บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลิพิด (Lipid)

ลิพิดคือไขมันและน้ำมันรวมถึงสารอื่น ๆ ที่มีองค์ประกอบทางเคมีหรือลักษณะทางกายภาพคล้ายไขมัน เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลาย เช่น เบนซีน อีเธอร์ คลอโรฟอร์ม เป็นต้น โดยทั่วไปประกอบด้วย ธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) ความสำคัญของไขมัน คือ เป็นแหล่งสะสมพลังงานสามารถนำออกมาใช้ได้ในสภาวะร่างกายขาดแคลน ทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันไม่ให้ร่างกายสูญเสียความร้อน ช่วยในการดูดซึมและเป็นแหล่งเก็บวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน และเป็นแหล่งให้กรดไขมันที่จำเป็นของร่างกาย แต่ประโยชน์ที่ได้รับนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของกรดไขมันที่มีอยู่ในลิพิดนั้น (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2542)

ประเภทของลิพิด ลิพิดแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

1. ไขมันธรรมดา (Simple Lipids) ได้แก่ เอสเทอร์ (Ester) ของกรดไขมัน แอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ ถ้าแอลกอฮอล์นั้นเป็นกลีเซอรอล (Glycerol) ไขมันนี้จะเรียกว่าเอซิลกลีเซอรอล (Acylglycerol) หรือกลีเซอไรด์ (Glyceride) ซึ่งถ้าอยู่ในสภาพของเหลวจะเป็นน้ำมัน (Oil) แต่ถ้าอยู่ในสภาพของแข็งเรียกว่าไขมัน (Fat) กลีเซอไรด์มีอยู่ 3 ชนิด คือ โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) และไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งมีจำนวนกรดไขมันต่อโมเลกุลเป็นหนึ่ง สองและสามตามลำดับ ถ้าแอลกอฮอล์นั้นมีขนาดใหญ่กว่ากลีเซอรอล ไขมันนั้นก็จะเป็นของแข็งในสภาพปกติและเรียกว่าไข (Wax)

2. ไขมันประกอบ (Compound Lipids) ได้แก่ ไขมันที่มีสารอื่นเพิ่มเติมเข้ามามีอยู่ 3 ชนิดด้วยกันขึ้นอยู่กับส่วนที่เพิ่มขึ้นมา ได้แก่

2.1 ฟอสโฟไลพิด (Phospholipid) เป็นสารที่พบมากทั้งในพืชและสัตว์ เป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์ เนื่องจากสารนี้ประกอบด้วยกลีเซอรอล กรดไขมัน 2 โมเลกุล ฟอสเฟตและแอลกอฮอล์ บางครั้งจึงเรียกสารนี้ว่าฟอสโฟกลีเซอไรด์ (Phosphoglyceride) ซึ่งฟอสโฟกลีเซอไรด์แต่ละชนิดมีโครงสร้างแอลกอฮอล์ที่แตกต่างกันไป ตัวอย่างของไขมันชนิดนี้ได้แก่ เลซิทินในไข่แดง ประกอบด้วย กรดฟอสฟอริกและโคลีน

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

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.3 ไลโปโปรตีน (Lipoprotein) เป็นไขมันที่มีโปรตีนจับอยู่ ทำหน้าที่ขนส่งไขมันในโลหิตและเป็นส่วนประกอบของเยื่อเซลล์ ไลโปโปรตีนมีส่วนประกอบคือ โปรตีนฟอสโฟลิพิด คอเลสเทอรอล และไตรกลีเซอไรด์ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

3. อนุพันธุ์ไขมัน (Derived Lipids) คือ ลิพิดที่ได้จากการแตกตัวของลิพิดธรรมดาหรือลิพิดประกอบ ลิพิดพวกนี้ได้แก่ กรดไขมัน กลีเซอรอล คอเลสเทอรอลและแอลกอฮอล์อื่น ๆ เป็นต้น (บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, 2542)

กรดไขมัน (Fatty Acid)

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์ที่ประกอบด้วยห่วงโซ่ไฮโดรคาร์บอนยาวต่อเนื่องกัน มีกลุ่มคาร์บอกซิล (COOH) อยู่ตรงปลายด้านหนึ่ง และมีหมู่เมทิล (CH_3) อยู่อีกปลายหนึ่ง กรดไขมันสามารถต่อความยาวของโมเลกุลได้ครั้งละ 2 อะตอมคาร์บอน โดยจะต่อเข้าด้านหมู่คาร์บอกซิลเสมอ การนับตำแหน่งพันธะคู่ หากเริ่มที่กลุ่มคาร์บอกซิล จะมีตัวเลขเปลี่ยนไปทุกครั้งที่มีการต่อความยาวของกรดไขมัน ในทางชีวเคมีจึงนิยมนับด้านเมทิลที่ตัวเลขคงที่และการนับแบบนี้เรียกเป็นโอเมก้า (Omega) ซึ่งเป็นพยัญชนะตัวสุดท้ายของละติน (วินัย ดะห์ลัน, 2538) กรดไขมันมี 2 ประเภท คือ

1. กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid) เป็นกรดไขมันที่ไม่มีพันธะคู่ภายในโมเลกุล จุดหลอมเหลวสูง น้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวมักอยู่ในรูปของไขและแข็งตัวเมื่ออยู่ในอุณหภูมิต่ำ เช่น น้ำมันหมู

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid) เป็นกรดไขมันที่โมเลกุลมีพันธะคู่อยู่ภายใน มีจุดหลอมเหลวต่ำ กรดไขมันไม่อิ่มตัวพบเป็นองค์ประกอบอยู่มากในน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์ กรดไขมันไม่อิ่มตัวสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1 Monounsaturated Fatty Acid คือกรดไขมันที่มีจำนวนพันธะคู่เพียงคู่เดียว เช่น 16: 1n-7 (Palmitoleic Acid), 18: 1n-9 (Oleic Acid)

2.2 Polyunsaturated Fatty Acid คือกรดไขมันที่มีจำนวนพันธะคู่ตั้งแต่ 2 คู่ขึ้นไป เช่น 18: 2n-6 (Linoleic Acid), 18: 3n-6 (γ-Linolenic Acid) และ 20: 5n-3 (Eicosapentaenoic Acid) เป็นต้น นอกจากนี้กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 20 อะตอมขึ้นไปเรียกว่า Highly Unsaturated Fatty Acid (HUFA) โดยทั่วไปจะใช้เรียกกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า-3 ซึ่งประกอบด้วยอีพีเอ (Eicosapentaenoic Acid, 20: 5n-3) และดีเอชเอ (Docoxahexaenoic Acid, 22: 6n-3)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

กรดไขมันไม่อิ่มตัวแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

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

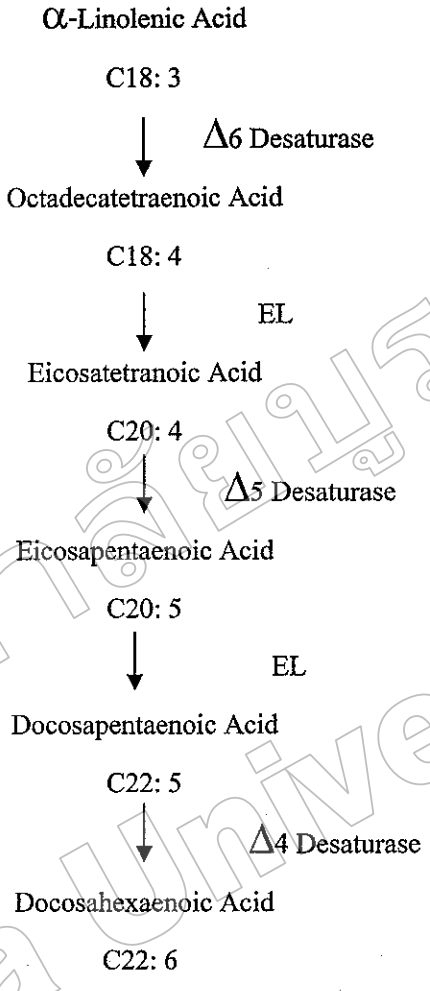
2. กลุ่มโอเมก้า-6 (n-6) หรือครอบครัวกรดลิโนลีอิค (Linoeic Acid Family) พบในน้ำมันพืช ปลาน้ำจืด และน้ำกร่อยบางชนิด กรดไขมันที่พบมากคือ 18: 2n-6 (Linoleic Acid)

3. กลุ่มโอเมก้า-3 (n-3) หรือครอบครัวกรดลิโนลีนิค (Linolenic 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)

ดีเอชเอ (Docosahexaenoic Acid)

กรดไขมันดีเอชเอ เป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญในร่างกายและมีผลโดยตรงต่อสุขภาพมนุษย์ คือมีส่วนในการพัฒนาการของสมองและดวงตาในทารกและเด็ก ป้องกันการเกิดโรคทางหัวใจและหลอดเลือด ช่วยบำบัดโรคที่เกี่ยวข้องกับความชราภาพ และมีผลทำให้การตั้งครรภ์และการคลอดบุตรเป็นไปโดยปกติ (ประสงค์ เทียนบุญ, 2543; วรรณิพา วิเวโก, 2545) ดีเอชเอเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวกลุ่มโอเมก้า-3 ประกอบด้วยคาร์บอน 22 อะตอม ภายในมีพันธะคู่ 6 พันธะ ซึ่งนิยมเขียนในรูป C22: 6 ในร่างกายมนุษย์สามารถเปลี่ยนกรดลิโนลีนิค ที่พบในผักสีเขียว น้ำมันจากพืช และเมล็ดพืช เป็นกรดไขมันดีเอชเอได้โดยการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์จาก 2 กระบวนการ คือ Elongation โดยการเพิ่มอะตอมคาร์บอน 2 อะตอม ที่ Acyl Chain ภายในไมโตรคอนเดียและเอนโดพลาสมิคเรติคูลัม และกระบวนการ Desaturation เป็นการเติมพันธะคู่ระหว่างพันธะคู่ที่มีอยู่ใน Acyl Chain กลไกการเกิดปฏิกิริยาจะถูกกระตุ้นโดย Acyl - CoA Desaturases (Δ^6,Δ^5 และ Δ^4) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับหมู่อะตอมของกรดไขมันชนิดเดียวกันดังภาพที่ 1 แต่ในสภาวะร่างกายมีการสะสมกรดลิโนลีอิคมาก (Linoleic Acid) กระบวนการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันดีเอชเอจะลดลง เนื่องจากกรดลิโนลีนิคและกรดลิโนลีอิค มีความต้องการเอนไซม์ชนิดเดียวกัน (Hunt, 2000) โดยปกติร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ กรดไขมันดังกล่าวให้เพียงพอต่อความต้องการได้ ดังนั้นกรดไขมันดีเอชเอ ส่วนมากจึงได้รับมาจากอาหารที่มนุษย์บริโภคเข้าไปนั้นเอง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 1 การสังเคราะห์กรดไขมันดีเอชเอ (Docosahexaenoic Acid) จาก α-Linolenic Acid (Δ^n, Fatty Acyl Desaturase and EL, Elongase) (Hunt, 2000)

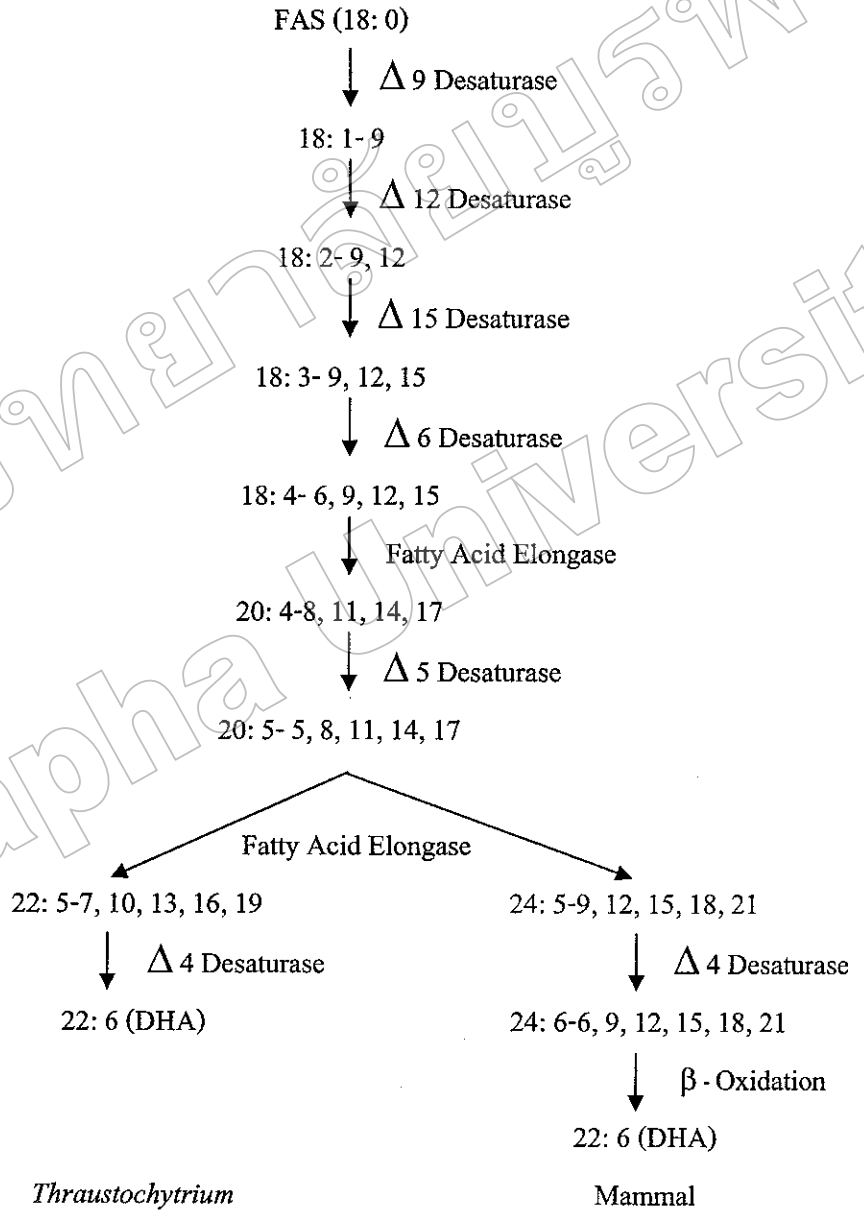
การสังเคราะห์กรดไขมันดีเอชเอในทรอสโทดิทริดส์

การสังเคราะห์กรดไขมันดีเอชเอในทรอสโทดิทริดส์ แบ่งเป็น 2 วิถี ดังนี้

1. วิถีการสังเคราะห์กรดไขมันดีเอชเอแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Pathway) เป็นวิถีการสังเคราะห์ที่ต้องการโมเลกุลของออกซิเจนเป็นโคแฟคเตอร์ในกระบวนการ พบการสังเคราะห์วิถีนี้ทั้งในพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ จากการศึกษาพบว่า *Thraustochytrium* มีกระบวนการผลิตกรดไขมันดีเอชเอผ่านวิถีการใช้ออกซิเจนเช่นเดียวกัน เริ่มกระบวนการโดยกรดไขมันลิโนลีนิค (18: 3) เป็นสารตั้งต้น จากนั้นเพิ่มพันธะคู่โดย Δ6 Desaturase เปลี่ยนจาก 18: 3 เป็น 18: 4 เพิ่มคาร์บอน 2 อะตอม ผ่านกระบวนการ Elongation เปลี่ยน 18: 4 เป็น 20: 4 แล้วเพิ่มพันธะคู่โดย Δ5 Desaturase เปลี่ยนจาก 20: 4 เป็น 20: 5 เพิ่มคาร์บอน 2 อะตอม ผ่านกระบวนการ Elongation เปลี่ยน 20: 5 เป็น 22: 5 (DPA) และเพิ่มพันธะคู่โดย Δ4 Desaturase เปลี่ยนจาก 22: 5 เป็น 22: 6 (DHA)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

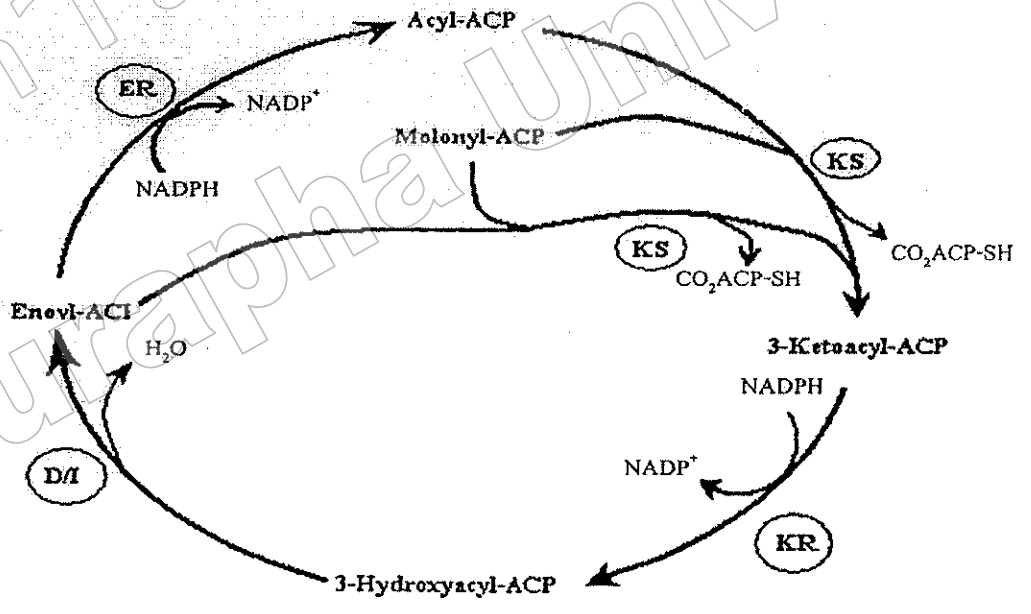
ซึ่งกระบวนที่กล่าวมาเป็นการสังเคราะห์กรดไขมันดีเอชเอใน *Thraustochytrium* แต่ในสัตว์พบว่ากระบวนการจะแตกต่างออกไปคือ จาก 20: 5 ทำการเพิ่มคาร์บอน 4 อะตอม เปลี่ยน 20: 5 เป็น 24: 5 เพิ่มพันธะคู่โดย Δ6 Desaturase เปลี่ยนจาก 24:5 เป็น 24: 6 และลดจำนวนคาร์บอน 2 อะตอม จากปฏิกิริยา β - Oxidation เป็นกรดไขมันดีเอชเอ (22: 6) (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 วิถีการสังเคราะห์กรดไขมันดีเอชเอแบบใช้ออกซิเจน (Desaturation และ Elongation) ใน *Thraustochytrium* และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Qui, 2003)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. วิถีการสังเคราะห์กรดไขมันดีเอชเอแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Pathway) เป็นวิถีการสังเคราะห์ที่ไม่ต้องการโมเลกุลของออกซิเจนเป็นโคแฟคเตอร์ในกระบวนการ พบการสังเคราะห์วิถีนี้ในแบคทีเรีย รา และทรอสโทคิทริดส์สกุล *Schizochytrium* การสังเคราะห์กรดไขมันผ่านวิถีนี้อาศัยการทำงานของเอนไซม์ Polyketide Synthase (PKS) การสังเคราะห์เกิดจากการรวมตัวกันของ Acyl-ACP และ Malonyl-ACP โดยเอนไซม์ 3-Ketoacyl-ACP Synthase เกิดเป็น 3-Ketoacyl-ACP จากนั้นผ่านกระบวนการ Ketoreduction โดยเอนไซม์ 3-Hydroxyacyl-ACP Reductase เป็น 3-Hydroxyacyl-ACP เกิดกระบวนการ Dehydration จาก 3-Hydroxyacyl-ACP เป็น Unsaturated Enoyl-ACP และเกิดกระบวนการ Reduction เป็น Saturated Acyl Chain (ภาพที่ 3) แต่เนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์กรดไขมันแบบไม่ใช้ออกซิเจนมักเกิดไม่ครบทั้งวงจร คือ อาจเกิดการข้ามกระบวนการ Dehydration และ Reduction ทำให้ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการนี้มีความหลากหลายทางด้านโครงสร้างและผลิตภัณฑ์ที่ได้มักประกอบด้วยหมู่ Keto หมู่ Hydroxyl และพันธะคู่ (Qui, 2003)



ภาพที่ 3 วิถีการสังเคราะห์กรดไขมันดีเอชเอแบบไม่ใช้ออกซิเจนของ *Schizochytrium* (ACP, Acyl Carrier Protein: KS, 3- Ketoacyl-ACP Synthase: KR, 3-Hydroxyacyl-ACP Reductase, D/ I, Bifuntional Dehydrase/ Isomerase: ER, Enoyl- ACP Reductase) (Qui, 2003)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ทรอสโทคิทริดส์ (Thraustochytrids)

1. ลักษณะทั่วไปของทรอสโทคิทริดส์

ทรอสโทคิทริดส์มีรูปร่างเป็นทรงกลมเดี่ยว ๆ ประกอบด้วยส่วนเอคโตพลาสมิคเนท (Ectoplasmic Net) สำหรับการดูดซึมธาตุอาหารและขนส่งเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยและยึดติดกับซับสเตรท ผลิตมาจากส่วนที่เรียกว่าซาจีโนเจน (Sagenogen) (Alderman, Harrison, Bremer & Jones, 1974; Chilton, 1995; Honda et al., 1998) ลักษณะของเอคโตลาสมิคเนทของทรอสโทคิทริดส์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ช่วงการสืบพันธุ์ส่วนหนึ่งของทัลลัสมีการเปลี่ยนเป็นโครงสร้างสืบพันธุ์ (Eucarpic) ขนาดของซูโอสปอร์แรงเจียมอาจมีขนาดเล็กตั้งแต่ 5 ไมโครเมตรหรืออาจมีขนาดใหญ่ถึง 120 ไมโครเมตร ช่วงการสร้างซูโอสปอร์ภายในซูโอสปอร์แรงเจียม พบโปรโตพลาสซึมและนิวเคลียสจำนวนมาก เมื่อเจริญเต็มที่โปรโตพลาสซึมจะห่อหุ้มแต่ละนิวเคลียส ซูโอสปอร์ทรอสโทคิทริดส์มีรูปร่างกลมหรือรีตามแนวยาว ด้านข้างพบแฟลกเจลลา 2 เส้น แฟลกเจลลาเส้นแรกมีขนาดยาวอยู่ด้านหน้าเป็นแบบทินเซิล (ภาพที่ 4) ทำหน้าที่ในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าแฟลกเจลลาเส้นที่สองอยู่ด้านหลังมีลักษณะเรียบมีขนาดสั้นกว่าเส้นแรกใช้สำหรับเคลื่อนที่ย้อนกลับ (Alderman et al., 1974; Porter, 1989; อนุเทพ ภาสุระ, 2541)

ภาพที่ 4 (I) ลักษณะขนแบบทินเซิล และ (II) ผนังเซลล์ทรอสโทคิทริดส์ (Honda et al., 1998)

การปล่อยซูโอสปอร์เกิดจากการเกิดช่อง รู หรือการฉีกขาด สูญสลายของผนังเซลล์ของซูโอสปอร์แรงเจียม (Alderman et al., 1974) จากนั้นซูโอสปอร์จะว่ายน้ำในระยะทางสั้น ๆ เมื่อพบซับสเตรทที่เหมาะสม ซูโอสปอร์จะสลัดหางทิ้ง ก่อนลงเกาะซับสเตรทและเจริญเป็นเซลล์ปกติ (Vegetative Cell) และเข้าสู่วงจรชีวิตช่วงต่อไป (Bowles, 1997) การจัดจำแนกชนิดของทรอสโทคิทริดส์สามารถใช้การสร้างและการปล่อยซูโอสปอร์จากเซลล์แม่ ร่วมกับลักษณะทางสัณฐานวิทยา เช่น รูปร่าง ขนาดของเซลล์ และวงจรชีวิต

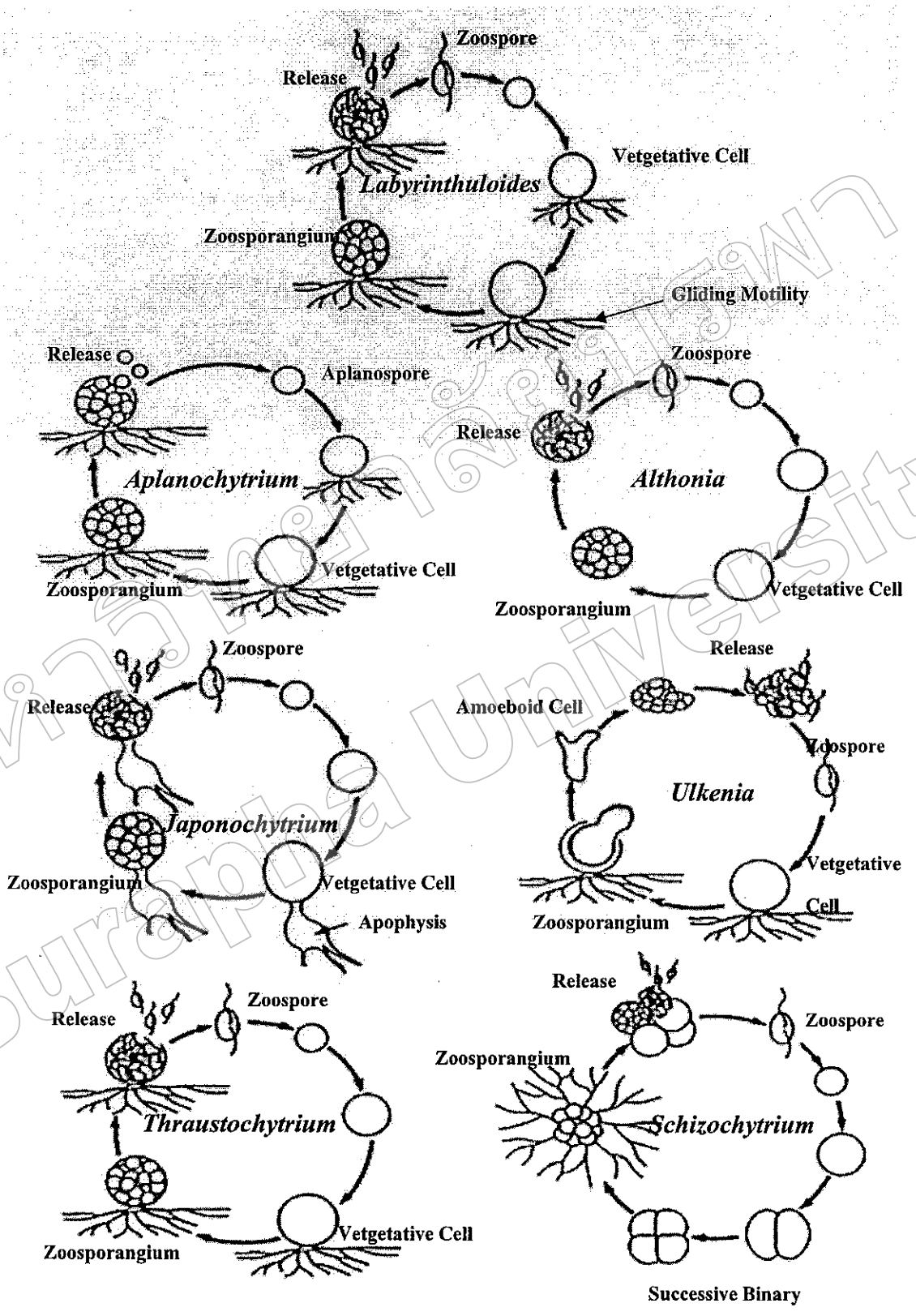
2. การจัดจำแนกทรอสโทคิทริดส์

Sparrow (1973) ได้จัดทรอสโทคิทริดส์ไว้ในกลุ่ม Oomycetes (Saprolegniales) และได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า เป็นกลุ่มราทะเลที่มีความต้องการเกลือ ทัลลัสเมื่อเจริญพันธุ์บางส่วนจะพัฒนาเป็นเซลล์สืบพันธุ์ (Eucarpic) มีส่วนร่างแหภายนอกเซลล์หรือเอคโตพลาสมิคเนท (Ectoplasmic net) สร้างโดยซาจีโนเจน (Sagenogen) สปอร์แรงเจียม (Sporangium) ประกอบด้วยผนังหลายชั้น ผลิตซูโอสปอร์ (Zoospore) หรืออะพลาโนสปอร์ (Aplanospore) ไม่พบการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศและการพักตัว (Alderman et al., 1974) เริ่มแรก Sparrow จัดทรอสโทคิทริดส์ไว้ในไฟลัม Oomycota โดยใช้ลักษณะของซูโอสปอร์ที่มีรูปร่างคล้ายเมล็ดถั่วและมีแฟลกเจลลา 2 เส้นในการจัดจำแนก ต่อมา Olive (1975) ได้จัดทรอสโทคิทริดส์อยู่ในไฟลัม Labyrinthulidae โดยใช้พื้นฐานองค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์และโครงสร้างภายในเซลล์ (Ultrastructure) เป็นตัวจัดจำแนก (Honda et al., 1998) การจัดจำแนกทรอสโทคิทริดส์ได้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงระยะเวลาและกลุ่มผู้จัดจำแนก (Porter, 1989) Honda (2001a) ได้ทำการจัดจำแนกกลุ่มทรอสโทคิทริดส์ดังนี้

Kingdom Chromista
Phylum Sagenista
Class Labyrinthulea
Order Labyrinthulales
Family Thraustochytriaceae

ทรอสโทคิทริดส์พบทั้งหมด 7 สกุล คือ *Thraustochytrium, Japonochytrium, Schizochytrium, Althonia, Aplanochytrium, Ulkenia* และ *Labyrinthuloides* (Honda, 2001a) (ภาพที่ 5)

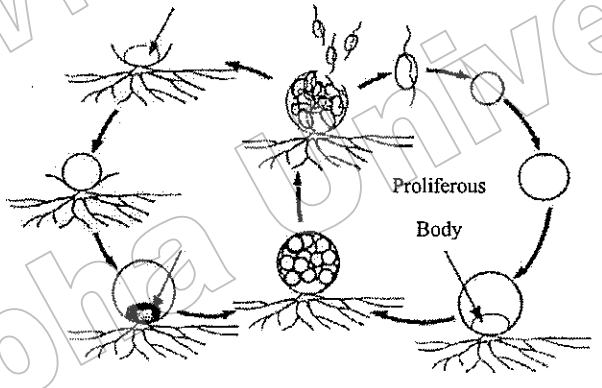
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 5 วงจรชีวิตของทรอสโทคิทริดส์ (Honda, 2001)

3. การจัดจำแนกทรอสโทคิทริดส์ ทรอสโทคิทริดส์พบทั้งสิ้น 7 สกุล ดังนี้

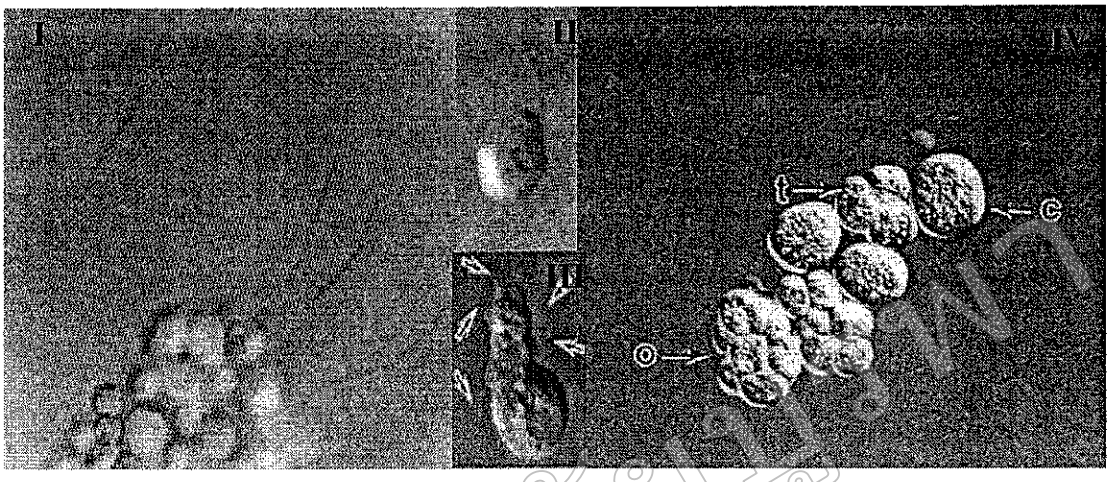
Thraustochytrium ทัลลัสมีรูปร่างกลมขนาดเล็ก ผนังเซลล์มีหลายชั้น ทัลลัสส่วนล่างมีส่วนของเอคโตพลาสมิคเน็ทใช้ในการยึดติดกับซับสเตรทซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ ผลิตโดยซาจีโนเจน (Alderman et al., 1974; Porter, 1989) ภายในซูโอสปอร์แรงเจียมมีการสร้างผนังกั้นเรียกส่วนนี้ว่าพรอลิเฟอรัสบอดี้ (Proliferous Body) (ภาพที่ 6) ซึ่งถือเป็นลักษณะเด่นของสกุลนี้และ *Thraustochytrium* แต่ละชนิดจะมีจำนวนพรอลิเฟอรัสแตกต่างกันไป เช่น *Thraustochytrium kinner* พบเพียง 1 พรอลิเฟอรัส แต่ *T. multirudimentale* พบพรอลิเฟอรัสจำนวนมาก และบางชนิดกลับไม่พบการสร้างเพอริเฟอรัสเลย เช่น *T. roesum* ซูโอสปอร์แรงเจียมของ *Thraustochytrium* ผลิตซูโอสปอร์ 50-100 ซูโอสปอร์ การปล่อยซูโอสปอร์เกิดจากแรงดันภายในทำให้ผนังเซลล์แม่แตกออก (Alderman et al., 1974) โดยหลังการปล่อยซูโอสปอร์แล้ว พบว่าส่วนของพรอลิเฟอรัสยังคงอยู่และสร้างซูโอสปอร์แรงเจียมขึ้นมาใหม่ (Honda, 2001)



ภาพที่ 6 วงจรชีวิตและส่วนเพอริเฟอรัสของ *Thraustochytrium* sp. (Honda, 2001a)

Schizochytrium เซลล์ปกติมีรูปร่างกลม อาจอยู่เป็นเซลล์เดี่ยว ๆ หรือหลายเซลล์เกาะรวมกันเป็นกลุ่ม มีส่วนของเอคโตพลาสมิคเนทยึดเกาะกับซับสเตรท (Raghumar, 1988) ซูโอสปอร์แรงเจียมมีการแบ่งครึ่งเซลล์แบบทวีคูณ (Successive Binary Division) จำนวน 4-5 ครั้ง ซึ่งแต่ละเซลล์จะผลิตซูโอสปอร์ และในชนิด *S. limacinum* พบว่าบางเซลล์มีลักษณะแบบอะมิบอยด์เซลล์ (Amoeboid Cell) คือเซลล์มีรูปร่างยาวขึ้น (Elongate) และหดตัวเป็นทรงกลมก่อนแบ่งตัวสร้างซูโอสปอร์ (Honda et al., 1998) ซูโอสปอร์มีรูปร่างรีหรือเกือบกลมมีแฟลกเจลลา 2 เส้นทางด้านข้าง การปล่อยซูโอสปอร์เกิดจากส่วนปลายของซูโอสปอร์แรงเจียมฉีกขาดออก (Alderman et al., 1974; Honda, 1998) (ภาพที่ 7)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 7 (I) เอคโตพลาสมิคเนทจากเซลล์ปกติ

(II) ลักษณะซูโอสปอร์

(III) อะมิบอยด์เซลล์ของ *Shizochytrium limacinum* (Honda et al., 1998)

(IV) ซูโอสปอร์แรงเจียมของ *Schizochytrium mangrovei* (C = Mature Cell, T = Tetrad, O = Octad) (Leano, 2001a)

Japonochytrium ทัลลัสมีรูปร่างกลม ส่วนล่างยึดติดกับซับสเตรทโดยส่วนของเอคโตพลาสมิคเนทที่มีลักษณะบวมพองออก ถือเป็นลักษณะเด่นของสกุลนี้ เรียกส่วนนี้ว่า อะโพฟิซิส (Apophysis) ซูโอสปอร์แรงเจียมผลิตซูโอสปอร์ที่มีแฟลกเจลลา 2 เส้น การปล่อยซูโอสปอร์เกิดจากรูหรือช่องว่างของซูโอสปอ์แรงเจียม (Alderman et al., 1974)

Ulkenia เป็นกลุ่มที่ย้ายมาจากสกุล *Thraustochytrium* มีรูปร่างกลม ผนังเซลล์บาง การสืบพันธุ์ เซลล์แม่จะสร้างอะมิบอยด์เซลล์และปล่อยอะมิบอยด์เซลล์ออกมา จากนั้นอะมิบอยด์เซลล์จะสร้างซูโอสปอร์ที่มีแฟลกเจลลา 2 เส้น เมื่อซูโอสปอร์เจริญเต็มที่จะดันจนผนังเซลล์แม่แตกออก (Hunt, 2000)

Aplanochytrium เป็นอีกกลุ่มที่ย้ายมาจากกลุ่ม *Thraustochytrium* ทัลลัสมีรูปร่างกลม ซูโอสปอร์แรงเจียมสร้างสปอร์รูปร่างกลม ไม่พบส่วนของแฟลกเจลลา เรียกว่า อะพลาโนสปอร์ (Aplanospore) จำนวน 50-100 สปอร์ ซึ่งถือเป็นลักษณะเด่นของสกุลนี้ (Alderman et al., 1974) การปล่อยซูโอสปอร์เกิดจากการขยายขนาดของสปอร์จนผนังเซลล์แม่แตกออก (Porter, 1989)

Althonia ซูโอสปอร์แรงเจียมมีรูปร่างกลมล่องลอยเป็นอิสระ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20-120 ไมโครเมตร ไม่พบส่วนของเอคโตพลาสมิคเนท ผนังเซลล์มีความหนา 3-8 ไมครอน (Alderman and Jones, 1971) ซูโอสปอร์แรงเจียมผลิตซูโอสปอร์ที่มีแฟลกเจลลา 2 เส้น จำนวน 10-100 ซูโอสปอร์ การปล่อยซูโอสปอร์เกิดจากการเสื่อมสลายของผนังเซลล์ซูโอสปอร์แรงเจียม

หลังปล่อยออกจากเซลล์แม่ซูโอสปอร์จะเคลื่อนที่เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 36 ชั่วโมง เมื่อพบซับสเตรทที่เหมาะสมจะสลัดหางออกและเจริญเป็นเซลล์ปกติ ซึ่งจีนัสนี้ไม่พบระยะลงเกาะ (Jones & Alderman, 1971)

Labyrinthuloides ทัลลัสมีรูปร่างกลม มีส่วนของเอคโตพลาสมิคเนทซึ่งใช้ในการเคลื่อนที่ (Honda, 1998; Leander & Porter, 2000) การเคลื่อนที่เป็นแบบคืบคลานซึ่งถือเป็นลักษณะเด่นของสกุลนี้ ซูโอสปอร์แรงเจียมผลิตซูโอสปอร์ที่มีแฟลกเจลลา 2 เส้น เมื่อเซลล์เจริญเติบโตเต็มที่ก็จะถูกปล่อยออกจากเซลล์แม่ (Porter, 1989; Leander & Porter, 2000)

บทบาทของทรอสโทคิทริดส์ยังไม่เป็นที่เข้าใจทั้งหมด แต่ในทางนิเวศวิทยา พบว่าทรอสโทคิทริดส์เป็นผู้ย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้เกิดการหมุนเวียนของแร่ธาตุในระบบนิเวศ และพบว่าบางกลุ่มเป็นปรสิต เช่น หอย หมึก และฟองน้ำ (Alderman & Jones, 1971)

4. การแพร่กระจายทรอสโทคิทริดส์

ทรอสโทคิทริดส์เป็นจุลินทรีย์ที่พบได้ทั่วไปตามแหล่งน้ำเค็ม เช่น ปากแม่น้ำชายฝั่งทะเล อ่าว และมหาสมุทรทั่วโลก (Bremer, 1974; Bahnweg, 1979; Chilton, 1995) โดยพบทั้งในดิน น้ำ พืช สาหร่าย ซากเน่าเปื่อย (Porter, 1989; Chilton, 1995) และบางชนิดเป็นปรสิตของหอย หมึก และฟองน้ำ (Alderman & Jones, 1971; Porter, 1989) การแพร่กระจายของทรอสโทคิทริดส์มีการศึกษาดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ทรอสโทคิทริดส์ที่พบจากซับสเตรท และสถานที่ที่แตกต่างกัน

ชนิด	ซับสเตรท	สถานที่	ผู้ค้นพบ
Thraustochytrium proliferium	สาหร่ายทะเล (*Bryopsis plumose*)	Woods Hole, Massahusetts, USA	Sparrow (1936) อ้างตาม Behnweg (1979)
Schizochytrium aggregatum	น้ำทะเล	Long Island Sound, New Heaven, Connecticut, USA	Goldstein and Belsky (1964) อ้างตาม Behnweg (1979)
Althornia crouchii	หอยนางรม (*Ostrea edulis*)	Althorne Creek, River Crouch, Essex, UK	Jones and Alderman (1971)
Thraustochytium striatum และ *S. mangrovei*	เมล็ดสน (pine pollen)	Mangrove, Goa, India	Raghukumar (1992)
Ulkenia visurgensis และ *Labylinthuloides minuta*	สาหร่ายทะเล (*Sargassum cinereum*)	Dona Paula Jetty, Goa, India	Sharma et al. (1994)
S. limacinum	น้ำทะเล	Mangrove area in, West Pacific Ocean	Honda et al. (1998)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชนิด	ซับสเตรท	สถานที่	ผู้ค้นพบ
T. roseum	ดิน	Lang Island, Papua New Guinei	Ulken (1981)
S. mangrovei, T. striatum และ *Ulkenia* KF-13	ใบรังกะแท้ (*Kandelia candel*)	Mai Po, Three Fathoms Cove and Tingkok, Hong Kong	Fan, Chan, Jones and Vrijmoed (2000)
Aplanochytrium sp. SC1 - 1	ใบไม้ป่าชายเลน	Sweetings Cay, Bahamas	Leander, Porter and Leander (2004)
S. mangrovei, *S. limacinum*, *Schizochytrium* spp., *Ulkenia* spp. and Unknown 1	ใบไม้ป่าชายเลน	Eastern Coast of Gulf of Thailand	Jaritkhuan, Suanjit and Manthachitra (2004)
S. mangrovei, *S. limacinum*, *Schizochytrium* sp.1, *Schizochytrium* sp.2, *Schizochytrium* sp.4, *Schizochytrium* sp.6, *Ulkenia* sp. 1, *Ulkenia* sp. 2, *Ulkenia* sp. 3 และ Unknown 2	ใบไม้ป่าชายเลน	บ้านเปร็ดใน จังหวัดตราด	ศุภพิชญ์ บุญแต่ง (2548)

ป่าชายเลน

ป่าชายเลนเป็นกลุ่มสังคมพืชที่ขึ้นอยู่ตามแนวชายฝั่งที่มีลักษณะดินเป็นดินเลน และมีน้ำทะเลท่วมถึงสม่ำเสมอ พบได้บริเวณปากแม่น้ำ ปากอ่าว ทะเลสาบ และบริเวณรอบเกาะต่าง ๆ ระบบนิเวศป่าชายเลน เป็นระบบนิเวศที่เชื่อมโยงระหว่างบกกับทะเล เกิดเป็นระบบนิเวศที่มีลักษณะเฉพาะ สิ่งมีชีวิตที่พบนอกจากพันธุ์ไม้ป่าชายเลนชนิดต่าง ๆ เช่น โกงกาง แสม ลำพูเป็นต้น ยังมีสิ่งมีชีวิตอื่นอาศัยร่วมเป็นจำนวนมาก เช่น จุลินทรีย์ สาหร่าย แพลงก์ตอน เป็นต้น ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ป่าชายเลนอุดมสมบูรณ์เนื่องจากมีความหลากหลายของถิ่นที่อยู่และความอุดมสมบูรณ์ของอาหารที่ได้จากการย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์ เศษใบไม้ร่วงหล่นกลายเป็นแหล่งอาหารปฐมภูมิสำหรับผู้บริโภคขั้นต้นในห่วงโซ่อาหารของป่าชายเลน (ศิริลักษณ์ ช่วยพนัง, 2543) ป่าชายเลนของประเทศไทยมีอยู่กระจัดกระจายตามชายฝั่งทะเลภาคใต้ ภาคกลาง และภาคตะวันออก ประเทศไทยมีพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมดประมาณ 1,054,194 ไร่ ภาคกลาง 2.2% ภาคตะวันออก 7.7% และภาคใต้ 89.1% (สุพรรณี อัศวศิริเลิศ, 2541)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ป่าชายเลนประกอบด้วยพืชหลายชนิด พันธุ์ไม้โดยส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ไม้ไม่พลัดใบ และมีลักษณะทางสรีระวิทยาและการปรับตัวทางโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน พืชที่ขึ้นอยู่ในป่าชายเลนเป็นพวกที่ทนทานต่อสภาพความเค็มได้ดี (สนิท อักษรแก้วและคณะ, 2541) พันธุ์ไม้ในป่าชายเลนพบส่วนใหญ่แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พันธุ์ไม้ที่สำคัญในป่าชายเลน (ณิฏฐารัตน์ ปภาวสิทธิ์และคณะ, 2546)

ชื่อไทย	ชื่อวิทยาศาสตร์
โกงกางใบใหญ่	*Rhizophora mucronata*
โกงกางใบเล็ก	*Rhizophora apiculata*
แสมขาว	*Avicennia alba*
แสมดำ	*Avicennia officinalis*
แสมทะเล	*Avicennia marina*
ลำแพน	*Sonneratia ovata*
พังกาหัวสุมดอกแดง	*Bruguiera gymnorrhiza*
โปรงขาว	*Ceriops decandra*
ตะบูนขาว	*Xylocarpus granatum*

การกระจายของพันธุ์ไม้ในป่าชายเลนมีความแตกต่างจากพันธุ์ไม้ในป่าบกอย่างชัดเจน เนื่องจากป่าชายเลนมีปัจจัยหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง ได้แก่ การขึ้นลงของน้ำทะเล การท่วมถึงของน้ำทะเลแต่ละพื้นที่ ลักษณะของดิน คุณภาพน้ำความเค็มเป็นต้น (สนิท อักษรแก้ว, 2541; ณิฏฐารัตน์ ปภาวสิทธิ์ และคณะ, 2546) การแบ่งเขตพันธุ์ไม้ป่าชายเลนของประเทศไทย มีการศึกษาจากบริเวณชายฝั่งลึกเข้าไปด้านในสุดจดป่าบก พอสรุปได้ดังนี้

โซนแรก เป็นพวกไม้ป่าโกงกาง ทั้งโกงกางใบเล็กและโกงกางใบใหญ่ ซึ่งเป็นบริเวณที่ใกล้กับชายฝั่งน้ำ

โซนที่สอง เป็นบริเวณที่ถัดจากไม้โกงกาง เป็นไม้แสมและประสัก ซึ่งแสมบางครั้งก็พบว่าขึ้นอยู่ติดกับชายฝั่งน้ำ

โซนที่สาม เป็นโซนที่ลึกเข้าไปจากโซนแสมและประสัก พบกลุ่มไม้ตะบูนขึ้นอย่างหนาแน่น พบว่าดินบริเวณนี้มีลักษณะแข็ง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โซนสุดท้าย เป็นพื้นที่ซึ่งเป็นดินเลนแข็ง และเป็นบริเวณที่มีน้ำท่วมถึงในบางครั้งเฉพาะเวลาที่ระดับน้ำทะเลขึ้นสูงสุดเท่านั้น คือโซนของไม้เสม็ดจะขึ้นอย่างหนาแน่น ซึ่งโซนนี้ถือเป็นแนวติดต่อระหว่างป่าชายเลนและป่าบก (สนิท อักษรแก้ว, 2541)

พืชที่อาศัยอยู่ในป่าชายเลนล้วนแต่เป็นผู้ผลิตขั้นต้นในระบบนิเวศทางทะเล จากส่วนของใบที่ร่วงหล่นทับถมกัน การย่อยสลายเศษซากอินทรีย์วัตถุของแบคทีเรียและราถือว่ามีความสำคัญในการเพิ่มธาตุอาหารต่อระบบอย่างมาก (Sarma & Vittal, 2000) ทรอสโทคิทริดส์มีหน้าที่เป็นผู้ย่อยซากพืช ซากสัตว์ ซึ่งมีบทบาทอย่างมากในการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากการย่อยสลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งใบไม้ที่ร่วงหล่นในป่าชายเลน ซึ่งพบว่าทรอสโทคิทริดส์เป็นกลุ่มแรกที่เข้าทำการย่อยสลาย ก่อนที่จะมีการย่อยสลายจากจุลินทรีย์กลุ่มอื่น (Raghukumar, 1988; Chilton, 1995) และ Ulken (1981b) รายงานการพบเอนไซม์อะไมเลส เซลลูเลสและโพลีกาแลคทูโอเนส ที่ *Schizochytrium mangrovei* ใช้ในการย่อยสลายใบไม้ป่าชายเลน หลังการย่อยสลายทรอสโทคิทริดส์จะปลดปล่อยธาตุอาหารในรูปสารอินทรีย์คืนสู่ระบบและตัวทรอสโทคิทริดส์เองยังเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตอื่นในบริเวณนั้นอีกด้วย (Honda, 2001b)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทรอสโทคิทริดส์เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตกรดไขมันกลุ่มดีเอชเอได้สูงถึง 30-40 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด (Bowles, 1997) และการควบคุมคุณภาพของกรดไขมันและปริมาณดีเอชเอทำได้ง่ายและสะดวกกว่ากรดไขมันจากปลาทะเล อีกทั้งทรอสโทคิทริดส์เป็นจุลินทรีย์ที่พบได้ทั่วไปตามแหล่งน้ำเค็มทั่วทุกมุมโลก (Chilton, 1995; Bowles, 1997) ทำให้นักวิทยาศาสตร์มีความสนใจศึกษาทรอสโทคิทริดส์ เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการผลิตกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกลุ่มโอเมก้า- 3 ทดแทนแหล่งผลิตเดิม

ทรอสโทคิทริดส์เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่พบได้โดยทั่วไปบริเวณป่าชายเลนทั่วทุกมุมโลก เช่น อินเดีย (Raghukumar, 1992) ญี่ปุ่น (Honda et al., 1998) ฮ่องกง (Fan, Vrijmoed, & Jones, 2000) ฟิลิปปินส์ (Leano, 2001) มาเลเซีย (Bremer, 1995) และไทย (Jaritkhuan, Suanjit, & Manthachitra, 2004) เป็นต้น

Raghukumar (1988) พบทรอสโทคิทริดส์ชนิดใหม่คือ *S. mangrovei* จากใบไม้ป่าชายเลนที่กำลังย่อยสลาย จากป่าชายเลน Goa ในประเทศอินเดีย พบว่ามีแตกต่างจาก *Schizochytrium* ชนิดอื่น คือหลังจากเซลล์มีการแบ่งตัวแบบ Binary Division แต่ละเซลล์จะพัฒนาเป็นซูโอสปอร์ ในขณะที่ *Schizochytrium minutum, S. octosprum* และ *S. aggregatum* หลังจากแบ่งเซลล์พบว่าแต่ละเซลล์จะพัฒนาเป็นซูโอสปอร์แรงเจียมและผลิตซูโอสปอร์ 2-64 ซูโอสปอร์

Honda et al. (1998) รายงานพบทรอสโทคิทริดส์ชนิดใหม่คือ *S. limacinum* จากตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณป่าชายเลน แถบมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตก ในประเทศญี่ปุ่น และได้มีการศึกษาวงจรชีวิตพบว่ามีลักษณะคล้าย *S. aggregatum* แต่ *S. limacinum* พบระยะการสร้างอะมิบอยด์เซลล์ในอาหารแข็งและในน้ำทะเลที่ไม่เติมอาหาร ในขณะที่ *Schizochytrium* ชนิดอื่นไม่พบลักษณะดังกล่าว

Leano (2001) เก็บตัวอย่างใบไม้ป่าชายเลน 11 ชนิด จากป่าชายเลน Panay ประเทศฟิลิปปินส์ พบทรอสโทคิทริดส์ 85-100% จากตัวอย่างใบไม้ทุกชนิดที่ทำการศึกษา โดยชนิดทรอสโทคิทริดส์ที่พบสูงสุดคือ *S. mangrovei* (40-100% จากตัวอย่างใบไม้ทั้งหมด) นอกจากนี้ยังพบ *Thraustochytrium* sp. แต่คัดแยกได้เฉพาะจากใบตะบูนขาวและโกงกางใบเล็ก

Leano (2002) พบว่ากลุ่ม Straminipilous เป็นกลุ่มแรกที่เข้าทำการย่อยสลายใบไม้ป่าชายเลน หลังจากที่ร่วงลงน้ำและพบว่ามีความสัมพันธ์ทุกช่วงของการย่อยสลายใบไม้ (Bremer, 1995) เนื่องจากทรอสโทคิทริดส์ทนทานต่อสารฟีนอลิกที่ใบไม้ป่าชายเลนขับออกมาช่วงการย่อยสลายและมีรายงานพบว่าทรอสโทคิทริดส์สามารถผลิตเอนไซม์ เซลลูเลส โพลีกาแลคทูโรเนส และอะไมเลส ที่มีความสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในใบไม้ป่าชายเลน (Raghukamar et al., 1994) และ *S. mangrovei* เป็นทรอสโทคิทริดส์ชนิดที่พบมากที่สุดจากป่าชายเลนทั้งในเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน (Leano, 2002)

Fan and Jones (2002) พบทรอสโทคิทริดส์ 8 สายพันธุ์ คือ *Schizochytrium sp.* KF-1, *S. mangrovei* KF-12, KF-7, KF-12, *T. striatum* KF-9 และ *Ulkenia* KF-19 จากตัวอย่างใบไม้ที่ร่วงหล่นในป่าชายเลน ประเทศฮ่องกง นอกจากนี้ Fan, Chan, Jones and Vrijmoed (2000a) ได้มีการทดลองการตอบสนองทางเคมีของซูโอสปอร์ทรอสโทคิทริดส์ที่แยกได้จากป่าชายเลนประเทศฮ่องกง พบว่าซูโอสปอร์มีการตอบสนองสารสกัดที่ได้จากใบไม้ของพืชป่าชายเลนมากที่สุดโดยเฉพาะในใบพืชที่เริ่มแก่ ตามมาด้วยแป้ง และกรดอะมิโน ตามลำดับ

Sharma et al. (1994) พบ *Ulkenia visurgensis* และ *Labyrinthuloides minuta* จากตัวอย่างสาหร่ายทะเล *Sargassum cinereum* ที่ Dona Paula Jetty, Goa ประเทศอินเดีย และพบว่า *L. Minuta* เจริญได้ดีในสาหร่ายที่กำลังย่อยสลาย 14 วัน

Bongiorni (2004) เก็บตัวอย่างดินทรายบริเวณชายฝั่งทะเล Ligurian Sea ประเทศอิตาลีที่ระดับความลึก 5 เมตรจากผิวดิน พบความหนาแน่นทรอสโทคิทริดส์ 61 เซลล์ต่อพื้นที่ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร และในช่วงหลังฤดูฝนความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นเป็น 200 เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

นอกจากงานวิจัยเกี่ยวกับการคัดแยกทรอสโทคิทริดส์แล้วยังมีรายงานอีกจำนวนมากที่ศึกษาปริมาณกรดไขมันในทรอสโทคิทริดส์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Bajpai et al. (1991a) ศึกษาแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนที่เหมาะสมของ *Thraustochytrium aureum* ATCC 34304 พบว่า *T. aureum* ATCC 34304 เจริญได้ดีในอาหารที่มีกลูโคสและโซเดียมกลูตาเมต เป็นแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนตามลำดับ มีมวลชีวภาพเท่ากับ 3.8 กรัม/ ลิตร ปริมาณกรดไขมันดีเอชเอเท่ากับ 70.4 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักแห้ง และเมื่อนำมาทดลองเลี้ยงในอาหารสูตรต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็ว 300 รอบ/ นาที ภายใต้สภาวะให้แสง 40 ชั่วโมง จากการทดลอง 6 วัน ผลการศึกษาพบว่าสูตรอาหารที่ประกอบด้วยกลูโคส 20 กรัม โซเดียมกลูตาเมต 2 กรัม และ $(NH_4)_2SO_4$ 0.2 กรัม ให้ผลผลิตดีเอชเอสูงสุดเท่ากับ 280 มิลลิกรัม/ ลิตร (Bajpai et al.,1991b)

Nagahara et al. (1996) ศึกษา *Schizochytrium* sp. คัดแยกจากน้ำแนวปะการังบริเวณเกาะ Yap Islands ในประเทศญี่ปุ่น เลี้ยงในถังหมัก ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อาหารประกอบด้วยกลูโคส 60 กรัม Corn Steep Liquor 0.7 กรัม และ$(NH_4)_2SO_4$ 2 กรัม เป็นเวลา 56 ชั่วโมงมวลชีวภาพเท่ากับ 21 กรัม/ ลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์กรดไขมันพบสามารถผลิตกรดไขมันดีเอชเอได้สูงถึง 34 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด ผลผลิตดีเอชเอเท่ากับ 4.7 กรัม/ ลิตร

Bowles et al. (1998) เก็บตัวอย่างน้ำทะเล ดินและใบไม้ป่าชายเลน จาก 3 เขต คือ กึ่งเขตร้อน เขตอบอุ่นและเขตหนาว พบทรอสโทคิทริดส์ทั้งหมด 57 สายพันธุ์ จากทุกเขตที่ทำการศึกษา ปริมาณกรด ไขมันดีเอชเอที่พบอยู่ในช่วง 13.7-35.9 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด

Fan et al. (2000) ศึกษา *S. mangrovei* KF6 ในอาหารสูตรต่าง ๆ จากการทดลองพบว่า *S. mangrovei* KF6 เจริญดีที่สุดในอาหารที่ประกอบด้วยกลูโคส 60 กรัม และ ยีสต์สกัด 10 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็ว 200 รอบ/ นาที ในวันที่ 4 มวลชีวภาพเท่ากับ 15.2 กรัม/ ลิตร ปริมาณกรดไขมันดีเอชเอคือ 203.0 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักแห้ง ผลผลิตดีเอชเอเท่ากับ 3094.0 มิลลิกรัม/ ลิตร

Fan et al. (2001) นำทรอสโทคิทริดส์ 9 สายพันธุ์ที่คัดแยกได้จากใบรังกะแท้ จากป่าชายเลนประเทศฮ่องกง มาเพาะเลี้ยงในอาหารกลูโคส 60 กรัม ยีสต์สกัด 10 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็ว 200 รอบ/ นาที เป็นเวลา 5 วัน จากการศึกษาพบว่ามวลชีวภาพของ *S. mangrovei* (6.6-13.5 กรัม/ ลิตร) มีปริมาณสูงกว่า *T. stratum* KF9 (0.8 กรัม/ ลิตร) และ *Ulkenia* sp. KF13 (4.6 กรัม/ ลิตร) และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันพบว่า *S. mangrovei* มีปริมาณดีเอชเอสูงในช่วง 118.1-208.8 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง โดย *S. mangrovei* KF2 และ *S. mangrovei* KF6 เป็นสายพันธุ์ที่มีปริมาณดีเอชเอสูงสุดคือ 208.8 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักแห้ง (ผลผลิตดีเอชเอ 2778.9 มิลลิกรัม/ ลิตร) และ 204.3 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักแห้ง (ผลผลิตดีเอชเอ 2762.0 มิลลิกรัม/ ลิตร) ตามลำดับ

Yaguchi et al. (1997) เลี้ยง *Schizochytrium* sp. SR21 ในอาหาร 5 สูตร ที่มีความแตกต่างของแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนในถังหมัก ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็ว 300 รอบ/ นาที เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าสูตรอาหารที่ประกอบด้วย กลูโคส 120 กรัม Corn Steep Liquor 1.4 กรัม และ$(NH_4)_2SO_4$ 4 กรัม ให้มวลชีวภาพเท่ากับ 48.1 กรัม/ ลิตร และมีปริมาณกรดไขมันดีเอชเอเท่ากับ 276.5 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักแห้ง ผลผลิตดีเอชเอเท่ากับ 13.3 กรัม/ ลิตร

Bowles, Hunt, Bremer, Duchars and Eaton (1999) นำ *S. mangrovei* G13 ที่คัดแยกได้จากใบลำพูทะเล เลี้ยงในอาหารสูตรต่าง ๆ พบว่ามีผลผลิตดีเอชเอสูงสุดเท่ากับ 2.17 กรัม/ ลิตร เมื่อเลี้ยงในอาหารกลูโคส 40 กรัม ยีสต์สกัด 5 กรัม และโซเดียมซัลเฟต 20 กรัม ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบ/ นาที เป็นเวลา 107 ชั่วโมง

Kamlungdee and Fan (2003) ศึกษา *Schizochytrium* 5 สายพันธุ์ (N-1, N-2, N-5, N-6 และ N-9) ที่คัดแยกได้จากใบรังกะแท้ที่ร่วงหล่นในป่าชายเลนเกาะฮ่องกง นำมาเพาะเลี้ยงในอาหารกลูโคส 60 กรัม ยีสต์สกัด 10 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็ว 200 รอบ/ นาที เป็นเวลา 52 ชั่วโมง มวลชีวภาพอยู่ในช่วง 10.8-13.2 กรัม/ ลิตร และปริมาณกรดไขมัน ดีเอชเออยู่ในช่วง 157.9-203.6 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักแห้ง โดย *Schizochytrium* N-2 เป็นสายพันธุ์ที่มีมวลชีวภาพและปริมาณกรดไขมันสูงสุด

Sigh and Ward (1996) ศึกษาปริมาณกรดไขมัน *T. roseum* 28210 เพาะเลี้ยงในอาหารที่ประกอบด้วยแป้ง 25 กรัม ยีสต์สกัด 2 กรัม โซเดียมกลูตาเมต 2 กรัม และ $(NH_4)_2SO_4$ 0.2 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็ว 200 รอบ/ นาที มีมวลชีวภาพและผลผลิตดีเอชเอสูงสุดเท่ากับ 10.4 กรัม/ ลิตร และ 1061 มิลลิลิตร/ ลิตร ตามลำดับ

Singh, Wilson and Ward (1996) ทำการศึกษาปริมาณกรดไขมัน *Thraustochytrium* และ *Schizochytrium* 5 สายพันธุ์ คือ *Thraustochytrium* sp. 20890, *Thraustochytrium* sp. 20891, *Thraustochytrium* sp. 20892, *Schizochytrium* sp. 20888 และ *Schizochytrium* sp. 20889 เพาะเลี้ยงในอาหาร กลูโคส 20 กรัม, $(NH_4)_2SO_4$ 0.2 กรัม และโซเดียมกลูตาเมต 2 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็ว 200 รอบ/ นาที ผลการศึกษาพบว่า *Thraustochytrium* sp. 20892 มีปริมาณกรดไขมันดีเอชเออยู่ในช่วง 157.9-203.6 มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักแห้ง (ผลผลิตดีเอชเอสูงสุดเท่ากับ 67.6 มิลลิกรัม/ ลิตร)

Yokochi et al. (1998) ศึกษาแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญและปริมาณกรดไขมันของ *S. limacinum* SR21 ผลการศึกษาพบว่า *S. limacinum* SR21 ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารกลูโคส 90 กรัม (แหล่งคาร์บอน) และ Corn Steep Liquor 20 กรัม (แหล่งไนโตรเจน) โดยให้ผลผลิตดีเอชเอสูงสุด คือ 4.2 กรัม/ ลิตร

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Li and Ward (1994) ศึกษาปริมาณกรดไขมัน *Thraustochytrium* 3 สายพันธุ์ ในอาหารที่ประกอบด้วยแป้ง 2.5 % และยีสต์สกัด 0.2 % ภายใต้แสงฟลูออเรสเซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็ว 250 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 วัน ผลการศึกษาพบว่ามวลชีวภาพอยู่ในช่วง 9.7-10.3 กรัม/ ลิตร ส่วนปริมาณกรดไขมันดีเอชเอ พบว่าสายพันธุ์ *T. roseum* 28210 มีผลผลิตดีเอชเอสูงสุดเท่ากับ 0.85 กรัม/ ลิตร

Wu, Yu and Lin (2005) ศึกษาผลของแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนต่อมวลชีวภาพและปริมาณกรดไขมันดีเอชเอของ *S. limacinum* sp. S31 ผลการศึกษาพบว่า *S. limacinum* sp. S31 มีมวลชีวภาพและปริมาณดีเอชเอสูงสุดในสูตรอาหารกลูโคส 20 กรัม และยีสต์สกัด 4 กรัมโดยมีมวลชีวภาพและปริมาณกรดไขมันดีเอชเอเท่ากับ 5.9 กรัม/ ลิตร และ 328 มิลลิกรัม/ ลิตร ตามลำดับ

นอกจากนี้ได้มีรายงานการนำจุลินทรีย์กลุ่มทรอสโทคิทริดส์คือ *Schizochytrium* sp. ซึ่งมีปริมาณไขมันดีเอชเอ 30-40 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด มาประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยนำมาทำอาหารเสริมให้กับอาร์ทีเมีย พบว่าอาร์ทีเมียที่ได้รับการเสริมทรอสโทคิทริดส์ลงในอาหารมีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า-3 เพิ่มขึ้น (Barclay & Zeller, 1996) และ Jaritkhun (2001) พบว่าอาร์ทีเมียกลุ่มที่มีการเสริม *Schizochytrium* MP3 มีปริมาณกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า-3 สูงกว่าอาร์ทีเมียที่เสริมด้วย *Chaetoceros* และน้ำมันตับปลา และเมื่อนำอาร์ทีเมียกลุ่มดังกล่าวมาเป็นอาหารของลูกปลาและกุ้งวัยอ่อน พบว่าลูกปลาและกุ้งวัยอ่อนมีปริมาณกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า-3 สูงขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University