

## บทที่ 2

### การตรวจทวนเอกสาร

#### สาหร่าย

สาหร่าย เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะคล้ายพืชเนื่องจากสามารถสังเคราะห์แสงได้ เพราะมีคลอโรฟิลล์ มีความแตกต่างจากพืชตรงที่สาหร่ายมีทั้งพวกที่เป็นเซลล์เดี่ยว และอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (colony) แต่ไม่มีส่วนที่เป็นราก ลำต้นและใบที่แท้จริง มีขนาดตั้งแต่เล็กมากมีเซลล์เดี่ยวไปจนถึงมีขนาดใหญ่ประกอบไปด้วยเซลล์จำนวนมาก เป็นเส้นสาย หรือมีลักษณะคล้ายพืชชั้นสูงก็มี โดยมีส่วนที่คล้ายราก ลำต้น และใบรวมเรียกว่า Thallus ไม่มีระบบท่อลำเลียง เซลล์สืบพันธุ์ประกอบไปด้วยเซลล์เพียงเซลล์เดียว โดยไม่มีชั้นอื่นๆมาห่อหุ้มไซโกตของสาหร่ายยังไม่มีการพัฒนาเป็นเอ็มบริโอ และมีส่วนที่คล้ายคลึงแบคทีเรีย เนื่องจากบางกลุ่มเป็น โปรคาริโอตเหมือนกัน แต่ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายให้ออกซิเจนแต่แบคทีเรียไม่ให้ออกซิเจนออกมาสารที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนในสาหร่าย คือ น้ำแต่แบคทีเรียใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรืออินทรีย์สารอื่นในสภาพการลดออกซิเจน (ยูวดี, 2549)

สำหรับงานวิจัยนี้ได้สนใจศึกษาสาหร่ายใน Division Cyanophyta หรือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue green algae) เป็นสาหร่ายกลุ่มที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดถึง 7,500 สปีชีส์

#### **Division Cyanophyta สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน หรือไซยาโนแบคทีเรีย**

ยูวดี (2549) สาหร่ายกลุ่มนี้มีกำเนิดมาก่อนสาหร่ายกลุ่มอื่นๆ มีความคล้ายคลึงกับแบคทีเรีย คือเป็นพวกที่ไม่มีเนื้อเยื่อหุ้มนิวเคลียส สาหร่ายกลุ่มนี้ขึ้นได้ในทุกแห่งในโลก ทั้งที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่เป็นอากาศ (terrestrial algae) แม้มีความชื้นน้อยก็เจริญเติบโตได้น้อย หรืออยู่ในสภาพสปอร์ เมื่อความชื้นสูงก็เจริญเติบโตดี เช่น พวกที่อยู่ตามก้อนหิน (epilithic algae) ได้แก่ พวก *Chroococcus*, *Gloeocapsa* และ *Calothrix* เป็นต้น พวกที่เจริญเติบโตในน้ำ ซึ่งมีจำนวนชนิดและปริมาณมากที่สุดมีทั้งในน้ำจืดและในทะเล และกลุ่มสุดท้ายก็คือพวกที่เจริญเติบโตในสภาพผิดปกติ สาหร่ายที่ขึ้นอยู่บนหิมะ (snow algae) สาหร่ายในน้ำร้อน (thermal algae) หรือ สาหร่ายซิมไบโอติก (symbiotic algae) เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาสาหร่ายในดิวิชันนี้อยู่ 2 ออร์เดอร์แบ่งตาม Komarek and Anagnostidis (1989; 1999) และ Anagnostidis and Komarek (1990) คือ

## 1) Order Nostocales

### Family Nostocaceae

#### Genus *Nostoc*

Order Nostocales สาหร่ายในออเดอร์นี้มีลักษณะเป็นเส้นสายไม่แตกแขนง มีชีวิตหุ้มหนาหรือบางแล้วแต่ชนิด เซลล์มีรูปร่างกลม หรือเหลี่ยมเล็กน้อยแล้วป่องตรงกลาง บางชนิดเป็นแบบทรงกระบอก มีเฮเทอโรซิสต์หรืออินเตอร์คาลารีเฮเทอโรซิสต์ก็ได้ มีการสร้างอะคินีทด้วย เฮเทอโรซิสต์สามารถงอกเป็นเส้นสายใหม่ได้

Family Nostocaceae มีลักษณะเป็นเส้นสายไม่แตกแขนงมีชีวิตหุ้มหนาหรือบางแล้วแต่ชนิดมีเฮเทอโรซิสต์แบบเทอร์มินัล เฮเทอโรซิสต์ หรืออินเตอร์คาลารี เฮเทอโรซิสต์ ก็ได้ มีการสร้างอะคินีทด้วย

Genus *Nostoc* สาหร่าย *Nostoc* มีชื่ออื่นๆ ได้แก่ ไขหิน ดอกหิน เห็ดหิน เห็ดลาบเห็ดยาควร (ไทย); Star shot, Star jelly, Witches' butter, Fairies' butter (ยุโรป); Ishikurage (ญี่ปุ่น); Koxiaumi, Fat tsai, Facai หรือ shi (จีน) (อาภารัตน์, 2550) มีลักษณะเป็นเส้นสายคล้าย *Anabaena* มาก แต่เส้นสายจะบิดงอมากกว่าและอยู่รวมกันเป็นจำนวนมาก โดยฝังตัวอยู่ในสารเมือกที่มีลักษณะเป็นวุ้นหนามองดูเป็นก้อน ต้องขยี้เมือกที่หุ้มออกก่อน จึงจะเห็นเป็นเส้นสายจำนวนมาก เซลล์มีลักษณะกลม หรือค่อนข้างกลม เฮเทอโรซิสต์และอะคินีทอยู่ติดกัน หรือใกล้เคียงกัน และอยู่ในเส้นสาย ลักษณะที่ต่างจาก *Anabaena* ก็คือ มีชีวิตที่หุ้มไตรโคมหนากว่ามาก สาหร่ายชนิดนี้มักพบอยู่ตามพื้นดินที่ชื้นแฉะหรือตามหน้าผาชื้นๆ นำมารับประทานได้ โดยเฉพาะ *Nostoc commune* Vaucher มีลักษณะเป็นก้อนกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 – 2 เซนติเมตร บางชนิดมีลักษณะเหมือนเส้นผม ทางใต้เรียกผักผม นำมารับประทานได้

สปีชีส์ที่พบ เช่น *N. azollae*, *N. caeruleum*, *N. carneum*, *N. comminutum*, *N. commune*, *N. ellipso sporum*, *N. flagelliforme*, *N. linckia*, *N. longstaffi*, *N. microscopicum*, *N. muscorum*, *N. paludosum*, *N. pruniforme*, *N. punctiforme*, *N. sphaericum*, *N. sphaeroides*, *N. spongiaeforme* และ *N. verrucosum* (วิกิพีเดีย, 2556)

## 2) Order Stigonematales

### Family Nostochopsaceae

#### Genus *Nostochopsis*

Order Stigonematales มีลักษณะเป็นเส้นสายที่แตกแขนงได้หลายแบบ มีทั้งแตกแขนงแท้จริงและไม่แท้จริง และแต่ละแบบจะมีการแตกแขนงหลายทิศทาง เซลล์ที่

ประกอบด้วยเส้นสายอาจประกอบด้วยเซลล์แถวเดียว 2 แถว หรือมากกว่า แต่แขนงที่แตกออกไปมักเป็นแถวเดียว แต่อาจมีมากกว่า 1 แถวก็ได้ ซีพที่หุ้มมักมีสีเหลือง หรือสีน้ำตาล มีการสร้างเฮเทอโรซิสต์ ซึ่งอาจมีโพลาร์โนคูลถึง 3 อัน สืบพันธุ์โดยการสร้างสปอร์โมโกเนีย แล้วขาดออกเป็นท่อนๆ ไม่พบการสร้างอะคินีท

Family Nostochopsaceae ทัลลัสมีลักษณะเป็นก้อนเมือก ประกอบด้วยเส้นสายตรง หรือโค้งงอ แตกแขนงแบบแท้จริงแต่ไม่เป็นระเบียบ บางแขนงสั้น บางแขนงยาว มีเฮเทอโรซิสต์เกิดปลายแขนงสั้นๆ บางชนิดอาจเกิดในเส้นสาย

Genus *Nostochopsis* มีชื่อสามัญ คือ สาหร่ายลอนหรือองลอน ทัลลัสเป็นก้อนเมือกภายในมีเส้นสายจำนวนมากฝังอยู่ เมื่อยังอ่อนเป็นก้อนตัน เมื่ออายุมากขึ้นตรงกลางจะกลวง มีการแตกแขนงของเส้นสายหลายทิศทาง แขนงสั้นๆ ประกอบด้วย 2-3 เซลล์ มีเฮเทอโรซิสต์เกิดปลายแขนงสั้นๆ ส่วนแขนงยาวประกอบด้วยเซลล์จำนวนมาก เซลล์ตรงส่วนปลายมีลักษณะยาว เฮเทอโรซิสต์บางอันเกิดบนเส้นสาย

สาหร่ายชนิดนี้ขึ้นอยู่บนก้อนดินหรืออากาศเย็นที่มีน้ำไหลผ่าน เช่น ทางภาคเหนือของไทย ที่จังหวัดเชียงใหม่ มีขนาด 10-15 มิลลิเมตร ชาวเชียงใหม่เรียก ดอกหิน หรือ ไข่หินที่จังหวัดน่าน พบเจริญอยู่บนก้อนหินใต้น้ำ สปีชีส์ที่พบ เช่น *Nostochopsis hansgirgii* Schmidle, *N. lobata* Wood ex Bornet et Flahault, *N. radians* Bharadwaja, *N. transvaalensis* Welsh และ *N. wichmannii* Weber van Bosse (The on-line database of cyanobacteria genera, 2556)

### คุณค่าทางโภชนาการ

ได้ทำการมีการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ พบว่า 100 กรัมของสาหร่าย *Nostoc* มีโปรตีนไม่เกิน 33.78 % ไขมัน 0.28 % คาร์โบไฮเดรต 51.19% วิตามิน A, B1, B2 แคลเซียม เหล็ก กรดอะมิโนเมไท-โอนีน ไลซีน โพรลีน ไทโรซีน อะลานีน (อาภารัตน์, 2550) ภายในเซลล์มีคลอโรฟิลล์เอ รวมทั้งรงควัตถุสำคัญหลายชนิด เช่น แคโรทีน แซนโทฟิลล์ ไฟโคเออร์ริทริน และไฟโคไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ช่วยในการเพิ่มสีให้ปลาสวยงาม (สุนิรัตน์ และคณะ, 2555) และในสาหร่าย *Nostochopsis* มีปริมาณโปรตีนราว 20 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับเนื้อปลา มีวิตามินและเกลือแร่หลายชนิด โดยเฉพาะซีลีเนียมซึ่งมีสารป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระอยู่ถึง 409.8 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม ต่อน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ยังมีแคลเซียมสูงมากถึง 12,378.9 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (ยุวดี, 2549)

สาหร่ายสองกลุ่มนี้พบได้เพียงบางช่วงเท่านั้น ไม่พบตลอดทั้งปีสาหร่ายลอนพบได้ในแม่น้ำนานในช่วงฤดูแล้ง ตั้งแต่ ตุลาคม-พฤษภาคม ของทุกปี ซึ่งชาวบ้านนิยมนำมารับประทานโดยนำมาต้มเป็นอาหาร และผู้มีอายุนิยมรับประทานเป็นยาแก้ร้อนใน

### รงควัตถุของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (ยูวาคี, 2549)

การที่เรามองเห็นสาหร่ายเป็นสีต่างๆ เนื่องมาจากรงควัตถุที่อยู่ในสาหร่าย ซึ่งมีหน้าที่ในการช่วยสังเคราะห์แสงของสาหร่าย รงควัตถุของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ประกอบด้วย คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) เป็นรงควัตถุหลักในคลอโรพลาสต์ โดยรวมอยู่กับโปรตีน และฝังอยู่ระหว่างโปรตีนกับไขมันของเยื่อคลอโรพลาสต์ มีคุณสมบัติในการดูดแสงสีแดง และน้ำเงินมาก และสะท้อนแสงสีเขียว ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน มีคลอโรฟิลล์ เอ (ซึ่งเป็นรงควัตถุหลักที่มีในสาหร่ายทุกชนิด เป็นรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงขั้นต้น สามารถดูดกลืนพลังงานแสงได้ด้วยตัวเอง ส่วนคลอโรฟิลล์อื่นๆ จัดเป็นรงควัตถุสังเคราะห์แสงขั้นที่ 2 คือ ดูดพลังงานแสงแล้วส่งต่อไปให้คลอโรฟิลล์ เอ อีกครั้งหนึ่ง)

แคโรทีนอยด์ (carotenoid) พบในเซลล์ที่มีการสังเคราะห์แสงทุกชนิด ดูดกลืนแสงสีน้ำเงินในช่วงความยาวคลื่น 400-550 นาโนเมตร และสะท้อนสีเหลืองส้ม แคโรทีนอยด์อยู่ในเนื้อเยื่อคลอโรพลาสต์กับ คลอโรฟิลล์ ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งประกอบไปด้วย

1. แคโรทีน (carotene) เป็นรงควัตถุที่สะท้อนแสงสีส้มจึงมองเห็นเป็นสีส้ม เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน คือ ประกอบด้วยออกซิเจนและคาร์บอนเท่านั้น ได้แก่ เบต้าแคโรทีน (beta-carotene) ซึ่งชนิดที่พบในสาหร่ายทุกชนิด

2. แซนโทฟิลล์ (xanthophyll) เป็นรงควัตถุที่สะท้อนแสงสีเหลือง จึงมองเห็นเป็นสีเหลือง ซึ่งอาจเรียกว่า แคโรทีนอล (carotenol) หรือ ออกซิแคโรทีน (oxycarotene) เพราะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีออกซิเจนเพิ่มเข้ามาโดยเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ได้แก่ มิกโซแซนโทฟิลล์ (myxoxanthophyll) และมิกโซแซนทิน (myxoxanthin)

ไฟโคบิลิน (phycobilin) ไฟโคบิลินจะรวมอยู่กับโปรตีนเป็นสารประกอบที่เรียกว่า ไฟโค-บิลิโปรตีน (phycobiliprotein) ซึ่งประกอบด้วย

1. ซี-ไฟโคเออร์ธริน (phycoerythrin) รงควัตถุชนิดนี้จะดูดกลืนแสงสีเขียว เหลือง ซึ่งคลอโรฟิลล์ไม่ดูด และจะไม่ดูดแสงสีแดงจึงเป็นรงควัตถุที่มีสีแดง

2. ซี-ไฟโคไซยานิน (phycocyanin) และอัลโลไฟโคไซยานินเป็นรงควัตถุสีน้ำเงินดูดแสงช่วงคลื่นที่ยาวกว่ารงควัตถุสีแดง

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินไม่มีคลอโรพลาสต์ชัดเจน แต่มีไทลาคอยด์ซึ่งจะอยู่เดี่ยวๆ ไม่มีเยื่อบางๆ มาหุ้มและไม่มีการจัดเรียงตัวเป็นชั้นๆ พบเป็นอิสระทั่วไปในเซลล์หรือรอบๆ นอกของตัวเซลล์จึงเรียกบริเวณที่มีรงควัตถุอยู่ว่า chromoplasm บริเวณไทลาคอยด์นี้เป็นที่อยู่ของคลอโรฟิลล์ เอ ส่วนรงควัตถุอื่นๆ จะเกาะอยู่บนผิวไทลาคอยด์ลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ รวมเรียกว่าไฟโคบิลิโซม รงควัตถุทั้งหลายไม่รวมตัวกันเป็นพลาสต์เหมือนพืชชั้นสูงทั่วไป มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กแบบร่างแหกระจายอยู่ทั่วไป

การมองเห็นสาหร่ายชนิดนี้เป็นสีเขียวแกมน้ำเงิน เนื่องจากมีทั้งคลอโรฟิลล์และซี-ไฟโคไซยานิน แต่ในบางครั้งอาจมองเห็นเป็นสีแดง ถ้ามีซี-ไฟโคเออริทรินมาก สัดส่วนของรงควัตถุแตกต่างกันไปในแต่ละชนิด ทำให้มองเห็นสาหร่ายมีตั้งแต่สีเขียว ไปจนถึงดำแดงหรือสีที่เป็นสีกึ่งกลางของสีเหล่านี้

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีลักษณะพิเศษประการหนึ่งคือ การเปลี่ยนสี (chromatic adaptation) ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสง (wavelength) และความเข้มแสง (intensity) จากสมมติฐาน Gaidukov phenomenon อธิบายว่าสาหร่ายสามารถเปลี่ยนสีได้เมื่อเลี้ยงในที่ต่าง ๆ กัน เพราะแสงสีที่ต่างกัน ทำให้สาหร่ายสร้างรงควัตถุที่ต่างกันและมีปริมาณต่างกันด้วย

### ความต้องการธาตุอาหารของสาหร่าย

สาหร่ายต้องการธาตุอาหารในการเจริญเติบโตคล้ายกับพืชชั้นสูง แต่มีธาตุอาหารบางตัวที่มีความต้องการแตกต่างจากพืช ธาตุอาหารที่จำเป็นต้องการปริมาณมาก (macronutrient elements) เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์ อาหารที่จำเป็นต้องการปริมาณน้อย (micronutrient elements) เช่น เหล็ก คลอไรด์ แมงกานีส โบรอน ทองแดง โมลิบดีนัม และสังกะสี สาหร่ายแต่ละชนิดยังต้องการสารอาหารที่แตกต่างกันไป เช่น ไดอะตอม ต้องการซิลิกาสำหรับสร้างฟรอสตูล สำหรับ *Nostoc* ต้องการโซเดียม ในการเจริญเติบโต เป็นต้น

นอกจากนี้สาหร่ายยังต้องการสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ ในการเจริญเติบโตด้วย เช่น วิตามินบี<sub>12</sub> วิตามินบี<sub>1</sub> และไบโอติน ซึ่งสาหร่ายต้องการทั้งหมดหรือต้องการเพียงอย่างเดียวกก็ได้แล้วแต่ชนิดของสาหร่าย สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิดสามารถสังเคราะห์วิตามินบี<sub>12</sub> ได้

วิตามินบี1 เป็นโคเอนไซม์ สำหรับโคเอนไซม์คาร์บอกซิเลส สำหรับที่ต้องการวิตามินบี1 ปี12 มักต้องการไป โอดินด้วยเสมอ นอกจากนี้ยังมีสารอีกหลายชนิดที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่ายซึ่งแต่ละชนิดต้องการมากน้อยไม่เท่ากัน เช่น ในอาซีน กรดพาราแอมมิโนเบนโซอิก กรดโฟลิก กรดแพนโทนิค ไพรดอกซิน กรดแอสคอร์บิก ไกลซีน และฮีสติดีน เป็นต้น ดังนั้นในการเพาะสาหร่าย *Nostoc* และ *Nostochopsis* ที่เก็บตัวอย่างมาจากธรรมชาติ ต้องมีการแยกเชื้อให้บริสุทธิ์ก่อน แล้วจึงนำมาเพาะเลี้ยงในระดับห้องปฏิบัติการ ในอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตต่อไป (ยวดี, 2549)

## ปลาทอง

ปลาทอง หรือ Goldfish เป็นปลาที่จัดอยู่ใน เป็นปลาน้ำจืด มีถิ่นกำเนิดในประเทศจีนและญี่ปุ่น เมื่อก่อนเป็นปลาที่นำมาบริโภค แต่ต่อมามีการพัฒนาสายพันธุ์จนกลายเป็นปลาสวยงามที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน (วิกิพีเดีย, 2556)

### การจำแนกทางอนุกรมวิธาน

Kingdom: Animalia

Order: Cypriniformes

Family: Cyprinidae

Genus: *Carassius*

Species: *Carassius auratus* Linnaeus

### รูปร่างลักษณะ

ปลาทองมีรูปร่างคล้ายปลาไน แต่มีขนาดเล็กกว่า มีรูปร่างป้อม แบนข้างเล็กน้อย ส่วนหัวลาด ปากมีขนาดเล็ก มีหนวด 2 คู่ ครีบค่อนข้างยาว ครีบหางเป็นแฉกเว้าลึก ลำตัวมีสีส้มหรือน้ำตาลอมส้ม ส่วนท้องจางกว่าลำตัว ต่อมาได้มีการพัฒนาสายพันธุ์ไปทำให้มีความหลากหลายมากขึ้น

## สายพันธุ์ปลาทอง (ประภาส, 2556)

จากการพัฒนาสายพันธุ์ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ทำให้ได้ปลาทองที่มีลักษณะที่สวยงามหลายแบบด้วยกัน แบ่งได้ 2 แบบ โดยใช้ลักษณะหางเป็นเกณฑ์ ดังนี้

1. ปลาทองที่มีหางเดี่ยวหรือหางแฉก (fork tail) มีลักษณะหางเป็นแผ่นแบบกว้างเว้า ตรงกลางเป็น 2 แฉก มี 2 สายพันธุ์ที่เป็นที่นิยม ได้แก่

1.1 พันธุ์โคเมท (Comet) เป็นปลาทองสายพันธุ์ดั้งเดิม ตัวค่อนข้างแบนยาวคล้าย ปลาไน ลำตัวมีสีแดง แดงสลับขาว หรือสีทอง

1.2 พันธุ์ชูบุงกิ (Shubukin) ลักษณะคล้ายพันธุ์โคเมท แต่มีจุดสีประปรายตามลำตัวหลายสีกว่า เกิดค่อนข้างโต

2. ปลาทองที่มีหางคู่คือสายพันธุ์ที่มีส่วนหางแยกออกเป็น 3-4 แฉก มีทั้งชนิดที่มีครีบหลังและไม่มีครีบหลัง

2.1 สายพันธุ์ที่มีครีบหลัง

2.1.1 สายพันธุ์ออร์นดา มีลักษณะลำตัวค่อนข้างยาว มีครีบครบทุกครีบหางยาว ที่หัวมีวุ้น

2.1.2 สายพันธุ์ริวกิ้น (Ryukin หรือ Veiltail) มีหางค่อนข้างยาวเป็นพวงสวยงามคล้ายริบบิ้น ในขณะที่ว่ายน้ำครีบหางจะบานเป็นสง่า ลำตัวค่อนข้างสั้น มักมีสีแดงสลับขาว

2.1.3 สายพันธุ์ตาโปน (Telescope-eye Goldfish) ลูกตาจะยื่นโปนออกมาเหมือนท่อกล้องส่องทางไกล ที่นิยมเลี้ยงมี 5 ชนิด ได้แก่ พันธุ์ตาโปนสีแดง พันธุ์มัว พันธุ์ตาโปนสามสี พันธุ์ตาลูกโป่ง และพันธุ์ตากลับ

2.1.4 สายพันธุ์เกล็ดแก้ว มีลำตัวกลมคล้ายลูกปิงปอง ส่วนหัวเล็กมากหางยาว มีเกล็ดนูนขึ้นมาต่างจากเกล็ดธรรมดาทั่วไปอย่างชัดเจน ลำตัวมักมีสีขาว สีส้ม สีแดง

2.2 สายพันธุ์ที่ไม่มีครีบหลัง

สายพันธุ์หัวสิงห์ (Lionhead Goldfish) ไม่มีครีบหลัง หางสั้นและเป็นครีบกู่ ส่วนหัวมักมีก้อนนูนปกคลุมอยู่ ได้แก่ สิงห์ญี่ปุ่น สิงห์จีน สิงห์หัวแดง สิงห์ตามิด และสิงห์ห้าสี เป็นต้น

## รงควัตถุในสัตว์น้ำ

รงควัตถุในสัตว์น้ำเป็นตัวกำหนดสีต้นของปลาผู้เลี้ยงปลาที่ต้องการให้ปลาที่เลี้ยงมีสีสวยงามควรเข้าใจถึงพื้นฐานการสร้างเม็ดสีของปลา เลือกใช้สารประกอบในการเร่งสีได้ถูกต้องและมีความปลอดภัยต่อปลาไม่มีอันตราย ปลาที่ได้มีคุณภาพ สะอาดตามแก่ผู้พบเห็นและมีสีสวยงามตลอดจนเป็นที่ต้องการของตลาดรงควัตถุที่สำคัญ ได้แก่

### แคโรทีนอยด์ในสัตว์น้ำ (ตุลซาบ, 2556)

การสร้างเม็ดสีในปลาแต่ละชนิดแตกต่างกันส่วนใหญ่เม็ดสีสำคัญที่พบในผิวและกล้ามเนื้อ ตลอดจนอวัยวะต่างๆ คือ สารสีเมลานินซึ่งมีสีดำ ส่วนเม็ดสีที่เราต้องการคือ เม็ดสีแคโรทีนอยด์ มีคุณค่าในการสร้างสีต่างๆ มีสีเหลืองจนถึงแดงจัด (พวกปลาทอง ปลาคาร์ฟ) เมื่อไปรวมตัวกับโปรตีนต่างๆ ทำให้เกิดสีหลากหลาย เช่น สีฟ้า น้ำเงิน ม่วง เขียว (ปลาหมอสี) ปลาส่วนใหญ่สะสมแคโรทีนอยด์ในผิวหนังปลาหากมีปริมาณสูงจะทำให้ได้สีสดสวย แต่ปลาบางชนิดจะนำไปสะสมที่กล้ามเนื้อแทนเช่นปลาแซลมอน

ในธรรมชาติ แคโรทีนอยด์ พบได้ในสิ่งมีชีวิตหลายชนิด เช่น พืชที่มีสีเหลืองมะเขือเทศสำหรับหอยเห็ด สัตว์ในกลุ่มครัสเตเซียน แคโรทีนอยด์ เมื่อไปรวมกับโปรตีน เป็นคาโรทีโนโปรตีน ให้สีที่แตกต่างกันออกไป ตั้งแต่ สีฟ้าจนถึงสีเขียวการจับของแคโรทีนอยด์และโปรตีนจะแตกต่างกันเมื่อถูกความร้อน พืชสีเหลืองจะให้สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ในปริมาณไม่สูงนัก ยีสต์บางตัวเช่นกัน สารกลุ่มนี้บางตัวให้มากและอาจพบปัญหาสีขาวซีดเช่น พืชหลายชนิดจะมีสารลูเทออิน (lutein) ให้ปริมาณน้อยได้ให้มากจะเกิดผลเสีย

ในปลาทองไม่ค่อยมีปัญหาในการเร่งสีเมื่ออยู่ในสภาพที่เหมาะสมถูกแดด แผลงก็ตอนพืช สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน จะเจริญงอกงาม เป็นแหล่งของแคโรทีนอยด์ปลาดีสุขภาพดี อาหารดี มีผลต่อการจัดของสี ปลาทองมีข้อดีคือเมื่อได้รับสารชนิดใดก็ตามจะเปลี่ยนไปเป็นเม็ดสีเก็บสะสมที่ผิวหนัง ที่ไขอวัยวะภายในส่วนปลาหมอสีจะเร่งให้เกิดสีนั้น นอกจากมีแคโรทีนอยด์สูงแล้วอาหารพวกโปรตีนคุณภาพก็มีความจำเป็น นอกจากนี้ขึ้นอยู่กับฟอรั่มสีของปลา พันธุกรรม การคัดปลาก็สำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าการให้อาหารการเร่งสีปลาสวยงามให้มีสีสวยและมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับอาหารและวิตามินที่มีประโยชน์และปลอดภัยซึ่งอาหารที่ให้ปลากินนั้นจะต้องประกอบด้วยส่วนผสมที่มีคุณภาพและปริมาณที่เหมาะสม

### ไฟโคไซยานินในสัตว์น้ำ

ไฟโคบิลินเป็นรงควัตถุที่มีอยู่เฉพาะสำหรับสาหร่ายสีแดงและสีเขียวแกมน้ำเงิน ประกอบด้วยรงควัตถุ 2 ชนิด ได้แก่ ไฟโคเออร์ธริน เป็นรงควัตถุสีแดงและไฟโคไซยานินเป็นรงควัตถุสีน้ำเงินส่วนใหญ่มีการใช้ไฟโคไซยานินเป็นสีผสมอาหารผสมในเครื่องสำอาง ใช้เป็นอาหารสำหรับมนุษย์ ผสมอาหารสัตว์ และ บางส่วนใช้เป็นตัวรับรู้ทางวิทยาอิมมูน/วิทยาภูมิคุ้มกัน (fluorescent probes) ส่วนการประยุกต์ใช้ทางการแพทย์พบว่าซี-ไฟโคไซยานินสามารถต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ด้านการอักเสบ (anti-inflammatory) ด้านมะเร็ง (anticancer) และมีรายงานว่า ซี-ไฟโคไซยานินบริสุทธิ์สูงสามารถต้านแบคทีเรียก่อโรคชนิดที่คือยา บางชนิดได้ และยังเป็นแหล่งสะสมไนโตรเจนซึ่งจะให้ธาตุไนโตรเจนกับสาหร่ายในยามที่ขาดแคลนธาตุไนโตรเจน (สรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ, 2555) ได้มีการนำเอาไฟโคไซยานินมาใช้กับสัตว์น้ำ เช่น การใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้งสดและแห้งผสมอาหารให้สัตว์น้ำ เช่น ปลาหมอสี พบว่า สามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต เติบโตและเพิ่มภูมิคุ้มกันได้เมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับปริมาณไฟโคไซยานินในของสาหร่าย (สุนิรัตน์ และคณะ, 2555)

### การเกิดสีในปลาสวยงาม

สีของปลานั้นเกิดจากสีที่อยู่ในชั้นเซลล์สี (chromatophore) ซึ่งประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ได้แก่ แซนโทฟอร์ ซึ่งประกอบไปด้วยแคโรทีนอยด์และเพอร์ดีนชั้นอิริโดฟอร์ซึ่งเป็นตัวกำหนดแสงสะท้อนของผิวเมลาโนฟอร์ซึ่งประกอบไปด้วยเมลานิน (Price et al., 2008) สีต่างๆ ที่เรามองเห็นเกิดจากการผสมกันของอนุภาคสีต่างๆ เช่น สีส้มเกิดจากเซลล์สีแดงและเหลือง สีน้ำตาลเกิดจากเซลล์สีดำและเหลือง และสีแดงก็คือเซลล์สีแดงเท่านั้น บริเวณที่ไม่มีเซลล์สีก็จะปรากฏเป็นสีขาวอันเป็นผลมาจากอิริโดไซท์ ตำแหน่งของอิริโดไซท์ยังเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติการสะท้อนแสงของผิว ปลาที่มีผิว มันอิริโดไซท์อยู่ใกล้ผิวหนังของเกล็ดปลา ส่วนปลาผิวปกติ อิริโดไซท์จะอยู่ระดับลึกลงไป ส่วนการเกิดสีสะท้อนต่างๆ เช่น สีทอง เกิดจากการรวมตัวกันของอิริโดไซท์กับเซลล์สีการเกิดสีน้ำเงิน จะต่างจากสีอื่นๆ กล่าวคือ สีน้ำเงินเกิดจากเม็ดสีดำที่อยู่ลึกใต้ชั้นของอิริโดไซท์ ในผิวหนังเซลล์สีที่อยู่ลึกลงไปมีความเสถียรมากกว่าเซลล์สีที่อยู่ตื้น เนื่องจากมีการหลุดลอกได้ยากกว่า เมื่อปลาโตขึ้นปลาอาจมีสีจางลง เนื่องจาก จำนวนเซลล์สีที่มีค่อนข้างจะคงตัว แต่มีการเพิ่มพื้นที่จากการเจริญเติบโตมากขึ้นทำให้ความหนาแน่นลดลงและปลาอาจมีสีเปลี่ยนไปได้ เนื่องจากโคมาโตฟอร์เป็นเซลล์แขนง ซึ่งอนุภาคสี (color pigments) เกิดการเคลื่อนที่ภายในเซลล์ หากอนุภาคสีกระจายอยู่ภายในเซลล์อย่างทั่วถึงก็จะทำให้ปลามีสีตามเซลล์สีนั้น แต่

หากอนุภาคสีภายในเซลล์กระจุกตัวอยู่รวมกันเป็นจุดเล็กๆก็จะทำให้สีที่อยู่ชั้นล่างแสดงขึ้นมาแทน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของเม็ดสีในเซลล์สี เช่นคุณภาพน้ำน้ำที่มีสภาพมลพิษ (แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท) สูงจะทำให้ อนุภาคสีกระจุกตัว ส่งผลให้ปลาสีซีด pH และความกระด้างของน้ำก็มีผลเช่นกัน สีแดงจะแสดงได้ดีในสภาพน้ำที่เป็นกรดและน้ำอ่อน ในขณะที่ สีขาว และดำ จะแสดงได้ดีในสภาพน้ำที่กระด้างและเป็นด่างสิ่งแวดล้อมเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้สีของปลาเปลี่ยนไปได้ปลาที่อยู่อาศัยในสภาพแวดล้อมที่มีสีซีด ปลาจะพยายามทำให้อนุภาคสีกระจุกตัว เพื่อให้ปลาให้ปลาสีซีดที่สุดที่จะทำได้แต่ถ้าปลาอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีสีเข้ม ปลาจะมีสีเข้มขึ้นด้วยดังนั้นเราจึงเห็นบ่อที่ใช้ในการประกวดปลาเป็นสีฟ้าทั้งนี้เพื่อให้ปลาแสดงสีสันออกมามากที่สุดการใช้ยาการใส่เกลือ ยาปฏิชีวนะ (ทั้งชนิดฉีดกิน หรือแช่) รวมทั้งการใช้ มาลาไคท์กรีน มีผลทำให้สีปลาซีดลงตะไคร่น้ำปลาที่อยู่ในบ่อที่มีน้ำเขียว จะมีสีแน่นอนกว่าปลาที่อยู่ในบ่อน้ำใสและอุณหภูมิที่อุณหภูมิสูงอนุภาคสีกระจุกตัวในขณะที่อุณหภูมิต่ำอนุภาคสีจะกระจายตัวปลาในฤดูหนาวจึงมักจะสวยกว่าปลาในฤดูร้อน (สยามคาร์ฟ, 2552)

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระดับห้องปฏิบัติการและภายนอกห้องปฏิบัติการ

มีคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทั้งในและต่างประเทศ เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ได้แก่

Liu et al. (2005) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ (15, 20, 25, และ 30 °C) ที่มีต่อชนิดของกรดไขมันที่สาหร่ายผลิตได้ ใน *Nostoc flagelliforme* สายพันธุ์ FACHB838 และ สายพันธุ์ CCAP1453/33 โดยทำการเลี้ยงสาหร่ายในอาหาร BG-11 ในห้องปฏิบัติการ พบว่า *N. flagelliforme* ทั้งสองสายพันธุ์ มีการผลิตปริมาณ - linolenic acid (C18:3n3) เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิ ลดลง

ในงานวิจัยของ ลภัสรดา (2549) ทำการเลี้ยงสาหร่ายลอน *Nostochopsis lobatus* Wood em Geitler พบว่า มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดในอาหารวุ้นและอาหารเหลว BG-11 ความเข้มข้น 0.5 เท่าและการเพาะเลี้ยงในอาหารวุ้นสามารถสร้างเมือกได้ดีกว่าการเลี้ยงในอาหารเหลว ทำการสกัดสารโพลีแซคคาไรด์ในสาหร่าย *Nostochopsis* ที่เก็บมาจากธรรมชาติ พบว่า เป็นน้ำตาลที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่โดยมีค่า Degree of Polymerization (DP) มากกว่า 20 การเก็บรักษาสาหร่าย

*Cladophora* และสาหร่าย *Nostochopsis* ด้วยวิธี Lyophilization พบว่าสาหร่ายไคและลอนยัง สามารถเจริญได้ในอาหารสูตรที่เหมาะสมเมื่อเก็บรักษาแล้ว 8 เดือน

ในปีต่อมา Arabi et al. (2010) ได้ทำการเพาะเลี้ยง *Nostoc muscorum* ในอาหาร BG-11 ผสม sodium alginate (2% w/v) และ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.2 M ในการตรึงเซลล์ สาหร่าย เพื่อเป็นตัวนำบดทางชีวภาพในการเปลี่ยนสาร androst-4-en-3,17-dione ให้เป็น testosterone ใน Hexadecane โดยใช้เซลล์สาหร่ายเป็นตัวตรึงตามธรรมชาติ ในช่วงของอุณหภูมิ 30°C ความเข้มข้นของสารตั้งต้น 0.5 g/L และความเร็วในการเขย่า 100 rpm ผลการทดลอง พบว่า การตรึงของ *N. muscorum* ให้ผลผลิตสูงกว่า ( $2 \pm 2.3\%$ ) กว่าแบบที่ไม่มี ( $24 \pm 1.3\%$ ) ที่ 3% sodium alginate มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า 2% sodium alginate

ในปี 2011 Bhattacharyya et al. (2011) ได้ทำการเพาะเลี้ยง *Nostoc carneum* ในอาหาร nitrogen free BG-11 สูตรปรับปรุงเพื่อศึกษาผลต่อการตรึงไนโตรเจน การเจริญเติบโต การสังเคราะห์แสงของรงควัตถุ ปริมาณ โปรตีน และ DCPIP photoreduction ของ *N. carneum* เมื่ออยู่ในสภาพที่มีสารกำจัดศัตรูพืชที่เป็น organochlorine และรังสี UV-B พบว่า มีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโต ปริมาณ โปรตีน และในการลด DCPIP แตกต่างกันในชุดทดลอง แต่ชุดที่ให้สารกำจัดศัตรูพืชเมื่อให้แสงอีกครั้งพบว่า สาหร่ายมีความสามารถในการฟื้นฟูตัวเองหลังเผชิญช่วงที่มีสภาวะ ความเครียด

ในปีเดียวกัน Li et al. (2011) ได้ทำการเพาะเลี้ยง *Nostoc commune* and *N. sphaeroides* ในอาหาร BG-11 สูตรปรับปรุง เพื่อทำการกรองเอาน้ำเลี้ยงสาหร่ายด้วยวิธี Tangential-flow ultrafiltration มาสกัดหาสารที่ถูกปล่อยออกมาจากเซลล์สาหร่าย เพื่อหาสารยับยั้ง การเจริญเติบโตของเซลล์เนื้องอก พบว่า *N. sphaeroides* และ *Haematococcus pluvialis* มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็ง ข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงความ เป็นไปได้ของการใช้น้ำเลี้ยงสาหร่ายจากการแยกแบบ ultrafiltration เพื่อสกัดสารยับยั้งการการ เจริญเติบโตของเซลล์มะเร็ง และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กได้อีกด้วย

### การศึกษาปริมาณและชนิดของรงควัตถุในสาหร่าย

รงควัตถุในสาหร่ายมีด้วยกันหลายชนิด ซึ่งมีความสามารถนำประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย จึงได้มีผู้สนใจทำการศึกษาวิจัยทั้งในและต่างประเทศ ได้แก่

### แคโรทีนอยด์

ได้มีผู้ทำการศึกษาถึงปริมาณที่เหมาะสมของแคโรทีนอยด์ โดยอรพินท์ และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาในระดับปริมาณที่เหมาะสมของแคโรทีนอยด์ รวมต่อความเข้มข้นปลาแคร์ฟ (*Cyprinus carpio*) ใช้อาหารปลาแคร์ฟที่จำหน่ายในท้องตลาด 6 ชนิด ที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์รวมแตกต่างกัน คือ 5.3, 15.9, 43.2, 76.2, 96.2 และ 103.9 ไมโครกรัมต่อกรัม เลี้ยงปลาแคร์ฟเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ วัดการเปลี่ยนแปลงของสีด้วยเครื่องวัดสี พบว่า ปลาแคร์ฟได้รับอาหารที่มีแคโรทีนอยด์ทั้งสิ้นรวม 96.2 และ 103.9 ไมโครกรัมต่อกรัม มีการตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นของสีแดงมากกว่าปลาแคร์ฟกลุ่มอื่นๆ ( $P < 0.05$ ) โดยการเพิ่มขึ้นของสีแดงจะสัมพันธ์กับค่าสีบริเวณกลางหัวของปลา มีค่า  $30.58 \pm 1.07$  และ  $30.17 \pm 0.23$  ตามลำดับ บริเวณลำตัวด้านซ้ายมีค่า  $32.51 \pm 1.26$  และ  $33.57 \pm 0.63$  ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าปลาแคร์ฟในกลุ่มอื่นๆ ( $P < 0.05$ ) และพบว่าเมื่อหยุดให้อาหารเร่งสีเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ปลาแคร์ฟยังสามารถรักษาระดับความเข้มของเนื้อสีแดงให้เข้มเหมือนเดิมได้ ดังนั้นระดับที่เหมาะสมของแคโรทีนอยด์รวมที่ความเข้มข้นอย่างน้อย 96.2 ไมโครกรัมต่อกรัม สามารถใช้เพิ่มความเข้มสีปลาแคร์ฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Shukla and Kashyap (2003) ได้ทำการศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์ในสาหร่าย *Nostoc* สายพันธุ์จากเขตแอนตาร์คติกและเขตร้อน ทั้งในห้องปฏิบัติการ และนอกห้องปฏิบัติการ โดยเลี้ยงเปรียบเทียบในอาหาร BG-11 ปกติ กับ BG-11 สูตรปรับปรุง ที่มีการปรับปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในสูตรอาหาร พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของแคโรทีนอยด์ในทั้งสองสายพันธุ์เมื่อเลี้ยงในอาหาร BG-11 สูตรปรับปรุง โดยสายพันธุ์แอนตาร์คติก มีปริมาณแคโรทีนอยด์มากกว่าสายพันธุ์จากเขตร้อน มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 12.6% เป็น 16.1-36.4 % ส่วนสายพันธุ์ในเขตร้อน เพิ่มขึ้นจาก 6.8 % เป็น 8.7%-16.4 %

ในปีล่าสุด Hashtroudi et al. (2013) ได้ทำการศึกษาถึงปริมาณของแคโรทีนอยด์ใน *Nostoc calcicola* ในประเทศอิหร่าน ทำการสกัดและวัดปริมาณแคโรทีนอยด์ด้วย เครื่อง HPLC พบว่า มีปริมาณ เบต้า-แคโรทีนอยด์รวมเท่ากับ  $1220.6 \mu\text{g/g DW}$

ในปีเดียวกัน Kuhne et al. (2013) ได้ทำการศึกษาใน *Nostoc muscorum* ที่ทำการเก็บรวบรวมจากทะเลทรายในโคลัมเบีย (USA) และ Soebatsfontein (RSA) ภายใต้สภาวะแสงและอุณหภูมิที่ต่างกัน พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นจาก  $2.63 \mu\text{g/g DW} (\pm 1.3)$  เป็น  $3,66 \mu\text{g/g DW} (\pm 0.7)$  เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 17 เป็น  $40^{\circ}\text{C}$

## ไฟโคไซยานิน

ธนิตชัย และ ศศิธร (2556) ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิในการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อปริมาณซี-ไฟโคไซยานิน และสมบัติการต้านออกซิเดชันของสาหร่าย *Spirulina platensis* ซึ่งตรวจสอบโดยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี และ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบว่าเมื่อตรวจสอบด้วยเทคนิค HPLC การทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้อุณหภูมิลมเข้า 200 องศาเซลเซียส ทำให้สูญเสียซี-ไฟโคไซยานิน สูงกว่าอุณหภูมิลมเข้า 160 องศาเซลเซียส ( $p < 0.05$ ) แต่เมื่อตรวจสอบโดยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ระหว่างตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิลมเข้าแตกต่างกัน เมื่อตรวจสอบสมบัติการต้านออกซิเดชันของสาหร่าย *Spirulina* โดยวิธีการตรวจสอบสมบัติการให้อิเล็กตรอนด้วยวิธี Total phenols สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2'-azinobis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) diammonium-salt (ABTS) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2-Diphenyl -1-picryl hydrazyl (DPPH) พบว่า การใช้อุณหภูมิลมเข้าที่แตกต่างกันนั้น ไม่ส่งผลต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันของสาหร่าย *Spirulina* ( $P > 0.05$ )

Pandey and Pandey (2008a) ได้ทำการเลี้ยงสาหร่าย *Nostochopsis lobatus* แบบไบโอแมส เพื่อศึกษาถึงปริมาณของรงควัตถุ และสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า มีการผลิตสารต้านอนุมูลอิสระสูง ( $46.12 \mu\text{M AEAC}$ ) อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทำการ Immobilized cell ( $87.05 \mu\text{M AEAC}$ ) เมื่อมีการเติมฟอสฟอรัส และเหล็ก เป็นอาหารเสริมพบว่า มวลสี คุณค่าทางโภชนาการและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นมากที่ pH 7.8 เมื่อพิจารณาแยกกัน ปรากฏว่าฟอสฟอรัสมีผลทำให้มีปริมาณผลผลิตคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์สูง เหล็กมีผลทำให้ไฟโคไซยานิน ไฟโคเออร์ธริน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระดีกว่าฟอสฟอรัส จากการศึกษา สรุปได้ว่า *N. lobatus* อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณรงควัตถุ และยังชี้ให้เห็นว่าฟอสฟอรัสและเหล็กเป็นอาหารเสริมที่มีประสิทธิภาพสำหรับการผลิตสาหร่ายในเชิงพาณิชย์

ในปีต่อมา Pandey and Pandey (2008b) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของ Zn, Glutamine และการใช้ Zn ร่วมกับ Glutamine ที่มีผลต่อการผลิตรงควัตถุในสาหร่าย *Nostochopsis lobatus* โดยทำการเลี้ยงแบบ Batch culture โดยทำการเลี้ยงแบบตรึงเซลล์และไม่ตรึงเซลล์ พบว่าแบบตรึงเซลล์ให้ปริมาณ แคโรทีนอยด์ ไฟโคไซยานิน และไฟโคเออร์ธรินสูงกว่าแบบไม่ตรึงเซลล์ และการเลี้ยงในอาหารที่มีการใช้ Zn ร่วมกับ Glutamine ให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ ไฟโคไซยานิน และไฟโคเออร์ธรินสูงกว่าการใช้ Zn หรือ Glutamine เพียงอย่างเดียว

ล่าสุด Singh and Biban (2013) ได้ศึกษาถึงผลของ  $Hg^{2+}$  ต่อปริมาณไฟโคไซยานิน ใน *Nostoc muscorum* พบว่า เมื่อความเข้มข้นของ  $Hg^{2+}$  เพิ่มขึ้น จาก  $Hg^{2+}$ -less เป็น  $0.5 \mu M Hg^{2+}$  และไม่พบไฟโคไซยานิน ที่  $1 \mu M Hg^{2+}$  เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง

### การประยุกต์ใช้ประโยชน์ของสาหร่าย ในการใช้เป็นสารเร่งสี

การนำเอาสารสีในสาหร่ายไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อย่างเช่น

ขจรเกียรติ และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษาผลการใช้สาหร่าย *Euglena sanguinea* และสาหร่าย *Spirulina platensis* ต่อการเพิ่มสีปลาคาร์ฟ (*Cyprinus carpio*) โดยทำการเลี้ยงปลาทดลองเลี้ยงปลาคาร์ฟอายุประมาณ 90 วัน น้ำหนักเฉลี่ย  $1.50 \pm 0.02$  กรัม ด้วยอาหารสูตรพื้นฐานผสมสาหร่าย *Euglena* และสาหร่าย *Spirulina* จำนวน 3 สูตรๆ ละ 3 ชั่วโมง คือ สูตรที่ (1) อาหารสูตรพื้นฐานหรือชุดควบคุม สูตรที่ (2) และ (3) เป็นอาหารสูตรพื้นฐานเสริมด้วยสาหร่าย *Euglena* และสาหร่าย *Spirulina* 5% ตามลำดับ โดยตรวจวัดประสิทธิภาพการเติบโต และทำการวัดสีที่เก็ลด์และเนื่อปลา ด้วยระบบการวัดค่าความสว่าง (L value) ค่าสีแดง (a value) และ ค่าสีเหลือง (b value) ตลอดจนวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สะสมในเนื้อปลาทุกสัปดาห์เป็นระยะเวลา 11 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า การเสริมสาหร่าย *Euglena* และสาหร่าย *Spirulina* ไม่มีการผลิตสีแดงและสีเหลืองที่ผิวหนังของปลาคาร์ฟ ( $P > 0.05$ ) แต่การเสริมสาหร่ายมีประสิทธิภาพการเพิ่มสีแดงในเนื้อปลาคาร์ฟดีกว่าการเสริมสาหร่าย *Euglena* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ต่อมา Khatoun et al. (2010) ได้ทำการทดลองนำเอาสาหร่าย *Nostoc ellipsosporum* ในอาหาร BG-11 สูตรปรับปรุงแล้วนำมาผสมกับอาหารเลี้ยงปลาทองเพื่อปรับปรุงด้านสีและการเจริญเติบโต โดยนำ *N. ellipsosporum* ไปเลี้ยงปลาทองเป็นเวลา 10 วัน ผลปรากฏว่า ชุดทดลองที่ให้ *N. ellipsosporum* กินเป็นอาหารเป็นอาหารมีการเจริญเติบโต [Body weight Gain ( $3.52\% \pm 1.2$ ) และ Specific growth rate ( $0.87 \pm 0.41$ )] สี และคุณภาพซาก [Moisture 43.3%, 45.53% Content Ash 66.2%, 58.0% Total Lipid 11.3%, 15.64%, Glycogen 1.4 %, 3.2%, Carotenoid 0.25%, 1.8% ในชุดควบคุมและชุดทดลองตามลำดับดีกว่าชุดที่ไม่ผสมสาหร่ายอย่างมีนัยสำคัญ

รัชชีก และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษาการเติบโต การกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน และการปรับปรุงสีของปลาทองโดยใช้อาหารที่ผสมด้วยสาหร่าย 2 ชนิด และแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ชั่วโมง คือ ชุดการทดลองที่ 1 อาหารสำเร็จรูป หรือชุดควบคุม ชุดการทดลองที่ 2 และ 3 อาหารสำเร็จรูป ผสมสาหร่าย *Spirulina* ผง 6 และ 12 % ชุดการทดลองที่ 4

อาหารสำเร็จรูปผสมสาหร่ายไคผง 6% เลี้ยงปลาทองน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น  $13.9 \pm 0.73$  กรัม ระยะเวลาการทดลอง 60 วัน พบว่า การเติบโตของปลาในทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนค่าเฉลี่ย Haematocrit ของปลาในชุดการทดลองที่ 2 มีค่าสูงสุดเท่ากับ  $44.0 \pm 0.6\%$  และค่าเฉลี่ย Phagocytosis ของปลาในชุดการทดลองที่ 3 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ  $62.7 \pm 1.4\%$  ส่วนการเกิดสี พบว่า ในชุดการทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของความสว่างน้อยสุดเท่ากับ  $47.4 \pm 1.4\%$  ค่าเฉลี่ยของสีแดงมีค่าสูงที่สุดในชุดการทดลองที่ 3 เท่ากับ  $33.7 \pm 1.8\%$  และค่าเฉลี่ยของสีเหลืองในชุดการทดลองที่ 4 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ  $49.9 \pm 0.9\%$  จากการทดลองสรุปได้ว่า สาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ให้ผลไม่แตกต่างกันต่อการเติบโต แต่สามารถช่วยกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันและปรับปรุงสีทำให้สีบนตัวปลาทองมีสีแดงและสีเหลืองเพิ่มสูงขึ้น

ในปีต่อมา Yang et al. (2011) ได้ทำการทดลองทั้งแบบ *invitro* และ *invivo* ในด้านของความปลอดภัยของสาหร่าย *Nostoc commune* ในการเป็นอาหารผลการทดลองสรุปว่า *N. commune* ไม่มี microcystin แม้จะมีการบริโภคสาหร่ายถึง 5% เป็นระยะเวลานานโดยไม่มีผลข้างเคียงสู่นิรรัตน และคณะ (2555) ทำการทดลองโดยใช้อาหารผสมไซยาโนแบคทีเรีย *Nostoc commune* สดและแห้งในการเลี้ยงปลาหมอสี Kenyi Cichlid (*Pseudotropheus lombardoi*) โดยเลี้ยงปลาด้วยอาหารเม็ดผสม *N. Commune* ที่ระดับ 0 (กลุ่มควบคุม), 5, 10 และ 15 % เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า *N. commune* สดมีผลทำให้ปลาเกิดการเจริญเติบโตต่ำกว่าและอัตราแลกเนื้อ (FCR) สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารผสม *N. commune* แห้ง แต่พบว่า *N. commune* สดสามารถเร่งสีนำเงินและภูมิคุ้มกันได้ดีกว่า *N. commune* แห้ง ปลาที่ได้รับอาหารผสม *N. commune* ทั้งสดและแห้งมีอัตราการรอดสูงกว่าชุดควบคุม โดยปลาที่ได้รับ *N. Commune* แห้ง มีอัตราการรอดไม่แตกต่างทางสถิติกับปลาที่ได้รับ *N. commune* สด