# บทที่ 2
# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## ลิพิด (Lipid)

ลิพิด หมายถึง สารอินทรีย์ธรรมชาติ ซึ่งเป็นชีวโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน คลอโรฟอร์ม อีเธอร์ เบนซีน เป็นต้น ลิพิดเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน โดยทั่วไปประกอบด้วย ธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2542) ลิพิดเป็นสารอาหารที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตและให้พลังงานสูง ความสำคัญและหน้าที่ของลิพิด คือ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเยื่อทุกชนิดของเซลล์ ลิพิดใต้ผิวหนังยังเป็นฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อน เป็นแหล่งให้และสะสมพลังงานของร่างกาย เป็นฉนวนไฟฟ้าในเส้นประสาท เป็นสารต้นกำเนิดของวิตามินและฮอร์โมนบางชนิดและยังทำหน้าที่ลำเลียงสารอาหารบางชนิด (อภิรดี เมืองเดช, 2547)

**ประเภทของลิพิด**

ลิพิด แบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

1. ไขมันโครงสร้างปกติ (Simple Lipids) ได้แก่ เอสเทอร์ (Ester) ของกรดไขมันแอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ ถ้าแอลกอฮอล์นั้นเป็นกลีเซอรอล (Glycerol) ไขมันนี้เรียกว่า เอซิลกลีเซอรอล (Acylglycerol) หรือ กลีเซอไรด์ (Glyceride) ซึ่งถ้าอยู่ในสภาพของเหลวจะเป็นน้ำมัน (Oil) แต่ถ้าอยู่ในสภาพของแข็งเรียกว่าไขมัน (Fat) กลีเซอไรด์มีอยู่ 3 ชนิด คือ โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) และไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งมีจำนวนกรดไขมันต่อโมเลกุลเป็น1, 2 และ 3 ตามลำดับ ถ้าแอลกอฮอล์นั้นมีขนาดใหญ่กว่ากลีเซอรอล ไขมันนั้นก็จะเป็นของแข็งในสภาพปกติและเรียกว่าไข (Wax)

2. ไขมันเชิงซ้อน (Compound Lipids) มีชื่อเรียกแตกต่างกันตามสารอื่นที่เพิ่มเข้ามา แบ่งได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

2.1 ฟอสโฟลิพิด (Phospholipids) พบมากทั้งในพืชและสัตว์เป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์ เนื่องจากสารนี้ประกอบด้วย กลีเซอรอล กรดไขมัน 2 โมเลกุล ฟอสเฟตและแอลกอฮอล์บางครั้งจึงเรียกสารนี้ว่า ฟอสโฟกลีเซอไรด์ (Phosphoglyceride) ซึ่งฟอสโฟกลีเซอไรด์แต่ละชนิดมีโครงสร้างแอลกอฮอล์ที่แตกต่างกัน ตัวอย่างของไขมันชนิดนี้ได้แก่ เลซิทินในไข่แดง ประกอบด้วยกรดฟอสฟอริกและโคลีน

2.2 ไกลโคลิพิด (Glycolipid) พบมากในเซลล์สมองและเส้นประสาท ประกอบด้วยกรดไขมัน คาร์โบไฮเดรตและแอลกอฮอล์ ตัวอย่างของไขมันชนิดนี้ เช่น ซีรีโบไซด์ (Cerebroside) เป็นต้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.3 ไลโบโปรตีน (Lipoprotein) เป็นไขมันที่มีโปรตีนจับอยู่ ทำหน้าที่ขนส่งไขมันในโลหิตและเป็นส่วนประกอบของเยื่อเซลล์ ไลโบโปรตีนมีส่วนประกอบ คือ โปรตีนฟอสโฟลิพิด คอเลสเทอรอล และไตรกลีเซอไรด์ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

3. อนุพันธุ์ไขมัน (Derived Lipids) คือ ได้จากการแตกตัวของไขมันโครงสร้างปกติหรือไขมันเชิงซ้อน ได้แก่ กรดไขมัน กลีเซอรอล คอลเลสเทอรอล และแอลกอฮอล์อื่น ๆ เป็นต้น (บุญล้อม ชีวอิสระกุล, 2542)

**กรดไขมัน (Fatty Acid)**

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์ที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ กลีเซอรอล ซึ่งเป็นโครงสร้างที่คงที่ และกรดไขมันซึ่งเป็นโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของกรดไขมัน ดังนั้นสมบัติไขมันจึงขึ้นอยู่กับกรดไขมันเป็นสำคัญ กรดไขมันประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมต่อกันเป็นแถวยาวมากน้อยต่างกันตามชนิดของกรดไขมัน ซึ่งเราใช้สัญลักษณ์อัลคิล (R) แทนจำนวนอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลและตรงส่วนปลายของกรดไขมันคือ หมู่คาร์บอกซีลิก ซึ่งเป็นเครื่องชี้สมบัติของกรดอินทรีย์ และทำหน้าที่เป็นหมู่ฟังชันก์ ในการเกิดปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ เนื่องจากกรดไขมันเป็นส่วนประกอบหนึ่งในสองส่วนที่ประกอบขึ้นเป็นไขมัน ดังนั้นเมื่อไฮโดไลส์หรือย่อยไขมันด้วยเอนไซม์ไลเปสจะได้กรดไขมันดังสมการ

ไขมัน ⟶ กลีเซลรอล + กรดไขมัน

จำนวนอะตอมของคาร์บอนส่วนมากเป็นคู่ และบางครั้งมีหมู่ไฮดรอกซิล คาร์บอนิล เมทิลติดอยู่กับโซ่คาร์บอนด้วย กรดไขมันบางชนิดมีโครงสร้างเป็นไซคลิก (Clyclic) และมีโครงสร้างซับซ้อนซึ่งมักพบในพืชและแบคทีเรีย แต่ในสัตว์มักเป็นโครงสร้างไม่ซับซ้อนเรียงตัวเป็นเส้นตรงและมีคาร์บอน 16 หรือ 18 อะตอมเป็นส่วนมาก โมเลกุลของกรดไขมัน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่มีขั้ว (Polar) ได้แก่ หมู่คาร์บอกซีลิกกับส่วนไม่มีขั้ว (Non-Polar) ได้แก่ โซ่คาร์บอน ปกติกรดไขมันมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ถ้าอยู่ในรูปของเกลือคาร์บอกซีเลตมีประจุลบสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้ โดยหันหมู่คาร์บอกซีเลตเข้าหาน้ำและเอาโซ่คาร์บอนหนีซ่อนไว้ในหยดน้ำมันเกิดเป็นไมเซลล์ (อภิรดี เมืองเดช, 2547) กรดไขมันมี 2 ประเภท คือ

1. กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid) เป็นกรดไขมันที่พันธะระหว่างคาร์บอน-คาร์บอนเป็นพันธะเดี่ยว (Single Bond) มีทั้งในพืชและสัตว์ แต่สัตว์จะมีกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่าพืช เช่น น้ำมันหมู วัว ไก่ และน้ำมันมะพร้าว กรดไขมันอิ่มตัวเหล่านี้ร่างกายสามารถ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สังเคราะห์ขึ้นได้ ในทางโภชนาการจึงจัดอยู่ในประเภทกรดไขมันที่ไม่จำเป็น มีสูตรทั่วไปเป็น $C_nH_{2n+1}COOH$

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid) จะมีพันธะคู่ภายในโมเลกุลอย่างน้อย 1 แห่งพบในไขมันพืชมากกว่าไขมันสัตว์ สูตรทั่วไปของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีดังนี้

$C_nH_{2n-1}COOH$ มีพันธะคู่ 1 แห่ง

$C_nH_{2n-3}COOH$ มีพันธะคู่ 2 แห่ง

$C_nH_{2n-5}COOH$ มีพันธะคู่ 3 แห่ง

กรดไขมันไม่อิ่มตัวสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- Monounsaturated Fatty Acid คือกรดไขมันที่มีพันธะคู่เพียงคู่เดียว เช่น 16: 1n-7 (Palmaitoleic Acid), 18: 1n-9 (Oleic Acid)

- Polyunsaturated Fatty Acid คือกรดไขมันที่มีจำนวนพันธะคู่ตั้งแต่ 2 ขึ้นไป เช่น 18: 2n-6 (Linoleic Acid), 18: 3n-6 (γ- Linoleic Acid) และ 20: 5n-3 (Eicosapentaenocic Acid) เป็นต้น นอกจากนี้กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 20 อะตอมขึ้นไปเรียกว่า Highly Unsaturated Fatty Acid (HUFA) โดยทั่วไปจะใช้เรียกกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า-3 ซึ่งประกอบด้วย อีพีเอ (Eicosapentaenoic Acid, 20: 5n-3) และดีเอชเอ (Docoxahexaenoic Acid, 22: 6n-3)

กรดไขมันไม่อิ่มตัวแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มโอเมก้า-9 (n-9) หรือกลุ่มกรดโอลีอิค (Oleic Acid Family) พบในสัตว์บกได้แก่ น้ำมันหมู น้ำมันวัว กรดไขมันที่พบมากคือ 18: 1n-9 (Oleic Acid), 20: 1n-9 (Gadoleic Acid) และ 20: 3n-9 (Eicosatrienoic Acid)

2. กลุ่มโอเมก้า-6 (n-6) หรือกลุ่มกรดลิโนลีอิค (Linoeic Acid Family) พบในน้ำมันพืช ปลาน้ำจืดและน้ำกร่อยบางชนิด กรดไขมันที่พบมากคือ 18: 2n-6 (Linoleic Acid)

3. กลุ่มโอเมก้า-3 (n-3) หรือกลุ่มกรดลิโนลีนิค (Linoleneic Acid Family) พบในวัชพืชน้ำ สาหร่าย น้ำมันที่ได้จากสัตว์ทะเล กรดไขมันที่พบมากคือ 18: 3n-3 (Alpha-Linoleic Acid), 20: 5n-3 (Eicosapentaenoic Acid) และ 22: 6n-3 (Docosahexaenoic Acid) (บุญล้อม ชีวอิสระกุล, 2542)

## อีพีเอ (Ecosapentaenoic Acid)

อีพีเอ เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3 (n-3) โดยอีพีเอย่อมาจาก Ecosapentaenoic Acid (EPA, 20: 5n-3) มีองค์ประกอบของคาร์บอน 20 ตัวและมีพันธะคู่ 5 ตำแหน่ง (C20: 5) โดยที่อีพีเอ เป็นสารตั้งต้นของสารไอโคสะนอยด์ (Eicosanoid) สารอนุพันธ์ของกลุ่มนี้มีคุณสมบัติลดการจับตัวของเกล็ดเลือดจึงมีผลเกี่ยวพันในการลดอัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ ลดความดัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โลหิตสูง และลดการสร้างไตรกลีเซอไรด์ในตับจากสถิติขององค์การอาหารและเกษตรของสหประชาชาติ และมูลนิธิโรคหัวใจแห่งอังกฤษ (United Nations Food and Agriculture Organization and the British Heart Foundation) รายงานว่าชาวญี่ปุ่นบริโภคปลามากที่สุดในโลก ประเทศหนึ่งมีมูลค่าสูงถึง 160 ปอนด์ต่อคนต่อปีมีอัตราการตายด้วยโรคหัวใจเพียง 100 คน ใน ประชากร 100,000 คน เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่น ๆ เช่น อังกฤษ บริโภคปลาประมาณ 40 ปอนด์ต่อคนต่อปี พลเมืองตายด้วยโรคหัวใจสูงถึง 550 คน ใน 100,000 คน (http://www.nautilus.co.th/health_fishoil.asp)

**ดีเอชเอ (Docoxahexaenoic Acid)**

ดีเอชเอ เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3 (n-3) ที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับอีพีเอ โดยดีเอชเอย่อมาจาก Docosahexaenoic Acid (DHA, 22: 6n-3) ประกอบด้วยคาร์บอน 22 อะตอม ภายในมีพันธะคู่ 6 พันธะ ซึ่งนิยมเขียนในรูป C22: 6 ดีเอชเอมีความสำคัญต่อร่างกายและมีผลโดยตรงต่อสุขภาพมนุษย์ โดยดีเอชเอเป็นส่วนประกอบของเซลล์ส่วนสมองและเรตินาของดวงตา จึงเท่ากับช่วยบำรุงสมองและดวงตาด้วย (เสก อักษรานุเคราะห์, 2540) และยังมีความสำคัญต่อการพัฒนาสมอง ช่วยความจำ และการเรียนรู้ โดยเฉพาะในเด็กให้เจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ (http://www.nautilus.co.th/health_fishoil.asp)

**เออาร์เอ (Arachidonic Acid)**

เออาร์เอ เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-6 (n-6) โดยเออาร์เอย่อมาจาก Arachidonic Acid (ArA, C20: 4n-6 ) ประกอบด้วยคาร์บอน 20 อะตอมภายในมีพันธะคู่ 4 พันธะ ซึ่งนิยมเขียนในรูป C20: 4 ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ แต่สามารถสังเคราะห์ได้จากกรดไลโนเลอิกที่ได้รับจากสารอาหารเท่านั้น (ดาวัลย์ ฉิมภู่, 2548) หน้าที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ลิพิด คือ พรอสทาแกลนดิน (Prostaglandin) ซึ่งเป็นฮอร์โมนในระบบสืบพันธุ์เพศชาย หากขาดจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบสืบพันธุ์ต่ำลง ผิวหนังอักเสบ หากขาดในเด็กทำให้การเจริญเติบโตช้าและการขนส่งลิพิดบกพร่อง

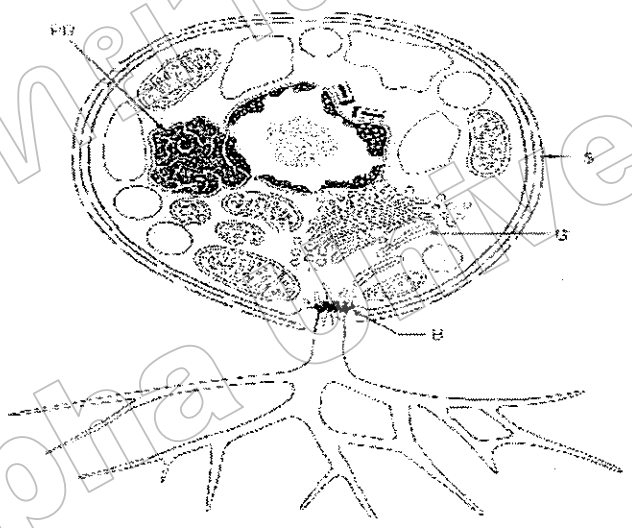
**ทรอสโทไคตริดส์ (Thraustochytrids)**

**ลักษณะทั่วไป**

ทรอสโทไคตริดส์ เป็นจุลินทรีย์ทะเลที่มีความสำคัญในการสร้างกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด Polyunsaturated Fatty Acids (PUFAs) พบทั่วไปในทะเลและป่าชายเลน โดยเฉพาะใบไม้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ป่าชายเลนที่เน่าเปื่อย เนื่องจากทรอสโทไคตริดส์เป็นผู้ย่อยสลายที่สำคัญในระบบนิเวศ (Wong, Lilian, & Au, 2005) ไม่สามารถสังเคราะห์อาหารเองได้ ดำรงชีวิตโดยการใช้สารอินทรีย์จากสภาพแวดล้อมเป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานในการเจริญ (Bongiorni, Jain, Raghukumar, & Aggarwal, 2005) เซลล์ของทรอสโทไคตริดส์มีรูปร่างกลม องค์ประกอบของผนังเซลล์เป็นพวกซัลเฟตพอลิแซคคาไรด์ (Kimura & Naganuma, 2001) มีโครงสร้างที่เรียกว่าเอคโตพลาสมิคเนท (Ectoplasmic Net) ซึ่งทรอสโทไคตริดส์แต่ละชนิดจะมีลักษณะของเอคโตพลาสมิคเนท ที่แตกต่างกัน หน้าที่ของเอคโตพลาสมิคเนท คือ ดูดซึมธาตุอาหารและขนส่งเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยและการยึดติดกับซับสเตรท ผลิตมาจากส่วนที่เรียกว่าซาจีโนเจน (Sagenogen) (Alderman, Harrison, Bremer & Jones, 1974; Chilton, 1995; Honda et al., 1998) ดังแสดงในภาพที่ 1



หมายเหตุ B = Bothrosome, G = Golgi Bodies,
S = Scale และ PB = Paranuclear Body

ภาพที่ 1 เซลล์ในระยะการเจริญ (Vegetative Cell) ของทรอสโทไคตริดส์ (Alexopoulos, Mims, & Blackwell, 1996)

เซลล์ในระยะการเจริญหรือเซลล์ปกติ (Vegetative Cell) มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีขนาดประมาณ 5-20 ไมโครเมตร มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการสร้างซูโอสปอร์ (Zoospore)

ซูโอสปอร์มีแฟลกเจลลา 2 เส้น (Biflagella) (Porter 1990, Raghukumar 1996) ทำหน้าที่ในการเคลื่อนที่ ลักษณะซูโอสปอร์ของทรอสโทไคตริดส์ในแต่ละสกุลจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถใช้ในการจัดจำแนกทรอสโทไคตริดส์ได้อีกทางหนึ่ง (Raghukumar, 2002)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

**การแพร่กระจาย**

ทรอสโทไคตริดส์มีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวางในทะเลสามารถพบในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น ดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลและบริเวณปากแม่น้ำ (Santangelo et al., 2000) หรือบริเวณป่าชายเลน โดยเฉพาะจะพบมากอยู่ที่ใบไม้ป่าชายเลนที่ร่วงหล่นเน่าเปื่อย (Wong et al., 2005) สาหร่ายทะเล หญ้าทะเล รวมทั้งภายใต้ทะเลลึก (Raghukumar, 2002)

**การสืบพันธุ์**

ทรอสโทไคตริดส์มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (Asexual Reproduction) โดยอาศัยกระบวนการสร้างซูโอสปอร์ ซึ่งอยู่ในซูโอสปอร์แรงเจียม (Zoosporangium) โดยวงชีวิตของทรอสโทไคตริดส์แต่ละสกุลมีการแบ่งเซลล์ของซูโอสปอร์แรงเจียมและช่วงเวลาในการสร้างซูโอสปอร์ที่แตกต่างกันกล่าวคือ การแบ่งเซลล์ของซูโอสปอร์แรงเจียมสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วน ภายในสปอร์แรงเจียม (Sporangium) มีซูโอสปอร์ที่เกิดจากการแบ่งเซลล์แบบไมโตซีส จากนั้นจะมีการปล่อยซูโอสปอร์ออกจากซูโอสปอร์แรงเจียมซูโอสปอร์จะลงเกาะบนซับสเตทโดยมีการสลัดแฟลกเจลลาทิ้งและพัฒนาไปเป็นเซลล์ปกติ (Moss, 1986) ในส่วนของ *Schizochytrium* มีการแบ่งเซลล์เกิดขึ้นภายในเซลล์ปกติ จากนั้นมีการสร้างซูโอสปอร์ภายในแต่ละเซลล์หรือแต่ละส่วนของไซโตพลาสซึมที่ได้จากการแบ่งเซลล์นั้นมีการพัฒนาไปเป็นซูโอสปอร์ ส่วน *Ulkenia* จะมีการพัฒนาของเซลล์ปกติไปเป็นอะมีบอยด์เซลล์ (Amoeboid Cell) ก่อนที่จะมีการแบ่งเซลล์ (Bongiorni et al., 2004)

**การจัดจำแนกทรอสโทไคตริดส์**

การจัดจำแนกจุลินทรีย์กลุ่มทรอสโทไคตริดส์เปลี่ยนแปลงเพื่อให้เกิดความถูกต้องที่สุด โดยเริ่มแรกนั้นทรอสโทไคตริดส์ถูกจัดอยู่ในไฟลัม Chytridiomycota เนื่องจากเซลล์ในระยะการเจริญมีลักษณะเหมือนกับราในกลุ่ม Chytrids แต่เนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มทรอสโทไคตริดส์นี้สร้างซูโอสปอร์เช่นเดียวกับราในไฟลัม Oomycota จึงได้มีการจัดให้อยู่ในไฟลัมนี้ และเมื่อมีการพิจารณาลักษณะโครงสร้างของเซลล์และลักษณะทางพันธุกรรมของทรอสโทไคตริดส์แล้วพบว่ามีความแตกต่างจากราในไฟลัมนี้ คือผนังเซลล์ของทรอสโทไคตริดส์ไม่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบซึ่งต่างจากราในไฟลัม Oomycota ที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก รวมทั้งจากการศึกษาทางด้านสายวิวัฒนาการโดยอาศัยข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนส่วน 18S rRNA พบว่าไม่มีความใกล้ชิดกัน ทรอสโทไคตริดส์จึงเปลี่ยนจากไฟลัม Oomycota มาอยู่ในไฟลัม Labyrinthulomycota และถูกจัดอยู่ในอาณาจักร Straminopila ร่วมกับจุลินทรีย์ในไฟลัม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Oomycota และไฟลัม Hyphochytridiomycota (Alexopoulos et al., 1996) สามารถจัดอนุกรมวิธานของจุลินทรีย์กลุ่มทรอสโทไคตริดส์ได้ดังนี้ (Honda, 2001)

Superkingdom Eucaryota

Kingdom Straminopila

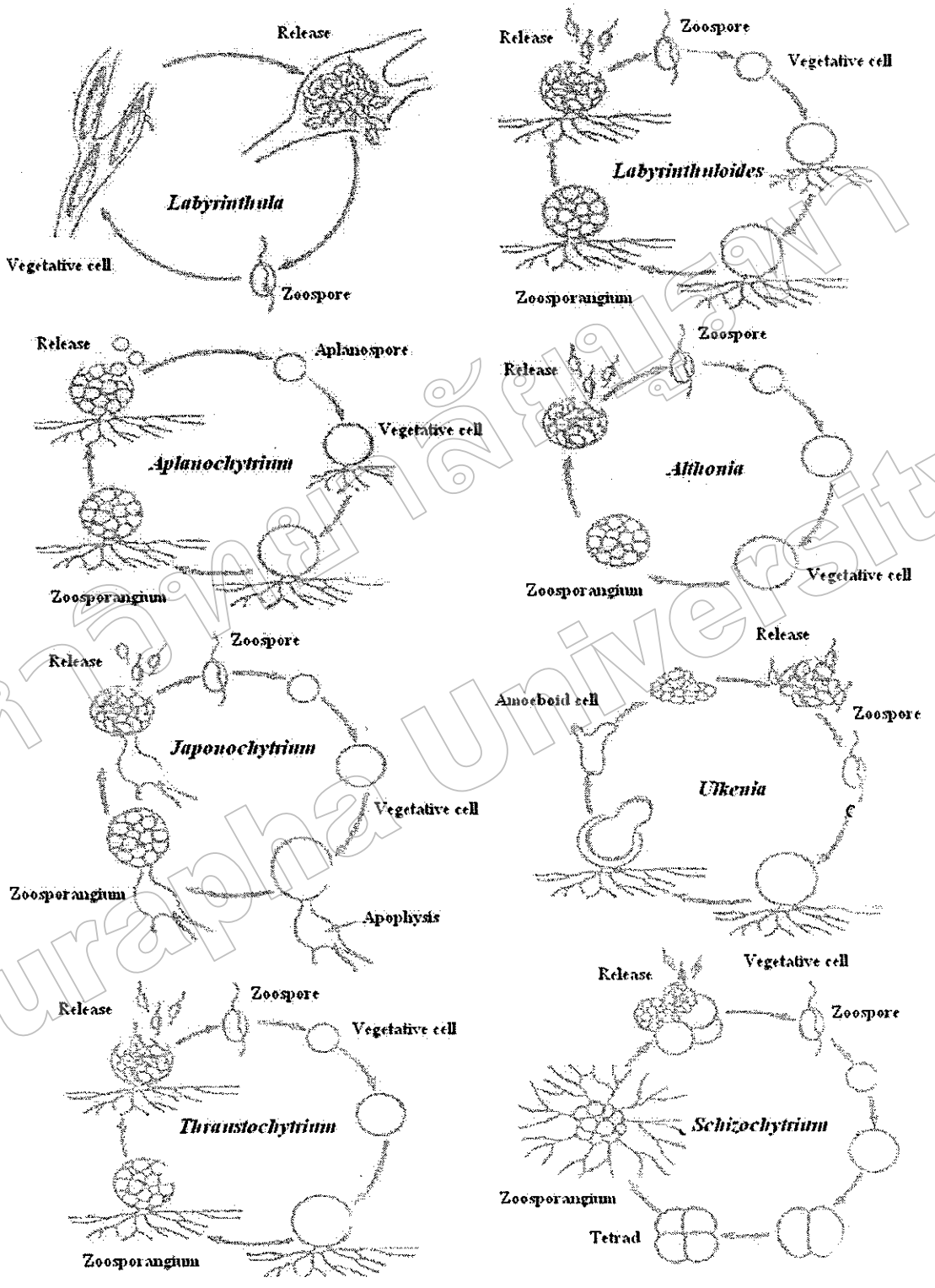
Phylum Labyrinthulomycota

Order Labyrinthulida

Family Thraustochytriaceae

สมาชิกของจุลินทรีย์ในวงศ์นี้ (Thraustochytriaceae) ประกอบด้วยสมาชิก 7 สกุล ได้แก่ *Althornia*, *Aplanochytrium*, *Japonochytrium*, *Labyrinthuloides*, *Schizochytrium*, *Thraustochytrium* และ *Ulkenia* แสดงวงชีวิตดังภาพที่ 2

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University




ภาพที่ 2 วงชีวิตของจุลินทรีย์ในไฟลัม Labyrinthulomycota (Honda, 2001)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

**ลักษณะทั่วไปของทรอสโทไคตริดส์แต่ละสกุล มีดังนี้**

**1. *Schizochytrium***

เซลล์ปกติมีรูปร่างกลม ลักษณะที่สำคัญของสกุล *Schizochytrium* คือ การแบ่งเซลล์แบบทวีคูณอย่างต่อเนื่อง (Successive Binary Fission) หลังจากมีการแบ่งเซลล์แล้วแต่ละเซลล์จะมีการสร้างซูโอสปอร์ที่มีรูปร่างรีหรือเกือบกลมมีแฟลกเจลลา 2 เส้น มีการสร้างเส้นใยเอคโตพลาสมิคที่ช่วยในการยึดเกาะ ปัจจุบันมีการค้นพบหลายชนิด และบางชนิดในบางเซลล์จะพบลักษณะของอะมิบอยด์เซลล์ก่อนการแบ่งตัวสร้างเป็นซูโอสปอร์ (Honda et al., 1998)

**2. *Thraustochytrium***

ทัลลัสมีลักษณะเป็นรูปกลมขนาดเล็ก ผนังเซลล์มีลักษณะบาง (Honda et al., 1998) และมีหลายชั้นประกอบไปด้วยโปรตีนเป็นจำนวนมาก (Ulken, Jackle, & Bahnweg, 1985) มีการสร้างเส้นใยเอคโตพลาสมิคที่ช่วยในการยึดเกาะกับซับสเตทแต่จะไม่ใช้ในการเคลื่อนที่ (Porter, 1989) ลักษณะที่สำคัญของสกุลนี้ คือ จะมีการสร้างพอลิเฟอรัส (Porliferous) ซึ่งเป็นส่วนของผนังเซลล์ที่กั้นอยู่ภายในสปอร์แรงเจียม (Honda, 2001) สำหรับการปล่อยซูโอสปอร์มีลักษณะคล้ายกับการระเบิดของซูโอสปอร์แรงเจียม ซึ่งเกิดจากแรงดันภายในเซลล์ การปล่อยซูโอสปอร์นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีพอลิเฟอรัส และกลุ่มที่ไม่มีพอลิเฟอรัส โดยกลุ่มที่มีพอลิเฟอรัสจะมีผนังของเซลล์ปกติบางและมีอัตราเร็วในการปล่อยซูโอสปอร์สูงและพบว่าหลังจากการปล่อยซูโอสปอร์แล้วพอลิเฟอรัสยังคงอยู่และจะสร้างซูโอสปอร์แรงเจียมขึ้นมาใหม่ (Alderman, Harrison, Bremer, & Jone, 1974; Honda, 2001)

**3. *Ulkenia***

ลักษณะที่สำคัญของ *Ulkenia* คือ เซลล์ปกติจะพัฒนาเป็นอะมีบอยด์เซลล์ก่อนที่จะมีการแบ่งเซลล์ (Bongiorni et al., 2005) จากนั้นอะมีบอยด์เซลล์จะสร้างซูโอสปอร์ที่มีแฟลกเจลลา 2 เส้น และจะถูกปล่อยออกจากซูโอสปอร์แรงเจียม (Hunt, 2000)

**4. *Aplanochytrium***

เซลล์ปกติมีผนังเซลล์ที่หนาซึ่งมีน้ำตาลฟูโคส (Fucose) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ มีโครงสร้างเส้นใยเอคโตพลาสมิคมีการเคลื่อนที่แบบกลิ้ง (Gliding) (Raghukumar, 2002) โดยใช้เส้นใยเอคโตพลาสมิคช่วยในการเคลื่อนที่ รวมทั้งช่วยในการลอยตัวทรอสโทไคตริดส์สกุลนี้จะปล่อยเซลล์แต่ละเซลล์ออกจากซูโอสปอร์แรงเจียมอย่างช้า ๆ และจะไม่มีการเคลื่อนที่ สปอร์ที่ไม่มีแฟลกเจลลานี้เรียกว่า อะพลาโนสปอร์ (Aplanospore) (Ulken et al., 1985) ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของทรอสโทไคตริดส์สกุลนี้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

**5. *Althornia***

ทัลลัสมีลักษณะกลมคล้ายกับ *Aplanochytrium* โดยเฉพาะโครงสร้างของผนังเซลล์ ลักษณะสำคัญของ *Althornia* คือ เซลล์มีการลอยอย่างอิสระโดยไม่มีการลงเกาะบนซับสเตทเหมือนทรอสโทไคตริดส์ชนิดอื่น ๆ จนกว่าจะมีซับสเตรทที่เหมาะสมจึงจะสลัดหางออกลงเกาะและเจริญเป็นเซลล์ปกติต่อไป (Alderman et al., 1974) ลักษณะเด่นของทรอสโทไคตริดส์สกุลนี้อีกประการคือ จะไม่มีการสร้างเส้นใยเอคโตพลาสมิคในวงชีวิต (Bongiorni et al., 2005) สปอร์แรงเจียมสร้างซูโอสปอร์ที่มีแฟลกเจลลา 2 เส้น (Alderman & Jones, 1971)

**6. *Japonochytrium***

ทัลลัสและซูโอสปอร์แรงเจียมมีรูปร่างกลม มีการสร้างเส้นใยเอคโตพลาสมิคเพื่อช่วยในการยึดเกาะกับสับสเตรท และลักษณะเด่นของทรอสโทไคตริดส์สกุลนี้ คือ เส้นใยเอคโตพลาสมิคสามารถเกิดการบวมพองซึ่งเรียกส่วนนี้ว่า อะโพฟีซิส (Apophysis) ซึ่งจะไม่พบในทรอสโทไคตริดส์สกุลอื่น ๆ (Bongiorni et al., 2005) ซูโอสปอร์แรงเจียมสร้างซูโอสปอร์ที่มีแฟลกเจลลา 2 เส้น สำหรับการปล่อยซูโอสปอร์นั้นเกิดหลังจากที่มีการสลายตัวออกของผนังซูโอสปอร์แรงเจียม แต่ในบางครั้งอาจมีการปล่อยซูโอสปอร์ผ่านทางรูเปิดหรือช่องว่างของซูโอสปอร์แรงเจียม ซึ่งคล้ายกับที่พบในสกุล *Schizochytrium* (Alderman et al., 1974)

**7. *Labyrinthuloides***

ทัลลัสมีรูปร่างกลมลักษณะกำกึ่งระหว่างทรอสโทไคตริดส์และลาบิลินทูลิดส์ (Raghukumar, 2002) มีการเคลื่อนที่ในลักษณะการกลิ้ง โดยอาศัยเส้นใยเอคโตพลาสมิคช่วยในการเคลื่อนที่ สปอร์แรงเจียมสร้างซูโอสปอร์ที่มีแฟลกเจลลา 2 เส้น (Leander & Porter, 2001) มีลักษณะการแบ่งเซลล์แบบทวีคูณ (Ulken et al., 1985)

**ความสำคัญของทรอสโทไคตริดส์ในระบบนิเวศ**

ในระบบนิเวศทางทะเลทรอสโทไคตริดส์อาจเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ เช่น อะมีบา โปรโตซัว แพลงก์ตอนขนาดเล็ก (Picoplankton) รวมทั้งตัวอ่อนของสัตว์ที่มีและไม่มีกระดูกสันหลัง (Santangelo et al., 2000; Raghukumar & Raghukumar, 1999) เป็นต้น รวมทั้งยังเป็นผู้ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สำคัญในระบบนิเวศทางทะเลเช่นเดียวกับแบคทีเรีย โปรโตซัว และปรสิตอื่น ๆ (Santangelo et al., 2000) นอกจากนี้ทรอสโทไคตริดส์อาจมีบทบาทสำคัญในการหมุนเวียนสารในวัฏจักรคาร์บอนของระบบนิเวศ เนื่องจากพบว่าองค์ประกอบของเซลล์ทรอสโทไคตริดส์นั้นมีอัตราส่วนระหว่าง C/ N ถึง 10.5 ซึ่งมีค่ามากกว่า Bacterioplankton ถึง 5.9-6.8 เท่า (Kimura & Naganuma, 2001)

สำหรับคุณลักษณะที่สำคัญของทรอสโทไคตริดส์อีกประการหนึ่ง คือ สามารถสร้าง

กรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น Docosapentaenoic Acid (DPA) และ Docosahexaenoic Acid (DHA) (Kimura et al., 1999) ซึ่งเป็นสารอาหารที่สำคัญต่อสัตว์ทะเลต่าง ๆ (Kimura & Naganuma, 2001 รวมถึงสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ และมนุษย์อีกด้วย

## ป่าชายเลน (Mangrove Forest)

ป่าชายเลนเป็นกลุ่มของสังคมพืชที่ขึ้นอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลที่มีน้ำทะเลท่วมถึงบริเวณปากแม่น้ำ หรือบริเวณที่น้ำจืดและน้ำเค็มมาพบกัน อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า สังคมปากแม่น้ำ ลักษณะสังคมชนิดนี้จึงมีอิทธิพลของการขึ้นลงของน้ำเป็นปัจจัยควบคุมที่สำคัญที่มีผลต่อเนื่องไปถึงปัจจัยอื่น ๆ โดยเฉพาะความเค็มของน้ำ ซึ่งพบว่าความเค็มในบริเวณปากแม่น้ำมีความแปรผันอย่างมาก และน้ำบริเวณปากแม่น้ำเกิดจากการผสมของน้ำทะเลและน้ำจืดจากแม่น้ำ จึงทำให้มีปริมาณแร่ธาตุและสารอาหารต่าง ๆ มาผสมกันมากมาย นอกจากนั้น แม่น้ำยังพัดพาเอาอนุภาคขนาดใหญ่มาทับถมและสะสมมากขึ้นที่ปากแม่น้ำ ซึ่งทำให้บริเวณนี้มีปริมาณแร่ธาตุและสารอาหารต่าง ๆ อุดมสมบูรณ์แร่ธาตุและสารอาหารเหล่านี้จะถูกกระแสน้ำหมุนเวียนนำกลับมาใช้ที่ผิวน้ำได้อย่างสม่ำเสมอ โดยการไหลเข้าของน้ำทะเลในขณะน้ำขึ้น (นิตยา เลาหะจินดา, 2546) ลักษณะของป่าชายเลนแตกต่างจากป่าบกอย่างมาก คือ สภาพดินส่วนใหญ่เป็นโคลนหรือเลนบางบริเวณมีทรายปะปนอยู่ ลักษณะดินเป็นดินเหนียวที่มีการอัดตัวแน่น ดินเลนเหล่านี้เกิดจากการพัดพาของกระแสน้ำมาทับถม (ปรีชา สุวรรณพินิจ และนงลักษณ์ สุวรรณพินิจ, 2537) ป่าชายเลนมีลักษณะเป็นไม้ผลัดใบ มีเรือนยอดหนาทึบ พันธุ์ไม้ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กมีรากหายใจที่โผล่พ้นดิน และทนต่อสภาพความเค็ม พันธุ์ไม้ที่สำคัญได้แก่ โกงกาง ประสัก โปรง ตะบูน แสม ลำพู และเสม็ด (ศูนย์พัฒนาหนังสือ, 2539) และป่าชายเลนยังจัดว่าเป็นแหล่งอนุบาลของสัตว์น้ำวัยอ่อนที่สำคัญมากที่สุด นอกจากนั้นผลิตผลจากป่ายังมีประโยชน์ต่อมนุษย์อย่างมาก เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิง และนำน้ำมันยางไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ (นิตยา เลาหะจินดา, 2546)

**พันธุ์ไม้ป่าชายเลน**

พันธุ์ไม้ป่าชายเลนมีลักษณะการขึ้นเป็นแนวเขตที่ชัดเจนตั้งแต่บริเวณชายฝั่งจนถึงป่าด้านใน บริเวณที่เป็นดินเลนหรือปากแม่น้ำมีกระแสน้ำไหลเวียนเกิดการตกตะกอนของดินเลนจะทำให้เกิดพันธุ์ไม้หนาแน่น (ศูนย์พัฒนาหนังสือ, 2539)

พันธุ์ไม้ป่าชายเลนในประเทศไทยมีถึง 35 วงศ์ 53 สกุล และ 74 ชนิด พันธุ์ไม้ที่เด่นและเป็นชนิดที่สำคัญในป่าชายเลนของประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในวงศ์ Rhizophoraceae โดยเฉพาะในสกุล ไม้โกงกาง (*Rhizophora*) สกุลไม้โปรง (*Ceriops*) และสกุลไม้ถั่ว (*Bruguiera*) และพันธุ์ไม้ในวงศ์ Sonneratiaceae ได้แก่ สกุลไม้ลำพูและลำแพน (*Sonneratia*) และพันธุ์ไม้ในวงศ์ Verbenaceae

ซึ่งประกอบด้วยพันธุ์ไม้สกุลไม้แสม (*Avicennia*) หลายชนิด นอกจากนี้เป็นพันธุ์ไม้ในวงศ์ Meliaceae ซึ่งประกอบด้วยพันธุ์ไม้ในสกุลไม้ตะบูนและตะบัน (*Xylocarpus*) เป็นต้น (สนิท อักษรแก้ว, 2532)

**การแบ่งโซนของพืชในป่าชายเลน (Zonation)**

1. โซนที่อยู่ใกล้น้ำมากที่สุด ได้แก่ โกงกาง (*Rhizophora*) ซึ่งประกอบด้วยโกงกางใบเล็ก โกงกางใบใหญ่ ในเขตนี้มักมีต้นจาก (*Nipa*) ขึ้นปะปน

2. โซนของไม้แสม (*Avicennia*) และประสัก (*Bruguiera*)

3. โซนของไม้ตะบูน (*Xylocarpus*) ซึ่งพื้นดินเป็นดินเลนแข็ง แต่ถ้าดินเลนไม่แข็งมากและมีน้ำทะเลท่วมถึงจะพบไม้โปรง (*Ceriops*) รังกะแท้ (*Kandelia*) และฝาด (*Lumnitzera*)

4. โซนของไม้เสม็ด (*Melaleuca*) ในโซนนี้ดินเป็นเลนแข็ง น้ำทะเลท่วมเฉพาะตอนระดับน้ำขึ้นสูงสุดเท่านั้น ป่าเสม็ดจัดเป็นเขตระหว่างป่าชายเลนและป่าบก

นอกจากไม้ยืนต้นใหญ่ ๆ ที่เจริญเป็นโซนดังกล่าวแล้ว ในป่าชายเลนยังมีไม้ล้มลุกอื่น ๆ เจริญแทรกอยู่ด้วย เช่น ปรงทอง เหงือกปลาหมอ ส้มมะงา กำแพงเจ็ดชั้น และหวายลิง เป็นต้น ในบริเวณที่เป็นป่าชายเลนนี้จะเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์มากมายหลายชนิด ตั้งแต่แมลง นก และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ซึ่งชนิดและจำนวนในแต่ละท้องที่มีความแตกต่างกันบ้าง (นิตยา เลาหะจินดา, 2546)

**การขึ้นลงของน้ำ (Tides)**

การขึ้นลงของน้ำในรอบวันเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งสำหรับสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในเขตชายฝั่ง การขึ้นลงของน้ำเกิดขึ้นเนื่องจากดาวจันทร์ และดวงอาทิตย์ที่มีต่อโลก รวมทั้งแรงเหวี่ยงที่เกิดขึ้นในขณะที่โลกหมุนรอบตัวเอง แต่ส่วนใหญ่แล้วการขึ้นลงของน้ำเกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของดวงจันทร์มากที่สุด โดยทั่วไปตามชายฝั่งทะเลส่วนมากจะมีน้ำขึ้นน้ำลงวันละ 2 ครั้ง แต่ละครั้งมีระยะน้ำขึ้นสูงสุดห่างกันประมาณ 12 ชั่วโมงครึ่ง และในวันต่อมาเวลาที่น้ำขึ้นสูงสุดจะช้ากว่าวันแรกประมาณ 50 นาที (นิตยา เลาหะจินดา, 2546)

**ระบบนิเวศป่าชายเลน**

ระบบนิเวศในป่าชายเลนมีลักษณะการอยู่ร่วมกันระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบ สิ่งมีชีวิต ได้แก่ คน สัตว์ และพืช ส่วนสิ่งแวดล้อมได้แก่ อากาศ แสงสว่าง ความชื้น อุณหภูมิ และดิน เป็นต้น การอยู่ร่วมกันนี้ทำให้ป่าชายเลนมีความอุดมสมบูรณ์เป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตหลายชนิดทั้งพืชและสัตว์ เกิดการพึ่งพาอาศัยกันขึ้นอย่างซับซ้อนเป็นระบบ พืชพันธุ์ในป่าชายเลน เมื่อได้รับแสงอาทิตย์จะเกิดการสังเคราะห์แสงทำให้เกิดพันธุ์ไม้ป่าชายเลนและสาหร่ายขึ้นหลายชนิด โดยได้รับสารอาหารทั้งที่มาจากพื้นที่บนบกและการพัดพาของคลื่นและกระแสน้ำในทะเล เมื่อพืชพันธุ์เหล่านี้มีการเจริญเติบโตจะมีเศษซากของกิ่ง ก้าน ลำต้น ราก ใบและส่วนอื่น ๆ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ร่วงหล่นลงสู่พื้นดินเบื้องล่าง เกิดการสลายตัวเป็นอินทรียวัตถุให้กับพืชและสัตว์เล็ก ๆ ได้แก่ แพลงก์ตอน แบคทีเรีย ฟังไจ โปรโตรซัว รวมทั้งรากพืชดูดซับขึ้นไปใช้เป็นอาหารด้วย เมื่อพืชและสัตว์เหล่านี้เจริญเติบโตจะกลายเป็นอาหารสัตว์ที่มีขนาดใหญ่ ได้แก่ กุ้ง หอย ปู และปลา สัตว์พวกนี้จะถ่ายทอดของเสียออกมากลายเป็นอินทรีย์วัตถุให้แก่พืชอีกทอดหนึ่ง และเมื่อกุ้ง หอย ปู ปลา มีขนาดใหญ่ขึ้น มนุษย์จะจับสัตว์มาเป็นอาหาร เกิดเป็นวงจรโซ่อาหารที่ใหญ่ขึ้น (ศูนย์พัฒนาหนังสือ, 2539)

สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่อาศัยในระบบนิเวศในป่าชายเลนจำเป็นต้องมีการปรับตัวที่สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มได้ในช่วงกว้าง จากการศึกษาของ Bowles (1997) ได้ทำการศึกษาถึงทรอสโทไคตริดส์ 2 สายพันธุ์ คือ G13 และ MP3 พบว่าโซเดียมคลอไรด์ในน้ำทะเลทั่วไปมีระดับที่เหมะสมต่อการเจริญ แม้บริเวณป่าชายเลนที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับความเค็มมากแต่ทรอสโทไคตริดส์ทั้ง 2 สายพันธุ์สามารถเจริญได้ นอกจากความเค็มของน้ำทะเลบริเวณป่าชายเลนแล้วยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตบริเวณนี้ เช่น อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เนื่องจากบริเวณปากแม่น้ำเป็นที่รองรับของเสียจากแม่น้ำ จึงทำให้บริเวณนี้อาจเกิดสภาวะน้ำเสีย เนื่องจากช่วงฤดูแล้งที่มีน้ำน้อย ทำให้ความเข้มข้นของของเสียมากขึ้นจนเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

**โครงสร้างระบบนิเวศป่าชายเลน**

โครงสร้างระบบนิเวศป่าชายเลน (ภาพที่ 3) ประกอบด้วย

1. ผู้ผลิต (Producers) คือพวกที่สร้างอินทรีย์สารโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช สาหร่าย และพันธุ์ไม้ชนิดต่าง ๆ ในป่าชายเลน

2. ผู้บริโภค (Consumers) ผู้บริโภคในป่าชายเลนสามารถแบ่งได้เป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

2.1 กลุ่มบริโภคอินทรีย์สาร (Detritus Consumer หรือ Detritus Feeders) ได้แก่ พวกสัตว์หน้าดินขนาดเล็ก (ตั้งแต่ 0.1-1 มิลลิเมตร) เช่นไส้เดือนทะเล (Polychaete) เป็นต้น จากนี้ยังมีพวกครัสเตเซียน (Crustaceans) และพวกหอยสองฝา และปลาบางชนิดอีกด้วย

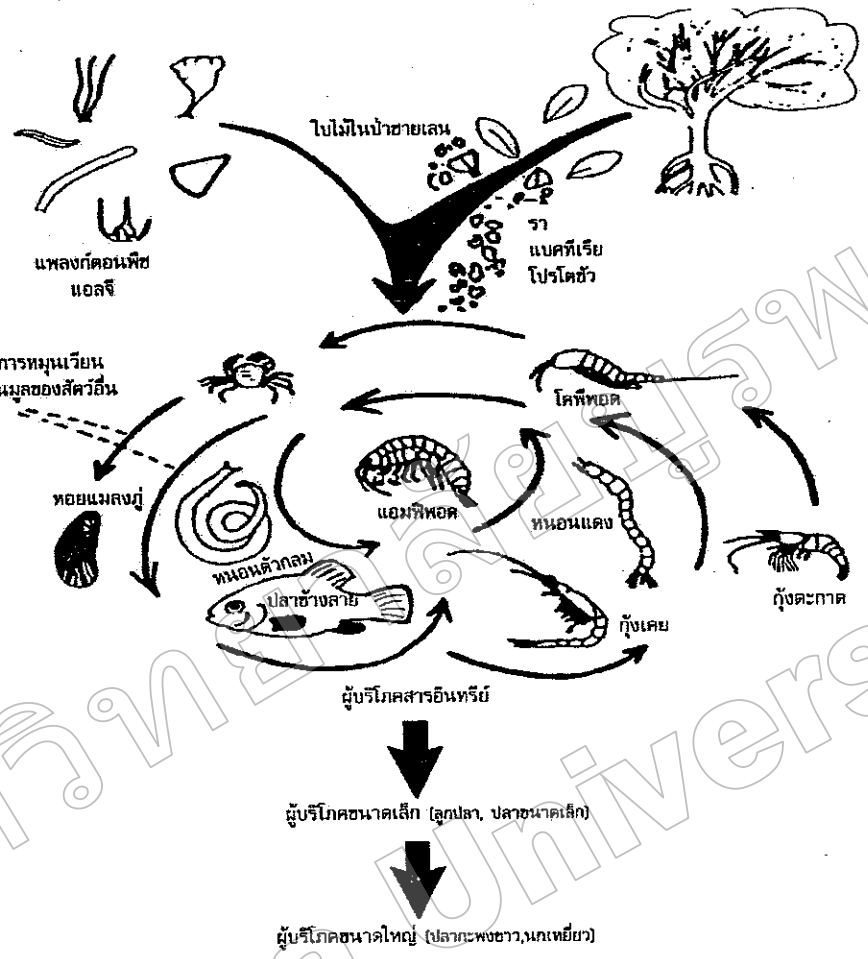
2.2 กลุ่มผู้บริโภคพืชโดยตรง (Herbivores) พวกนี้กินพืชโดยตรง เช่น แพลงก์ตอนสัตว์ ปู ไส้เดือนทะเล และปลาบางชนิดเป็นต้น

2.3 กลุ่มบริโภคสัตว์ (Carnivores) ได้แก่ กุ้ง ปู ปลาขนาดเล็ก และปลาขนาดใหญ่ เป็นต้น

2.4 กลุ่มบริโภคทั้งพืชและสัตว์ (Omnivores) ได้แก่ ปลาบางชนิด แต่ส่วนใหญ่สัตว์ในกลุ่มนี้จะกินพืชมากกว่าสัตว์

3. ผู้ย่อยสลาย (Decomposers) ผู้ย่อยสลายที่สำคัญในป่าชายเลนได้แก่ แบคทีเรีย รา และครัสเตเซียน (สนิท อักษรแก้ว, 2532)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University




ภาพที่ 3 สายโซ่อาหารแบบ Detritus ในระบบนิเวศป่าชายเลน (นิตยา เลาหะจินดา, 2546)

พืชที่อาศัยอยู่ในป่าชายเลนล้วนแต่เป็นผู้ผลิตขั้นต้นในระบบนิเวศทางทะเล จากส่วนของใบไม้ที่ร่วงหล่นทับถมกัน การย่อยสลายเศษซากอินทรีย์วัตถุของแบคทีเรียและราถือว่ามีความสำคัญในการเพิ่มธาตุอาหารต่อระบบนิเวศอย่างมาก (Sharma & Vittal, 2000) ซึ่งทรอสโทไคตริดส์มีหน้าที่เป็นผู้ย่อยสลายซากพืช ซากสัตว์ ซึ่งมีบทบาทอย่างมากในการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากการย่อยสลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งใบไม้ที่ร่วงหล่นในป่าชายเลน ซึ่งพบว่าทรอสโทไคตริดส์จะเป็นกลุ่มแรกที่เข้าทำการย่อยสลายก่อนที่จะมีการย่อยสลายจากจุลินทรีย์กลุ่มอื่น (Raghukumar, 1988) หลังการย่อยสลายทรอสโทไคตริดส์จะปลดปล่อยธาตุอาหารในรูปสารอินทรีย์กลับคืนสู่ระบบ

**ป่าชายเลนแหลมผักเบี้ย**

ป่าชายเลนแหลมผักเบี้ย ตั้งอยู่บริเวณ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ระหว่างเส้นละติจูดที่ 13 องศา 01 ลิปดาเหนือ ถึงเส้นละติจูดที่ 13 องศา 03 ลิปดา

เหนือ และระหว่างเส้นลองจิจูดที่ 100 องศา 05 ลิปดาตะวันออก ถึงเส้นลองจิจูดที่ 100 องศา 06 ลิปดาตะวันออก พื้นส่วนใหญ่เป็นนาเกลือ คิดเป็นร้อยละ 42.77 ของพื้นที่ หรือเท่ากับ 10.360 ตารางกิโลเมตร พื้นที่นาข้าว 5.342 ตารางกิโลเมตร (22.06%) ป่าชายเลน 2.628 ตารางกิโลเมตร (10.85%) และพื้นที่อื่น ๆ ได้แก่ พื้นที่โครงการศึกษาวิจัย ฯ ที่อยู่อาศัย เป็นต้น คิดเป็นพื้นที่ 5.890 ตารางกิโลเมตร (25.32%)

แหลมผักเบี้ยเดิมเคยเป็นนาเกลือร้าง และป่าชายเลนที่เสื่อมโทรม ในเบื้องต้นใช้พื้นที่ 380 ไร่ ในการค้นคว้าหาวิธีการบำบัดน้ำเสีย โดยเน้นการใช้วิธีการทางธรรมชาติ เป็นโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องจากพระราชดำริ เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี 2534 โดยคัดเลือกพื้นที่สาธารณประโยชน์ของจังหวัดเพชรบุรี ประมาณ 642 ไร่ ซึ่งตั้งอยู่บริเวณตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี เพื่อศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียและกำจัดขยะชุมชนโดยวิธีธรรมชาติ และเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมศึกษารูปแบบการฟื้นฟูสภาพแวดล้อม และนำของเสียที่ได้บำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์อย่างครบวงจร (นิภา เบญจพงศ์, ธำรง ผลชีวิน, อุรุญากร จันทร์แสง, สุนัยนา สท้านไตรภพ และอำนาจ บุญเครือพันธุ์, 2546)

ลักษณะภูมิอากาศ ฤดูฝนได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และฤดูร้อนได้รับอิทธิพลของลมตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งทำให้มีคลื่นลมแรงและน้ำทะเลขุ่น ลักษณะของกระแสคลื่นในบริเวณนี้มี 2 ทิศทางคือ ในช่วงเวลาที่น้ำขึ้นกระแสน้ำจะไหลขึ้นไปทางทิศเหนือ และช่วงน้ำลงจะไหลกลับลงทางทิศใต้ ขนานกับแนวชายฝั่ง (นเรศ ฉ่ำบุญรอต และดารัตน์ ดิษบรรจง, 2542)

พันธุ์ไม้ป่าชายเลนบริเวณแหลมผักเบี้ย ประกอบด้วย ไม้แสม (*Avicennia* sp.) เป็นไม้เด่น นอกจากนี้ยังมีไม้โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) ไม้ถั่ว (*Bruguiera* sp.) และไม้ตาตุ่มทะเล (*Excoecaria agallocha*) ขึ้นปะปนกันอยู่บ้าง ป่าชายเลนบริเวณนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยไม้ขนาดเล็ก ความหนาแน่นค่อนข้างสูงและการสืบพันธุ์ค่อนข้างดี (สนิท อักษรแก้ว, 2542) โดยแบ่งได้ดังนี้

ป่าแสม เป็นชนิดของไม้ป่าชายเลนที่มีพื้นที่มากที่สุดในพื้นที่ป่าชายเลนแหลมผักเบี้ย (Dominant Species) ปรากฏอยู่ตลอดแนวชายฝั่งทะเล เป็นพื้นที่ที่มีดินเลนตะกอนทับถมกัน ประกอบด้วย แสมทะเล และแสมขาว มีพื้นที่ทั้งหมดในปี พ.ศ. 2532, 2536, 2538 และ 2540 ประมาณ 1,414.375, 1,316.250, 1,411.875 และ 1,536.781 ไร่ ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 25.089, 22.192, 24.356 และ 25.069 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดในแต่ละปีตามลำดับ

ป่าโกงกางที่มีในบริเวณพื้นที่ป่าชายเลนแหลมผักเบี้ย มีความเข้มของสีใบแยกออกจากป่าแสมได้อย่างชัดเจน ส่วนใหญ่เป็นไม้โกงกางใบเล็ก มีพื้นที่ทั้งหมดในปี พ.ศ. 2532, 2536, 2538 และ 2540 ประมาณ 274.375, 253.750, 234.375 และ 217.875 ไร่ ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 4.867, 4.278, 4.043 และ 3.556 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดในแต่ละปีตามลำดับ

ไม้ถั่ว เป็นพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่มีลักษณะเป็นแปลงป่าปลูก (Plantation) ซึ่งปรากฏในบริเวณพื้นที่ป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยน้อยที่สุด และมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของพื้นที่น้อยมาก โดยมีพื้นที่ทั้งหมดในปี พ.ศ. 2532, 2536, 2538 และ 2540 ประมาณ 11.875, 10.625, 10.625 และ 10.000 ไร่ ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 0.211, 0.179, 0.183 และ 0.163 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดในแต่ละปีตามลำดับ

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bongiorni (1998) ศึกษาความแตกต่างของฤดูกาลต่อจำนวนการพบทรอสโทไคตริดส์ พบว่า การเพิ่มจำนวนของทรอสโทไคตริดส์จะเริ่มเพิ่มจำนวนในช่วงต้นฤดูร้อนจนถึงต้นเดือนมิถุนายนโดยมีอุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 22 องศาเซลเซียส แต่การเพิ่มจำนวนของทรอสโทไคตริดส์นี้จะน้อยลงในช่วงฤดูที่มีอากาศร้อนจัดของปี

Honda et al. (1998) คัดแยกทรอสโทไคตริดส์จากน้ำทะเลบริเวณป่าชายเลนของเกาะ Yap ซึ่งตั้งอยู่ทางตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก จากการศึกษา พบว่า เป็นทรอสโทไคตริดส์ ในสกุล *Schizochytrium* โดยให้ชื่อว่า *S. limacinum* ซึ่งมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับ *S. aggregatum* แต่มีลักษณะแตกต่างกับ *Schizochytrium* ชนิดอื่น ๆ ตรงที่ *S. limacinum* มีลักษณะของอะมีบอยด์เซลล์ขนาดซูโอสปอร์และการปล่อยซูโอสปอร์ที่แตกต่างกับชนิดอื่น ตลอดจนการใช้คาร์บอนจากแหล่งต่าง ๆ ในการเจริญเติบโต

Santangelo, Bongiorni, and Pignataro (2000) ศึกษาถึงความหนาแน่นของสิ่งมีชีวิตกลุ่มทรอสโทไคตริดส์และโปรโตซัวบางชนิดในตัวอย่างดินทรายบริเวณชายฝั่งทะเลเมดิเตอร์เรเนียน โดยทำการเก็บตัวอย่างในเดือนตุลาคม พฤศจิกายน และเดือนมกราคม ผลการศึกษาพบความหนาแน่นของทรอสโทไคตริดส์ ดังนี้ 59.3±41.9, 45.0±26.1 และ 21.9±25.2 เซลล์/ มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งความหนาแน่นของทรอสโทไคตริดส์ลดลงจากเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคมแต่ไม่ลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกระยะของจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละเดือน

Leano (2001) ศึกษาสิ่งมีชีวิตกลุ่มทรอสโทไคตริดส์จากใบไม้ป่าชายเลนทั้งหมด 11 ชนิด บริเวณป่าชายเลน Panay ประเทศฟิลิปินส์ จากการศึกษาพบทรอสโทไคตริดส์ 85-100 เปอร์เซ็นต์ จากตัวอย่างใบไม้ทุกชนิดที่ทำการศึกษา โดยทรอสโทไคตริดส์ชนิดที่พบมากที่สุด คือ *S. mangrovei* (40-100 เปอร์เซ็นต์จากตัวอย่างใบไม้ทั้งหมด) นอกจากนี้ยังพบ *Thraustochytrium* sp. ซึ่งสามารถคัดแยกได้จากใบตะบูนขาวและโกงกางใบเล็ก

Fan, Vrijmoed, and Jones (2002) ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของทรอสโทไคตริดส์ที่คัดแยกจากป่าชายเลน ในเขตร้อน โดยทำการศึกษาทรอสโทไคตริดส์ 6 สายพันธุ์ ดังนี้ คือ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

*Schizochytrium* sp. KF-1, *Schizochytrium mangrovei.* KF-2, KF-7, KF-12, *Thraustochytrium striatum* KF-9 และ *Ulkenia* KF-13 จากการศึกษาพบว่า *Schizochytrium* ไอโซเลท KF-1 แตกต่างจาก KF-2, KF-7, KF-12 ตรงที่การพัฒนาภายในซูโอสปอร์แรงเจียมมีหลายซูโอสปอร์ *Schizochytrium* ไอโซเลท KF-2, KF-7, KF-12 มีการพัฒนาซูโอสปอร์เดียวภายในซูโอสปอร์แรงเจียม ซึ่งจะพัฒนาจนเห็นได้ชัดเจนก่อนปล่อยออกของซูโอสปอร์ การพัฒนาในรูปแบบนี้เป็นลักษณะของ *S. mangrovei* Raghukumar ส่วนไอโซเลท KF-9 ถูกจัดจำแนกอยู่ในสกุล *Thraustochytrium* ซึ่งมีลักษณะสปอร์แรงเจียมกลมและไซโตพลาสซึมมีการพัฒนาไปเป็นซูโอสปอร์หลาย ๆ ซูโอสปอร์ จนปรากฏเป็นลักษณะของซูโอสปอร์แรงเจียมไอโซเลทนี้ ถูกจัดจำแนกเป็น *T. striatum* Schneider และหลังจากนั้นได้ใช้ชื่อว่า *T. striatum* KF-9 สำหรับไอโซเลท KF-13 มีลักษณะสปอร์แรงเจียมที่กลม และมีการพัฒนาเป็นอะมีบอยด์เซลล์ก่อนที่โปรโตพลาสซึมจะพัฒนาเป็นซูโอสปอร์ ไอโซเลทนี้ถูกจัดว่าเป็นจีนัส *Ulkenia*

Leano (2002) พบกลุ่ม Straminipilous เป็นจุลินทรีย์กลุ่มแรกที่เข้าทำการย่อยสลายใบไม้ป่าชายเลน หลังจากที่ใบร่วงลงน้ำ และพบว่า *S. mangrovei* พบมากที่สุดในป่าชายเลนทั้งในเขตร้อนและกึ่งร้อน

Raghukumar (2002) ศึกษาระบบนิเวศของทรอสโทไคตริดส์และลาบิรินทูริดส์ พบว่าความหนาแน่นของทรอสโทไคตริดส์มีความสัมพันธ์กับช่วงที่มีการเจริญของแพลงก์ตอนพืช และ Gaertner (1966); Gaertner and Raghukumar (1980); Raghukumar and Gaertner (1980) ศึกษาจำนวนทรอสโทไคตริดส์บริเวณปากแม่น้ำ Weser ประเทศเยอรมันนีและบริเวณทะเลเหนือในช่วงที่มีการเจริญของแพลงก์ตอนพืช ในเดือนมีนาคมและเมษายน พบทรอสโทไคตริดส์ในปริมาณที่น้อย นอกจากนี้ Raghukumar et al. (2001) รายงานถึงจำนวนทรอสโทไคทริดส์บริเวณทะเล Arabian ช่วงเดือนมิถุนายน-สิงหาคม (มรสุมฤดูร้อน) เป็นช่วงที่มีปรากฏการณ์น้ำผุดและการเจริญของแพลงก์ตอนพืชจำนวนมาก พบว่าทรอสโทไคตริดส์มีจำนวนต่ำสุดในช่วงนี้เมื่อเปรียบเทียบกับฤดูอื่น ๆ คือ พบเพียง $40\times10^3$ เซลล์/ ลิตร ในขณะที่จำนวนทรอสโทไคตริดส์สูงสุด คือ $1,313\times10^3$ เซลล์/ ลิตร ในช่วงปลายเดือนกันยายน ซึ่งการเจริญของทรอสโทไคตริดส์ที่มีจำนวนน้อยเนื่องจากถูกยับยั้งโดยสารเคมีที่ผลิตจากแพลงก์ตอนพืชที่ยังมีชีวิตอยู่

Kamlangdee and Fan (2003) ศึกษาการผลิตกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงจากเชื้อ *Schizochytrium* sp. จำนวน 5 สายพันธุ์ (N-1, N-2, N-5, N-6 และ N-9) แยกจากใบรังกะแท้ (*Kandelia candel*) ที่หล่นจมน้ำในป่าชายเลนบริเวณเกาะฮ่องกง ถูกนำมาเพาะเลี้ยงในอาหารแข็งที่ประกอบด้วยกลูโคส 60 กรัม ยีสต์สกัด 10 กรัม และปรับปริมาณเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำทะเลสังเคราะห์ความเค็ม 15% และปรับพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6.0 ให้อากาศโดยการเขย่าเป็นเวลา

52 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 °C มวลชีวภาพ (น้ำหนักแห้ง) ทั้ง 5 สายพันธุ์ เมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงมีค่าตั้งแต่ 10.8-13.2 กรัม/ ลิตร สายพันธุ์ N-2 มีมวลชีวภาพสูงสุดในรูปของเซลล์แห้งเท่ากับ 13.2 กรัม/ ลิตร สายพันธุ์ N-9 เจริญได้น้อยที่สุดและมีมวลชีวภาพ (น้ำหนักแห้ง) เท่ากับ 10.8 กรัม/ ลิตร เชื้อ *Schizochytrium* ทั้ง 5 สายพันธุ์สะสมกรดไขมันอีพีเอ (Eicosapentaenoic Acid, 20: 5n-3) ปริมาณต่ำในเซลล์ขณะที่มีการสะสมกรดไขมันดีเอชเอ (Docoxahexaenoic Acid, 22: 6n-3) ในปริมาณที่สูง โดยดีเอชเอในเซลล์ทั้ง 5 สายพันธุ์ (N-1, N-2, N-5, N-6 และ N-9) มีค่าเท่ากับ 174.9, 203.6, 186.1, 171.3 และ 157.9 มิลลิกรัม/ ลิตร ตามลำดับ สายพันธุ์ N-2 มีดีเอชเอสูงสุด และมีปริมาณกรดไขมันชนิดต่าง ๆ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมดดังนี้ C15: 0 เท่ากับ 28.7, C16: 0 เท่ากับ 21.3, C18: 0 เท่ากับ 0.9, C18: 3 เท่ากับ 0.2, C20: 4 เท่ากับ 0.3, C20: 5 เท่ากับ 0.9, C22: 4 เท่ากับ 6.7, C22: 6 เท่ากับ 36.1 และกรดไขมันชนิดอื่น ๆ 9.3 เชื้อ *Schizochytrium* ทั้ง 5 สายพันธุ์ เจริญได้ที่ระดับความเค็มตั้งแต่ 0-30% และความเค็มที่เหมาะสมในการเจริญระหว่าง 20-30%

Bongiorni, Pignataro and Santangelo (2004) ศึกษาถึงความหนาแน่นของทรอสโทไคตริดส์ โดยเก็บตัวอย่างดินทรายบริเวณชายฝั่งทะเล Ligurian ประเทศอิตาลี ที่ระดับความลึก 5 เมตร จากผิวดิน จากการศึกษาพบความหนาแน่นของทรอสโทไคตริดส์ 61 เซลล์/ ลูกบาศก์เซนติเมตร และในช่วงหลังของฤดูฝนความหนาแน่นของทรอสโทไคตริดส์จะเพิ่มขึ้นเป็น 200 เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

Ramaiah, Raghukumar, Mangesh, and Madhupratap (2005) ศึกษาความแปรผันของฤดูกาลที่มีผลต่อมวลชีวภาพของแบคทีเรีย ทรอสโทไคตริดส์ และแพลงก์ตอนสัตว์ในทะเล Arabian ทางตอนเหนือ โดยทำการศึกษาถึงความหนาแน่นของสิ่งมีชีวิตทั้งสามในสี่ฤดู คือ ฤดูใบไม้ร่วง (กันยายน-ตุลาคม) ฤดูใบไม้ผลิ (เมษายน-พฤษภาคม) ฤดูหนาว (กุมภาพันธ์) และฤดูร้อน (สิงหาคม) ที่ความลึก 3 ระดับ แสดงผลความหนาแน่นของทรอสโทไคตริดส์ในแต่ละฤดูดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความหนาแน่นของทรอสโทไคตริดส์แต่ละฤดูกาล

| ความลึก (เมตร) | ความหนาแน่นของทรอสโทไคตริดส์ในแต่ละฤดู ($\times 10^3$ เซลล์/ ลิตร) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ฤดูใบไม้ร่วง | ฤดูใบไม้ผลิ | ฤดูหนาว | ฤดูร้อน |
| 1 -150 | 0 - 233 | 3.7 - 183 | 0 - 1313 | - |
| 200 - 500 | 0 - 0.01 | 6.0 - 38 | 0 - 36 | - |
| 750 - 2000 | 0 - 266 | - | 0 - 40 | - |

หมายเหตุ – หมายถึง ไม่ได้ทำการศึกษา

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Wong et al. (2005) ศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของทรอสโทไคตริดส์ที่พบจากใบรังกะแท้ (*Kandelia candel*) ที่มีลักษณะเน่าเปื่อย และดินตะกอนบริเวณป่าชายเลนโดยเก็บตัวอย่างในช่วงเดือน เมษายน มิถุนายน ตุลาคม 2004 และกุมภาพันธ์ 2005 จากการศึกษาพบว่าความอุดมสมบูรณ์ของทรอสโทไคตริดส์ที่ได้จากใบไม้ป่าชายเลนเท่ากับ $4.8\times10^{3}$-$5.6\times10^{5}$ CFU $g^{-1}$ โดยมีค่าสูงกว่าในดินตะกอนบริเวณป่าชายเลนที่มีค่าเท่ากับ $1.0\times10^{2}$-$1.6\times10^{3}$ CFU $g^{-1}$ และพบสูงสุดในเดือนตุลาคม ($5.6\times10^{5}$ CFU $g^{-1}$)

Jaritkhuan et al. (2005) ศึกษาความหลากหลายของทรอสโทไคตริดส์ที่คัดแยกจากใบไม้ที่ร่วงหล่นในป่าชายเลนของประเทศไทย โดยแหล่งที่ศึกษา คือ บ้านเปร็ดในจังหวัดตราด และบางปู จังหวัดสมุทรปราการ จากการสำรวจพบว่า *Schizochytrium mangrovei* มีเปอร์เซ็นต์การพบทรอสโทไคตริดส์มากที่สุดที่บ้านเปร็ดในจังหวัดตราด (51.73%) รองลงมา คือ *Schizochytrium limacinum* 33.53%, *Schizochytrium* sp.1 13.22%, *Schizochytrium* sp.2 3.22%, *Schizochytrium* sp. 6 0.36%, *Schizochytrium* sp.8 2.86%, *Ulkenia* spp. 12.64%, *Ulkenia visurgensis*. 7.45%, Unknown 1 เท่ากับ 12.12% , Unknown 2 เท่ากับ 3.57% และ *Labyrinthula* sp. เท่ากับ 9.12% ส่วนที่บางปู จังหวัดสมุทรปราการ พบ *Schizochytrium mangrovei* 41.44%, *Schizochytrium limacinum* 10%, *Schizochytrium* sp.4 เท่ากับ 1.11% และ *Labyrinthula* sp. เท่ากับ 9.12% จังหวัดตราดเป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายของทรอสโทไคตริดส์สูงกว่าจังหวัดสมุทรปราการ ส่วนปริมาณดีเอชเอ ที่สกัดได้อยู่ในช่วง 1-37% ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด

สมถวิล จริตควร และคณะ (2545) คัดแยกจุลินทรีย์ทะเลจากตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณแนวปะการังจากเกาะมันใน จังหวัดระยอง เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี และเกาะเต่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจากตัวอย่างใบหญ้าทะเล จากอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี อ่าวมะขามป้อม จังหวัดระยอง อ่าวสัตหีบ และเกาะแสมสาร จังหวัดชลบุรี พบยีสต์จากตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณแนวปะการัง 7 ชนิด ส่วนจุลินทรีย์ทะเลในกลุ่มทรอสโทไคตริดส์พบทั้งสิ้น 30 ไอโซเลท จากตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณเกาะเต่า ส่วนใบหญ้าทะเลไม่พบจุลินทรีย์ทะเลกลุ่มทรอสโทไคตริดส์

มยุรา ประยูรพันธ์ (2548) คัดแยกทรอสโทไคตริดส์จากใบไม้ป่าชายเลนจังหวัดสมุทรปราการจากพันธุ์ไม้ 9 ชนิด และสามารถคัดแยกทรอสโทไคตริดส์ได้ 184 ไอโซเลท โดยตัวอย่างใบโกงกางใบเล็ก และพังกาหัวสุมดอกแดงเป็นพันธุ์ไม้ที่มีเปอร์เซ็นต์การพบสูงสุด คือ 75 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปอทะเลพบทรอสโทไคตริดส์ต่ำสุด 15 เปอร์เซ็นต์ และจากการศึกษาพบทรอสโทไคตริดส์ 3 ชนิด คือ *Schizochytrium mangrovei* (41.44%), *Schizochytrium limacinum* (10%) และ *Schizochytrium* sp. 4 (1.11%) โดย *S. mangrovei* เป็นชนิดที่พบมากที่สุด และเมื่อ

เพาะเลี้ยงทรอสโทไคตริดส์ทั้ง 184 ไอโซเอท ในอาหารกลูโคสต่อยีสต์สกัดเท่ากับ 6%: 1% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบ/ นาที เป็นเวลา 4 วัน และนำมาวิเคราะห์กรดไขมันพบว่ามีปริมาณกรดไขมันดีเอชเอสูงโดยมีค่าอยู่ในช่วง 15.41-180.74 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักแห้ง (8.79-48.60 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด) และมีกรดไขมันอีพีเอและเออาร์เอในปริมาณต่ำคือ 0.25-7.42 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักแห้ง (0.15-6.17 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด) และ 0.16-3.85 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักแห้ง (0.09-3.94 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด) ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University