชสมุนไพรนั้น

แนวทางการนำจุลินทรีย์จากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์

- ประโยชน์ทางด้านพืช
- ประโยชน์ทางด้านปศุสัตว์
- ประโยชน์ในการผลิตสารสำคัญ (เอนไซม์ สารปฏิชีวนะ)
- ประโยชน์ในการเป็นอาหารคน

การนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ทางด้านพืช

กรมพัฒนาที่ดินใช้ความหลากหลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์จากธรรมชาติ เกิดผลิตภัณฑ์ จุลินทรีย์ สาร พด. 1 – 12 ซึ่งมีจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน และมีคุณสมบัติการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยกรมพัฒนาที่ดินมีการศึกษาและคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์มาตั้งแต่ พ.ศ. 2529 ผลิตสารเร่ง พด. 1 ขึ้นมาเป็นชนิดแรก ช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในดินเพื่อผลิตปุ๋ยหมัก และได้มีการพัฒนามาเรื่อยๆ จนถึงปัจจุบัน มีผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพซึ่งประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ทั้งหมด 13 ผลิตภัณฑ์ ปุ๋ยอินทรีย์ 1 ผลิตภัณฑ์ ไคโลไมท์ (หินแร่เพื่อการเกษตรปรับปรุงบำรุงดิน) เมล็ดพืชปุ๋ยสดปรับปรุงบำรุงดิน 2 ชนิด คือ ปอเทือง กับถั่วพราง และสารปรับปรุงดินเสื่อมโทรม (เลิกผลิตแล้ว)



การแยกและคัดเลือกจุลินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดิน

1) การสำรวจ และเก็บตัวอย่าง เพื่อแยกเชื้อจุลินทรีย์ โดยสำรวจแหล่ง และเก็บตัวอย่าง ตัวแทนวัสดุที่คาดว่าจะมีชนิดของจุลินทรีย์ที่ต้องการคัดแยก ซึ่งแหล่งที่อยู่อาศัยจะแตกต่างกันอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์นั้นๆ

2) การแยกเชื้อจุลินทรีย์ จะเก็บตัวอย่างดินป่า เศษพืชที่กำลังย่อยสลาย กองปุ๋ยหมักตามธรรมชาติและมูลสัตว์ และทำการแยกเชื้อในอาหาร selective media บ่มที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อในตู้ควบคุมอุณหภูมิประมาณ 3-7 วัน จุลินทรีย์ที่เจริญเห็นเป็นโคโลนีบนผิวหน้าอาหาร จะนำมาแยกเชื้อให้บริสุทธิ์โดยวิธี cross streak บนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง และเก็บเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกจนเป็นเชื้อบริสุทธิ์ไว้ในอาหารเลี้ยงเชื้อของแต่ละชนิดเพื่อการคัดเลือกต่อไป

3) การคัดเลือกจุลินทรีย์

- การคัดเลือกขั้นแรก นำจุลินทรีย์ที่แยกเป็นเชื้อบริสุทธิ์มาทดสอบกิจกรรมเอนไซม์หรือสารที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้น อาจวัดความกว้างของแถบใส (clear zone) ได้ผิวของอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์จะเกิดความกว้างแถบใสมาก

- การคัดเลือกขั้นที่สอง นำจุลินทรีย์ที่ผ่านการคัดเลือกขั้นแรก มาทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว วิเคราะห์หาปริมาณเอนไซม์กับ substrate โดยสังเกตสีที่เปลี่ยนแปลงโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer

- การคัดเลือกขั้นที่สาม นำจุลินทรีย์ที่ผ่านการคัดเลือกขั้นที่สอง ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อในสภาพห้องปฏิบัติการก่อนทดสอบในภาคสนาม

ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่กรมพัฒนาที่ดินส่งเสริมเผยแพร่ แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ตามวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ประโยชน์ ดังนี้

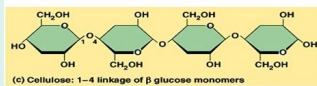
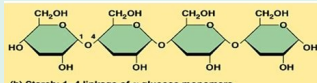
กลุ่มที่ 1 จุลินทรีย์ปรับปรุงบำรุงดินเพิ่มธาตุอาหารและฮอร์โมนพืช ประกอบด้วย

1. สารเร่งซูเปอร์ พด.1 สำหรับผลิตปุ๋ยหมัก เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมแปรรูป ผลผลิตทางการเกษตร เพื่อผลิตปุ๋ยหมักในเวลาเร็วและมีคุณภาพสูงขึ้น เป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่ทนอุณหภูมิสูง ประกอบด้วยเชื้อรา แอคติโนมัยซีทที่ย่อยสารประกอบเซลล์ลูลอส และแบคทีเรียที่ย่อยไขมัน จึงสามารถย่อยสลายวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรที่ย่อยยาก เช่น ต้นข้าวโพด ทะลายปาล์มน้ำมัน ขี้เลื่อย เปลือกถั่ว เปลือกเมล็ดกาแฟ

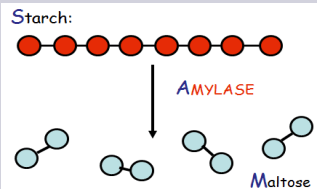


เชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรีย มีผนังเซลล์ ไม่สามารถนำสารที่มีโมเลกุลใหญ่เข้าสู่เซลล์ได้ แต่จุลินทรีย์จะปล่อยน้ำย่อยหรือเอนไซม์ออกมาย่อยอาหารภายนอกเซลล์ (extracellular digestion) เพื่อย่อยสารโมเลกุลใหญ่ให้เป็นสารโมเลกุลเล็กก่อน แล้วดูดซึมผ่านผนังเซลล์เข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตต่อไป

การย่อยแป้ง และเยื่อใย



(1)



(2)

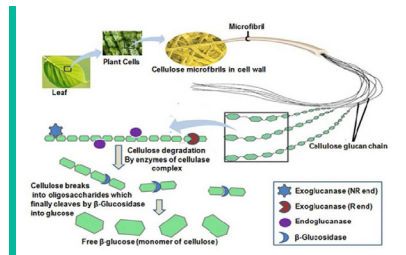
แป้ง (b) ประกอบด้วยกลูโคสหลายพันโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นโครงสร้างที่ย่อยได้ง่ายโดยเอนไซม์อะไมเลส (amylase) เซลลูโลส (c) ประกอบด้วยกลูโคสหลายหมื่นโมเลกุล มาเรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) ที่ตำแหน่งปีต้า-1, 4 (β (1-4 glycosidic bond)) มีลักษณะเป็นเส้นใยยาวที่ไม่ละลายน้ำย่อยโดยใช้เอนไซม์เซลลูเลส (cellulase)

เอนไซม์ย่อยแป้งเป็นน้ำตาล

เอนไซม์อะไมเลส (amylase) ย่อยแป้งซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ได้เป็นไดแซ็กคาไรด์ เช่น มอลโทส (maltose) มอโนแซ็กคาไรด์ เช่น กลูโคส (glucose)

ที่มา : (1) <https://slidetodoc.com/aim-how-can-we-describe-the-structure-of>
(2) <http://best-enzymes.blogspot.com/2016/02/alpha-amylase-enzyme-digest-starch.html>

เอนไซม์ย่อยเยื่อใยเป็นน้ำตาล



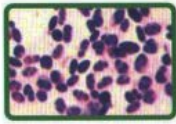
ที่มา : <https://link.springer.com/article/10.1007/s13205-015-0328-z>

การย่อยเยื่อใย ผงแป้งเซลลูสที่ประกอบด้วยเซลลูโลส ต้องใช้เอนไซม์เซลลูเลสย่อยสลายได้เป็น ไดแซ็กคาไรด์ เช่น มอลโทส และย่อยต่อเป็นน้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์ เช่น กลูโคส ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

2. สารเร่งซูเปอร์ พด.2 สำหรับผลิตน้ำหมักชีวภาพ เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายวัสดุการเกษตรในลักษณะสด อวน้ำ หรือมีความชื้นสูง เพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์น้ำ น้ำหมักชีวภาพ โดยดำเนินการกิจกรรมทั้งในสภาพที่ไม่มีอากาศและมีอากาศ เพิ่มประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน ไขมัน ลดกลิ่นเหม็นระหว่างการหมัก และเพิ่มการละลายธาตุอาหารในการหมักเปลือกไข่ ก้าง และกระดูกสัตว์ ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 5 สายพันธุ์ ประกอบด้วย

- ยีสต์ ผลิตแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ : *Pichia* sp.
- แบคทีเรีย ผลิตกรดแลคติก : *Lactobacillus* sp.
- แบคทีเรียย่อยสลายโปรตีน : *Bacillus* sp. ได้กรดอะมิโน ไนโตรเจน เป็นสารอาหารให้พืช
- แบคทีเรียย่อยสลายไขมัน : *Bacillus* sp. เป็นพลังงานสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์
- แบคทีเรียย่อยสลายอินทรีย์ฟอสฟอรัส : *Burkholderia* sp. เพื่อให้ยูในรูปที่ใช้ประโยชน์ได้





ยีสต์



แบคทีเรีย
ผลิตกรดแลคติก



แบคทีเรียย่อยสลาย
โปรตีน

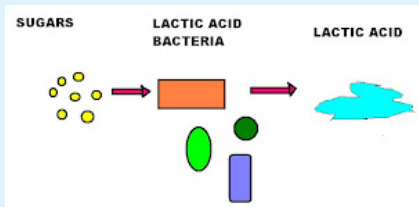


แบคทีเรียย่อยสลาย
ไขมัน



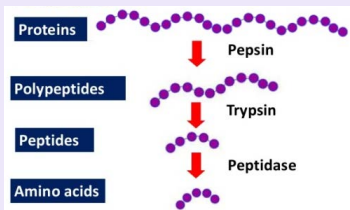
แบคทีเรียย่อยสลาย
อินทรีย์ฟอสฟอรัส

น้ำหมักที่ผลิตได้ ประกอบด้วยฮอโมนหรือสารเสริมการเจริญเติบโตของพืช เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน รวมทั้งกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดแลคติก กรดอะซิติก กรดอะมิโน และ กรดฮิวมิก การนำไปใช้ประโยชน์ต้องผสมน้ำเพื่อเจือจางฤทธิ์ของกรด



การผลิตน้ำหมักชีวภาพ เติมน้ำตาลเพื่อเป็นอาหารของจุลินทรีย์ ให้ผลิตเป็นกรดแลคติก

ที่มา : <https://fermentationtechnology.blogspot.com/2008/04/oh-those-wonderful-lactic-acid-bacteria.html>



การย่อยโปรตีน จนได้เป็นกรดอะมิโน เพื่อเปลี่ยนเป็นไนโตรเจนให้พืชได้ใช้ประโยชน์

ที่มา : <http://classnotes123.com/what-is-the-function-of-digestive-enzymes/>

คาร์บอน	จุลินทรีย์	$\text{CO}_2, \text{CO}, \text{HCO}_3^-, \text{CH}_4$
ไนโตรเจน	จุลินทรีย์	$\text{NH}_4^+, \text{NO}_3^-, \text{NO}_2^-, \text{N}_2$
ฟอสฟอรัส	จุลินทรีย์	$\text{H}_2\text{PO}_4^-, \text{HPO}_4^{2-}$
กำมะถัน	จุลินทรีย์	$\text{S}^{2-}, \text{H}_2\text{S}, \text{SO}_4^{2-}, \text{SO}_3^{2-}$
ธาตุอื่นๆ	จุลินทรีย์	$\text{K}^+, \text{Ca}^{2+}$ และ Mg^{2+} เป็นต้น

จุลินทรีย์เปลี่ยนสารต่างๆ ให้อยู่ในรูปที่พืช สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ที่มา : http://elearning.nsrul.ac.th/web_elearning/soil/lesson_6_2.php

น้ำหมักชีวภาพ

หมายถึง ของเหลวที่ได้จากการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ ขากพืชหรือสัตว์ ลักษณะสด โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในสภาพไม่มีออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ เพราะในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน แลคติกเอซิกแบคทีเรียเจริญเติบโตเปลี่ยนน้ำตาลเป็นกรดแลคติก ส่วนยีสต์จะผลิตแอลกอฮอล์ ซึ่งแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นจะไปสกัดสารในพืชออกมา เช่น สารกำจัดแมลง และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวน้ำตาล

ซึ่งประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน กรดฮิวมิก เอนไซม์ วิตามิน ฮอร์โมนและแร่ธาตุต่างๆ (อัญชลี, 2557)

กระบวนการหมัก

1. นำชิ้นส่วนหรือเศษซากพืชและสัตว์ชนิดต่างๆ มาผสมกับน้ำตาล คลุกเคล้าให้เข้ากัน
 2. ปล่อยให้จุลินทรีย์ ดำเนินการหมัก ในสภาพอุณหภูมิที่เหมาะสม (อุณหภูมิปกติในที่ร่ม 30-35 องศาเซลเซียส) เพราะจุลินทรีย์บางชนิดไม่สามารถเจริญได้ในอุณหภูมิที่สูงได้ โดยใช้เวลาหมักสมบูรณ์แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาหมัก (พืช 7 วัน สัตว์ 20 วัน) ขนาดของวัตถุดิบ (หั่น สับ) จำนวนจุลินทรีย์ ปริมาณสารอาหารสำหรับจุลินทรีย์ (น้ำตาล กากน้ำตาล) และอุณหภูมิ
 3. ในระหว่างการหมัก จะเกิดความร้อนจากการที่จุลินทรีย์ใช้น้ำตาล
- การหมักจุลินทรีย์นอกถั่วหรือผลิตฮอร์โมนใช้เวลา 3 เดือน เนื่องจากไม่เต็มหัวเชื้อ ใช้เชื้อจากธรรมชาติที่ติดมากับดินถั่ว หรือดิน จำนวนเชื้อมีไม่มากพอ หากใส่หัวเชื้อ เช่น สารเร่ง พด.2 จะใช้เวลาน้อยลง วัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตน้ำหมักชีวภาพที่แตกต่างกันจะได้สารอาหารในระดับที่แตกต่างกัน

ตาราง แสดงธาตุอาหารพืชที่พบในน้ำหมักชีวภาพ

ชนิด	pH	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม	แคลเซียม	แมกนีเซียม	กำมะถัน
ปลา	4.4	0.98	1.12	1.03	1.66	0.24	0.20
ผลไม้	3.6	0.27	0.05	0.67	0.58	0.01	0.17
หอยเชอรี่	4.6	0.35	0.25	0.85	1.65	0.29	0.15
ผัก	4.3	-	-	-	-	-	-
พืชพื้นเมือง	3.8	-	-	-	-	-	-

ประโยชน์ของน้ำหมักชีวภาพ

คุณสมบัติหรือประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้และจุลินทรีย์ที่เติมลงไป การใช้จุลินทรีย์จากธรรมชาติจะได้น้ำหมักที่มีคุณสมบัติไม่เทียบเท่ากับการใช้ สารเร่ง พด. 2 ซึ่งมีจุลินทรีย์ 5 ชนิด สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ด้านการเกษตร

1. ช่วยปรับสภาพความเป็นกรดต่าง ในดินและน้ำ
2. ช่วยปรับสภาพโครงสร้างของดินให้ร่วนซุย อุดมน้ำและอากาศได้ดียิ่งขึ้น
3. ช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินให้เป็นธาตุอาหารแก่พืช พืชสามารถดูดไปใช้ได้เลย
4. ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของพืชให้สมบูรณ์ แข็งแรง ต้านทานโรคและแมลง
5. ช่วยสร้างฮอร์โมนพืช ทำให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพ จะอยู่ที่ปลายยอดและปลายราก
6. ช่วยให้ผลผลิตคงทน เก็บรักษาได้นาน

ด้านปศุสัตว์

1. ช่วยกำจัดกลิ่นเหม็นจากฟาร์มสัตว์
2. ช่วยกำจัดน้ำเสียจากฟาร์มได้ภายใน 1-2 สัปดาห์
3. ช่วยป้องกันโรคอหิวาต์และโรคระบาดต่างๆในสัตว์
4. ช่วยกำจัดแมลงวัน ด้วยการตัดวงจรของหนอนแมลงวัน ไม่ให้เข้าตักแด้ เกิดเป็นตัวแมลงวัน
5. ช่วยสร้างฮอร์โมนพืช ทำให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพ
6. ช่วยเสริมสุขภาพสัตว์ ให้แข็งแรง ต้านทานโรค

กระบวนการเกิดน้ำหมักชีวภาพ



น้ำหมักชีวภาพที่หมักสมบูรณ์

1. มีการเจริญของจุลินทรีย์น้อยลง
2. มีกลิ่นแอลกอฮอล์น้อยลง
3. มีกลิ่นเปรี้ยวเพิ่มขึ้น มาจากกรดแลคติก
4. ไม่ปรากฏฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือมีน้อยมาก
5. ได้สารละลายเป็นของเหลวสีน้ำตาล
6. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อยู่ระหว่าง 3-4 เปอร์เซ็นต์

3. **จุลินทรีย์ ชูเปอร์ พด.9** เป็นกลุ่มจุลินทรีย์เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเปรี้ยวเล็กน้อยซึ่งเป็นดินกรดกำมะถัน ที่มีความรุนแรง ของกรดน้อย (pH ไม่ต่ำกว่า 5) ซึ่งฟอสฟอรัสจำเป็นในการสร้างตาดอก และช่วยการปรับสภาพของดินให้เป็นกลาง ซึ่งเป็นสภาวะที่พืชสามารถใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารได้ เป็นแบคทีเรีย *Burkholderia sp*



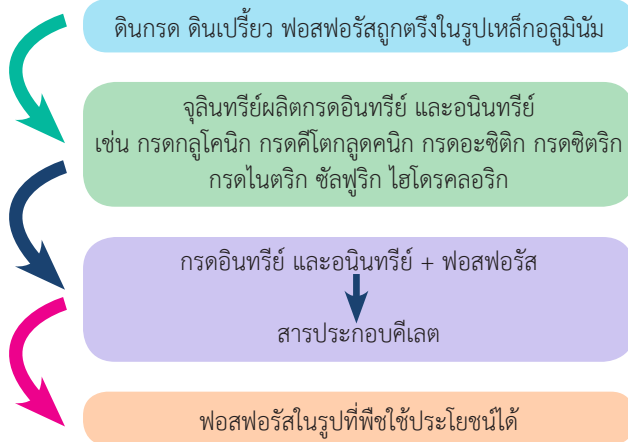
จุลินทรีย์ละลายฟอสฟอรัส เป็นจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการละลายฟอสฟอรัสโดยเปลี่ยนรูปจากสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำหรือพืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้

จุลินทรีย์ชูเปอร์ พด.9

เป็นจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการละลายฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงในดินกรด ดินเปรี้ยว ให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ ประกอบด้วย แบคทีเรีย *Burkholderia sp.*



กระบวนการละลายฟอสฟอรัสในดินโดยจุลินทรีย์ซูปเปอร์ พด.9



4. จุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 เป็นผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศ เพื่อเพิ่มมวลชีวภาพให้แก่พืชปรับปรุงบำรุงดิน โดยแบ่งออกเป็น จุลินทรีย์ พด.11 สำหรับสโนว์ฟริกกัน และจุลินทรีย์ พด.11 สำหรับปอเทือง และมีจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการละลายฟอสฟอรัสในดินให้เป็นประโยชน์แก่พืช เพื่อการใช้ประโยชน์พืชปรับปรุงบำรุงดินให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

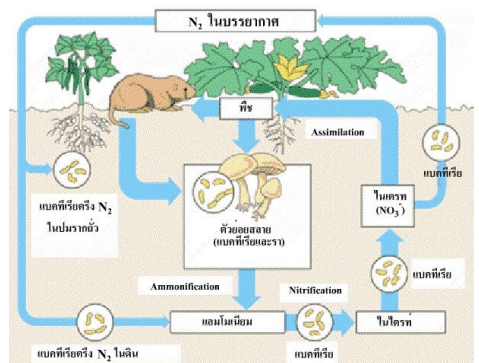
คุณสมบัติของจุลินทรีย์สำหรับพืชปรับปรุงบำรุงดิน พด.11 (ปอเทือง และสโนว์ฟริกกัน)

1. เป็นจุลินทรีย์กลุ่มไรโซเบียมที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศ พบในปมรากถั่ว เชื้อแบคทีเรียอยู่ในสกุล *Rhizobium*
2. เป็นแบคทีเรียที่สามารถผลิตกรดอินทรีย์ เพื่อละลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น *Burkholderia* sp.
3. เจริญที่อุณหภูมิระหว่าง 27 - 35 องศาเซลเซียส
4. เจริญในสภาพ pH 6.5 - 7.5



รูปแบบการตรึงไนโตรเจน

จุลินทรีย์ที่อยู่ในปมรากถั่ว ตรึงไนโตรเจนในดิน ในอากาศ เปลี่ยนเป็นแอมโมเนียม ($\text{ammonium} : \text{NH}_4^+$) แล้วจุลินทรีย์อีกกลุ่มเปลี่ยนแอมโมเนียมให้เป็นสารไนไตรต์ ($\text{Nitrite} : \text{NO}_2^-$) ไนเตรต ($\text{Nitrate} : \text{NO}_3^-$) ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้



ที่มา : https://il.mahidol.ac.th/e-media/ecology/chapter1/chapter1_nitrogen1.htm

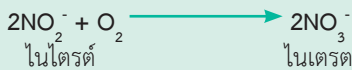
การตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixation)

- $$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \longrightarrow 2\text{NH}_3$$

- $$\text{N}_2 + 8\text{H}^+ + 8\text{e}^- + 16 \text{ATP} \longrightarrow 2 \text{NH}_4^+ + \text{H}_2 + 16 \text{ADT} + 16\text{Pi}$$



ไนไตรต์



ไนไตรต์

ไนเตรต

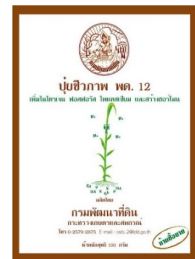
5. **ปัจจัยชีวภาพ พด.12** เพิ่มธาตุอาหาร และฮอร์โมนพืช เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างธาตุอาหาร หรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน และสร้างฮอร์โมนส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 4 ประเภท

- จุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในดิน สามารถตรึงไนโตรเจนในอากาศเปลี่ยนให้อยู่ในรูป
แบบที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

- ปลดปล่อยออกมาละลายสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตที่อยู่ในรูปโมเลกุลละลาย เช่น หินฟอสเฟต ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้

- ละลายธาตุที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ ในกลุ่มไม้ก้ำ เช่น ใบไธม์ มัลลิวาต์ และกลุ่มของเฟลด์สปาร์ เช่น ไมโครไคลน์ ออโทเคลส ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

- พืชที่แบคทีเรียสร้าง ได้แก่ ออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน ช่วยกระตุ้นการเจริญของราก ขนอ่อน และเพิ่มพื้นที่ผิวราก ทำให้ความสามารถในการดูดน้ำและธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้น และส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นพืช



กลุ่มที่ 2 จุลินทรีย์ควบคุมศัตรูพืช ประกอบด้วย

1. สารเร่งซูเปอร์ พด.3 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืชในดิน โดยมีความสามารถป้องกันหรือยับยั้ง การเจริญของเชื้อโรคพืชในดินในสภาพน้ำขังที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดอาการรากเน่า หรือ โคนเน่า และแปรสภาพแร่ธาตุในดินบางชนิดให้เป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ เชื้อไตรโคเดอร์มา (*Trichoderma* sp.) และ บาซิลลัส (*Bacillus* sp.)



กลไกการควบคุมโรคพืชของจุลินทรีย์ ในสารเร่งซูเปอร์ พด.3

- เข้าทำลายเชื้อสาเหตุโรคพืชโดยตรง เนื่องจากเส้นใยของเชื้อราไตรโคเดอร์มาจะเจริญอย่างรวดเร็วเข้าปกคลุมเชื้อสาเหตุโรคพืช และจะดูดของเหลวภายในเซลล์ของเชื้อสาเหตุโรคพืชเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหาร
- มีความสามารถในการแข่งขันการใช้อาหารและเจริญเติบโตได้ดีกว่าเชื้อสาเหตุโรคพืช
- สามารถสร้างสารปฏิชีวนะเพื่อยับยั้งการเจริญของเชื้อสาเหตุโรคพืชในดินทำให้เชื้อไม่สามารถแพร่กระจายได้

คุณสมบัติของจุลินทรีย์ในสารเร่งซูเปอร์ พด.3

สามารถป้องกันและควบคุมการเจริญของเชื้อสาเหตุโรคพืช ที่ปลูกในสภาพที่ดอน และในสภาพที่ลุ่ม

1. โรคราและโรคโคนเน่าของไม้ผลและไม้ยืนต้น เช่น ทุเรียน ส้ม มะละกอ กัญญา และยางพารา เป็นต้น
2. โรครากเน่าคอดินและลำต้นเน่าของพืชไร่ เช่น สับปะรด มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพด พืชเส้นใยและพืชตระกูลถั่ว เป็นต้น
3. โรคเน่าและเหี่ยวของพืชผัก และไม้ดอกไม้ประดับ เช่น พริก มะเขือเทศ แตง มะลิ เบญจมาศ เป็นต้น
4. โรคเน่าของพืชผักที่ปลูกในสภาพที่ลุ่มและความชื้นสูง เช่น ผักกาด กะหล่ำปลี เป็นต้น
5. โรคยอดผักดาบของข้าว
6. โรคเน่าและของผลสตรอเบอร์รี่

เชื้อบีที *Bacillus thuringiensis*

Figure 1. Vegetative growth, sporulation, and toxin crystal formation in *Bacillus thuringiensis*.



(a)

(b)

ที่มา : (a) <https://u.osu.edu/cmifsud7588/2019/05/18/bacillus-thuringiensis/>

(b) <https://www.certisbio.com/blog/an-introduction-to-bacillus-thuringiensis-bioinsecticides>

เชื้อบีที *B. thuringiensis* มีคุณสมบัติในการสร้างสปอร์ และผลึกโปรตีนที่มีรูปร่างเป็นผลึกคล้ายขนมเปียกปูนหรือรูปสี่เหลี่ยม มีสารพิษอยู่ภายใน ที่มีฤทธิ์ทำลายแมลง ขณะเดียวกันเชื้อบีที ยังเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ สัตว์ และไม่มีพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อม สารพิษที่สร้างขึ้นมี 4 ชนิด

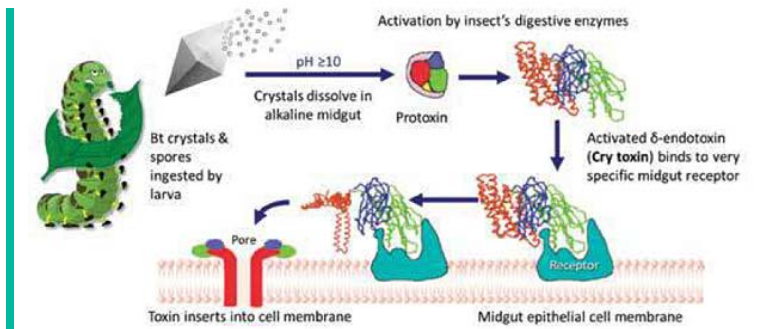
1. **เดลต้า - เอนโดท็อกซิน (delta-endotoxin)** ใช้ควบคุมแมลงศัตรูพืช ไม่ทนต่อความร้อน ผลึกประกอบด้วยกลุ่มโมเลกุลของโปรตีน ที่มีทั้งสารพิษและเอนไซม์เกาะกันเป็นรูปดัมเบลล์

2. **เบต้า เอ็กโซท็อกซิน (beta exotoxin)** เป็นสารพิษที่สร้างขึ้นภายนอกเซลล์ ละลายน้ำได้ ไม่ทนต่อความร้อน มีคุณสมบัติทำลายเม็ดเลือด ขัดขวางการทำงานของระบบสรีรวิทยาหลายอย่างในตัวแมลง ทำให้แมลงเจ็บโตช้า ไม่เข้าดักแด้ หรือถ้าเข้าดักแด้จะไม่ออกเป็นตัวเต็มวัย

3. **อัลฟา เอ็กโซท็อกซิน (alpha exotoxin)** สร้างขึ้นก่อนการสร้างสปอร์ มีความร้ายแรงและปัจจุบันยังไม่มีการนำมาใช้ เนื่องจากทนความร้อน 120 องศาเซลเซียส เป็นพิษต่อหนอนผีเสื้อ หนอนแมลงวัน หนอนด้วง โดยมีผลต่อระบบฮอร์โมน กระบวนการเมตาบอลิซึมและการสร้างเอนไซม์ต่างๆ แมลงที่กินสารพิษนี้เข้าไป จะทำให้รูปร่างเปลี่ยนแปลง ตัวเต็มวัยไม่สมบูรณ์ วงจรชีวิตสั้นและไม่สามารถสืบพันธุ์ได้

4. **แกมมา เอ็กโซท็อกซิน (gamma exotoxin)** ไม่ทนความร้อน อ่อนแอต่อสภาพอากาศ ออกซิเจน และแสงแดด ที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส จะถูกทำลายภายใน 10 - 15 นาที กลไกการเข้าทำลายแมลงของสารพิษยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด

เมื่อหนอนกินเชื้อบีที ที่มีสปอร์และผลึกโปรตีนเข้าไป ในกระเพาะของหนอน pH เป็นด่างน้ำย่อยในกระเพาะย่อยผนังเซลล์ทำให้สปอร์ และผลึกโปรตีนออกมาลอยอิสระ ผลึกโปรตีนจะถูกย่อยจนได้สารพิษที่ไปทำลายกระเพาะของหนอนทำให้ฝึกขาดของเหลวไหลรวมกันทำให้เลือดเป็นพิษ หนอนเป็นอัมพาต



ที่มา : <https://www.certisbio.com/blog/an-introduction-to-bacillus-thuringiensis-bioinsecticides>

2. **สารเร่งซูเปอร์ พด.7** สำหรับผลิตสารควบคุมแมลงศัตรูพืช เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการเพิ่มประสิทธิภาพการหมักและย่อยสลายพืชสมุนไพรชนิดต่าง ๆ ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน เพื่อผลิตสารป้องกันแมลงศัตรูพืช เป็นปุ๋ยอินทรีย์น้ำ สัตว์น้ำ ปลา ประกอบด้วยกรดอินทรีย์หลายชนิดในปริมาณสูง รวมทั้งสารออกฤทธิ์ประเภทต่าง ๆ และสารไล่แมลงที่สกัดได้จากพืชสมุนไพรชนิดนั้น ๆ ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 3 กลุ่ม



- ยีสต์ ทำหน้าที่ผลิตแอลกอฮอล์ ใช้เป็นตัวทำละลายสกัดสารออกฤทธิ์ จากพืชสมุนไพร
- แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติก ทำหน้าที่ผลิตอะซิติก ใช้เป็นตัวทำละลายสกัดน้ำมันหอมระเหย จากพืชสมุนไพร และทำให้เกิดกลิ่นมะพร้าว
- แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก ทำหน้าที่ผลิตกรดแลคติกป้องกันการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ ภายนอกและยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าบูด

ชนิดพืชสมุนไพร

- สมุนไพรที่มีประสิทธิภาพควบคุมเพลี้ย (เพลี้ยแป้งและเพลี้ยอ่อน) ได้แก่ ยาสูบ ตีปัสี ทางไหล กลอย และพริก
- สมุนไพรที่มีประสิทธิภาพควบคุมหนอน (หนอนกระทู้ หนอนขอนใบ) ได้แก่ ว่านน้ำ มันแกว สะเดา หนอนตายหยา และขมิ้นชัน
- สมุนไพรที่ป้องกันและเป็นพืชต่อแมลงวันทอง ได้แก่ หนาม เมี๊ยะน้อยหน้า เมี๊ยะเงาะ ยาสูบ พริกไทยดำ ขิง และพญาไร้ใบ
- สมุนไพรที่ใช้ไล่แมลงไม่ให้วางไข่ ได้แก่ คำแสด มะกรูด ตะไคร้ เมี๊ยะละหู่ มะนาว พริก และพริกไทย เป็นต้น

ควบคุมเพลี้ย	ส่วนที่นำมาใช้	ใบยาสูบ	ผลตีปัสี	รากทางไหล	หัวกลอย	พริก
	สารที่ได้	นิโคติน	ไพเพอรีน	โรทีโนน	ซาโปนิน	แคปไซซิน
ควบคุมหนอน	ส่วนที่นำมาใช้	เหง้าว่านน้ำ	เม็ล็ดมันแกว	เม็ล็ดสะเดา	เหง้าหนอนตายหยา	เหง้าขมิ้นชัน
	สารที่ได้	อะซาโรน	โรทีนิน,ซาโปนิน	อะซาติแรคติน	สติโมนิน	เคอคูมิน

กลุ่มที่ 3 จุลินทรีย์รักษาสิ่งแวดล้อม ได้แก่

1. สารเร่งซูปเปอร์ พต.6 สำหรับผลิตสารบำบัดน้ำเสียและขจัดกลิ่นเหม็น เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติในการเพิ่มประสิทธิภาพการหมักเศษอาหารในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน หรือย่อยสลายสารอินทรีย์ เพื่อผลิตสารทำความสะอาดคอก บำบัดน้ำเสีย ลดกลิ่นเหม็นตามท่อระบายน้ำ และจุลินทรีย์กำจัดลูกน้ำยุงรำคาญ ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 5 สายพันธุ์

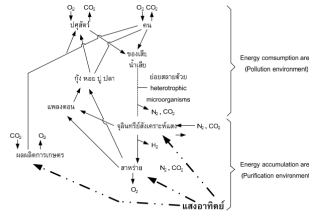
- ยีสต์ผลิตแอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ : *Saccharomyces* sp.
- แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก : *Lactobacillus* sp.
- แบคทีเรียผลิตเอนไซม์โปรตีนเอส ย่อยสลายโปรตีน : *Bacillus* sp.
- แบคทีเรียผลิตเอนไซม์ไลเปส ย่อยสลายไขมัน : *Bacillus* sp.
- แบคทีเรียกำจัดลูกน้ำยุงรำคาญ : *Bacillus sphaericus* ใช้ได้ดีในฟาร์มสุกร



จุลินทรีย์น้ำหมักชนิดต่างๆ

จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (photosynthetic bacteria; PSB)

เป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้แสงแดดในการเจริญเติบโต โดยทั่วไปจะแบ่งจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงเป็น 2 กลุ่ม คือ แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วง (purple photosynthetic bacteria) และแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีเขียว (green photosynthetic bacteria) (Pfenning และ Truper, 1989; Kobayashi, 2000) ปัจจุบันมีการใช้อย่างแพร่หลาย



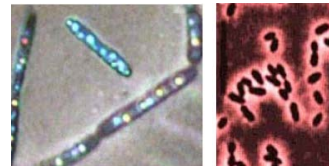
ภาพที่ 1 บทบาทของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในการบำบัดน้ำเสีย
ที่มา : Kobayashi (2000)

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วง (purple photosynthetic bacteria)

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงอยู่ในวงศ์ *Chromatiaceae* เจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่มีแสงสามารถใช้สารประกอบซัลเฟอร์ และไทโอซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนเพื่อรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นสารอาหารภายในเซลล์ได้ (Imhoff, 1992; Van Niel, 1944) และมีการสะสมกัมมะถันไว้ในเซลล์ จึงมีกลิ่นของก๊าซไข่เน่า การใช้ในฟาร์มสามารถลดกลิ่น และสามารถบำบัดน้ำเสียได้



ส่วนแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในวงศ์ *Rhodospirillaceae* เป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่สามารถใช้ซัลไฟด์เป็นตัวให้อิเล็กตรอนเพื่อรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นสารอาหารภายในเซลล์ได้ และมีการสันดาป (metabolism) ดีกว่าแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงที่ใช้ซัลเฟอร์ เนื่องจากสามารถเจริญได้ทั้งแบบโฟโตเฮเทอโรโทรฟ (photoheterotroph) และโฟโตออโตโทรฟ (photoautotroph) ซึ่งส่วนใหญ่แบคทีเรียกลุ่มนี้จะทนต่อสภาพที่มีออกซิเจน จึงสามารถเจริญได้ภายใต้สภาวะแบบเฮเทอโรโทรฟที่มีอากาศ-ไม่มีแสง

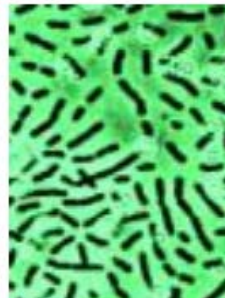


มีแบคทีเรียโอ คลอโรฟิลล์ เอ และแคโรทีนอยด์ หลายชนิดในการสังเคราะห์แสง Bergey's Manual of Determinative Bacteriology เล่ม 9 จำแนกแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมกัมมะถัน (purple nonsulfur bacteria) ไว้ในกลุ่มที่ 10 (anoxygenic phototrophic bacteria) กลุ่มย่อยที่ 3 (purple non-sulfur bacteria) มี 6 สกุล ได้แก่ Rhodospirillum, Rhodopila, Rhodobacter, Rhodopseudomonas, Rhodomicrobium และ Rhodocyclus (Staley และคณะ, 1994)

แบคทีเรียกลุ่มนี้ไม่สะสมก้ำมะถัน จึงไม่มีกลิ่นก๊าซไข่เน่า พบได้ทั่วไปตามแหล่งน้ำธรรมชาติ ในชั้นน้ำที่มีแสงสว่างส่องถึงมีสารอินทรีย์ และพบการรวมตัวกันเป็นกลุ่มใหญ่ในแหล่งน้ำที่ไม่มีออกซิเจน มีแสงเล็กน้อย ในแหล่งน้ำจืดที่มีซัลไฟด์อยู่จะพบน้อยมาก แต่บางชนิดก็อาศัยอยู่ในที่มีปริมาณซัลไฟด์อยู่สูง (Imhoff, 1992) นอกจากนี้ ยังพบได้ในพื้นดิน สระน้ำ คลอง หรือแหล่งน้ำที่สกปรก เช่น บ่อบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์สูง เป็นแหล่งที่แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมก้ำมะถันเจริญได้ดี พบการเจริญอย่างรวดเร็ว (Pfenning และ Truper, 1992; Olliver และคณะ, 1994) แบคทีเรียกลุ่มนี้ ส่วนใหญ่จะทนต่อสภาพที่มีออกซิเจน สามารถเจริญได้ภายใต้สภาวะแบบเฮเทอโรโทรฟที่มีอากาศ-ไม่มีแสง มีแบคทีเรียโอ คลอโรฟิลล์ เอ และแคโรทีนอยด์ หลายชนิดในการสังเคราะห์แสง แบคทีเรียสังเคราะห์แสง โดยเฉพาะ แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมก้ำมะถัน ได้รับความสนใจในการศึกษาและวิจัย อย่างกว้างขวาง นำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพอย่างแพร่หลาย (Sasikala และ คณะ, 1993; Sasikala และ Ramana, 1995)

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีเขียว (green photosynthetic bacteria)

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีเขียว อยู่ในวงศ์ Chlorobiaceae มีลักษณะเซลล์เป็นแบบเส้นสาย ไม่มีระบบอินทราไซโตพลาสติกเมมเบรน (intracytoplasmic membrane system) มีโครงสร้างพิเศษ คือ คลอโรเบียม (chlorobium vesicle) หรือ คลอโรโซม (chlorosome) อยู่ภายในไซโตพลาสติก หรือติดอยู่ที่ผิวของ ไซโตพลาสติกเมมเบรน คลอโรโซมมีขนาดใหญ่ ประกอบด้วย แบคทีเรียโอคลอโรฟิลล์ ซี ดี และอี และมีโครงสร้างในการจับพลังงานแสง (light-harvesting) ศูนย์กลางของปฏิกิริยาของแบคทีเรียกลุ่มนี้จะพบอยู่ในไซโตพลาสติกเมมเบรนอยู่ติดกับคลอโรโซม (Imhoff, 1992) ไม่สะสมก้ำมะถันไว้ในเซลล์



หน้าที่หลักของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

- เป็นแหล่งรวมแร่ธาตุต่างๆ ที่มีประโยชน์ เช่น กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก สารประกอบทางกายภาพ และโพลิแซคคาไรด์
- ทำให้พืชโตเร็วขึ้น โดยใช้กระบวนการเพิ่มแร่ธาตุในดิน เช่น ไมคอร์ไรซา อาซโซโตแบคเตอร์
- เป็นตัวทำกระบวนการรีไซเคิลให้กับ คาร์บอน ไนโตรเจน และสารประกอบจำพวกซัลเฟอร์
- เพิ่มผลผลิตให้กับพืช
- ป้องกันมลพิษทางอากาศ และช่วยกำจัดแร่ธาตุที่มีอันตราย ต่อสิ่งแวดล้อม
- ช่วยลดแก๊สในคอกสัตว์
- ช่วยกำจัดของเสียและพืช เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมอร์แคปตัน คลอไรด์ ไดอะมาด

ชนิดของเสียที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ถ้าใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสง

ของเสียจากอุตสาหกรรมที่มีส่วนประกอบของโครงสร้างสิ่งมีชีวิต	ของหมักเปียร์ ตัวต่อต้านแบคทีเรียบางชนิด กรดอะมิโน กรดนิวเคลียริก ขอส ถั่วเหลือง ผลิตภัณฑ์ ที่ต้องใช้หมัก
ของเสียจากอุตสาหกรรมที่มีส่วนประกอบของสารเคมีสังเคราะห์	มีสังเคราะห์ พลาสติกสังเคราะห์ ปุ๋ยเคมี
ของเสียจากอุตสาหกรรมจากการผลิตอาหาร	กระป๋องและขวด ลูกกวาด ขอสถั่วเหลือง นมเปรี้ยว สินค้าที่ทำจากแป้ง
ของเสียอื่นๆ	กระดาษ น้ำมัน

ประโยชน์และหน้าที่ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

ด้านการเกษตร

- ทำให้ปุ๋ยดีขึ้นโดยเพิ่มไนโตรเจน และการใช้ปุ๋ยเคมีในดิน
- ทำให้การเก็บเกี่ยวทำได้มากขึ้น โดยทำให้พืชโตเร็วขึ้นถึงแม้ว่าจะมีแสงอาทิตย์น้อย
- ทำให้รากพืชโตเร็ว โดยเพิ่มโปรตีน แร่ธาตุและกรดต่างๆ ที่จำเป็นต่อพืช
- ป้องกันไม่ให้ดินเป็นกรด
- ป้องกันไม่ให้แบคทีเรีย จำพวกบาซิลลัสเกิดขึ้น

การทำฟาร์มปศุสัตว์ (ผสมกับฟาง หญ้าแห้ง และน้ำให้สัตว์)

- ช่วยลดแก๊สและของเสียหรือสิ่งปฏิกูลในเล้าสัตว์
- ทำให้สัตว์มีชีวิตชีวา
- ทำให้น้ำหนักเพิ่ม โดยเพิ่มสารอาหารแร่ธาตุที่จำเป็นต่อสัตว์
- ช่วยป้องกันให้สัตว์มีความทนทานต่อแบคทีเรียที่ไม่ดี
- ทำให้คุณภาพของเนื้อ และสีของเนื้อดี
- ทำให้รสชาติของเนื้อสัตว์ดีขึ้น

การทำฟาร์มปลา

- โปรตีนในแบคทีเรียสังเคราะห์แสงช่วยเพิ่มคุณภาพของเนื้อปลาดีขึ้น โดยเพิ่มสารอาหาร

เข้าไปทำให้ร่างกายของปลามีความสมดุล

- ทำให้ปลามีสีตามธรรมชาติ และทำให้แข็งแรง
- ทำให้มีอาหารของปลาเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มแพลงตอนในน้ำมากกว่าเดิม 70 เท่า
- สามารถใช้เป็นอาหารของตัวอ่อนหรือไข่ปลาได้
- เพิ่มอัตราการเก็บเกี่ยวและการรอดตายของปลา
- ช่วยป้องกันโรคที่เกิดมาจากแบคทีเรียจำพวกบาซิลลัส และไมล์ดี

การควบคุมสภาพแวดล้อม

- ช่วยลด BOD ในน้ำเสีย
- ช่วยลดสารเคมีที่เป็นอันตราย เช่น คลอไรด์ (chloride) ไฮโดรเจน ซัลไฟด์ (hydrogen sulfide) ไดอะไมด์ (diamine) เป็นต้น
- ทำให้สภาพของน้ำกร่อย มีความเหมาะสมต่อปลามากขึ้น

การนำแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมกำมะถันไปใช้เพื่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม

1. การใช้เป็นแหล่งอาหารเสริมของสัตว์

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงถูกนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารสำหรับสัตว์ทั้ง ไก่ไข่ สัตว์น้ำ (กุ้ง ปลาสวยงาม) ซึ่งมีงานวิจัยยืนยันการใช้เป็นจำนวนมาก ในแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ *Rhodospseudomonas capsulate* มีปริมาณโปรตีนสูงร้อยละ 60 - 65 ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วน มีวิตามินแร่ธาตุ เช่น วิตามินบี 1 บี 2 บี 6 กรดฟอลิก วิตามินบี 12 วิตามินซี วิตามินดี และวิตามินอี เป็นต้น และมีกรดไขมัน สารโคแฟกเตอร์ เช่น ยูบิควิโนน (Ubiquinone) โคเอนไซม์คิว (Coenzyme-Q) ประกอบอยู่ด้วย จึงเหมาะที่ใช้เป็นแหล่งอาหาร

Kabayashi และ Kurata (1978) ทดลองผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในอาหารเลี้ยงไก่ ในปริมาณร้อยละ 0.01 - 0.04 ในรูปเซลล์สด พบว่า ไก่ไข่เร็วขึ้น ระยะเวลาในการให้ไข่มากขึ้น คุณภาพของไข่ดีขึ้น สีของไข่แดงขึ้น น้ำหนักไข่ น้ำหนักตัวไก่ดีขึ้น และประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้นด้วย ในอาหารปลาสวยงาม ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงผสมอาหารเลี้ยงปลาทอง แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ *Rhodobacter gelatinosa* (โปรตีนร้อยละ 57.93) มีวิตามิน กรดอะมิโนที่จำเป็นในปริมาณมาก เช่น วิตามินบี 12 วิตามินอี เมไทโอนีน และไลซีน ผสมในรูปเซลล์สด ทดแทนปลาป่นร้อยละ 50 พบว่า การเจริญของปลาดีขึ้น มีอัตราการอยู่รอดร้อยละ 96.3 และทำให้ไข่สุกเร็วขึ้น (สาวิตร, 2530) การผสมแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ *Rhodobacter sphaeroides* ในอาหารเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ พบว่า ปลามีสีเข้มขึ้น การเลี้ยงกุ้ง พบโรคเหงือกกุ้ง (gill disease) ทำให้เกิดการเสียหายอย่างมาก เมื่อใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ *Rhodobacter capsulatus* ช่วยลดโรคต่างๆ ที่เกิดจากเชื้อไวรัสได้ นอกจากนี้ ลูกกุ้ง ลูกปลาชนิดต่างๆ เช่น ปลาทอง ปลาคาร์พ ปู และหอยแครง สามารถกินแบคทีเรียสังเคราะห์แสงได้โดยตรงหลังจากฟักออกจากไข่ ส่งผลต่อการเพิ่มน้ำหนัก และอัตราการรอดตายเป็น 2 เท่า

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงที่ไม่สะสมซัลเฟอร์ ซึ่งพบทั่วไปในแหล่งน้ำจืด น้ำเค็ม ยังพบการเจริญในบ่อกุ้ง แบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวสามารถนำมาใช้บำบัดน้ำเสียได้หลายประเภท (Kantachote และคณะ, 2005) เช่น การบำบัดน้ำเสียจากถั่วเหลือง พบว่า *Rhodovulum sulfurphilum* สามารถลดค่า COD ในน้ำเสียจากปลาซาร์ดีนได้ร้อยละ 85 หลังการบำบัด 120 ชั่วโมง นอกจากนี้ สามารถกำจัดโลหะหนักของ Pb Cu Cd Zn และ Na ในบ่อกุ้งได้ เมื่ออยู่ในสภาวะมีแสง-ออกซิเจนน้อย หรือสภาวะมีอากาศ-ไม่มีแสง (microaerobic-light) หรือ สภาวะมีอากาศ ไม่มีแสง (aerobic-dark) (Panwichian และคณะ, 2010; ณัฏภัทร แสงธรรมพนอ, 2560)

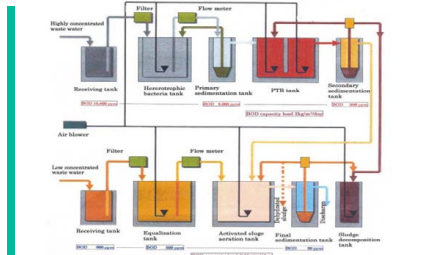
2. การใช้ในทางการแพทย์

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสามารถสังเคราะห์ยูบิควิโนน (ubiquinone ; UQ_{10}) ขึ้นภายในเซลล์ได้ โดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่นิยมนำมาใช้ผลิต เช่น *Rhodocyclus gelatinosus* *Rhodobacter capsulatus* *Rhodospirillum rubrum* ฯลฯ ซึ่งยูบิควิโนนที่สกัดได้นำมาเป็นอาหารเสริมในผู้ป่วยป่วยโรคเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด นอกจากนั้น นำ UQ_{10} ซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) และเป็นสารธรรมชาติที่ร่างกายมนุษย์สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ มาใช้ในการทำเครื่องสำอาง สำหรับลดการเกิดริ้วรอย ชะลอการเสื่อมของเซลล์ผิวหนังจากแสงแดด (photo aging)

3. การใช้ในการบำบัดน้ำเสียและของเสีย

เนื่องจากแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมก้ำมะถัน สามารถย่อยสลายสารประกอบภายในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนและมีออกซิเจนจึงสามารถนำไปบำบัดน้ำเสียและของเสียกลับมาใช้ได้อีก ฉะนั้น แหล่งน้ำเสียสามารถใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่มนี้บำบัดได้จึงมีมากมาย โดยทั่วไปจะเป็นน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ น้ำเสียทางการเกษตร น้ำเสียจากอุตสาหกรรม น้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน น้ำเสียจากอุตสาหกรรมการใช้จุลินทรีย์ เช่น ผลิตภัณฑ์ ยาปฏิชีวนะ ฯลฯ น้ำเสียจากอุตสาหกรรมทางเคมีและปิโตรเลียม และอุตสาหกรรมของเสียในรูปก๊าซต่างๆ เป็นต้น ซึ่งแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมก้ำมะถันที่นิยมนำมาใช้ในการบำบัดของเสียต่างๆ จะอยู่ในสกุล *Rhodospseudomonas* *Rhodobacter* *Rhodospirillum* และ *Rhodocyclus* โดยที่แบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่มไม่สะสมก้ำมะถันจะทำให้น้ำเสียมีคุณภาพดีขึ้นได้โดย

1. ช่วยลดค่า BOD, COD และ TOC (total organic carbon) สามารถลดได้ถึงร้อยละ 20 - 99
2. ย่อยสลายสารประกอบที่เป็นพิษต่าง ๆ มากมาย
3. ย่อยสลายสารประกอบอะโรมาติก (aromatic)
4. เคลื่อนย้ายพวกคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)
5. เกิดกระบวนการ denitrification และ deammonification ช่วยลดแอมโมเนียและไนเตรทที่เป็นปัญหาในการบำบัดน้ำเสียได้



4. การใช้ในการเกษตร

การผลิตฮอร์โมนพืช เช่น ไซโตไคนิน (cytokinin) ผลิตจาก *Rhodospirillum rubrum* ไคเนติน (kinetin) และ ซีเอติน (zeatin) ซึ่งผลิตโดย *Rhodobacter sphaeroides* นอกจากนี้ยังมี ออกซิน (auxin), กรดอินโดล-3- อะซิติก (indole-3-acetic acid ; IAA) และกรดอินโดล-3-บิวทีริก (indole-3-butyric acid ; IBA) ผลิตจาก *Rhodobacter sphaeroides*

สารกำจัดวัชพืช และยาฆ่าแมลงชีวภาพ เช่น 5-aminolevulinic acid (ALA) ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วงกลุ่มไม่สะสมก้ำมะถัน เช่น *Rhodobacter palustris* (ได้ ALA 750 nmol) *Rhodobacter sphaeroides* (ได้ ALA 2,000-4,000 nmol)

การนำไปใช้สำหรับการเพาะปลูกข้าว Maki (2004) รายงานว่า ดินบริเวณรากข้าวในระยะข้าวตั้งท้องจะมีสภาวะแบบไม่มีออกซิเจนทำให้แบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนเจริญได้ดี สร้างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ขึ้นมาแล้วมีผลไปยังกระบวนการสร้างเมตาโบลิซึมของรากข้าวซึ่งเป็นพืชต่อราก แต่เมื่อใส่แบคทีเรียสังเคราะห์แสงลงดินในระยะเวลาดังกล่าว แบคทีเรียสังเคราะห์แสงจะเปลี่ยนไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้อยู่ในรูปสารประกอบซัลเฟตที่ไม่เป็นพิษต่อราก จึงมีผลให้รากของต้นข้าวเจริญงอกงามขึ้น ต้นข้าวมีความแข็งแรง ผลผลิตของข้าวมากขึ้นตามไปด้วย

จุลินทรีย์นอกกล้วย

ทำไมต้องนอกกล้วย เพราะ

1. หาได้ง่าย
2. มีฮอร์โมนออกซินสูง (พบในส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อเจริญ ปลายยอด ปลายราก ตาข้าง)
3. มีสารแทนนิน ช่วยในการกำจัดและยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรีย
4. มีเซลลูโลส และคลอโรฟิลล์สูง
5. มีสารอาหารมากและมีค่า C-N ratio สูง คือความสามารถในการย่อยสลายเร็ว

ฮอร์โมนพืช

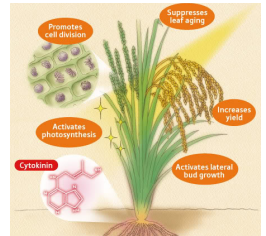
1. ฮอร์โมนควบคุมการเจริญเติบโต
2. กระตุ้นการเติบโตของพืช ได้แก่ ออกซิน จิบเบอเรลลิน ไซโตไคนิน และเอทิลีน (ethylene)
3. ยับยั้งการเติบโตของพืช ได้แก่ กรดแอบไซซิก (abscisic acid)
4. ฮอร์โมนกระตุ้นการแบ่งเซลล์ ได้แก่ ออกซิน ไซโตไคนิน
5. ฮอร์โมนกระตุ้นการออกดอก ได้แก่ ออกซิน จิบเบอเรลลิน เอทิลีน
6. ฮอร์โมนกระตุ้นการเกิดราก คือ ออกซิน

ออกซิน (Auxin) สังเคราะห์ได้จากส่วนเนื้อเยื่อเจริญของลำต้น ปลายราก ใบอ่อน ดอกและผล และพบมากที่บริเวณเนื้อเยื่อเจริญ โคลิออปทิล และคัพเพาะ รวมทั้งใบที่กำลังเจริญด้วย 2, 4-D ซึ่งใช้ในการกำจัดวัชพืช IBA หรือ Indole butyric acid ใช้ในการเร่งให้ส่วนที่จะนำไปปักชำเกิดรากเร็วขึ้น และ NAA หรือ Naphthalene acetic acid

จิบเบอเรลลิน (Gibberellins) จะเร่งให้เกิดการยืดตัวเพิ่มขึ้นของลำต้นและใบ

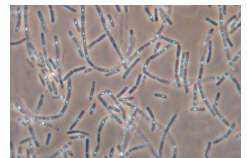
ไซโตไคนิน (Cytokinins) กระตุ้นให้มีการแบ่งเซลล์ พบไซโตไคนินมากในผลอ่อนและเมล็ดในใบอ่อนและปลายราก ซึ่งไซโตไคนิน อาจจะสังเคราะห์ที่บริเวณดังกล่าวหรืออาจจะเคลื่อนย้ายมาจากส่วนอื่นๆ ในรากนั้นมีหลักฐานที่ชี้ให้เห็นว่าไซโตไคนินสังเคราะห์ที่บริเวณนี้ได้เพราะเมื่อมีการตัดรากหรือลำต้น ดังนั้น การทำน้ำหมักชีวภาพ หากต้องการฮอร์โมนชนิดใด ต้องเลือกวัตถุดิบในส่วนที่นั้นๆ มาหมัก และที่สำคัญต้องเลือกใช้จุลินทรีย์ให้เหมาะสมด้วย

วีโลลักษณ์ และละมัย (2560) ศึกษาจุลินทรีย์ในดินปลูกกล้วยไข่ พบว่า มีแบคทีเรีย เชื้อรา แอคติโนมัยซีท ในปริมาณมาก หากนำหมักกล้วยนี้ไปหมัก ก็จะได้จุลินทรีย์กลุ่มนี้มาใช้ประโยชน์ด้วย



จุลินทรีย์จาวปลวก

จาวปลวก เป็นสิ่งที่ปลวกสร้างขึ้นมาจากมูลของมันเอง มูลปลวก มี 2 ชนิด คือ มูลที่ถูกย่อยภายในลำไส้เพียงเล็กน้อย อยู่ในสภาพเป็นของแข็ง และมูลที่ถูกย่อยภายในลำไส้อย่างดีแล้ว อยู่ในสภาพเป็นของเหลว มูลที่สภาพเป็นของแข็ง ประกอบด้วยเศษพืช (เศษไม้) ชิ้นเล็กชิ้นน้อยที่ปลวกกัดกินเข้าไปและผ่านกระเพาะของปลวกออกมาอย่างรวดเร็ว มูลที่ถ่ายออกมาจึงมีรูปร่างเป็นท่อนกลมสั้นๆ ซึ่งต่อมาจะถูกกราม (mandibles) ของปลวกกัดจนเป็นเม็ดเล็กๆ ให้ละเอียดมาก แล้วนำไปสร้างเป็นรังเลี้ยงตัวอ่อน



ในขณะที่ปลวกสร้างรังเลี้ยงตัวอ่อนนี้เองจะมีราเกิดขึ้น โดยเส้นใยของร่าจะเกาะกันเป็นก้อนกลมสีขาวขนาดเล็ก เรียกว่า Fungus nodule หรือ Fungal ball เส้นใยนี้จะป็นอาหารของปลวก และเมื่อปลวกกินเส้นใยของร่าเข้าไป จะถ่ายมูลชนิดที่สองออกมา ปลวกจะนำมูลที่เป็นของเหลวนีไปใช้เคลือบผนังด้านในของห้องเห็ดแต่เมื่อถึงระยะหนึ่งปลวกจะกินน้อยลง และทั้งรังตัวอ่อนไป ร่าจะเจริญเส้นใยเพิ่มมากขึ้น และเกิดดอกอ่อน (fruiting primordia) เป็นแท่งยาวโผล่ขึ้นมาจากรังเลี้ยงตัวอ่อน เรียกว่า pseudorhiza และแทงผ่านชั้นดินขึ้นมาเป็นดอกเห็ด คือ เห็ดโคน



งานวิจัยคัดเลือกแบคทีเรียในลำไส้ปลวกที่ผลิตเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อนำไปย่อยเซลลูโลส สามารถแยกได้ 15 สายพันธุ์ เป็นแบคทีเรียในสกุล *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Breznakia*, *Kocuria*, *Staphylococcus*, *Streptomyces*, *Lactococcus*, *Isoptericola* และ *Dysgonomonas* โดยแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ดีที่สุด คือ *Staphylococcus wameri* ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างจากรังปลวกในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งรังปลวกในแต่ละพื้นที่จะคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ได้แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในแต่ละพื้นที่

ในสื่อออนไลน์ มีการรายงานว่ในจาวปลวกมีแบคทีเรียที่มีชื่อเรียกว่า *Bacillus cereus* SPT245 ที่มีส่วนช่วยเร่งการเจริญเติบโตของร่า และช่วยลดความรุนแรงของโรคที่ร่าะบบร่า เช่น โรคร่าเนา ร่าขาว ร่าปม ซึ่งจุลินทรีย์ดังกล่าวพบได้ในดินจากป่า (สุดฤดี, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว).)

EM (Effective Microorganisms)

ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 3 กลุ่ม

1. กลุ่มจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (Photosynthetic Bacteria) คุณสมบัติสังเคราะห์สารอินทรีย์และสร้างความอุดมสมบูรณ์

2. กลุ่มจุลินทรีย์สร้างกรดแลคติก คุณสมบัติต่อต้านเชื้อร่าและแบคทีเรียที่เป็นโทษ

3. กลุ่มจุลินทรีย์หมัก เช่น ยีสต์ คุณสมบัติช่วยในการย่อยสลาย

EM เป็นจุลินทรีย์กลุ่มสร้างสรรค์ เป็นกลุ่มที่มีประโยชน์ หรือเรียกว่ากลุ่มธรรมชาติ ดังนั้น เวลาจะใช้ต้องคำนึงถึงเสมอว่า EM เป็นสิ่งมีชีวิต EM มีลักษณะ ดังนี้

- ต้องการที่อยู่ที่เหมาะสม ไม่ร้อนเกินไป หรือเย็นเกินไป อยู่ในอุณหภูมิปกติ
- ต้องการอาหารจากธรรมชาติ เช่น น้ำตาล ร่าข้าว โปรตีน และสารประกอบอื่น ๆ ที่ไม่

เป็นอันตราย

- เป็นจุลินทรีย์จากธรรมชาติ ไม่สามารถใช้ร่วมกับสารเคมีและยาฆ่าเชื้อต่าง ๆ ได้
- เป็นตัวเอื้อประโยชน์แก่พืช สัตว์ และสิ่งมีชีวิตทั้งหมด
- EMจะทำงานในที่มืดได้ดี ดังนั้น ควรนำไปใช้งานในช่วงเย็นของวัน
- เป็นตัวทำลายความสกปรกทั้งหลาย

สรรพคุณ

1. **การเกษตร** เช่น การเตรียมแปลงปลูก การดูแลพืช ผัก ไม้ดอก ไม้ประดับ ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยหมักจุลินทรีย์ชีวภาพต้นทุนต่ำ ฮอร์โมนบำรุงการเจริญเติบโต สารสกัดไล่แมลง เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักและฮอร์โมนให้มีจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์บำรุงการเจริญเติบโตของพืชผัก ผลไม้ทุกชนิด และสัตว์เลี้ยง ให้มีความสมบูรณ์ตรงตามความต้องการทางด้านโภชนาการอย่างเหมาะสม
2. **ปศุสัตว์** เช่น ผสมน้ำและอาหารให้สัตว์กิน ผสมน้ำให้สัตว์เลี้ยงกิน เช่น ให้เปิด ไก่ สุกร สัตว์เลี้ยงแข็งแรง ไม่เกิดโรค มูลของสัตว์เลี้ยงไม่มีกลิ่นเหม็น เป็ด ไก่ ที่เคยเกิดโรคระบาดหลังหน้าร้อนสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ง่าย ทุกเช้าควรเปลี่ยนน้ำใหม่ใส่จุลินทรีย์ EM ทุกวัน ไม่ควรให้ค้างคืน ใช้ฟันทิ้งคอก เพื่อสमानบาดแผล
3. **ในครัวเรือน** ใช้ทำความสะอาด กำจัดกลิ่นในบริเวณต่าง ๆ เช่น ห้องครัว หรือใช้เทลงท่อ ป้องกันการอุดตันของท่อและรางระบายน้ำ
4. **การประมง** เช่น การเตรียมบ่อ ปรับสภาพน้ำ

การนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ทางด้านปศุสัตว์

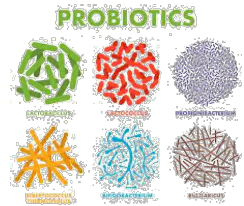
การใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ในด้านปศุสัตว์ แบ่งได้ ดังนี้

- ด้านอาหารสัตว์ (โพรไบโอติก อาหารสัตว์)
- การเพิ่มคุณภาพของอาหารสัตว์
- ด้านพืชหมัก
- ด้านสุขอนามัยในคอกสัตว์ ทำความสะอาดคอกสัตว์ และบำบัดน้ำเสีย

การใช้ประโยชน์ด้านอาหารสัตว์

1. **โพรไบโอติก (Probiotic) หรือ สารเสริมชีวิต** คือ กลุ่มของจุลินทรีย์ที่มีชีวิต และมีประโยชน์ อยู่ในรูปของเชื้อเดี่ยวหรือเชื้อผสม ซึ่งเมื่อสัตว์ได้รับแล้ว จะมีการปรับสมดุลจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารให้เหมาะสม เช่น ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรคในลำไส้สัตว์ เพิ่มความสามารถในการย่อย และดูดซึมสารอาหาร โดยเอนไซม์ต่างๆ ที่เชื้อผลิตขึ้น และช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกันป้องกันการติดเชื้อต่างๆ โพรไบโอติกในปศุสัตว์ หวังผลในด้านใหญ่ๆ ได้แก่

- เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต
- เพิ่มความปลอดภัยในกระบวนการผลิตและเพิ่มความปลอดภัยของสินค้าปศุสัตว์



ประโยชน์ของโพรไบโอติกในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

1. เพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยอาหาร สร้างและช่วยในการดูดซึมสารอาหาร

- **สร้างวิตามิน** โดยจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแลคติก (Lactic Acid Bacteria/LAB) ในทางเดินอาหาร จะสร้างวิตามินที่จำเป็นหลายชนิด โดยเฉพาะวิตามินในกลุ่มวิตามิน B ที่มีโมเลกุลซับซ้อน เช่น วิตามิน B12 ได้ ส่วนจุลินทรีย์กลุ่ม Bifidobacterium สามารถสร้างวิตามินหรือส่วนประกอบของวิตามินหลายชนิด ได้แก่ วิตามิน K, วิตามิน B12, biotin, folate, riboflavin และ pyridoxine

- ช่วยในการดูดซึมสารอาหาร จุลินทรีย์ในทางเดินอาหารมีส่วนช่วยในการดูดซึมสารอาหารจำเป็นหลายชนิด เช่น ดูดซึมไขมันและวิตามินที่ละลายในไขมัน ช่วยในการดูดซึมกลูโคสและควบคุมการทำงานของสมดุกลูโคสในร่างกายผ่าน Intestine-brain-liver neural axis

2. ลดจำนวนจุลินทรีย์ก่อโรคในระบบทางเดินอาหารของสัตว์

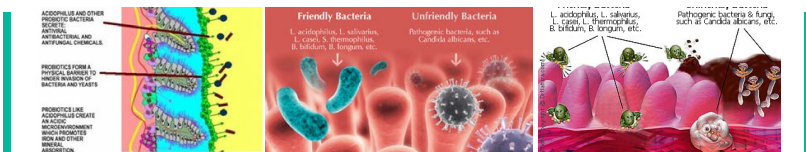
การลดลงของจำนวนจุลินทรีย์ก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร ทำให้เกิดสภาวะที่สมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ การให้อาหารในสัตว์จึงมีประสิทธิภาพดีขึ้น มีการดูดซึมสารอาหารได้ดีขึ้น

3. เสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน

โพรไบโอติกมีการสร้างสารที่มีผลต่อระบบภูมิคุ้มกันของสัตว์ เช่น Bifidobacterium สร้างสารที่ช่วยให้การทำงานของระบบภูมิคุ้มกันดีขึ้น

โพรไบโอติกมีผลต่อภูมิคุ้มกันที่ผิวเยื่อเมือก secretory IgA การหลั่งของ cytokine หลายชนิด และการทำงานของเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกัน

จากผลการศึกษาโพรไบโอติกทั้งในสัตว์และในมนุษย์ พบว่า การใช้โพรไบโอติกมีผลต่อภูมิคุ้มกันที่ผิวเยื่อเมือก secretory IgA การหลั่งของ cytokine หลายชนิด และการทำงานของเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกัน



ที่มา : <https://www.slideshare.net/SyedAliRaza6/probiotics-22801153>

ตัวอย่างจุลินทรีย์ที่เป็นโพรไบโอติก

- บาซิลลัส โคแอกกูแลน
- บิฟิโดแบคทีเรียม อะโดเลสเซนทีส
- บิฟิโดแบคทีเรียม อะนิมาลิส
- บิฟิโดแบคทีเรียม บิฟิดัม
- บิฟิโดแบคทีเรียม เบรเว
- เอ็นเทอโรค็อกคัส ดูแรน
- เอ็นเทอโรค็อกคัส เฟเซียนม
- แล็กโทบาซิลลัส แอซิโดฟิลัส
- แล็กโทบาซิลลัส จอห์นสันนิ
- แล็กโทบาซิลลัส พาราคาเซอี
- แล็กโทบาซิลลัส รามโนซัส
- โพรพิโอนิแบคทีเรียม อะราบินอซัม
- สแตฟิโลคอคคัส สไควริ
- แซ็กคาโรไมซีส เซรีวีเซียสซับสปีชีส์บาวลาดีอี

- Bacillus coagulans*
- Bifidobacterium adolescentis*
- Bifidobacterium animalis*
- Bifidobacterium bifidum*
- Bifidobacterium breve*
- Enterococcus durans*
- Enterococcus faecium*
- Lactobacillus acidophilus*
- Lactobacillus johnsonii*
- Lactobacillus paracasei*
- Lactobacillus rhamnosus*
- Propionibacterium arabinosum*
- Staphylococcus sciuri*
- Saccharomyces cerevisiae subsp. Boulardii*

ที่มา : <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2554/E/086/21.PDF>

2. อาหารสัตว์

Single cell protein (SCP) หมายถึง จุลินทรีย์ที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารมนุษย์หรือสัตว์ ซึ่งอาจอยู่ในรูปโปรตีนที่สกัดออกมาจากเซลล์แล้ว หรืออาจอยู่ในรูปเซลล์จุลินทรีย์ทั้งเซลล์ก็ได้ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันเริ่มมีการใช้คำว่า **microbial biomass protein (MBP)** เข้ามาแทนที่ SCP เพื่อให้ครอบคลุม ฟังไจซึ่งเป็นจุลินทรีย์หลายเซลล์ด้วย

เชื้อรา

- *Aspergillus fumigatus*
- *Aspergillus niger*
- *Rhizopus cyclopium*

ยีสต์

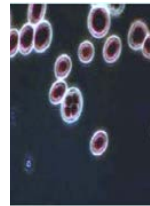
- *Saccharomyces cerevisiae*
- *Candida tropicalis*
- *Candida utilis*

สาหร่าย

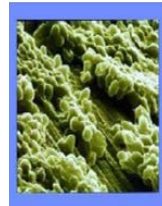
- *Spirulina sps.*
- *Chlorella pyrenoidosa*
- *Chondrus crispus*

แบคทีเรีย

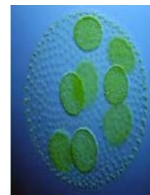
- *Pseudomonas fluorescens*
- *Lactobacillus*
- *Bacillus megaterium*



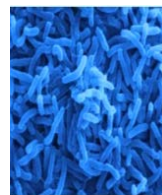
FUNGI



YEAST



ALGAE



BACTERIA

ยีสต์ที่นำมาใช้เป็นอาหาร

ยีสต์ หรือ สาหร่าย คือ รากลุ่มหนึ่งที่มีส่วนใหญ่เป็นเซลล์เดี่ยว มีรูปร่างหลายแบบ พบทั่วไปในธรรมชาติในดิน น้ำ ในส่วนต่างๆ ของพืช บางชนิดพบอยู่กับแมลง ในกระเพาะของสัตว์บางชนิด แต่แหล่งที่พบยีสต์อยู่บ่อยๆ คือแหล่งที่มีน้ำตาลความเข้มข้นสูง เช่น น้ำผลไม้ที่มีรสหวาน ยีสต์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ มักจะปนลงไปในอาหาร เป็นเหตุให้อาหารเน่าเสียได้ มีการนำยีสต์มาใช้ประโยชน์นานมาแล้ว โดยเฉพาะการผลิตอาหารที่มีแอลกอฮอล์ จากคุณสมบัติที่มีขนาดเล็กมาก สามารถเพาะเลี้ยงให้เกิดได้ในเวลาอันรวดเร็ว และวิธีการไม่ยุ่งยาก ทำให้ยีสต์เริ่มมีบทบาทที่สำคัญในวงการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยสามารถนำมาใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงอาหารธรรมชาติที่สำคัญอีกทีหนึ่ง เช่น ไรแดง โรติเฟอร์ และอาร์ทีเมีย

ข้อมูลโภชนาการของยีสต์ ปริมาณ 100 กรัม มี พลังงาน 325 กิโลแคลอรี ไขมัน 8 กรัม โซเดียม 51 มิลลิกรัม โพแทสเซียม 955 มิลลิกรัม คาร์โบไฮเดรต 41 กรัม โปรตีน 40 กรัม แคลเซียม 30 มิลลิกรัม วิตามินบี 12 0.1 ไมโครกรัม วิตามินซี 0.3 มิลลิกรัม เหล็ก 2.2 มิลลิกรัม วิตามินบี 6 1.5 มิลลิกรัม แมกนีเซียม 54 มิลลิกรัม

การผลิตยีสต์แห้งจากมันสำปะหลัง

ยีสต์สามารถสลายสารอาหารได้ทั้งในสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจน ในสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจนยีสต์จะเจริญเติบโตได้ดีกว่า เพราะจะนำออกซิเจนไปสลายสารอาหารให้ได้พลังงานมากกว่า

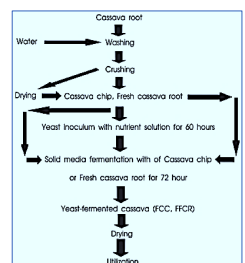
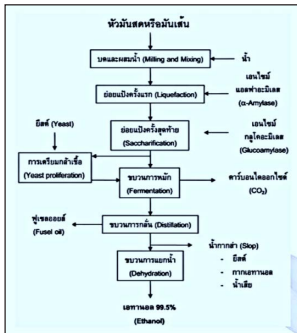


Figure 1 - Production chart for yeast-fermented cassava products

กากเอทานอล เกิดจากการหมักมันเส้น หรือหัวมันสดกับยีสต์ในสภาพไม่มีออกซิเจน มีขบวนการผลิตที่แตกต่างกัน 2 ขบวนการ ได้แก่



- จากขบวนการผลิตเอทานอลโดยตรง
 - ได้ภายหลังนำไปผ่านการหมักในบ่อไบโอแก๊สแล้ว
- กากเอทานอลจากมันสำปะหลังมีคุณค่าทางโภชนาคิดเป็น

สิ่งแห้ง (dry matter; DM)	
- ความชื้น	74.92 %
- เยื่อใย	35.72 %
- โปรตีน	7.27 %
- ไขมัน	1.07 %
- pH	4.17
- คาร์โบไฮเดรต	40 - 45 %

จากคุณค่าทางโภชนาในกากเอทานอลจากมันสำปะหลังที่ผ่านการเอายีสต์ออกแล้ว จะพบว่ามีความชื้นสูง โปรตีนต่ำ (7.27 %) เมื่อทิ้งไว้นานจะเกิดการเน่าเสียและมีกลิ่นเหม็น การปรับปรุงคุณภาพของกากเอทานอลสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์ โดยหมักด้วยยีสต์ เต็มยูเรีย และน้ำตาล

การใช้ประโยชน์ในการเพิ่มคุณภาพของอาหารสัตว์

- เพิ่มโปรตีนด้วยยีสต์
- เพิ่มค่าการย่อยได้ เปลือกฝักข้าวโพดแห้งหมักเชื้อจุลินทรีย์ที่ย่อยเยื่อใย



กากแป้งมันสำปะหลัง จากโรงงานผลิตแป้ง จะอยู่ในสภาพเปียก ถ้าทิ้งไว้นานๆ จะเกิดเชื้อรา

มันสดหมัก ช่วงที่ราคาตกต่ำ เกษตรกรนำมาหั่นละเอียด ใช้เลี้ยงสัตว์

กากเบียร์ จากโรงงานผลิตเบียร์ จะอยู่ในสภาพเปียก มีโปรตีนค่อนข้างสูง เนื่องจากกระบวนการผลิตเบียร์หมักด้วยยีสต์ เกิดกระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์

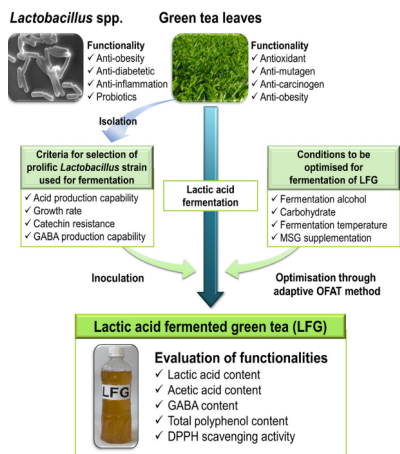
ผลการวิเคราะห์เบื้องต้น (AOAC, 2006)

วัสดุที่ใช้ทดลอง	วัตถุแห้ง %	เยื่อใย %	โปรตีน %	ไขมัน %
ฟางข้าวแห้ง	89.80	33.65	1.86	1.35
เปลือกข้าวโพดแห้ง	89.84	27.62	1.81	1.35
เปลือกข้าวโพดหมัก	40.03	27.86	6.85	2.86
หญ้าขี้สาด	33.25	28.12	8.63	2.95

งานวิจัยเพิ่มค่าการย่อยได้ โดยนำวัตถุดิบมาหมักร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ชนิดผง ใช้งานง่าย โดยการผสมลงในวัสดุหมัก มีกระบวนการหมักโดยใช้วิธีการหมักย่อยสลายและหมักอย่างต่อเนื่อง (Simultaneous Saccharification and fermentation, SSF) ผ่านการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์ย่อยชีวมวลพืช เชื้อจุลินทรีย์เป็นกลุ่ม เชลลูลเลส เฮมิเซลลูลเลส และลิกนินเนส หมักร่วมกับยีสต์ และจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดอินทรีย์ มีจุลินทรีย์กลุ่มควบคุมการเกิดอะฟลาทอกซิน ทำให้อาหารหมักที่ได้มีสารอาหารที่มีประโยชน์เพิ่มขึ้นจากยีสต์และได้อาหารหมักที่ปลอดภัยจากสารพิษอะฟลาทอกซิน

การใช้ประโยชน์ด้านพืชหมัก

การผลิตอาหารหยาบหมักใช้ *Lactobacillus* ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ (Epiphytic lactic acid bacteria) ในพืชที่มีความหวาน เมื่อตัดพืชมา แล้วหมักในสภาพที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต คือ ในสภาพไร้ออกซิเจน จะเกิดกระบวนการหมัก สร้างกรดแลกติกได้ ขบวนการหมักจะเสร็จสมบูรณ์ที่อายุการหมัก 21 วัน มีความชื้นประมาณ 55 - 65% pH ประมาณ 4.2



ลักษณะทางกายภาพของพืชหมักและการให้คะแนน	
1. กลิ่น หอมคล้ายกลิ่นผลไม้ดอง/น้ำส้มสายชู (12 คะแนน) ไม่หอม มีกลิ่นฉุนเล็กน้อย (8 คะแนน) มีกลิ่นฉุนมาก /เหม็นเล็กน้อย (4 คะแนน) เหม็นเน่า /กลิ่นรา (0 คะแนน)	
2. ลักษณะเนื้อพืชหมัก แฉก ส่วนใบ/ลำต้นยังคงสภาพเดิม ไม่มีสิ่งเจือปน (4 คะแนน) แฉก ส่วนใบ/ลำต้นยุ่ยเล็กน้อย สีนเป็นเมือก (2 คะแนน) แฉก ส่วนใบ/ลำต้นยุ่ยมาก มีสิ่งเจือปน (1 คะแนน) เละเป็นเมือก/สกปรกมาก (0 คะแนน)	
3. สี เหลืองอมเขียว/กาฬี (3 คะแนน) เขียวอมเหลือง หรือ เขียวเข้ม (2 คะแนน) น้ำตาลทอง (1 คะแนน) น้ำตาลเข้ม/ดำ (0 คะแนน)	
4. pH 3.5-4.2 (6 คะแนน) 4.4-4.7 (4 คะแนน) 4.7-5.1 (2 คะแนน) > 5.1 (0 คะแนน)	

งานศึกษาชนิดของแลคติกแอซิกแบคทีเรียตามธรรมชาติในต้นชา

การประเมินวัตถุแห้งของพืชหมัก

วัตถุแห้ง	ลักษณะพืชและความชื้นในมือ
ต่ำกว่า 25%	บีบพืชให้แน่น จะมีน้ำไหลออกมาตามร่องนิ้ว/มือ เมื่อคลายมือ พืชอยู่ในรูปก้อนแน่น
25-30%	บีบพืชให้แน่น แต่ไม่มีน้ำไหลออกมาตามร่องนิ้ว/มือ แต่มือจะเปียกมาก เมื่อคลายมือ พืชยังคงอยู่ในรูปก้อน
30-40%	บีบพืชให้แน่น ไม่มีน้ำไหลออกมาตามร่องนิ้ว/มือ แต่มือจะรู้สึกชื้นเล็กน้อย เมื่อคลายมือ พืชจะค่อยๆ คลายตัวออก
มากกว่า 40%	บีบพืชให้แน่น เมื่อคลายมือ พืชจะคลายตัวอย่างรวดเร็ว



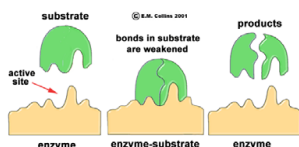
การใช้ประโยชน์ด้านสุขอนามัยในคอกสัตว์

- สารเร่งซูปเปอร์ พด. 6 และ สารเร่งซูปเปอร์ พด. 7
- EM
- น้ำหมักต่างๆ

การนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในการผลิตสารสำคัญของจุลินทรีย์

1. เอนไซม์ คือ กลุ่มโปรตีน (protein) ที่ผลิตโดยเซลล์สิ่งมีชีวิต พบได้ทั้งในพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ เช่น การสังเคราะห์องค์ประกอบภายในเซลล์ ระบบการย่อยอาหาร โดยย่อยสลายโมเลกุลของอาหารที่มีขนาดใหญ่ให้เล็กลง เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหาร ได้แก่

- เอนไซม์อะไมเลส (amylase) ย่อยโมเลกุลของสตาร์ช (starch) ให้เป็นน้ำตาล
- เอนไซม์โปรติเอส (protease) ย่อยโปรตีน ให้เป็นกรดอะมิโน (amino acid)
- เอนไซม์ไลเปส (lipase) ย่อยไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ให้เป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid)
- เอนไซม์เพกทิเนส (pectinase) ย่อยเพกทิน (pectin)



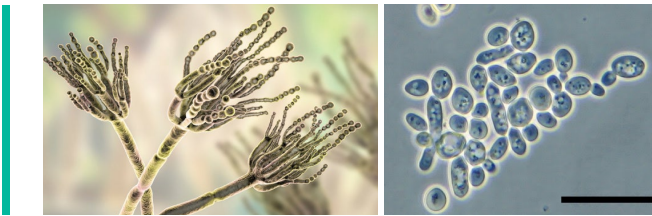
รูปแบบการทำงานของเอนไซม์ เมื่อมาจับกับโปรตีน ไขมัน หรือแป้ง จะทำให้แตกออกมาเป็นชิ้นเล็กๆ ร่างกายก็จะดูดซึมใช้ประโยชน์ได้

2. ออร์โมน

งานศึกษาฮอร์โมนที่ผลิตจาก *Pseudomonas fluorescens* SP007s บริเวณรอบรากของ ค่ะน้าอินทรีย์ พบการผลิตฮอร์โมน ออกซิน (IAA : indole-3-acetic acid) และ จิบเบอเรลลิน (GA_3) (วิลารรรณ์ และดุสิต,)

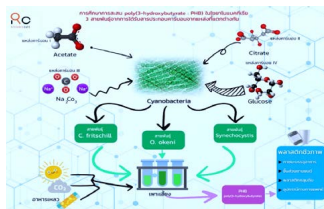
3. ยาปฏิชีวนะ

- ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* และแบคทีเรีย *E.coli* ใช้ผลิตสารอินซูลิน เป็นสารที่มีความสำคัญในการควบคุมปริมาณน้ำตาลในเลือด
- *E.coli* ใช้ในการผลิตฮอร์โมนเร่งการเจริญเติบโตในคน
- *Saccharomyces cerevisiae* ใช้ผลิตวัคซีนสำหรับป้องกันโรคไวรัสตับอักเสบ
- สารปฏิชีวนะ เช่น เพนิซิลลิน ผลิตจาก *Penicillium notatum* และ *Penicillium chrysogenum* (นงลักษณ์ และ ปรีชา, 2547)
- สารปฏิชีวนะที่สร้างจากแบคทีเรีย เช่น สเตรปโตโมซิน คลอเตตราไซคลิน ออริโอไมซิน ออกซีเตตราไซคลิน เทอราไมซิน คลอแรมเฟนิคอล อิริโธรมิซิน แอมโฟเทอริซิน บาซิตราซิน เป็นต้น



4. พลาสติก

จุลินทรีย์มีบทบาท ทั้งการย่อยสลาย และสร้างพลาสติก “ไบโอพลาสติก” หรือชื่อทางการคือ “พลาสติกชีวภาพ” นั้นเป็นที่รู้จักครั้งแรกในปี 1926 จากการค้นพบของ Maurice Lemoigne นักวิจัยชาวฝรั่งเศส จากการวิจัยแบคทีเรียที่ชื่อ *Bacillus megaterium*



จุลินทรีย์ย่อยพลาสติก

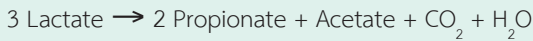
จุลินทรีย์ทั้งแบคทีเรีย รา และแอกติโนไมซีท สามารถย่อยสลายพลาสติกที่ผลิตจากพอลิเอธิลีน ได้โดยอาศัยเอนไซม์ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการสลายสายของพอลิเมอร์ให้กลายเป็นโอลิโกเมอร์ (oligomer) หรือโมโนเมอร์ (monomer) ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการสลายสารอาหารภายในเซลล์ของจุลินทรีย์

การสลายสารอาหารแบบใช้ออกซิเจนจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย แต่การสลายสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซมีเทนกลับเข้าสู่สิ่งแวดล้อม แบคทีเรียที่สามารถย่อยพอลิเอธิลีนได้ 2 สกุลคือ *Pseudomonas* และ *Sphingomonas*

แม้ว่า ชีส เนย และมาร์การีน จะมีลักษณะเป็นก้อนสีเหลืองคล้ายกันความแตกต่างกัน คือ ชีส มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนเนย และมาร์การีนมีไขมันเป็นองค์ประกอบหลัก

ทำไมชีสถึงมีรู ?

ชีสบางชนิดเท่านั้นที่มีรู เช่น สวิสชีส (Swiss cheese) รูของสวิสชีสเกิดจากแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากขั้นตอนการผลิตซึ่งใช้หัวเชื้อเป็นแบคทีเรีย *Streptococcus salivarius* spp. *thermophilus* *Lactobacillus* (*Lactobacillus helveticus* หรือ *Lactobacillus delbrueckii* spp. *Bulgaricus* และ *Propionibacterium freudenreichii* spp. *shermanii* ซึ่งขั้นตอนท้ายๆ ของการผลิตชีส *P. freudenreichii* subsp. *shermanii* จะย่อยกรดแลคติกที่ได้จากการหมักของแบคทีเรียชนิดอื่น ดังนี้



คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานี้จะค่อยๆ ถูกสะสมและแทรกอยู่ในเนื้อของชีส ทำให้เกิดเป็นรู

ราในชีสกินได้จริงหรือ ?

ชีสส่วนใหญ่ผลิตโดยใช้แบคทีเรียเป็นหัวเชื้อ เพื่อตกตะกอนโปรตีน แต่บางชนิด ใส่ราลงไปในการบวนการผลิตด้วย เช่น บลูชีส (blue cheese) ซึ่งอาจผลิตจากนํ้านมวัว แพะ หรือแกะ แล้วใส่สปอร์ของรา *Penicillium roqueforti* และ *Penicillium glaucum* ลงไป อาจใส่ลงไประหว่างเกิดเป็นก้อนเคิร์ด หรือ ใส่หลังจากที่นํ้านมจับตัวเป็นก้อนเคิร์ดแล้ว เราต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการหายใจ ดังนั้น จึงต้องเจาะหรือแทงเนื้อชีสให้เป็นรูให้อากาศเข้า และเส้นใยเราสามารถเจริญแทรกไปได้ทั่วทั้งก้อน

ชีสชนิดอื่นๆ ที่ใส่ราลงไปในการผลิตชีส แต่มีกลิ่นอ่อนกว่าไม่รุนแรงเหมือนบลูชีส เช่น กามองแบร์ (Camembert) ตั้งตามชื่อเมืองในฝรั่งเศสที่ผลิตชีสนี้ ผลิตจากนํ้านมวัว หลังจากผลิตชีสได้เป็นก้อนแล้ว ใส่หัวเชื้อเป็นสปอร์รา *Penicillium camemberti* และ *Geotrichum candidum* บนก้อนชีส จากนั้น บ่มไว้ให้เส้นใยราสีขาวเจริญอยู่โดยรอบก้อนชีส กามองแบร์เป็นชีสแบบนุ่ม ถ้าวางไว้นอกตู้เย็นจะไหม้ครู่ป รสสัมผัสคล้ายครีม มีกลิ่นอ่อนๆ ไม่รุนแรงเหมือนบลูชีส นิยมขายทั้งก้อนขนาด 250 กรัม ใส่ในกล่องไม้

ดังนั้น ราชชนิดต่างๆ ที่ใส่ลงไป เพื่อให้เกิดการหมักที่ทำให้ชีสมีลักษณะ กลิ่น และรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวตามต้องการ สามารถรับประทานโดยไม่เกิดอันตราย เนื่องจากไม่ใช่ราที่ทำให้อาหารเน่าเสีย



แฮม/ไส้กรอกอีสาน/หมูส้ม/ปลาจ๋า/ปลาจ๋า

เป็นผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ ได้จากการหมักเนื้อสัตว์ ข้าว น้ำตาล สารประกอบไนเตรท ไนไตรท์ และส่วนผสมอื่นๆ โดยจุลินทรีย์จากธรรมชาติจะใช้น้ำตาล ข้าว และโปรตีนในเนื้อสัตว์ สร้างกรดทำให้เกิดรสเปรี้ยว

เชื้อแลคโตบาซิลลัส ผลิตกรดแลคติกที่ทำให้แฮมเปรี้ยว แต่แลคโตบาซิลลัสบางกลุ่มชอบเกลือ ในการทำแฮม หรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อสัตว์ จึงใส่เกลือลงไปด้วย จะทำให้เชื้อเจริญได้ดี

กระบวนการผลิตทำโดยปล่อยให้เกิดการหมักด้วยจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติกในธรรมชาติที่ต้องการออกซิเจนเพียงเล็กน้อยเพื่อการเจริญเติบโต การบรรจุจึงต้องเน้นความสะอาดและต้องไล่อากาศออกให้หมด เพื่อให้จุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติกซึ่งมีรสเปรี้ยวเจริญเติบโตได้เพียงอย่างเดียว ส่วนจุลินทรีย์อื่นที่ต้องการออกซิเจนจะไม่เจริญเติบโตและจุลินทรีย์พวกที่ไม่ชอบความเป็นกรดจะตายเพราะกรดที่สร้างออกมาจากจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติก

ผักดอง

“การหมัก” หมายถึง การถนอมอาหาร โดยอาศัยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์บางชนิด เป็นตัวช่วยในการย่อยสลาย อาจเติมเกลือหรือไม้ก่ได้ เพื่อเสริมให้จุลินทรีย์มีบทบาทในการหมัก ทำให้เกิดรสชาติที่ต้องการ ซึ่งอาจต้องหมักทิ้งไว้ ประมาณ 2 – 3 วัน หรือหลายเดือน แล้วแต่ชนิดของผลิตภัณฑ์ เช่น ผักกาดดอง ผักเสี้ยนดอง หน่อไม้ดอง



ข้าวหมาก

ข้าวหมาก คือ อาหารหวานซึ่งเกิดจากวิธีการหมักข้าวเหนียวด้วยแป้งข้าวหมาก จะเป็นข้าวเหนียวขาว หรือข้าวเหนียวดำก็ได้ จุลินทรีย์ในแป้งข้าวหมาก คือ ราและยีสต์ จะทำหน้าที่ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลและยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ เมื่อหมักจนได้ที่ ข้าวหมาก จะมีรสหวานตามธรรมชาติ โดยไม่ต้องเติมน้ำตาล ได้กลิ่นแอลกอฮอล์อ่อนๆ หอมกลิ่นข้าวหมัก เมล็ดข้าวจะนุ่ม และมีน้ำด้อยซึมออกมาจากข้าวเหนียว ทานเป็นของหวานได้ทั้งที่อุณหภูมิธรรมดา หรือจะแช่เย็นก็ให้ความรู้สึกสดชื่นได้ดีทีเดียว



จุลินทรีย์ในลูกแป้ง

ลูกแป้ง ประกอบด้วยเชื้อหลายชนิด อาทิ เชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรีย เพราะกระบวนการผลิตมีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ได้ แต่ส่วนมากจะเป็นจุลินทรีย์หรือยีสต์ประเภทที่เปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์

- เชื้อราชนิดไม่เปลี่ยนแอลกอฮอล์ ซึ่งพบในปริมาณน้อย-ปานกลาง ได้แก่
 - *Amylomyces rouxii*
 - *Rhizopus* spp.
 รา เหล่านี้ เมื่อนำไปหมักกับแป้งจะทำหน้าที่ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล เช่น การทำข้าวหมาก
- ยีสต์ พบจำนวนมากที่สุด ประมาณ 5 - 80 ล้านตัว
 - *Endomycopsis* spp. (จำนวนมาก)
 - *Hasenula* ssp. (จำนวนมาก)
 - *Saccharomyces cerevisiae* (พบน้อย)

ยีสต์เหล่านี้ เมื่อหมักกับแป้งจะทำหน้าที่ต่อจากเชื้อรา ด้วยการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ และเปลี่ยนแอลกอฮอล์ให้เป็นกรดน้ำส้ม อาทิ การหมักเหล้าสาโท

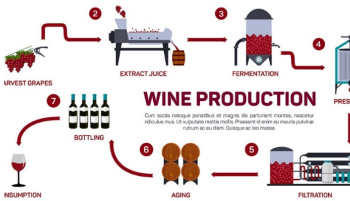
3. แบคทีเรีย พบในปริมาณปานกลาง ได้แก่

- *Pediococcus pentosaceus* เป็นชนิดที่ผลิตกรดแลคติก ซึ่งพบมากที่สุดที่ในแบคทีเรียที่พบในลูกแป้ง ประมาณ 10,000 - 10,000,000 เซลล์ต่อกรัม

- *Lactobacillus* spp. เป็นชนิดที่ก่อโรคท้องเสีย



โวน์/เหล้า ใช้ยีสต์เป็นตัวหลักในการผลิต



ที่มา : <http://cheeseandwineth.com>

สาโท หรือ น้ำขาว

สาโทเป็นเหล้าแช่ที่ทำจากข้าวนำมาหมักกับลูกแป้ง จนเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาล หลังจากนั้นน้ำตาลจะเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ สาโทที่ผ่านกระบวนการทั้งหมดนี้จะมีปริมาณแอลกอฮอล์ไม่เกิน 15 ดีกรี เช่น มักกอลลีของเกาหลี



อุ หรือ เหล้าไค

อุเป็นเหล้าที่ทำมาจากข้าวเหนียวผสมกับแกลบ แล้วนำมาหมักกับลูกแป้ง โดยจะหมักไว้ข้างนอกไหก่อน เพื่อให้ราเติบโตก่อนบรรจุลงในไห 1 คืน หลังจากนั้นรอจนเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาล หลังจากนั้นน้ำตาลจะเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งการหมักจะต้องอยู่ในสภาพปราศจากอากาศ

เหล้าขาว หรือ เหล้ากลั่น

เหล้ากลั่น หรือ เหล้าขาว เป็นเหล้าที่ได้จากการหมักน้ำตาลจากข้าว ข้าวโพด หรืออ้อย โดยน้ำตาลอ้อยจะมีความหอม หวาน และมีคุณภาพกว่าน้ำตาลชนิดอื่น เติมน้ำยีสต์เพื่อให้ยีสต์กินน้ำตาลจนหมดแล้วคายแอลกอฮอล์ออกมา นำแอลกอฮอล์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการกลั่นเพื่อให้มีดีกรีสูงขึ้น โดยเหล้าขาวต้องปราศจากเครื่องย้อม หรือสิ่งผสมปรุงแต่งอื่นนอกจากน้ำ และมีปริมาณแอลกอฮอล์ไม่เกิน 40 ดีกรี

กะแช่ หรือ น้ำตาลเมา

เป็นเหล้าแช่ที่ได้จากการหมักน้ำตาลสด เริ่มจากการที่ชาวบ้านจะนำกระบอกไม้มารองน้ำที่ไหลออกมาจากการปาดต้นตาล โดยชาวบ้านจะนำไม้เคี่ยม ไม้พย้อม หรือไม้ตะเคียนใส่ไว้ในกระบอกไม้ด้วย หลังจากนั้นน้ำตาลสดจะเริ่มทำปฏิกิริยาจนกลายเป็นยีสต์ตามธรรมชาติ และจะผลิตแอลกอฮอล์ออกมา ใช้เวลา 1 วัน ในการหมักน้ำตาลสดให้เป็นกะแช่



ยาดอง หรือ เหล้าดอง

คนในสมัยก่อนดื่มยาดองเหล้าเป็นเครื่องดื่มชูกำลัง โดยการนำเหล้ามาหมักกับสมุนไพรต่าง ๆ มีสรรพคุณตามสมุนไพรที่หมักไป เช่น ช่วยบำรุงกำลัง บำรุงโลหิต หรือช่วยเรื่องสมรรถภาพ โดยสมุนไพรที่นำมาใช้มักจะเป็นสมุนไพรแห้ง นำมาบดผสมกับเหล้าขาว คนกลัวยาทุกวัน ปิดฝาทิ้งไว้นานประมาณ 30 วัน แล้วรินเอาแต่น้ำยาดองมาดื่ม

สุรา หรือเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ จะรูปแบบที่หลากหลายจากการใช้จุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน

ที่มา : <https://www.wongnai.com/food-tips/thai-local-liquor>



การผลิตเบียร์ มี 4 วัตถุดิบหลักๆ ประกอบด้วย

1. **ยีสต์** : ใช้ในกระบวนการหมักเพื่อย่อยสลายน้ำตาลที่สกัดจากเมล็ดธัญพืช ให้เป็นแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยปกติระดับแอลกอฮอล์ในเบียร์จะอยู่ที่ 4 – 6 เปอร์เซ็นต์ แต่อาจจะต่ำถึง 2 เปอร์เซ็นต์ หรือ สูงถึง 14 เปอร์เซ็นต์ ยีสต์ที่ใช้แบ่งเป็น 3 ประเภทคือ ยีสต์หมักลอยผิว ยีสต์หมักนอนก้น ยีสต์ธรรมชาติ
2. **มอลต์ (malt)** : เมล็ดข้าวมอลต์ (เมล็ดข้าวอบแห้งหรือคั่วของเมล็ดธัญพืชที่แตกหน่อแล้ว) นิยมใช้เมล็ดข้าวบาเลย์ เนื่องจากมีปริมาณเอนไซม์อะไมเลสสูง ทำให้กระบวนการแตกตัวของแป้งเป็นน้ำตาลเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกเหนือจากมอลต์จากข้าวบาเลย์แล้ว เมล็ดธัญพืชอื่นๆ เช่น ข้าวสาลี ข้าวเจ้า ข้าวโพด ข้าวโอ๊ต และข้าวไรย์ ทั้งแบบที่ทำเป็นข้าวมอลต์ และ เมล็ดคั่วก็ มอลต์แต่ละแบบมีผลต่อสีและรสชาติของเบียร์
3. **ฮอปส์ (hops)** : เป็นพืชให้กลิ่นหอมและรสขม เพื่อสมดุลรสหวานจากมอลต์ นอกจากนั้นยังมีผลเป็นยาปฏิชีวนะต่อต้านจุลินทรีย์อื่นๆ ที่ไม่ใช่ยีสต์ ส่งผลต่อการหมัก ช่วยเพิ่มอายุของเบียร์
4. **น้ำ** : น้ำนั้นเป็นองค์ประกอบหลักของเบียร์ คุณสมบัติของน้ำที่ใช้จึงมีผลต่อรสชาติของเบียร์

เหล้ารัม ผลิตจากน้ำอ้อย น้ำเชื่อม กากน้ำตาล หมักด้วยยีสต์

เต้าหู้ยี้

เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่แปรรูปด้วยการหมัก โดยมีถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลัก ที่ขายกันอยู่ในท้องตลาด มี 2 ชนิดคือ สีเหลืองและสีแดง โดยผู้ผลิตอาจเติมสารที่ให้กลิ่น สี และรสชาติเฉพาะตัวลงไป



เต้าหู้ยี้
Fermented bean curd



การผลิตเต้าหู้ยี้

เริ่มจากนำถั่วเหลืองมาทำเป็นเต้าหู้แข็งก่อน แล้วตัดเต้าหู้ให้เป็นก้อนสี่เหลี่ยม นำไปแช่น้ำเกลือ 1 คืน จากนั้นจึงนำไปโดยอบในตู้อบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-15 นาที เพื่อฆ่าจุลินทรีย์และลดความชื้นที่ผิว ปลอบทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเรียงในถาด ใส่เชื้อราบ่มให้เชื้อราเจริญ 3-7 วัน ขึ้นเต้าหู้จะมีเส้นใยของเชื้อราขึ้นโดยรอบ นำไปหมักในน้ำเกลือโดยเรียงเต้าหู้ในถังหมักเป็นชั้นๆ ใส่เกลือ และเครื่องเทศอื่นๆ เช่น พริกแดง ขิง พงพสุล ได้เต้าหู้ยี้ชนิดสีเหลือง

การใช้ประโยชน์ของเต้าหู้ยี้

เต้าหู้ยี้ ใช้เป็นเครื่องปรุงรสสำหรับปรุงผัก ผักสด ซอสเย็นตาโฟ สุกียากี้ เป็นเครื่องจิ้ม และรับประทานกับข้าวต้ม

คุณค่าทางโภชนาการของเต้าหู้ยี้

เต้าหู้ยี้อุดมด้วยโปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบทุกชนิด มีไขมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวและยังมีเกลือแร่ เหล็ก และโพแทสเซียม ช่วยในการเจริญเติบโตของกระดูก มีธาตุเหล็กช่วยบำรุงโลหิต และมีวิตามิน A วิตามิน B1 วิตามิน B2 วิตามิน D วิตามิน E วิตามิน K และไนอะซิน

เต้าหู้ยี้แดง (Red sufu)

เป็นเต้าหู้ยี้ที่ได้จากการหมักเต้าหู้กับเชื้อราในสกุล *Monascus* spp. เช่น *M. purpureus* ที่สามารถผลิตสารสีแดง คือ monascrubrin เคลือบ และซึมเข้าเนื้อเต้าหู้จนเกิดสีแดงในเต้าหู้ยี้ หรือเติมอังกัก



เต้าหู้ยี้ขาว หรือ เต้าหู้ยี้ขาวอมเหลือง (White sufu)

เต้าหู้ยี้ขาว หรืออาจมีสีขาวอมเหลือง เป็นเต้าหู้ยี้ที่ได้จากการหมักเชื้อราหรือจุลินทรีย์บริสุทธิ์หรือเชื้อผสมตามธรรมชาติ *Actinomucor elegans* เต้าหู้ยี้ขาวผสมเกลือน้อยกว่าเต้าหู้ยี้แดง

เต้าหู้ยี้เทา (Grey) ได้จากการหมักเต้าหู้กับเชื้อรา แต่จะมีการเติมหางนมที่เป็นส่วนน้ำใสจากการตกตะกอนเต้าหู้ด้วย ทำให้เต้าหู้ยี้ชนิดนี้มีรสขจืดดี และมีกลิ่นหอมกว่าเต้าหู้ยี้ชนิดอื่น



เต้าเจี้ยว

เต้าเจี้ยวเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหมักชนิดหนึ่งที่ได้จากการหมักถั่วเหลือง ซึ่งมีโปรตีนสูง นิยมนำเต้าเจี้ยวมาใช้เป็นอาหารชนิดต่างๆ โดยทำเป็นเครื่องจิ้ม เรียกว่า หลนหรือนำมาทำเป็นเครื่องปรุงรสในการประกอบอาหารตามตำราจีน เช่น การทำเปาะซะ ผัดราดหน้า ตลอดจนผัดผักชนิดต่างๆ ที่นอกเหนือจากจะได้รสชาติดีแล้ว ยังเป็นการเพิ่มโปรตีนในอาหารอีกด้วย

- วิธีการกึ่งพื้นบ้านจะใช้ในขั้นตอนการหมักกับเกลือ คือ หลังจากได้ถั่วเหลืองที่มีเชื้อราเจริญเต็มที่แล้ว จะนำไปหมักในน้ำเกลือที่มีภาวะเป็นด่าง บ่อยครั้งไว้นานได้ทั้งปี ในขั้นตอนนี้จะมีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์อื่นๆ ซึ่งสามารถเจริญได้ดีในสภาพที่มีปริมาณเกลือสูง ทำให้คุณภาพความสะอาดและความปลอดภัยในการบริโภคลดลง

- การพัฒนา กรรมวิธีการผลิต โดยนำเอาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาใช้ในการผลิตในโรงงานผลิตเต้าเจี้ยวในปัจจุบันใช้วิธีการกึ่งวิทยาศาสตร์และกึ่งพื้นบ้านคืออาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการเพาะเลี้ยงเชื้อราที่บริสุทธิ์เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อ ป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อราอื่นๆ และลดระยะเวลาในการผลิต การหมักในภาวะเป็นด่าง ซึ่งจะช่วยให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง ถูกสุขลักษณะ สะอาดและปลอดภัยต่อผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น



วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตเต้าเจี้ยวมี 5 ชนิดคือ

1. ถั่วเหลือง คัดถั่วเหลืองคุณภาพดีต้องไม่เก็บค้างปี เปลือกบางเนื้อหนา ล้างปอกมปนตำ
2. แป้งสาลี มีความสำคัญต่อกลิ่นและสีของเต้าเจี้ยวและมีผลช่วยปรับความชื้นในถั่วเหลืองให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อรา ช่วยเร่งกิจกรรมการย่อยโปรตีนให้เป็นไปอย่างรวดเร็ว

และเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญซึ่งถูกหมักต่อไปจนได้น้ำตาล แอลกอฮอล์ และกรดอินทรีย์หลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดกลูตามิก ซึ่งเป็นสารช่วยชูรสอาหาร ทำให้เต้าเจี้ยวมีกลิ่นและรสชาติดี

3. **เกล็ดแกง** หรือโซเดียมคลอไรด์ ทำหน้าที่เป็นสารกันบูดในการหมักเต้าเจี้ยว ถ้ามีปริมาณมากพอ และทำให้จุลินทรีย์ที่ต้องการเจริญในระหว่างการหมักได้

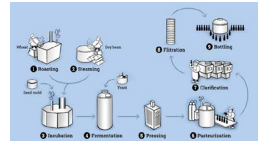
4. **เชื้อรา** ที่นิยมใช้ในการหมักเต้าเจี้ยว คือ *Aspergillus oryzae* ซึ่งใช้ในการเตรียมโคจิ (โคจิ หมายถึง ก้อนถั่วที่ยืดติดกันด้วยเส้นใยของรา) เพื่อเป็นแหล่งของเอนไซม์ต่างๆ ซึ่งจะช่วยกันย่อยสลายโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตของวัตถุดิบทั้งถั่วเหลืองและแป้งสาลีซึ่งจะต้องใช้เชื้อราในระยะที่มีกิจกรรมสูงจะสังเกตเห็นจากเชื้อรามีลักษณะเป็นสปอร์สีขาวจึงจะนำไปใช้ได้



5. **น้ำ** ส่วนประกอบที่สำคัญของเต้าเจี้ยวมาก มีผลต่อคุณภาพของเต้าเจี้ยว น้ำที่ใช้ในการผลิตเต้าเจี้ยวใช้มาตรฐานของน้ำดื่มทั่วไปต้องใส ไม่มี สี กลิ่น รส

ชีว วิธีทำชีว

ที่มา : บริษัท นอร์ธเทอร์น ฟู้ด คอมเพล็กซ์ (<https://www.northernfoodcomplex.com/process/?lang=th>)



KOJI MAKING วัตถุดิบได้แก่ ถั่วเหลืองนึ่งสุก ข้าวสาลีหรือข้าวสารคั่วบดและ *Aspergillus oryzae* จะถูกผสมและส่งเข้าไปเพาะเลี้ยงเชื้อราในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสมเป็นเวลา 2 วัน เชื้อราจะผลิตเส้นใยที่ห่อหุ้มวัตถุดิบซึ่งเรียกว่าโคจิ



MOROMI FERMENTATION โคจิจะถูกนำมาผสมกับน้ำเกล็ดเข้มข้น 22-25% และถูกส่งเข้าไปหมักในถังทรงสูง หลังจากนั้นก็มีการเติมเชื้อแลคติกและหัวเชื้อยีสต์เพื่อทำการหมักต่อไป ส่วนผสมนี้เรียกว่า โมโรมิ ในขั้นตอนการหมักจะมีการควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมและมีการเติมอากาศเป็นครั้งคราว

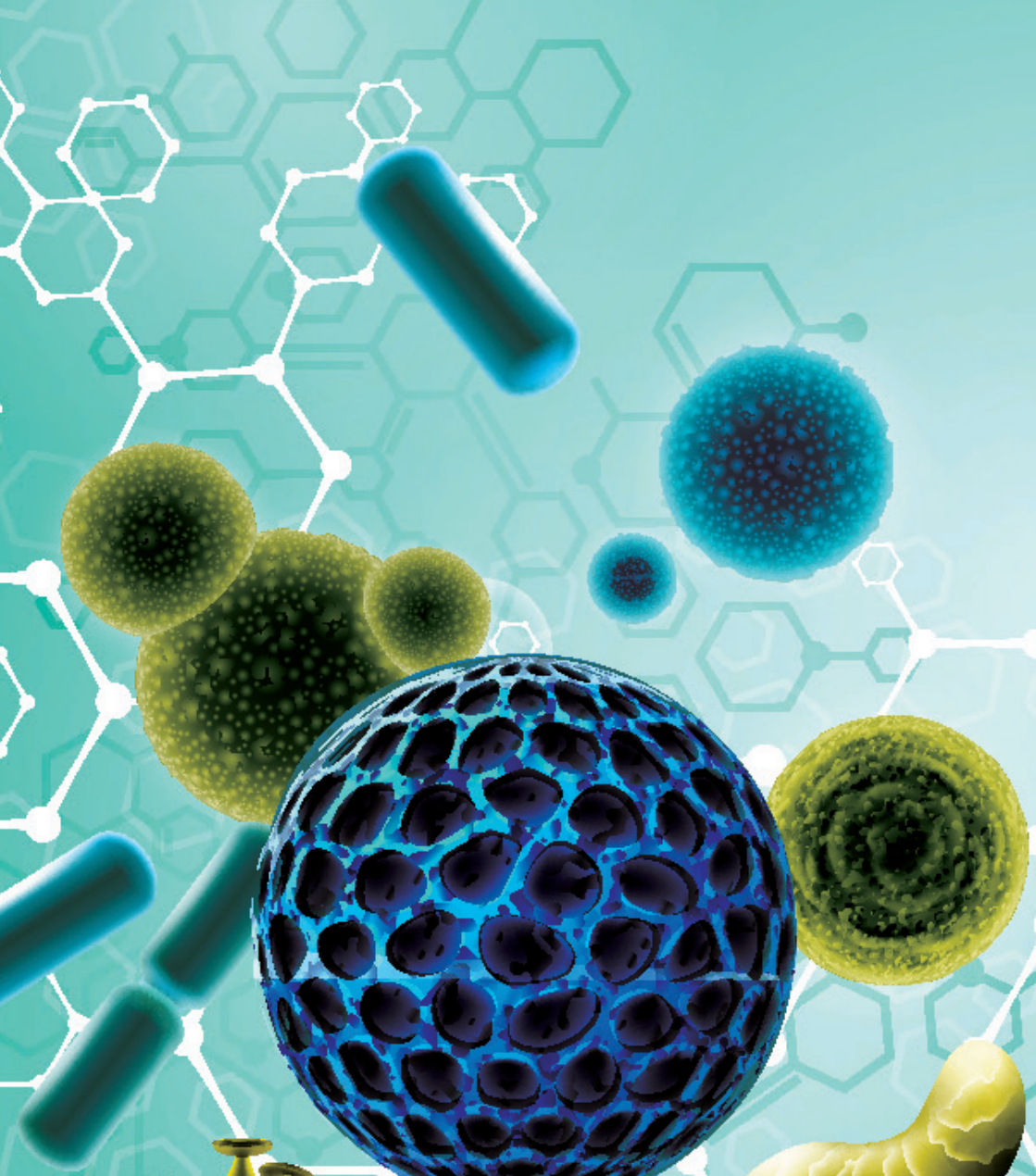
MOROMI PRESSING โมโรมิจะถูกนำมาคั้นแยกน้ำชีวดิบออกจากส่วนผสม น้ำชีวดิบจะถูกนำมาแยกไขมัน กรอง และ ปรับคุณภาพตามข้อกำหนด

PASTEURIZATION ชีวดิบที่ปรับคุณภาพแล้วจะถูกนำมาให้ความร้อนที่ 90-95 องศาเซลเซียสเพื่อทำการฆ่าเชื้อและพัฒนากลิ่นสีของผลิตภัณฑ์

BOTTLING หลังจากตกตะกอนแล้ว น้ำชีวจะถูกนำมาฆ่าเชื้อซ้ำอีกครั้งก่อนที่จะทำการบรรจุลงภาชนะ

เอกสารประกอบการเรียน

- http://www.digitalschool.club/digitalschool/biology2_1_1/biology17/more/page2.php
- <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0197/%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B8%84%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%A2-bacteria>
- <https://microbialguideth.blogspot.com/2019/02/blog-post.html>
- http://mutualselfcare.org/medicine/infectious/pathogen_fungus.aspx?M=k&G=1
- <https://foodchemblog.com/yeast-and-sugar/> Barham, H. N., Jr. and J. A. Johnson. "The influence of various sugars on dough and bread properties." Cereal Chemistry 28 (1951) 463-473.
- http://www1.ddd.go.th/menu_5wonder/index.html
- https://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/2423/7/228306_ch1.pdf
- <http://thaifarmer.lib.ku.ac.th/f/285b32764a1bead78e0d6a1ba0e2f5d3c2c7466f869ee7f2f305b2940899a5c.pdf>
- http://www.clinictech.ops.go.th/online/pages/blog_view.asp?blog_id=929



กรมพลศึกษา
กระทรวงศึกษาธิการ