บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเพิ่มขึ้นของประชากร และการพัฒนาทางเศรษฐกิจ ทำให้มีความต้องการในการใช้พลังงานและแหล่งอาหารโดยรวมเพิ่มขึ้น แหล่งพลังงานจากถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม เป็นแหล่งพลังงานที่มีปริมาณจำกัด มีความผันแปรของราคาสูง และการเผาไหม้แหล่งพลังงานเหล่านี้ ยังมีผลต่อการเกิดภาวะเรือนกระจก (green house gases) เนื่องจากมีการปล่อย CO_2, SO_2 และ NO_x ปัจจุบันแหล่งพลังงานทางเลือกได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก และมีหลายทางเลือกทั้งพลังงานนิวเคลียร์ แสงอาทิตย์ ไฮโดรเจน ลม และ biofuels (Patil, 2008) โดย biofuel เป็นพลังงานที่ได้จากสิ่งมีชีวิต อาจอยู่ในรูปของแข็ง ของเหลว หรือแกส

ได้มีการใช้ biofuel มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 โดยได้มาจากผลิตผลทางการเกษตร แต่ในช่วงต้นศตวรรษที่ 20 เมื่อน้ำมันปิโตเลียมราคาถูกลง ความนิยมใน biofuel จึงลดลง แต่หลังจากนั้นก็ได้รับความสนใจอีกครั้งเพราะต้องการแก้ปัญหาเรื่องโลกร้อนจากภาวะเรือนกระจกและปัญหาจากราคาที่ผันผวนของปิโตรเลียม ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการหันมาเลือกใช้วัตถุดิบทางการเกษตรเป็นแหล่งผลิต biofuel

แต่อย่างไรก็ตามการใช้ผลิตผลทางการเกษตรมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต biofuel นั้นได้รับการวิพากษ์วิจารณ์ในหลายด้าน ทั้งด้านการใช้พื้นที่ปริมาณมากในการปลูกพืช รวมทั้งผลิตผลหลายชนิด เช่นปาล์มน้ำมัน อ้อย ข้าวโพด นั้น เดิมล้วนใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์หรืออาหารสำหรับมนุษย์ เมื่อวัตถุดิบจำนวนมากถูกเปลี่ยนไปเป็น biofuel แทน จึงทำให้ราคาของผลิตภัณฑ์สำหรับการบริโภคของมนุษย์สูงขึ้น นอกจากนี้แม้ในทางสิ่งแวดล้อม biofuel จะทำให้อากาศสะอาดขึ้นเมื่อเทียบกับควันการเผาไหม้จากน้ำมันธรรมดา แต่กระแสต่อต้าน biofuel คือการเป็นห่วงความสิ้นเปลืองของการใช้พืชเกษตรที่อาจต้องตัดไม้ทำลายป่าเพิ่มขึ้นมาก เพื่อหาที่เพาะปลูกสมบูรณ์พอเพียง

2.1 ไบโอดีเซล (Biodiesel)

Biodiesel เป็นประเภทหนึ่งของ biofuel ซึ่งอยู่ในรูปของเหลว ในระดับอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเป็นการนำน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นไตรกลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ เช่น เอทานอลหรือเมทานอล ในปริมาณที่มากมาทำปฏิกิริยาเคมี ทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น (Transesterification) โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อเกิดการรวมพันธะของไตรกลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ เปลี่ยนวัตถุดิบตั้งต้นไปเป็นเอทิลเอสเทอร์ (FAEs) หรือเมทิลเอสเทอร์ (FAMEs) และมีกลีเซอรีนเป็นผลพลอยได้ ซึ่งเอสเทอร์มีคุณสมบัติที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด ข้อดีคือค่าซีเทน (cetane ค่าดัชนีการจุดติดไฟ) สูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ติดเครื่องดี การสันดาปสมบูรณ์ เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์น้อย ไม่มีควันดำและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สามารถใช้กับ

เครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรงไม่มีผลกระทบกับเครื่องยนต์ในระยาว ส่วนกลีเซอรีนที่ได้จากการผลิต ถือเป็นผลพลอยได้ใช้เป็นวัตถุดิบ สำหรับอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง น้ำมันหล่อลื่น ฯลฯ

biodiesel เป็นแหล่งพลังงานที่ได้รับความต้องการและมีบทบาทที่สำคัญเพิ่มขึ้น ในปัจจุบันการหันมาเลือกใช้วัตถุดิบที่ไม่ใช่อาหารสำหรับมนุษย์ในการผลิต biodiesel ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยสาหร่ายได้รับความสนใจอย่างยิ่งในการนำมาเป็นทางเลือกแทนพืชที่เป็นแหล่งอาหารเช่น ถั่วเหลือง ปาล์ม และคาโนลา เพราะทำให้ไม่กระทบต่อแหล่งอาหารมนุษย์ และเป็นแหล่งพลังงานที่มีความปลอดภัย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้สาหร่ายบางชนิดยังมีปริมาณน้ำมันที่สูงมาก และน้ำมันจากสาหร่ายสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย นอกจากนี้ข้อดีของสาหร่ายคือสามารถกำจัด ฟอสฟอรัส ไนโตรเจนจากน้ำเสีย และสามารถกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์จึงช่วยแก้ปัญหาภาวะเรือนกระจกได้ (Antoni et al., 2007, Chisti, 2008; Huang et al., 2010)

แต่สิ่งที่เป็นประเด็นสำคัญในการนำสาหร่ายมาใช้เป็นแหล่งน้ำมันคือ ต้องเลือกสายพันธุ์สาหร่ายให้เหมาะสม คือให้ปริมาณน้ำมันได้สูงที่สุดและมีการเจริญเติบโตที่สูงด้วย นอกจากนี้การพัฒนาวิธีการเพาะเลี้ยงให้ใช้ต้นทุนต่ำ และพัฒนาวิธีการเก็บผลผลิตให้ง่าย ยังเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการที่จะนำสาหร่ายมาเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซลได้สำเร็จอีกด้วย

ซึ่งประเด็นเหล่านี้ไม่ใช่สิ่งที่ยุ่งยาก ซับซ้อนจนเกินไป โดยพบว่านักวิทยาศาสตร์สหรัฐอเมริกาได้มีการคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่สามารถนำมาผลิตเป็น biodiesel ได้ในเชิงพาณิชย์ได้สำเร็จ และเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อกักน้ำเสียโรงงาน เนื่องจากมีฟอสเฟต และไนเตรทปนเปื้อนอยู่ สารทั้งสองชนิดมีผลเสียต่อแม่น้ำ ลำคลอง แต่กลับเป็นปุ๋ยที่ดีสำหรับทำฟาร์มสาหร่าย จึงมีการทำฟาร์มสาหร่ายใกล้กับโรงบำบัดเสีย และพบว่าการใช้น้ำมันจากสาหร่ายเป็นไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้ได้กับรถเครื่องยนต์ดีเซล และเครื่องบินไอพ่นได้ (http://sciinaction)

2.2 สาหร่ายและความเหมาะสมในการนำมาเป็นแหล่งน้ำมัน

2.2.1 ความเหมาะสมในด้านปริมาณและการเพาะเลี้ยงของสาหร่าย

สาหร่ายมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เนื่องจากสาหร่ายมีอยู่มากมายในธรรมชาติ โดยการสังเคราะห์แสงที่เกิดขึ้นทั้งหมดบนโลกนั้น เกิดจากสาหร่ายถึง 90 % นอกจากนี้การเก็บสาหร่ายจากธรรมชาติมาเป็นอาหารหรือนำมาสกัดผลผลิตต่าง ๆ มีมากเกิน 3 ล้านตันต่อปี โดยพบว่าผลผลิตที่มีอยู่ตามธรรมชาติมีปริมาณให้เก็บเกี่ยวได้ สำหรับสาหร่ายสีแดงมีประมาณ 2.6 ล้านตัน และ สาหร่ายสีน้ำตาลมีสูงถึงประมาณ 16 ล้านตัน (Schiewer and Volesky, 2000)

สำหรับสาหร่ายขนาดใหญ่ในประเทศไทยจะพบในทะเลปริมาณมาก โดยเฉพาะกลุ่มสาหร่ายสีน้ำตาล เช่น *Sargassum*, *Padina* สาหร่ายสีแดง *Gracilaria* สาหร่ายสีเขียว *Caulerpa* ซึ่งสาหร่ายเหล่านี้จะถูกพัดพาขึ้นมาโดยคลื่นมาติดบริเวณชายหาดเป็นปริมาณมากเมื่อถึงฤดูกาลที่สาหร่ายเหล่านี้เจริญเติบโตสูงสุด โดยพบว่าในบางสถานที่ โดยเฉพาะแหล่งท่องเที่ยวสาหร่ายเหล่านี้บดบังทัศนียภาพที่งดงามที่ชายหาด จนต้องมีการกำจัดทิ้ง ต้องเสียค่าแรงงานในการ

เก็บ ค่าใช้จ่ายในการกำจัด เช่นการกำจัดสาหร่าย *Gracilaria* ออกจากชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี เป็นต้น ซึ่งสาหร่ายเหล่านี้สามารถเก็บมาใช้ประโยชน์ได้

นอกจากนี้สาหร่ายขนาดใหญ่ยังได้มีการเพาะเลี้ยงไว้ในบ่อบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสัตว์น้ำเพื่อช่วยในการบำบัดน้ำ ซึ่งไม่มีต้นทุนเรื่องสารเคมีเพราะใช้ธาตุอาหารจากน้ำที่ระบายออกมาจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่นสาหร่ายสีเขียว *Ulva*, *Caulerpa*, *Chaetomorpha*, สาหร่ายสีแดง *Acanthophora*, *Gracilaria* เป็นต้น โดยสาหร่ายเหล่านี้เมื่อใช้บำบัดน้ำเสียผ่านไปสักระยะหนึ่งจะมีผลผลิตเพิ่มขึ้นมีปริมาณมากจนเกินความต้องการ เพราะสารอาหารที่มากทำให้สาหร่ายเติบโตได้ดี ดังนั้นจึงนำสาหร่ายเหล่านี้มาใช้ได้ โดยไม่ต้องมีต้นทุนในการเพาะเลี้ยง

สาหร่ายขนาดเล็กสามารถพบได้ในแหล่งน้ำทุกประเภท มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว มีการสังเคราะห์แสงเช่นเดียวกับพืชชั้นสูง แต่มีข้อดีกว่าคือใช้เวลาในการเจริญเติบโตสูงสุดที่สั้นกว่าพืชชั้นสูงมาก โดยพบว่าสามารถเพิ่มปริมาณเป็นสองเท่าภายในเวลาเพียง 24 ชั่วโมงเท่านั้น (Chisti, 2007) และน้ำมัน (oil) จากสาหร่าย สามารถใช้เป็นแหล่งของ biodiesel ได้ โดยทั่วไปสาหร่ายขนาดเล็กจะมีน้ำมัน 20-50 % ของน้ำหนักแห้ง (Chisti, 2007) แต่ในสาหร่ายบางชนิดสามารถให้ปริมาณน้ำมันได้สูงถึง 80 %ของน้ำหนักแห้ง โดยปริมาณน้ำมันและกรดไขมันที่พบจะผันแปรตามปริมาณสารอาหารและสภาวะในการเลี้ยงสาหร่ายด้วย (Mulbry et al., 2008: สุนีรัตน์ และคณะ, 2548; สุนีรัตน์ 2549) สาหร่ายขนาดเล็กบางชนิดสามารถเก็บจากธรรมชาติและนำมาใช้ได้โดยไม่ต้องทำการเพาะเลี้ยงเอง เช่นสาหร่ายกลุ่มสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* ซึ่งเป็นชนิดที่พบว่ามีการบลูมในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม หรือในแหล่งน้ำธรรมชาติได้บ่อยและมีปริมาณมาก ซึ่งสาหร่ายที่เก็บได้เองจากธรรมชาติย่อมมีต้นทุนต่ำ มีเฉพาะค่าเดินทางในการเก็บ

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กยังสามารถทำได้ง่าย ใช้พื้นที่น้อยกว่าพืชทั่วไป โดยเมื่อเทียบต่อพื้นที่ 1 เฮคแตร์ สาหร่ายขนาดเล็กสามารถให้น้ำมันได้มากถึง 58, 700-136, 900 ลิตร ซึ่งมากกว่าน้ำมันปาล์มที่ให้น้ำมันได้ 5950 ลิตร (Chisti, 2007) นอกจากนี้ยังสามารถใช้น้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ เช่นของเสียจากธุรกิจปศุสัตว์ เช่นจากฟาร์มสุกร หรือกากน้ำตาล มาใช้เป็นสารอาหารในการเพาะเลี้ยง (Mulbry et al., 2008) และใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ในระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อเร่งการเจริญเติบโต จึงทำให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำ นอกจากนี้ยังช่วยแก้ปัญหาการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของโรงงานอุตสาหกรรมได้ด้วย โดยจากการทดลองในระบบปิดพบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้มากถึง 82% (Scott et al, 2010)

2.2.2 ความเหมาะสมในด้านปริมาณน้ำมัน (oil) ในสาหร่าย

สาหร่ายสามารถนำมาเป็นแหล่งน้ำมันได้เนื่องจากสาหร่ายมีอาหารสะสมเป็นแป้ง ไขมันและกลีเซอรอล ปัจจุบันสาหร่ายขนาดเล็กเป็นทางเลือกใหม่ในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานทดแทน การนำสาหร่ายมาใช้เป็นแหล่งน้ำมัน จะไม่ส่งผลกระทบต่อราคาของอาหารหรือสินค้าอุปโภคประเภทอื่น ๆ จากการเปรียบเทียบปริมาณไขมันในสาหร่ายกับพืชชนิดอื่นต่อพื้นที่ผลิตที่เท่ากัน พบว่าสาหร่ายให้ผลผลิตน้ำมันมากกว่าพืชหลายชนิด (ตารางที่ 1) โดยพบว่าหาก

สาหร่ายขนาดเล็กมีปริมาณน้ำมันในเซลล์ที่ร้อยละ 30 น้ำหนักแห้ง สามารถให้น้ำมันได้ถึง 58, 700 ลิตรต่อเฮคแตร์ต่อหนึ่งปี โดยสามารถผลิตไบโอดีเซลได้สูงถึง 51, 927 กิโลกรัมต่อเฮคแตร์ต่อปี ซึ่งสูงกว่าพืชอื่น ทั้งข้าวโพด ปาล์ม ถั่วเหลือง ฯล

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบปริมาณผลผลิตน้ำมันระหว่างสาหร่ายขนาดเล็ก กับพืชบางชนิดที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล

ชนิดพืช	ปริมาณน้ำมัน (L oil/ha year)	พื้นที่ที่ต้องการในการปลูก (M^2 year/kg biodiesel)	การผลิตไบโอดีเซล (kg biodiesel/ha year)
ข้าวโพด	172	66	152
ถั่วเหลือง	636	18	562
คาโนลา (Canola)	974	12	862
สบู่ดำ	741	15	656
ละหุ่ง	1307	9	1156
ทานตะวัน	1070	11	946
ปาล์มน้ำมัน	5, 366	2	4, 747
คาเมไลน่า (*Camelina sativa*)	915	12	809
สาหร่ายขนาดเล็ก (น้ำมัน 30%)	58, 700	0.2	51, 927
สาหร่ายขนาดเล็ก (น้ำมัน 50%)	97, 800	0.1	86, 515
สาหร่ายขนาดเล็ก (น้ำมัน 70%)	136, 900	0.1	121, 104

ที่มา: Mata et al. (2010)

โดยสาหร่ายที่ให้น้ำมันได้สูงพบทั้งในกลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย สาหร่ายสีเขียว และไดอะตอม เช่น *Chlorella, Scenedesmus, Isochrysis, Tetraselmis* การศึกษาถึงปริมาณน้ำมัน (oil) ใน diatoms 6 ชนิดโดย Ying et al. (2001) พบปริมาณน้ำมัน (% น้ำหนักแห้ง) อยู่ใน *Chaetoceros gracilis* 6.97-10.78%, *Phaeodactylum tricornutum3.6-13.8* %, *Cylindrotheca fusiformis* 13.0-15.9%, *Nitzschia closterium* 4.1-5.4% (Xin et al., 2010; Ying et al., 2001)

การศึกษาปริมาณน้ำมัน (oil) ในสาหร่ายขนาดเล็ก พบปริมาณน้ำมัน (% น้ำหนักแห้ง) ใน *Botryococcus braunii* 25-75%, *Chlorella* sp. 28-32%, *Crypthecodinium cohnii* 20%, *Cylindrotheca* sp. 16-37%, *Dunaliella primolecta* 23%, *Isochrysis* sp. 25-33%, *Monallanthus salina* >20%, *Nannochloris* sp. 20-35%, *Nannochlorpossis* sp. 31-68%, *Neochloris oleoabundans* 35-54%, *Nitzschia* sp. 45-47%, *Phaeodactylum tricornutum* 20-30%, *Schizochytrium* sp. 50-77%, *Tetraselmis sueica* 15-23% (Chisti, 2007)

Parson et al. (1961) ศึกษาไขมันไดอะตอม *Tetraselmis* sp. พบว่ามีไขมัน (lipid) 4% ปริมาณไขมันในสาหร่ายสีเขียว 3 ชนิด คือ *Chlorella* น้ำเค็ม, *Dunaliella tertiotecta* และ *Tetraselmis nele* พบว่าในตัวอย่างสาหร่ายแห้งดังกล่าวมีปริมาณไขมันดังนี้คือ *Dunaliella tertiotecta* 17.52 ± 0.07 % *Chlorella* 11.91 ± 0.3676 % และ *Tetraselmis nele* 11.05 ± 0.51 %

Mata et al. (2010) รายงานปริมาณไขมัน (% น้ำหนักแห้ง) ในสาหร่ายขนาดเล็กหลายชนิด โดยสาหร่ายมีไขมันในสาหร่ายต่าง ๆ เช่น *Ankistrodesmus* sp. 24.0–31.0%, *Botryococcus braunii* 25.0–75.0%, *Chlorella emersonii* 25.0–63.0%, *Chlorella protothecoides* 14.6–57.8%, *Chlorella sorokiniana* 19.0–22.0%, *Chlorella vulgaris* 5.0–58.0%, *Chlorella* sp. 10.0–48.0%, *Chlorella pyrenoidosa* 2.0%, *Chlorella* 18.0–57.0%, *Chlorococcum* sp19.3%., *Scenedesmus obliquus* 11.0–55.0%, *Scenedesmus quadricauda* 1.9–18.4%, *Scenedesmus* sp. 19.6–21.1%, *Spirulina platensis* 4.0–16.6%, *Spirulina maxima* 4.0–9.0% โดยสาหร่ายขนาดเล็กเหล่านี้สามารถผลิตไขมันได้ 10.3-142.0 mg/L/d และมีมวลชีวภาพใน 0.003-10 g/Lต่อวัน โดยใช้พื้นที่ในการผลิตมวลชีวภาพต่อกรัมคือ 0.57-130 ตารางเมตร ต่อวัน

การศึกษาปริมาณไขมันทั้งหมด (%น้ำหนักแห้ง) ของสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่จากชายหาด Aqaba ประเทศจอร์แดนในระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนมิถุนายน พบว่ามีไขมันดังนี้ ในกลุ่มสาหร่ายสีเขียว *Ulva lactuca* 5.2±1.2%, *Enteromorpha compressa* 6.6±2.4% สาหร่ายสีน้ำตาล *Padina pavonica* 4.4±1.8%และสาหร่ายสีแดง *Laurencia obtuse* 2.4±0.3%โดยในสาหร่ายชนิดที่เป็นสีเขียวจะเป็นชนิดที่ให้ไขมันมากกว่าชนิดสีแดง และสีน้ำตาล (Wahbeh, 1997)

การศึกษาปริมาณไขมันทั้งหมด (%น้ำหนักแห้ง) ของสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่จากชายฝั่งของเกาะบอว์เนียวทางตอนเหนือ พบว่ามีไขมันดังนี้ ในกลุ่มสาหร่ายสีเขียว *Caulerpa lentillifera* 1.11±0.05%, สาหร่ายสีแดง *Eucheuma cottonii* 1.10±0.05%, และสาหร่ายสีน้ำตาล *Sargassum polycystum* 0.29±0.01% (Matanjun et al., 2008)

2.3 กรดไขมันในสาหร่าย

กรดไขมันมีอยู่มากมายหลายชนิด แต่ชนิดที่มีประโยชน์มากได้แก่ EPA ซึ่งกระตุ้นการสร้างโครงสร้างที่สำคัญในระบบประสาทส่วนกลางและเรตินาให้ทำงานได้ดียิ่งขึ้น (Meharban Singh, 2005) ลดอาการอักเสบของไขข้อ อักเสบของผิว (โรคสะเก็ดเงิน) ลดอาการอักเสบในลำคอ นอกจากนี้ยังลดอาการอักเสบของเนื้อร้าย (เซลล์มะเร็ง) ลดการเกาะตัวเป็นก้อนของเม็ดเลือดหรือที่เรียกว่าลิ่มเลือด กรดไขมัน EPA จึงนับได้ว่าเป็นกรดไขมันที่จำเป็นสำหรับทุกคน แต่ร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นเองต้องรับประทานเข้าไปเท่านั้น

DHA ช่วยป้องกันการสะสมตัวของไขมันอิ่มตัวหรือคอเลสเตอรอลอันเป็นสาเหตุให้เส้นเลือดอุดตัน ซึ่งนำไปสู่โรคหัวใจและเส้นเลือดในสมองแตก- ลดความเสี่ยงของโรคหัวใจ บำรุงสมอง บรรเทาอาหารของโรคไขข้ออักเสบ ลดการอักเสบของโรคผิวหนัง ช่วยลดความเครียด บรรเทาอาการ

กรดไขมัน EPA พบได้โดยมากในน้ำมันปลาทะเลทั่วไป แต่การที่ปลามี EPA ได้ก็มาจากอาหารที่กินเข้าไปไม่ใช่จากการสังเคราะห์ขึ้นมาเอง การใช้สาหร่ายมาสกัดกรดไขมัน EPA ดึงดูดให้วงการวิจัยทางสิ่งมีชีวิตสนใจอย่างมากในช่วงเวลาไม่นานมานี้ (Chen et al., 2007)

น้ำมันของสาหร่ายมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่มาก เช่น arachidonic acid (AA), eicospentaenoic acid (EPA), docasahexaenoic acid (DHA), gamma-linolenic acid (GLA) และ linoleic acid (LA) เป็นต้น (Chisti, 2007; Nuutila and Aura, 1997; Khozin-Goldberg and Cohen, 2006; Patil et al., 2005; Solovchenko et al., 2008; Vieler et al, 2007)

ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ดี จึงได้มีการศึกษาหาชนิดสาหร่ายขนาดใหญ่และขนาดเล็กที่ให้กรดไขมันที่มีประโยชน์ในปริมาณมาก เพื่อการนำมาใช้ประโยชน์ต่อไป โดยพบมีรายงานการศึกษาดังนี้ จากการศึกษาของ Matanjun et al. (2008) พบว่าในสาหร่าย *Eucheuma cottonii* มีปริมาณ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid หรือ PUFAs) อยู่มากกว่าสาหร่าย *Caulerpa lentillifera, Sargassum polycystum* คือมีค่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน 51.55% และมีกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty) อยู่ที่ 25.17% สาหร่ายทั้ง 3 ชนิดมีกรดไขมันจำเป็นทั้ง linoleic acid (C18:2ω6), linolenic acid (C18:3ω3), the eicosanoid precursors arachidonic acid (C20:4ω6) และ eicosapentaenoic acid (EPA) (C20:5ω3) พบว่าในสาหร่าย *Eucheuma cottonii* มีกรดไขมันโอเมกา-3 อยู่มากซึ่งมี EPA ประกอบอยู่ถึง 24.98% ของกรดไขมันทั้งหมด ส่วนสาหร่าย *Sargassum polycystum* เป็นชนิดเดียวที่พบกรดไขมัน docosahexaenoic acid (DHA) แต่พบในปริมาณน้อยแค่ 0.13% กรดไขมัน Palmitic (C16:0) และ oleic acids (C18:1ω9) เป็นชนิดที่พบมากในสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* และ *Sargassum polycystum* และพบว่าในสาหร่าย *Eucheuma cottonii* มีกรดไขมันโอเมกา-3 อยู่มากที่สุด 45.72%

สาหร่าย *Eucheuma cottonii* ที่มีปริมาณ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFAs) มากที่สุดนั้นเนื่องจากเป็นลักษณะโดยทั่วไปของสาหร่ายสีแดง (Khotimchenko et al., 2008) สาหร่ายสีเขียวจะมีปริมาณของกรดไขมัน Palmitic (C16:0) และ oleic acids (C18:1ω9) และจะมี PUFAs น้อย ซึ่งก็ไปสอดคล้องกับบันทึกการทดลองของ Dembitsky และคณะ (1991) ที่ทดลองโดยใช้สาหร่ายสีเขียวชนิด *Caulerpa* sp. ส่วน ส่วนสาหร่ายสีน้ำตาลที่มีปริมาณของกรดไขมัน Palmitic (C16:0) และ oleic acids (C18:1ω9) และจะมี PUFAs น้อยนั้นก็สอดคล้องกับบันทึกของ Hamdy and Dawes (1988) และ Herbreteau และคณะ (1997) ที่ทดลองโดยใช้สาหร่าย *Sargassum* ในสายพันธุ์ต่างๆ

การศึกษากรดไขมันในไดอะตอม *Nitzsghia laevis* แบ่งออกได้เป็น neutral lipid (NLs), glycolipid (GLs) และ phospholipids (PLs) โดย neutral lipid มีมากที่สุดคือ 78.6 % ของไขมันทั้งหมด triacylglycerol (TAG) จะมีมากใน neutral lipid (NLs) ถึง 87.9 % glycolipid มีอยู่ 8.1 % และ phospholipids มีอยู่ 11.6 % ของไขมันทั้งหมดและพบว่ามี phosphatidylcholine อยู่มากที่สุด 69.7 % กรดไขมันที่พบมากกว่าชนิดอื่นคือ tetradecanoic acid (C14:0), hexadecanoic acid (C16:0), palmitoleic acid (C16:1) และ EPA พบว่ากรดไขมัน EPA จะกระจายอยู่ทั่วไปในทุกชั้น

ของไขมันทั้ง triacylglycerol (TAG), monoglacylglycerol และ phosphatidylcholine (PC) (Chen et al., 2007)

2.4 การเลี้ยงสาหร่ายเพื่อการผลิตน้ำมัน

สายพันธุ์สาหร่ายที่จะนำมาเพาะเลี้ยงเพื่อเป็นแหล่งของน้ำมัน ควรเป็นสายพันธุ์ที่เพาะเลี้ยงง่าย มีการเจริญเติบโตได้รวดเร็ว มีปริมาณน้ำมันสูง และง่ายต่อการเก็บเกี่ยว โดยพบรายงานว่าปริมาณน้ำมันและกรดไขมันของสาหร่าย ผันแปรตามปริมาณสารอาหารและสภาวะในการเลี้ยงสาหร่ายด้วย (Khotimchenko and Yakovleva, 2004; Merzlyak et al., 2007; Mulbry et al., 2008; สุนีรัตน์ 2549) โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเลี้ยงสาหร่ายมีหลายปัจจัยด้วยกันได้แก่

ปัจจัยทางกายภาพ เช่น แสง (light) เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของสาหร่าย การเจริญเติบโตอาจถูกยับยั้งหากได้รับแสงมากเกินไป อุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมต่างๆ ของสาหร่าย มีผลต่อโครงสร้างขององค์ประกอบภายในเซลล์ โดยเฉพาะโปรตีนและไขมัน

ปัจจัยทางเคมี เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องการ เช่น ไนโตรเจน มีหน้าที่หลักช่วยในการสังเคราะห์แสง สร้างรงควัตถุ ช่วยในกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ สาหร่ายที่ขาดไนโตรเจนจะสร้างสารประกอบคาร์บอนขึ้นมาทดแทน เช่น สร้างขึ้นมาในรูปของน้ำมัน หรือแป้ง ฟอสฟอรัส เกี่ยวข้องกับขบวนการถ่ายทอดพลังงาน ขบวนการสร้างกรดนิวคลีอิกของสาหร่าย ถ้าขาดฟอสฟอรัสจำให้ปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลล์-เอ RNA, DNA ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินลดลง ส่วนปริมาณแป้ง คาร์โบไฮเดรตจะเพิ่มขึ้น เหล็กช่วยในการดูดซึมไนโตรเจนของสาหร่าย ช่วยในขบวนการสังเคราะห์แสง ช่วยสร้างคลอโรฟิลล์-เอ phycocyanin

2.5 ปริมาณไขมันในสาหร่ายที่เลี้ยงด้วยปัจจัยทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกัน

2.5.1 ผลของไนโตรเจน เหล็ก และความเค็ม ต่อปริมาณไขมันในสาหร่าย

Converti et al. (2009) ได้ทดลองลดความเข้มข้น $NaNO_3$ ในการเลี้ยง *Chlorella vulgaris* ในสภาวะ $NaNO_3$ ที่ 1.500, 0.750 และ 0.375 g/L ผลพบว่าระดับ $NaNO_3$ ที่ 0.375 g/L มีผลทำให้ *C. vulgaris* มีปริมาณไขมันสูงที่สุดคือ 15.31 ± 0.51% เพราะเมื่อ $NaNO_3$ ลดลง ทำให้สาหร่ายเกิดความเครียดจะทำให้มีปริมาณไขมันสูงและไขมันที่มาจากขบวนการ metabolism ซึ่งเมื่อเทียบกับการทดลองลดความเข้มข้น $NaNO_3$ ในการเลี้ยง *Navicula oculata* ในสภาวะ $NaNO_3$ ที่ 0.300, 0.150 และ 0.075 g/L พบว่าระดับ $NaNO_3$ ที่ 0.075 g/L มีผลทำให้ *N. oculata* มีปริมาณไขมันสูงที่สุดคือ 15.86 ± 0.59%

Widjaja et al. (2009) ทำการทดลองโดยเลี้ยงสาหร่าย *C. vulgaris* โดยเปรียบเทียบปริมาณไขมันรวมระหว่างสูตรอาหารปกติและสูตรอาหารขาดไนโตรเจน พบว่าปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นในสภาวะที่ไนโตรเจนลดลงเพราะในสภาวะที่ไนโตรเจนลดลง ทำให้ *C. vulgaris* เกิดความเครียดทำให้เกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์ จึงส่งผลทำให้เกิดการสะสมไขมันเพิ่มขึ้น

Hsieh and Wu. (2009) ได้ทดลองลดไนโตรเจน (ยูเรีย) ในการเลี้ยงสาหร่ายน้ำเค็ม *Chlorella* sp. ในสภาวะลดไนโตรเจน (ยูเรีย) ที่ 0.025, 0.050, 0.100, 0.150 และ 0.200 g/L ผลพบว่า ยูเรียที่ระดับ 0.025 g/L มีผลทำให้ *Chlorella* sp. มีปริมาณไขมันสูงสุดคือ 0.661 g/g เพราะไนโตรเจนมีผลต่อขบวนการ metabolism ทำให้ปริมาณไขมันมากขึ้นในสาหร่ายขนาดเล็ก

Colla *et al.* (2007) ได้ทำการทดลองเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย *Spirulina platensis* สายพันธุ์ LEB-52 โดยใช้ sodium nitrate เป็นแหล่งไนโตรเจน ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน 4 ระดับ ที่ 0.625, 1.250, 1.875 และ 2.500 g/L โดยใช้ Zarrouk's medium เป็นอาหารมาตรฐาน (Zarrouk, 1966) โดยอาหารเลี้ยงเชื้อนี้ถูกใช้ในชุดทดสอบการเจริญเติบโตของ *S. platensis* การเพาะเลี้ยง *S. platensis* ถูกเพาะเลี้ยงใน 201 photo-bioreactors ที่ปริมาณเริ่มต้น 141กรัม/ลิตร และความเข้มข้นของมวลชีวภาพ 0.15 กรัม/ลิตร หลอดแก้ว 2หลอดจะผ่านการปิดจุก photo-bioreactor หลอด 1 มาจากตัวอย่างและอีกหลอดสำหรับการให้อากาศ การเพาะเลี้ยงจะถูกเขย่าผสมกันโดยใช้อากาศเพาะเลี้ยงภายในเรือนกระจกภายใต้แสง 12 ชั่วโมง มืด 12 ชั่วโมง 40W fluorescent (Osram, Brazil), ให้แสงที่ 31.35 μmolphotons m^{-2} s^{-1} อุณหภูมิที่ 30 ºC และ 35 ºC การติดตามผลการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพในตัวอย่างที่ทำการเพาะเลี้ยงตลอด 24 ชั่วโมง ใช้เทคนิคปลอดเชื้อ การทดลองทั้งหมดทำซ้ำ 3 ชุด มีการทำซ้ำ 3 ครั้ง ผลที่ได้พบว่า ที่ความเข้มข้นของ sodium nitrate 2.500 g/L พบปริมาณไขมันสูงสุดคือ 8.16±0.23 % และที่ความเข้มข้นของ sodium nitrate 1.250 g/L ให้ปริมาณไขมันต่ำที่สุดคือ 6.69±0.27 % ที่ความเข้มข้นของ sodium nitrate 1.875 g/L พบปริมาณไขมันสูงสุดคือ 10.37±0.63 % และที่ความเข้มข้นของ sodium nitrate 0.625 g/L ให้ปริมาณไขมันต่ำที่สุดคือ 7.49±1.10 % จะเห็นได้ว่า ที่ความเข้มข้นของ sodium nitrate 1.875 g/L ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุด

Liu et al. (2008) ได้ทดลองเพิ่มเหล็กในการเลี้ยง *C. vulgaris* ในสภาวะ $FeCl_3$ ที่ 0, 1.2×10^{-8}, 1.2×10^{-7}, 1.2×10^{-6} และ 1.2×10^{-5} พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงใน Fe^{3+} ที่ 1.2×10^{-5} mol/L มีปริมาณไขมันสูงสุดคือ 56.6% เพราะ $FeCl_3$ ช่วยในการดูดซึมไนโตรเจน เมื่อเหล็กลดลงการดูดซึมไนโตรเจนลดลงทำให้ *C. vulgaris* เกิดความเครียดจึงทำให้เกิดสะสมไขมันเพิ่มขึ้น

Takagi et al. (2006) ได้ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Dunaliella teriolecta* ในระดับความ NaCl ที่ 0.5 และ 1.0 M พบว่าจากการเลี้ยงที่ให้ NaCl 1 M จะให้ปริมาณไขมัน 67% ซึ่งสูงกว่าการเลี้ยงใน NaCl 0.5 M ซึ่งให้ไขมัน 60%

2.5.2 ผลของแสงต่อปริมาณไขมันในสาหร่าย

นิพล (2547) ได้ทดลองเลี้ยง *Tetraselmis* sp. โดยให้ระยะเวลาการให้แสงสว่างแตกต่างกัน คือ ระยะเวลาการให้แสง : ไม่ให้แสง เท่ากับ 24 : 0 และ 12 : 12 เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 10 วัน พบว่าที่ระยะเวลาการให้แสง : 24 : 0 ไขมันมีค่าเท่ากับ 3.73 ± 0.72 %น้ำหนักแห้ง ส่วนการให้แสง 12 : 12 ไขมันเท่ากับ 0.62 ± 0.10%น้ำหนักแห้ง การเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. ในช่วงสว่างต่อมืดเท่ากับ 16 : 8 ชั่วโมง จะให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือ ร้อยละ 6.42 ซึ่งสูงกว่าการให้แสงสว่างต่อมืดเท่ากับ 12 : 12 เพราะสาหร่ายเกิดความเครียดจากระยะเวลาของการสังเคราะห์แสงที่มาก และมี

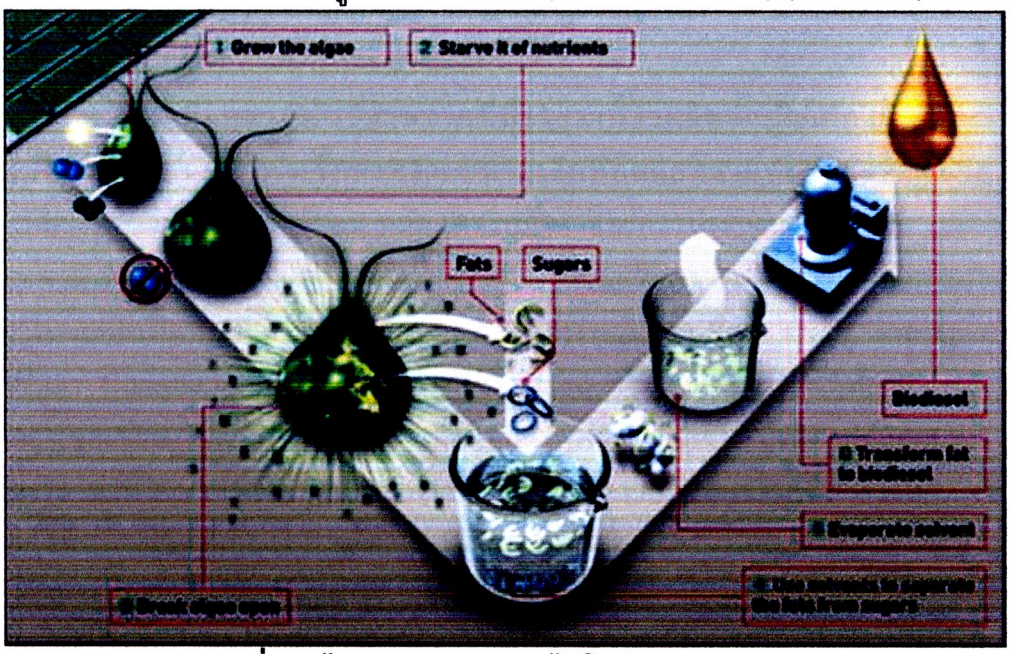
ระยะเวลาของการหยุดสังเคราะห์แสงน้อย ซึ่งทำให้เกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์ และทำให้มีการสะสมของไขมันเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาของ de la Pena (2007) ที่ศึกษาผลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตในไดอะตอมน้ำลึกที่อยู่ในเขตร้อน *Amphora* sp. ซึ่งใช้เวลาในการเพาะเลี้ยง 8 วัน โดยให้ความเข้มแสงที่แตกต่างกัน 3 ความเข้มแสง ได้แก่ 11.4 µmol photon/m^2/s, 16.1 µmol photon/m^2/s และ 31.3 µmol photon/m^2/s โดยแต่ละความเข้มแสงก็จะให้อาหารทั้ง 3 สูตรที่แตกต่างกัน ผลที่ได้คือที่ความเข้มแสงต่ำที่สุด11.4 µmol photon/m^2/s มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยที่สูงที่สุดเท่ากับ 0.2±0.1 เพราะ ในความเข้มแสงต่ำจะมีประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากการย่อยและการดูดซึมสารอนินทรีย์ได้ดีกว่า

การเลี้ยง marine diatoms 6 ชนิดแล้วนำมาเปรียบเทียบปริมาณไขมันที่ได้ที่ความเข้มแสง 5000 Lux และ 1500 Lux โดยเลี้ยงใน flask ขนาด 3 ลิตร ในสูตรอาหาร f/2 medium ที่อุณหภูมิ 22±1 °C และความเค็มที่ 28 ppt พบว่าปริมาณไขมันที่ของ *Chaetoceros gracilis* B13, *Phaeodactylum tricornutum* B118, *Phaeodactylum tricornutum* B221 และ *Cylindrotheca fusiformis* B211 ที่ความเข้มแสง 1500 Lux ให้ปริมาณไขมันสูง คือร้อยละ 10.78 ± 2.69, 5.93 ± 1.03, 13.38 ± 1.80 และ15.93 ± 0.91 ตามลำดับ สาเหตุที่เลี้ยงในความเข้มแสงต่ำแล้วให้ปริมาณไขมันสูง เพราะในความเข้มแสงต่ำสาหร่ายจะความเครียดทำให้เกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์ จึงส่งผลทำให้มีการสะสมไขมันเพิ่มขึ้น (Ying et al., 2001)

2.6 การผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่าย

การผลิต biodiesel จากสาหร่าย ทำได้โดยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายให้ได้ปริมาณมาก มีไขมันสูง จากนั้นนำมาสกัดน้ำมันออกจากสาหร่าย ทำการแยกน้ำมันออกจากน้ำตาลที่เป็นอาหารสะสมของสาหร่าย และนำไปเปลี่ยนรูปเป็น biodiesel (Mata et al., 2010) (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 ไดอะแกรมการผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่าย

ที่มา : http://www.neduet.edu

ดังนั้นจึงพบได้ว่าการใช้สาหร่ายเป็นแหล่งน้ำมันเพื่อผลิตไบโอดีเซลให้ได้ผลสำเร็จนั้น จะต้องมีสายพันธุ์สาหร่ายที่เหมาะสม เจริญเติบโตได้ดี ให้ปริมาณน้ำมันสูง สามารถเก็บเกี่ยวได้ง่าย และใช้ต้นทุนในการเพาะเลี้ยงต่ำ จึงจะสามารถ ลดวิกฤตปัญหาด้านการขาดแคลนอาหารและพลังงานของมนุษย์ในอนาคต รวมถึงลดการพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศได้

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 21 พ.ย. 2555
เลขทะเบียน 191090
เลขเรียกหนังสือ