บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สไปรูลิน่า

สไปรูลิน่า (*Spirulina*) เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน จัดเป็นสาหร่ายขนาดเล็ก มีหลายเซลล์เรียงตัวกันเป็นเส้นสาย (filamentous) ไม่แตกแขนง เส้นสายบิดเป็นเกลียวที่เรียกว่า ทรัยโคม (trichome) ทรัยโคมจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะเกลียวแตกต่างกันไปเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมต่างกัน โครงสร้างผนังเซลล์คล้ายแบคทีเรียแกรมลบ ซึ่งมีเพพทิโดไกลแคน (peptidoglycan) ซึ่งมีความคงตัวสูงเป็นส่วนประกอบ ภายในเซลล์มีแก๊สแวคิวโอ (gas vacuole) ขนาดใหญ่และรูปร่างที่บิดเป็นเกลียว ทำให้ลอยตัวในน้ำได้ดี ในธรรมชาติจะพบสไปรูลิน่าได้ทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม โดยเฉพาะในน้ำที่มีความเป็นกรดเป็นด่างสูง (pH 8.5-11.0) เช่น ในทะเลสาบเท็กซ์โคโค ประเทศเม็กซิโก ทะเลสาบในทวีปอาฟริกา ทะเลสาบประเทศพม่า สำหรับสายพันธุ์ที่พบมากและมีการนำมาเพาะเลี้ยงในทางการค้าคือ *Spirulina platensis* และ *S. maxima* (Habib, et al., 2008 : 4)

จุดเด่นของสไปรูลิน่าคือเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง คือ มีโปรตีนสูงถึง 51-71 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง มีกรดอะมิโนและกรดไขมันที่จำเป็น มีรงควัตถุหลายชนิดที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรม ปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงในชั้นอุตสาหกรรม โดยผลิตเป็นอาหารเสริมสุขภาพ (Hinai, et al., 2019 : 1526) การผลิตสไปรูลิน่าเป็นอาหารสัตว์น้ำ สามารถให้สัตว์น้ำกินได้ทั้งในสภาพสดหรือใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร ทำให้สัตว์น้ำมีภูมิต้านทานโรคและเจริญเติบโตได้ดี พบว่าปลาอีกง (*Mystus gulio*) ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสไปรูลิน่า 10 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าปลาที่กินอาหารปกติไม่เสริมสไปรูลิน่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (แก้วตา ลิ้มเฮง และคนอื่น ๆ, 2559 : 656) นอกจากนี้เมื่อการใช้อาหารผสมสไปรูลิน่าเลี้ยงปลาสวยงาม จะช่วยทำให้ปลาสวยงามมีสีเข้มสดใสขึ้น (Walim, et al., 2021 : 52 - 58)

คุณค่าทางโภชนาการของสไปรูลิน่า

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ความสนใจในการนำสไปรูลิน่ามาใช้ประโยชน์ เริ่มจากการที่สไปรูลิน่ามีปริมาณโปรตีนในเซลล์สูง อีกทั้งยังประกอบด้วยกรดอะมิโนและกรดไขมันที่จำเป็นหลายชนิด รวมถึงวิตามิน รงควัตถุต่าง ๆ จึงทำให้สไปรูลิน่าได้รับความสนใจนำมาใช้ประโยชน์มากขึ้น สำหรับองค์ประกอบทางชีวเคมีต่าง ๆ ของสไปรูลิน่า ที่มีความสำคัญ ประกอบด้วย (Habib, et al., 2008 : 4)

1. โปรตีน

สไปรูลิน่า เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีปริมาณโปรตีนสูง 59 ถึง 65 เปอร์เซ็นต์ และเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพ เนื่องจากประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น และจากการที่ผนังเซลล์ของสไปรูลิน่าไม่มีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบ ทำให้สามารถย่อยและดูดซึมได้ถึง 85 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนที่มีอยู่ในเซลล์สไปรูลิน่า พบว่าสไปรูลิน่าผง ประกอบด้วยโปรตีน 60 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 20 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 5 เปอร์เซ็นต์ แร่ธาตุ 7 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 3-6 เปอร์เซ็นต์ สไปรูลิน่าจึงเป็นแหล่งโปรตีนที่นอกจากจะมีไขมันและแคลอรี่ต่ำแล้ว ยังไม่มีโคเลสเตอรอล อีกด้วย

2. วิตามิน

สไปรูลิน่า อุดมไปด้วยวิตามินบี 12 และวิตามินอื่นอีกหลายชนิด ได้แก่ วิตามินบี 1, บี 2, บี 3, บี 6, บี 9, ซี, ดี และอี

3. แร่ธาตุ

สไปรูลิน่าสามารถดูดซับแร่ธาตุที่อยู่ในน้ำไว้ภายในเซลล์ขณะที่มีการเจริญเติบโต แร่ธาตุที่สำคัญที่พบในสไปรูลิน่า คือ โพแทสเซียม เหล็ก แคลเซียม โครเมียม ทองแดง แมกนีเซียม แมงกานีส ฟอสฟอรัส ซีลิเนียม เกลือ และสังกะสี

4. รงควัตถุ

รงควัตถุที่พบมากที่สุดในสไปรูลิน่า คือ ไฟโคบิลิโปรตีน ได้แก่ ไฟโคไซยานิน และอัลโลไฟโคไซยานิน และยังมีรงควัตถุอื่น ๆ อีก ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ เบต้าแคโรทีน แซนโทฟิลล์ เป็นต้น

ไฟโคไซยานิน

ไฟโคไซยานิน เป็นสารประกอบสีน้ำเงิน เรืองแสงได้ ละลายน้ำได้ และมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ คุณสมบัติเหล่านี้แตกต่างกันไปขึ้นกับสายพันธุ์ วิธีการเลี้ยงสไปรูลิน่า วิธีการสกัดไฟโคไซยานินออกจากเซลล์ และกระบวนการหลังการสกัด ไฟโคไซยานินสามารถดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นระหว่าง 615-620 นาโนเมตร และมีการปลดปล่อยแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 650 นาโนเมตร อย่างไรก็ตามน้ำหนักโมเลกุล ความสามารถในการดูดกลืนแสงของไฟโคไซยานิน จะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลาย อุณหภูมิ ความเข้มข้นของโปรตีน และแหล่งที่มาของสาหร่าย (Sanjiv, Anupama & Sandhya, 2008 : 339) ไฟโคไซยานิน มีสมบัติด้านการต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งปฏิกิริยา lipid peroxidation ป้องกันการอักเสบ ยับยั้งเซลล์มะเร็ง และมีสมบัติการต้านแบคทีเรีย (Rybner, 2016 : 50)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การสะสมของไฟโคไซยานิน ขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมทั้งทางด้านกายภาพและเคมีหลายประการ เช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณไนโตรเจน เป็นต้น ปริมาณไฟโคไซยานินจะลดลงเมื่อเลี้ยงในสภาวะที่มีความเข้มแสงน้อย ๆ และพบว่าความเข้มแสงเท่ากับ 4,000 ลักซ์ และแสงสีขาวจะส่งผลต่อการสะสมคลอโรฟิลล์มากที่สุด (5.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุอื่น ๆ (ไฟโคไซยานิน แคโรทีน และไฟโคอีริทริน) น้อยมาก แสงสีฟ้าจะกระตุ้นให้เกิดการสะสมคลอโรฟิลล์และไฟโคไซยานินเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7 และ 2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ แสงสีเขียวจะส่งผลเสียต่อการสะสมรงควัตถุทุกชนิด ยกเว้นไฟโคไซยานิน ส่วนแสงสีแดงไม่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของอัตราการผลิตรงควัตถุทุกชนิด ยกเว้นไฟโคไซยานินที่มีแนวโน้มการผลิตเพิ่มมากขึ้น (Madhyastha & Vatsala, 2007 : 304)

กระบวนการเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าเพื่อการผลิตไฟโคไซยานิน พบว่าสามารถนำอาหารที่เหลือจากการเพาะเลี้ยงมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าใหม่ได้อีก 1 ครั้งเท่านั้น สำหรับการพัฒนากรรมวิธีการผลิตผงสีไฟโคไซยานินเกรดอาหารจากสาหร่ายสไปรูลิน่า โดยนำชีวมวลสาหร่ายไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง (ความชื้นน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์) และบดให้มีขนาดเล็กกว่า 0.25 มิลลิเมตร แล้วนำไปสกัดไฟโคไซยานิน โดยผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1 : 4 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) จากนั้นนำของผสมที่ได้ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยโฮโมจิไนซ์เซอร์ (3,200 รอบ/นาที นาน 10 นาที) ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดสี เป็นจำนวน 4-5 รอบ เพื่อทำลายผนังเซลล์ จากนั้นปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างให้ได้เท่ากับ 5 ด้วยสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อตกตะกอนโปรตีนปนเปื้อน แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 590 กรัม นาน 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง นำส่วนใสที่มีไฟโคไซยานินละลายอยู่ไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส จนมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้น้อยกว่า 0.4 จากนั้นนำไปบดให้เป็นผงละเอียดจนได้เป็นผงสีเกรดอาหาร ผงสีที่พัฒนาได้มีค่าความบริสุทธิ์ เท่ากับ 0.71 มีความเข้มข้นของไฟโคไซยานิน เท่ากับ 130 มิลลิกรัม/กรัม (มณชัย เดชสังกรานนท์ และคนอื่น ๆ, 2557 : ก)

การเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่า

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การเลี้ยงสไปรูลิน่าทางการค้าจะเพาะเลี้ยงในบ่อเปิด อาศัยแสงแดดเป็นแหล่งให้พลังงาน มีการเติมธาตุอาหาร และให้คาร์บอนไดออกไซด์เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสไปรูลิน่ามีหลายปัจจัย ดังนี้

1. ปัจจัยด้านกายภาพ ได้แก่ แสงสว่าง สไปรูลิน่าเติบโตด้วยการสังเคราะห์แสง จึงต้องใช้ความเข้มแสงที่เหมาะสม โดยพบว่าสไปรูลิน่าจะเจริญเติบโตได้ดี เมื่อเลี้ยงในช่วงความเข้มแสง 2,000 - 4,000 ลักซ์ (Lux) (Feng, Zhang & Guo, 1996 : 603) ถ้าเลี้ยงในห้องปฏิบัติการจะต้องให้แสงโดยหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 40 วัตต์ ตลอดเวลา ในสภาวะที่มีความเข้มแสงน้อยมาก ๆ สไปรูลิน่า

จะไม่มีการเจริญเติบโต แต่จะมีการเจริญเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น และจะหยุดการเจริญเติบโตเมื่อความเข้มแสงมากถึงระดับที่เกิดการยับยั้งการสังเคราะห์แสง (ligh inhibition) อุณหภูมิ เป็นปัจจัยช่วยเร่งการเจริญเติบโต อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเลี้ยงสไปรูลิน่าเฉลี่ย 30 – 35 องศาเซลเซียส ส่วนการเลี้ยงกลางแจ้ง อุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วงเช้า 20 – 25 องศาเซลเซียส และในช่วงเวลากลางวัน 35 - 38 องศาเซลเซียส (Habib, et al., 2008 : 14) ความหนาแน่นเริ่มต้นของสไปรูลิน่าที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเพาะเลี้ยง และมีความสัมพันธ์กับความเข้มของแสงที่เพิ่มขึ้น ความหนาแน่นเริ่มต้นที่เหมาะสมของสไปรูลิน่าควรมีค่า (OD, 560nm) 0.6 หรือปริมาณสไปรูลิน่าเริ่มต้น 2 กรัม (น้ำหนักเปียก) ต่อน้ำ 1 ลิตร หรือ 3 ลิตร (พิมพ์พรรณ ตันสกุล และอารักษ์ จันทรศิลป์, 2531 : 150) หากความหนาแน่นเริ่มต้นสูงเกินไป จะทำให้เกิดการบังกันเองทำให้การได้รับแสงและประสิทธิภาพในการหายใจลดลง และถ้าความหนาแน่นเริ่มต้นของสไปรูลิน่าต่ำ ความเข้มแสงสูงจะทำให้เกิดการตายซึ่งมีสาเหตุมาจาก photo-oxidation การหมุนเวียนของน้ำ เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่ง การหมุนเวียนของน้ำโดยการกวนผสมด้วยความเร็วที่เหมาะสมจะช่วยป้องกันสไปรูลิน่าไม่ให้นอนก้น ทำให้ไม่เกิดการสะสมของสารอินทรีย์และการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งอาจปลดปล่อยเมแทบอไลท์ (metabolite) ที่ไม่ต้องการสู่อาหารเพาะเลี้ยง การกวนผสมจะช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลระหว่างเซลล์กับอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง รวมทั้งการใช้สารอาหารและการปลดปล่อยสารเมแทบอไลท์ต่าง ๆ สู่นอกเซลล์ นอกจากนี้ยังช่วยกระจายเซลล์และส่งผลให้เซลล์ได้รับพลังงานจากแสงอย่างทั่วถึง ดังนั้นการออกแบบการกวนให้มีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตจากสาหร่าย (Tamiya, 1957 : 333)

1. ปัจจัยด้านเคมี ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง ซึ่งมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมในเซลล์สไปรูลิน่าโดยตรง ความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 8.5-11 (Venkataraman, 1983 : 122) ปริมาณธาตุอาหาร โดยทั่วไปสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายจะประกอบด้วยธาตุอาหาร 2 ประเภท โดยอาศัยปริมาณที่พืชต้องการใช้เพื่อการเจริญเติบโต ประเภทแรกเป็นธาตุอาหารที่สาหร่ายจำเป็นต้องใช้ในปริมาณค่อนข้างมาก เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างเซลล์ เรียกว่า ธาตุอาหารหลัก ประกอบด้วย คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ แคลเซียม โปแตสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียมอาหารหลัก ประเภทที่ 2 เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการใช้ปริมาณค่อนข้างน้อย ซึ่งเมื่อเติมลงในอาหารจะช่วยให้สาหร่ายเจริญเติบโตดีขึ้น ถ้าไม่ใช้การเติบโตจะช้าลงกว่าเล็กน้อย เรียกว่า ธาตุอาหารรอง แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ ธาตุอาหารรองอนินทรีย์ ซึ่งประกอบด้วย เหล็ก แมงกานีส แคลเซียม สังกะสี ทองแดง โคบอลท์ โบรอน โซเดียม (เฉพาะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน) และซิลิกา (เฉพาะไดอะตอม) เป็นต้น และธาตุอาหารรองอินทรีย์ ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต เกลืออนินทรีย์ วิตามิน และปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโต (growth factor) (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542 : 92) สำหรับสูตรอาหารที่นิยมใช้เลี้ยงในห้องปฏิบัติการ คือ อาหารสูตรซาร์รุค

(Zarrouk medium) ซึ่งประกอบด้วยธาตุอาหารทั้งหมด 20 ชนิด และมีวิธีการเตรียมค่อนข้างยุ่งยาก ซึ่งในการเพาะเลี้ยงปริมาณมากนิยมใช้สูตรดัดแปลงซึ่งใช้ธาตุอาหารหลัก 9 ชนิด โดยไม่ใส่สารละลาย A5 (ประกอบด้วยธาตุอาหารรอง 5 ชนิด) สารละลาย B6 (ประกอบด้วยธาตุอาหารรอง 6 ชนิด) อย่างไรก็ดีเมื่อเลี้ยงปริมาณมากในบ่อกลางแจ้ง มักจะใช้อาหารสูตรซาร์รุคดัดแปลง (ไม่เติมสารละลาย A5 และ B6 แต่สูตรอาหารดังกล่าวยังมีการใช้สารเคมีค่อนข้างมาก และมีสารตกค้างสู่สิ่งแวดล้อมเป็นปริมาณมาก จึงมีผู้วิจัยจำนวนมากทำการศึกษาสารอินทรีย์จากน้ำหมักต่าง ๆ เพื่อลดต้นทุนและการตกค้างของสารเคมี แต่พบว่าผลผลิตยังน้อยเมื่อเทียบกับอาหารสูตรซาร์รุคดัดแปลง

สารอินทรีย์สำหรับเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่า

การใช้สารอินทรีย์ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่า มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการผลิตสไปรูลิน่าลง และเพื่อให้กระบวนการผลิตเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมคือการลดการตกค้างของสารเคมี ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการวิจัยและพัฒนาการใช้สารอินทรีย์หลายชนิด เช่น มูลสัตว์ หรือวัสดุเหลือใช้ต่าง ๆ โดยเฉพาะน้ำหมักจากสัตว์ เนื่องจากพบว่าน้ำหมักจากสัตว์มีปัจจัยส่งเสริมการเจริญเติบโต (growth promoting factor) มากกว่าน้ำหมักจากพืช โดยอานัฐ ตันโช (2549 : 10) กล่าวว่าน้ำหมักชีวภาพจากสัตว์มีปริมาณวิตามินและฮอร์โมนพืชที่มีประโยชน์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชมากกว่าน้ำหมักชีวภาพจากพืช นอกจากนี้แล้วกรมวิชาการเกษตร (มปป.) ทำการรวบรวมและวิเคราะห์น้ำหมักชีวภาพในประเทศไทย ซึ่งสามารถแบ่งน้ำหมักชีวภาพเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ตามชนิดของวัสดุอินทรีย์หลักที่นำมาหมักได้ 5 กลุ่ม คือ วัสดุหลักจากพืช สมุนไพร ปลา หอย และวัสดุหลักจากพืชสัตว์ตลอดจนเศษอาหารบ้านเรือน รวมทั้งสิ้น 177 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์พบว่าน้ำหมักชีวภาพมีธาตุอาหารหลักปริมาณน้อยไม่เพียงพอสำหรับพืชถ้าจะใช้น้ำหมักชีวภาพอย่างเดียวเป็นปุ๋ยจำเป็นต้องใช้ร่วมกับการใส่ปุ๋ย แต่มีธาตุอาหารรอง ธาตุอาหารเสริมที่พอจะเป็นประโยชน์สำหรับพืช โดยน้ำหมักที่ผลิตจากสัตว์ คือ ปลา และหอย จะมีปริมาณธาตุอาหารรองโดยเฉลี่ยสูงกว่าน้ำหมักจากพืช ส่วนสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช พบว่าน้ำหมักจากสัตว์มีแนวโน้มพบปริมาณ IAA (indoleacetic acid) ซึ่งอยู่ในกลุ่มออกซินสูงกว่าน้ำหมักจากพืช และยังมีรายงานว่าน้ำหมักอินทรีย์จากวัสดุการเกษตรเมื่อนำมาหมักรวมกันหลายชนิด จะทำให้สไปรูลิน่ามีการเจริญเติบโตโดยมีน้ำหนักแห้งสูงกว่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรซาร์รุค

เคย

เคย (krill) เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังกลุ่มครัสตาเซียน (cruatacean) phylum arthropoda แพร่กระจายอยู่ทั่วไปในทะเลและมหาสมุทร เคยที่พบมีประมาณ 85 ชนิด (species)

ส่วนใหญ่เป็นเคยในสกุล *Euphausia* ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายอยู่ครบถ้วน จากการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร พบว่าปริมาณโปรตีนมีอยู่ในเคยมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เคยสกุล *Euphausia* ที่มักนำมาใช้ทำกะปินั้น มีปริมาณโปรตีน 70 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 10.7 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 12.6 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 8.5 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 1.3 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันไม่อิ่มตัว (HUFA : highly unsaturated fatty acids) ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของกรดไขมัน มีฟอสฟอรัส 13 เปอร์เซ็นต์ นอกจากกรดอะมิโนและกรดไขมันที่จำเป็นหลายชนิดแล้ว เคยยังมีแร่ธาตุหลายชนิด ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม นิเกิล โครเมียม แมงกานีส โคบอลท์ อลูมิเนียม คอปเปอร์ เหล็ก สังกะสี และซีลิเนียม (วันทนี สว่างอารมณ์ และคนอื่น ๆ, 2549 : 63)

เคยที่พบในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นเคยในสกุล *Mesopodopsis* และ *Acetes* ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์อาหารหมักโดยเฉพาะกะปิ และพบว่าเคยสดในสกุล *Mesopodopsis* มีปริมาณโปรตีน 12.09 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 1.26 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 2.27 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 86.25 เปอร์เซ็นต์ เกลือ 1.16 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 589.73 มิลลิกรัม/100 กรัม และฟอสฟอรัส 654.26 มิลลิกรัม/100 มิลลิกรัม เคยสกุล *Acetes* มีปริมาณโปรตีน 8.88 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 1.25 เถ้า 2.59 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 86.74 เปอร์เซ็นต์ เกลือ 1.26 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 844.47 มิลลิกรัม/100 กรัม และฟอสฟอรัส 466.83 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ (อรวรรณ คงพันธุ์ และ วัชรี คงรัตน์, 2556 : 2) และพบว่ากะปิจากเคยมีสารอาหารครบ 5 หมู่ ในปริมาณที่แตกต่างกันตามคุณภาพของกะปิ นอกจากนี้แล้วยังพบธาตุเหล็ก วิตามินเอ วิตามินบี 2 และไนอาซีนอีกด้วย ในกระบวนการทำกะปียังมีส่วนที่เป็นของเหลวที่เป็นผลพลอยได้จากการหมักเคยกับเกลือหรือที่เรียกกันว่าน้ำหมักเคยก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยนำมาใช้ผลิตเป็นซอสปรุงรส สำหรับปรุงอาหารชนิดต่าง ๆ และยังพบว่าน้ำหมักจากเคยมีปริมาณโปรตีนอยู่ประมาณ 2.50 เปอร์เซ็นต์ (สุแพรวพันธ์ โลหะลักษณาเดช และชุตินุช สุจริต, 2557 : 428)

เนื่องจากเคยมีปริมาณโปรตีนสูงจึงมีส่วนประกอบของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลัง และยังมีแร่ธาตุที่เป็นธาตุอาหารรองที่มีความจำเป็นสำหรับหลายชนิด จึงมีความเป็นไปได้สำหรับนำมาทำน้ำหมักอินทรีย์เมื่อช่วยในการเจริญของสไปรูลิน่า

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐพร จันทร์ฉาย และจุฑารัตน์ สนธิรอด (2561 : 194 - 203) ศึกษาการใช้น้ำหมักเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (เปลือก ต้น ซัง และฝุ่นข้าวโพด) 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับสูตรอาหารทางเคมี ในการเพาะเลี้ยง *S. platensis* พบว่าสูตรน้ำหมักจากต้นข้าวโพดเหมาะสมที่สุดที่จะใช้เป็นอาหารต้นทุนต่ำในการเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่า โดยให้อัตราความหนาแน่นของเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ 0.450 $\pm$ 0.006 ซึ่ง

แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จากการใช้เศษเหลือข้าวโพดส่วนอื่น ๆ และพบว่าน้ำหมักเศษเหลือจากต้นข้าวโพด 20 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้ สไปรูลิน่ามีความหนาแน่นเซลล์ 0.434 $\pm$ 0.020 สูงที่สุด แตกต่างจากที่เลี้ยงในน้ำหมักเศษเหลือจากต้นข้าวโพด 10 เปอร์เซ็นต์, 15 เปอร์เซ็นต์ และ 25 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

สมเกียรติ จตุรงค์ลำเลิศ จงกล พรหมยะ และจตุรภัทร วาฤทธิ์ (2560 : 142 - 151) ศึกษาปัจจัยของแสงสว่างจากหลอดแอลอีดีที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าในสภาวะที่เพาะเลี้ยงด้วยระบบโรงเรือนปิด พบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่าในระบบโรงเรือนปิดที่มีการควบคุมจะมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าการเพาะเลี้ยงระบบธรรมชาติ โดยผลของชนิดสีของหลอดแอลอีดีเป็นแบบผสมสีแดงและสีน้ำเงินในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 ระยะเวลาในการให้แสง 16 ชั่วโมงต่อวัน และค่าความเข้มแสงของฟลักซ์เท่ากับ 350 $\mu mol/m^2s$ จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของการพัฒนาระบบฟาร์มสาหร่ายอัจฉริยะโดยใช้แสงจากหลอดแอลอีดีในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่ามีจุดคุ้มทุนเท่ากับ 2.03 ปี

รชนิมุข หิรัญสัจจาเลิศ และคนอื่น ๆ (2558 : 548 - 555) ศึกษาผลของความเข้มแสงต่อปริมาณไฟโคไซยานินใน *Arthrospira* sp. โดยทำการเลี้ยงภายใต้สภาวะความเข้มแสงปกติ (1 กิโลลักซ์) และความเข้มแสงสูง (4 กิโลลักซ์) เป็นเวลา 25 และ 40 วัน ตามลำดับ พบว่าภายใต้สภาวะความเข้มแสงสูง *Arthrospira* sp. มีการเจริญเติบโตเร็วกว่าความเข้มแสงปกติ แต่จะมีปริมาณไฟโคไซยานินลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับการเลี้ยงภายใต้สภาวะที่มีความเข้มแสงปกติ

สุวรรณี ไทยอุดมทรัพย์ (2553 : 91 - 103) ศึกษาการเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าโดยใช้อาหารอินทรีย์ที่ได้จากวัสดุที่มีในท้องถิ่นประกอบด้วยน้ำหมักเศษเหลือจากปลาทู ปลากด และพืช ได้แก่ ย่าหยา มะละกอ กระถิน และผักโขม ที่หมักด้วยกระบวนการหมักแบบไม่มีอากาศที่ใช้วัสดุหมัก : น้ำ : น้ำตาลทรายแดง เท่ากับ 1 : 1 : 0.1 (น้ำหนัก/ปริมาตร/น้ำหนัก) กลางแจ้งนาน 30 วัน สำหรับเลี้ยงสไปรูลิน่า ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ และ 0.3 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับอาหารสูตรซาร์รุคและอาหารสูตรซาร์รุคดัดแปลง (อาหารทดลองที่ใช้ส่วนประกอบหลัก 9 ชนิด ไม่มีสารละลาย A5 และ B6) และอาหารอย่างง่าย (ส่วนประกอบหลัก 3 ชนิด จากอาหารสูตรซาร์รุค ได้แก่ โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมไนเตรท และไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต) และการเพาะเลี้ยงในน้ำหมักอินทรีย์ผสมสูตรเคมี ทำการเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าความหนาแน่นเริ่มต้น 0.5 (OD, 560 nm) ปริมาตร 10 ลิตร ในสภาวะกึ่งธรรมชาติที่ได้รับความเข้มแสง 2,500 - มากกว่า 50,000 ลักซ์ อุณหภูมิ 37 - 40 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่าง 8.35 - 11.16 เพาะเลี้ยงจนกระทั่งความหนาแน่นสูงที่สุดจึงยุติการทดลอง พบว่าสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรซาร์รุคเต็มสูตร มีการเจริญและผลผลิตดีที่สุด ดีกว่าเมื่อลดปริมาณสารอาหารลงเหลือ 50 เปอร์เซ็นต์ และดีกว่าเมื่อใช้อาหารสูตรดัดแปลงทุกระดับ

ความเข้มข้น และอาหารอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญ การใช้อาหารสูตรซาร์รุคที่มีสารอาหารเพียง 50 เปอร์เซ็นต์ สไปรูลิน่าเจริญได้ 87.2 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักแห้ง 82 เปอร์เซ็นต์ ของสไปรูลิน่าที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตรซาร์รุคปกติเต็มสูตร เนื่องจากอาหารสูตรซาร์รุคมีปริมาณไนเตรทตั้งต้นสูงกว่าอาหารอินทรีย์มาก น้ำหมักจากปลาทูทำให้สไปรูลิน่าเจริญได้ดีกว่าน้ำหมักจากพืช และการผสมน้ำหมักปลาทู 0.1 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสูตรซาร์รุค ทำให้สไปรูลิน่าเจริญได้ดีกว่าเมื่อไม่เติมน้ำหมักอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) แต่ยังคงต่ำกว่าเมื่อใช้อาหารสูตรซาร์รุคเต็มสูตร โดยพบว่าการเติมน้ำหมักปลาทู 0.1 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรดัดแปลงทำให้สไปรูลิน่าเจริญได้ความหนาแน่นและน้ำหนักแห้งใกล้เคียงกับการเลี้ยงด้วยอาหารสูตรซาร์รุคเต็มสูตร คือ 83-84 เปอร์เซ็นต์ และ 87.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสไปรูลิน่าสามารถใช้ไนเตรทได้เพิ่มมากขึ้นเป็นหลัก ผลในส่วนนี้เกิดเนื่องจากการที่ในอาหารมีน้ำหมักที่มี growth promoting factors หลายชนิดที่เป็น trace elements ที่มีบทบาทสำคัญช่วยให้สไปรูลิน่าเจริญได้ดีขึ้น จะเห็นได้ว่าน้ำหมักอินทรีย์ต้องให้ trace elements ที่ดีมากแก่สไปรูลิน่า แต่ยังไม่สามารถทดแทนสารละลาย A5 และ B6 ในอาหารสูตรซาร์รุคเต็มสูตรได้ทั้งหมด และการเติม 0.1 เปอร์เซ็นต์ น้ำหมักปลาทูในอาหารสูตรซาร์รุคดัดแปลง 25 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีนสูงกว่าสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรซาร์รุคเต็มสูตรอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีโปรตีนถึง 70.32-71.07 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง ในขณะที่สไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรซาร์รุคเต็มสูตรมีเปอร์เซ็นต์โปรตีน 63.54-64.10 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง และพบว่าการเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าในอาหารอินทรีย์ ถึงแม้จะให้ผลผลิตในปริมาณที่ต่ำกว่าการเพาะเลี้ยงในอาหารเคมี แต่เมื่อผสมอาหารอินทรีย์ในอาหารเคมีที่มีการลดปริมาณลง ทำให้สไปรูลิน่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์รวม แคโรทีนอยด์ และไฟโคไซยานิน สูงกว่าการเพาะเลี้ยงในอาหารเคมีอย่างเดียว และปริมาณสารอาหารที่เหลือหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตในชุดการทดลองที่ใช้อาหารอินทรีย์ มีปริมาณน้อยกว่าที่มีในอาหารเคมีมาก อย่างไรก็ดีปริมาณไฟโคไซยานินของสไปรูลิน่าขึ้นอยู่กับปริมาณสารอาหารที่ได้รับจากการทดลอง โดยสไปรูลิน่าที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์ มีปริมาณไฟโคไซยานินต่ำกว่าการเพาะเลี้ยงในอาหารเคมีที่ผสมอาหารอินทรีย์ สไปรูลิน่าที่เพาะเลี้ยงในอาหารเคมีผสมอาหารอินทรีย์ในการศึกษาครั้งนี้ยังมีไฟโคไซยานิน 20.50-22.66 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสูงกว่าการเพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์ (15.20-18.46 มิลลิกรัม/ลิตร) และอาหารเคมี (15.53-19.83 มิลลิกรัม/ลิตร) ไม่มากนัก อาจเนื่องมาจากการมีอาหารอินทรีย์ในปริมาณน้อยเกินไป อย่างไรก็ตามการเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าด้วยอาหารอินทรีย์ผสมอาหารเคมี ทำให้ได้สไปรูลิน่าที่มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น หากสามารถจัดการการใช้น้ำหมักได้ดีขึ้น น่าจะสามารถทำให้คุณภาพส่วนนี้ของสไปรูลิน่าดีขึ้นได้เช่นกัน เนื่องจากการใช้สารอินทรีย์ เช่น น้ำหมักจากปลาชนิดต่าง ๆ น้ำหมักจากพืช หรือมูลสัตว์ มีปริมาณธาตุอาหารน้อย เมื่อเทียบกับสูตรปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการเลี้ยงสไปรูลิน่า แต่น้ำหมักเหล่านี้มี growth factor ซึ่งสามารถใช้ในการเสริมการเจริญเติบโต

ของปุ๋ยเคมีดัดแปลงและทำให้สไปรูลิน่าเจริญเติบโตใกล้เคียงกับสูตรปุ๋ยเต็มสูตร แต่มีความยุ่งยากในการเตรียมน้อยกว่า และยังส่งผลให้มีปริมาณของไฟโคไซยานินสะสมในปริมาณที่สูงกว่า

สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ และปวีณา ทวีกิจการ (2553 : 1-5) ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและปริมาณรงควัตถุของ *S. platensis* ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมมูลสุกร ในอัตราส่วน 0 (เป็นชุดควบคุม), 0.5, 2 และ 7.5 กรัม/ลิตร ภายใต้การได้รับแสงธรรมชาติเป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่า *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.5 กรัม/ลิตร มีปริมาณโปรตีนและแคโรทีนอยด์สูงสุด คือ 69.73 $\pm$ 0.14 เปอร์เซ็นต์ และ 3.14 $\pm$ 0.03 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนปริมาณไขมัน แคลเซียม และฟอสฟอรัส มีค่าสูงที่สุดเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารผสมมูลสุกร 0.75 กรัม/ลิตร โดยมีปริมาณไข เท่ากับ 1.86 $\pm$ 0.02 เปอร์เซ็นต์ ไฟโคไซยานิน 3.52 $\pm$ 0.08 มิลลิกรัม/ลิตร

RAMBHAI BARNI RAJABHAT UNIVERSITY
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี