บทที่ 2
ทบทวนเอกสาร

สาหร่ายไกเป็นภาษาท้องถิ่นที่ประชาชนในแถบลุ่มน้ำน่านตอนบนโดยเฉพาะในจังหวัดน่านและประชาชนในอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงรายใช้เรียกสาหร่ายสีเขียวที่พบมากในพื้นที่ และเป็นที่นิยมในการนำมาบริโภค เพราะเชื่อว่าหากรับประทานสาหร่ายไกแล้วจะทำให้สุขภาพแข็งแรง ร่างกายกระชุ่มกระชวย ชะลอความแก่ อายุยืนยาว และลดอาการอักเสบได้ด้วย จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไกที่เก็บจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติพบว่าสาหร่ายไกมีคุณค่าทางอาหารค่อนข้างสูง ทั้ง โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามินและเกลือแร่ (ศรีวรรณ และประเสริฐ, 2544; ยุวดี และคณะ, 2547) นอกจากนี้การศึกษาของศิริเพ็ญ และคณะ (2550, 2552) โดยเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร และการเพาะเลี้ยงแบบมหมวล พบว่ามีคาโรตินอยด์ และคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าสาหร่ายไกที่เจริญในแหล่งน้ำธรรมชาติ

ในแหล่งน้ำธรรมชาติบริเวณที่มีรายงานการกระจายตัวของสาหร่ายไกในปริมาณมากประกอบด้วยสองบริเวณคือ ลำน้ำโขง ในอำเภอเชียงของ (ศรีวรรณ และประเสริฐ, 2544) และลำน้ำน่าน ในอำเภอเชียงกลาง อำเภอปัว อำเภอท่าวังผา และอำเภอเมืองน่าน (ยุวดี และคณะ, 2547) นอกจากนี้ในจังหวัดน่านยังมีรายงานการกระจายตัวของสาหร่ายไกในลำน้ำสาขาของลำน้ำน่านอีกสองลำน้ำ คือ ห้วยน้ำยาวบริเวณอำเภอท่าวังผา และลำน้ำยาวในอำเภอปัว (สุรเชษฐ์, 2548)

สาหร่ายไกที่พบในลุ่มน้ำน่านตอนบนนั้นมีอยู่ 2 สกุล คือ *Cladophora* และ *Microspora* โดยทั้งสองสกุลนี้มีลักษณะเป็นเส้นสายขึ้นปกคลุมพื้นท้องน้ำ มีความยาวตั้งแต่ไม่กี่เซนติเมตรไปจนถึงกว่า 10 เมตร *Cladophora* เป็นสาหร่ายสีเขียวประเภทยึดเกาะขนาดใหญ่ มีลักษณะเป็นเส้นสายแบบแตกแขนงทีละ 1 คู่ หรือแบบไดโคโตมัส (dichotomous branching) ทัลลัสแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 เป็นฐานจะมีไรซอยด์ (rhizoid) และแขนงสั้นๆ ยึดกับพื้นผิว และส่วนที่ 2 มีลักษณะคล้ายลำต้น (caudal) ซึ่งจะแตกแขนงตั้งตรงขึ้นมาเป็นเส้นสาย ลักษณะสายของ *Cladophora* เป็นลอน ผิวสัมผัสหยาบ รูปร่างเซลล์เป็นทรงกระบอกยาว ด้านยาวยาวกว่าด้านกว้างมาก ผนังเซลล์หนา ในเซลล์ที่มีอายุมากมีคลอโรพลาสต์เป็นแบบร่างแหอยู่ด้านข้างของเซลล์ มีไพรีนอยด์หลายอัน ใน 1 เซลล์มีมากกว่า 1 นิวเคลียส มีการสืบพันธุ์ทั้งแบบอาศัยเพศ (sexual reproduction) และไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction) โดยมีวงจรชีวิตแบบสลับ

(diplohaplontic) (Dodds and Gudder, 1992; Sze, 1998) *Microspora* เป็นสาหร่ายสีเขียวประเภทยึดเกาะขนาดใหญ่ที่พบเป็นจำนวนมากในลุ่มน้ำน่านร่วมกับสาหร่ายไกสกุล *Cladophora* (สุรเชษฐ์, 2548) ลักษณะเด่นของสาหร่ายสกุล *Microspora* คือเส้นสายไม่มีการแตกกิ่งก้านเมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์จะพบเซลล์ที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าจนถึงสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยผนังเซลล์หนาสังเกตเห็นเป็นตัว H ชัดเจนบริเวณปล้อง มีคลอโรพลาสต์เป็นร่างแห (Novis, 2004) มีการสืบพันธ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการสร้างซูโอสปอร์ อปลาโนสปอร์ หรืออคีนีต ส่วนการสืบพันธ์แบบอาศัยเพศนั้นยังไม่มีรายงานที่เป็นทางการ (Smith, 1950; Tiffany and Birtton, 1971; Prescott, 1976)

สาหร่ายไกที่กระจายตัวในลำน้ำน่านพบอยู่ในลำน้ำบริเวณที่มีแสงส่องถึง ลักษณะพื้นท้องน้ำเป็นก้อนหิน กรวด และทราย กระแสน้ำไหลเร็ว 2.32 – 5.33 เมตร/วินาที ระดับความลึก 0.6 – 1.4 เมตร อุณหภูมิน้ำ 20.9 – 28.9 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นด่าง 105 – 117 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าการนำไฟฟ้า 195 – 246 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ 7.4 – 10.0 มิลลิกรัม/ลิตร pH 8.20 – 8.75 ค่าความขุ่น 3 – 19 FTU แอมโมเนียไนโตรเจน 0.04 – 0.19 มิลลิกรัม/ลิตร ไนเตรทไนโตรเจน 0.2 – 2.9 มิลลิกรัม/ลิตร ออร์โธฟอสเฟต 0.08 – 0.16 มิลลิกรัม/ลิตร สาหร่ายไกที่พบมีความหนาแน่นระหว่างร้อยละ 38.47 – 77.77 (ยุวดี และคณะ, 2547)

จากการศึกษาสภาพแวดล้อมของสาหร่ายไกในแม่น้ำโขงของศรีวรรณ และ ประเสริฐ (2544) พบสาหร่าย 2 ชนิด คือ *Cladophora glomerata* Kützing (ไกค่าว) และ *Microspora fluccose* Thuret (ไกไหม) โดยจะพบ *C. flucoose* มากกว่า *C. glomerata* เกือบทุกจุดสำรวจ โดยส่วนใหญ่จะพบ *C. glomerata* ที่บริเวณน้ำตื้นริมตลิ่ง และพบ *M. fluccose* ในบริเวณที่น้ำลึก แต่ในบางครั้งก็จะพบสาหร่ายทั้งสองชนิดขึ้นปะปนกัน ปัจจัยทางกายภาพและเคมีในแม่น้ำโขงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงดังนี้ อุณหภูมิน้ำ 21.8-26.8 องศาเซลเซียส ความขุ่น 14-134 NTU ความเร็วกระแสน้ำ 0.22-0.96 เมตรต่อวินาที pH 7.53-8.40 ค่าการนำไฟฟ้า 283-549 ไมโครซิเมนต์ต่อเซนติเมตร ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ 140-275 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ 7.2 – 9.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นด่าง 60-92 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียไนโตรเจน 0.08-1.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรทไนโตรเจน 0.2-1.6 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณ soluble reactive phosphorus 0.07-0.67 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการศึกษาพบว่าปัจจัยทางกายภาพมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสอง

สกุลมากกว่าปัจจัยทางเคมีทั้งนี้เพราะปัจจัยทางเคมีในแม่น้ำโขงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสอง

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญและการกระจายตัวของสาหร่าย *Cladophora* ในการศึกษาของ Bootsma *et al.* (2006) ในทะเลสาบมิชิแกน ประเทศสหรัฐอเมริกา รายงานว่ามี 3 ปัจจัยหลัก คือ แสง อุณหภูมิ และปริมาณสารอาหาร มีอิทธิพลต่อ *Cladophora* ในการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโต กล่าวคือปริมาณความเข้มของแสงที่เพิ่มขึ้นจะกระตุ้นให้อัตราการเจริญของสาหร่ายเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งจะคงที่ สำหรับปริมาณแสงที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 70 โมลโปรตอน/ตารางเมตร/วินาที สำหรับอุณหภูมิน้ำที่สาหร่ายสามารถเจริญได้นั้นอยู่ในช่วง 6 – 25 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญอยู่ที่ 13 – 17 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิคงที่เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณสารอาหารนั้นฟอสฟอรัสจะเป็นปัจจัยหลักที่กำหนดการเจริญของ *Cladophora* ยิ่งปริมาณฟอสฟอรัสสูงอัตราการเจริญของสาหร่ายก็จะเพิ่มขึ้น (Graham *et al.*, 1982) และการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Cladophora* ในทะเลสาบออนตาริโอ ประเทศแคนาดาจะถูกจำกัดด้วยปริมาณฟอสฟอรัสที่มีค่าต่ำกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร (Painter and Kamaitis, 1987) *Cladophora* ที่เจริญในแหล่งน้ำที่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงจะเพิ่มการกักเก็บฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์และทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงขึ้น โดย *Cladophora* ที่เก็บสะสมฟอสฟอรัสในเซลล์ระหว่าง 1 ถึง 2 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม จะมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะระหว่าง 0.01 ถึง 0.25 ต่อวัน (Auer, 1994; Auer and Canale, 1982)

Pitcairn and Hawkes (1973) พบว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติสาหร่ายไกเจริญเติบโตหนาแน่นมากที่สุดในบริเวณที่บริเวณที่มีกระแสน้ำไหลเร็ว 20 เซนติเมตรต่อวินาที แต่ในบริเวณที่มีกระแสน้ำเชี่ยวมากจะไม่พบสาหร่ายสกุล *Cladophora* เจริญเติบโตอยู่ สำหรับปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสงและสารอินทรีย์ของ *Cladophora fracta* ที่เจริญบนชายฝั่ง คือ แสง ออกซิเจน ค่าความเป็นด่าง พีเอช และสารอนินทรีย์ (Cheney and Hough, 1983)

จากการรายงานของ da Graça Sophia *et al.* (2005) พบว่า *Microspora* กระจายตัวอยู่ในแอฟริกา เอเชีย อเมริกาเหนือ และอเมริกาใต้ ที่พีเอช 6.3, อุณหภูมิน้ำ 22°C และค่าการนำไฟฟ้า 50 $\mu S.cm^{-1}$ ส่วนรายงาน *Microspora* ที่พบในประเทศนิวซีแลนด์ของ Novis (2004) พบว่า *Microspora* กระจายตัวอยู่ในแหล่งน้ำใสที่มีค่าการนำไฟฟ้า 30 – 480 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร และจากรายงานของ Prescott (1976) พบ *Microspora* กระจายตัวอยู่ตั้งแต่น้ำตื้นไปจนถึงความ

ลึก 15 เมตร และจากการศึกษาในนครเซาเปาโล ประเทศบราซิลของ Necchi *et al.* (2002) พบว่า *Microspora* กระจายตัวอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิของน้ำ 19.6 – 19.7 องศาเซลเซียส ค่าการนำไฟฟ้า 69 – 72 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร ความขุน 8 – 9 NTU พีเอช 6.8 – 6.9 ความเร็วของกระแสน้ำ 0.48 – 0.63 เมตร/วินาที ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำร้อยละ 58 - 66

จากการศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกสกุล *Cladophora* ในระดับห้องปฏิบัติการโดยเพาะเลี้ยงในอ่างแก้วระบบน้ำวนของศิริเพ็ญ และคณะ (2548) ได้มวลชีวภาพสูงสุด 376.00 กรัมต่อตารางเมตร (น้ำหนักเปียก) และ 26.32 กรัมต่อตารางเมตร (น้ำหนักแห้ง) ส่วนคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไกโดยน้ำหนักแห้งมีค่าสูงสุดของ โปรตีน 31.49 % คาร์โบไฮเดรต 20.78% ไขมัน 4.17 % เยื่อใย 19.20% ความชื้น 8.71% เถ้า 27.33 % และแคโรทีนอยด์ 820.49 ไมโครกรัมต่อกรัม และเมื่อเลี้ยง *Cladophora* ในบ่อน้ำวนคอนกรีตโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 10 % และให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันที่ 1, 2, 3, 4, และ 5 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าฟอสฟอรัสมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของรงควัตถุบางตัวในสาหร่ายอันประกอบไปด้วย คลอโรฟิลล์ เอ, คลอโรฟิลล์ บี, แคโรทีน, เบตาแคโรทีน, ลูทีน, และ ซีอาแซนทิน (Kuantrairong, 2009)

นอกจากการนำสาหร่ายไกมาเป็นอาหารของมนุษย์โดยตรงแล้ว ยังสามารถนำสาหร่ายไกไปใช้ระโยชน์ด้านอื่นๆ อีก เช่น การทดลองปรับปรุงคุณภาพเนื้อปลาดุกรัสเซียโดยใช้สาหร่ายสไปรูลินา และสาหร่ายไก นำสาหร่ายมาผสมในอาหาร 4 สูตร ได้แก่ อาหารผสมสาหร่าย 0 % อาหารผสมสาหร่าย *Spirulina platensis* 5 % อาหารผสมสาหร่าย *S. platensis* 10 % และอาหารผสมสาหร่าย *Cladophora* sp. 5 % นำอาหารผสมเลี้ยง ปลาดุกในบ่อดิน ระยะเวลาในการเลี้ยง 60 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า แคโรทีนอยด์ในเนื้อปลาดุกรัสเซีย ที่เลี้ยงในสูตรอาหารผสมสาหร่าย *Cladophora* 5% มีค่า แคโรทีนอยด์ในเนื้อมากกว่าอาหารผสมสาหร่าย *S. platensis* 10% อาหารผสมสาหร่าย *S. platensis* 5% และ อาหารผสมสาหร่าย 0% ตามลำดับ ที่ความเชื่อมั่น 95% (จงกล และคณะ 2548) สุรศักดิ์ (2544) ได้ทดลองเลี้ยงปลานิลแดง (ปลาทับทิม) โดยใช้สูตรอาหารต่างกัน สูตรที่ 1 อาหารผสมโปรตีน 25 % สูตรที่ 2 อาหารผสมโปรตีน 25 % และผสมสาหร่าย *Spirulina* 15 % ของอาหารทั้งหมด สูตรที่ 3 อาหารผสมโปรตีน 25 % ผสมสาหร่าย *Cladophora* sp. 15 % ของอาหารทั้งหมด ใช้เวลาทดลอง 2 เดือน เมื่อวิเคราะห์แคโรทีนอยด์ในเนื้อปลาได้ผลดังนี้ 5.927 ± 1.212, 17.568 ± 2.431 และ 18.553 ± 1.431 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เห็นได้ว่าอาหารปลาที่มีส่วนผสมของ *Cladophora* sp. ช่วยเพิ่มแคโรทีนอยด์ให้เนื้อปลาได้ไม่ต่างจากองค์ระกอบอื่นๆ ที่เคยใช้มาก่อนหน้านี้

สำหรับการศึกษาด้านอณูชีววิทยาของสาหร่ายนั้นได้เริ่มมีการศึกษาอย่างจริงจังเมื่อไม่นานมานี้ โดยเฉพาะการใช้เป็นข้อมูลในการจำแนกชนิดของสาหร่าย ซึ่งในอดีตนั้นการจำแนกชนิดของสาหร่ายไกสกุล *Cladophora* ใช้ข้อมูลทางสัณฐานวิทยาซึ่งอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการจำแนกชนิดของสาหร่ายได้ เนื่องจากสาหร่ายไก และสาหร่ายขนาดใหญ่อีกหลายชนิดมักจะมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันออกไปเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันทำให้อาจเกิดความเข้าใจผิดว่าเป็นคนละชนิดกันได้ ดังนั้นการศึกษาในระดับอณูชีวโมเลกุลจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการจำแนกชนิดของสาหร่ายด้วยซึ่งทำให้การจำแนกชนิดมีความถูกต้องแม่นยำเพิ่มขึ้น (Van Den Hoek and Chihara, 2000) ส่วนสาหร่ายไกสกุล *Microspora* ยังไม่มีรายงานการศึกษาทางด้านอณูชีววิทยามากนัก จากการศึกษาของ ลภัสรดา (2549) พบว่า *Microspora* ที่พบในลำน้ำน่านมีอย่างน้อย 4 ไพรเมอร์ที่อาจสามารถใช้แยกความแตกต่างในระดับสปีชีส์ได้ และ 6 ไพรเมอร์สำหรับ *Cladophora* จากการใช้เทคนิคอาร์เอพีดี

เทคนิคอาร์เอพีดี (RAPD; Random Amplified Polymorphic DNA) เป็นเทคนิคการศึกษาทางด้านอณูชีวโมเลกุลของสิ่งมีชีวิตเพื่อศึกษาความแตกต่างกันในการเลียงลำดับของเบสออกมาเป็นแบบแผนลายพิมพ์ดีเอ็นเอเนื่องจากสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันในการเลียงลำดับเบส หลักการของเทคนิคอาร์เอพีดีคือการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยเทคนิคพีซีอาร์ (PCR; Polymerase Chain Reaction) โดยอาศัยการจับของไพรเมอร์แบบสุ่ม (random primer) ที่เรียกว่าไพรเมอร์ไม่จำเพาะเจาะจง (arbitrary primer) ขนาด 10 - 20 นิวคลีโอไทด์ แล้วตรวจสอบขนาดดีเอ็นเอที่แยกออกมาโดยการย้อมด้วยเอธิเดียมโบรไมด์ ถ้าสิ่งมีชีวิตมีความใกล้ชิดกันทางพันธุกรรมมากแบบแผนลายพิมพ์ดีเอ็นเอจะคล้ายคลึงกัน ส่วนสิ่งมีชีวิตที่มีความใกล้ชิดกันทางพันธุกรรมไม่มากแบบแผนลายพิมพ์ดีเอ็นเอก็จะแตกต่างกันมาก ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการศึกษาชนิดของสาหร่ายได้ เพราะสาหร่ายเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่สามารถเปลี่ยนลักษณะทางสัณฐานวิทยาไปตามสิ่งแวดล้อมได้ทำให้บางครั้งสาหร่ายชนิดเดียวกันกลับมีลักษณะสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันและบางครั้งสาหร่ายต่างชนิดกันเมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมที่ต่างกันอาจมีลักษณะสัณฐานวิทยาคล้ายคลึงกันได้ (ลภัสรดา, 2549)