บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ลักษณะทั่วไปของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

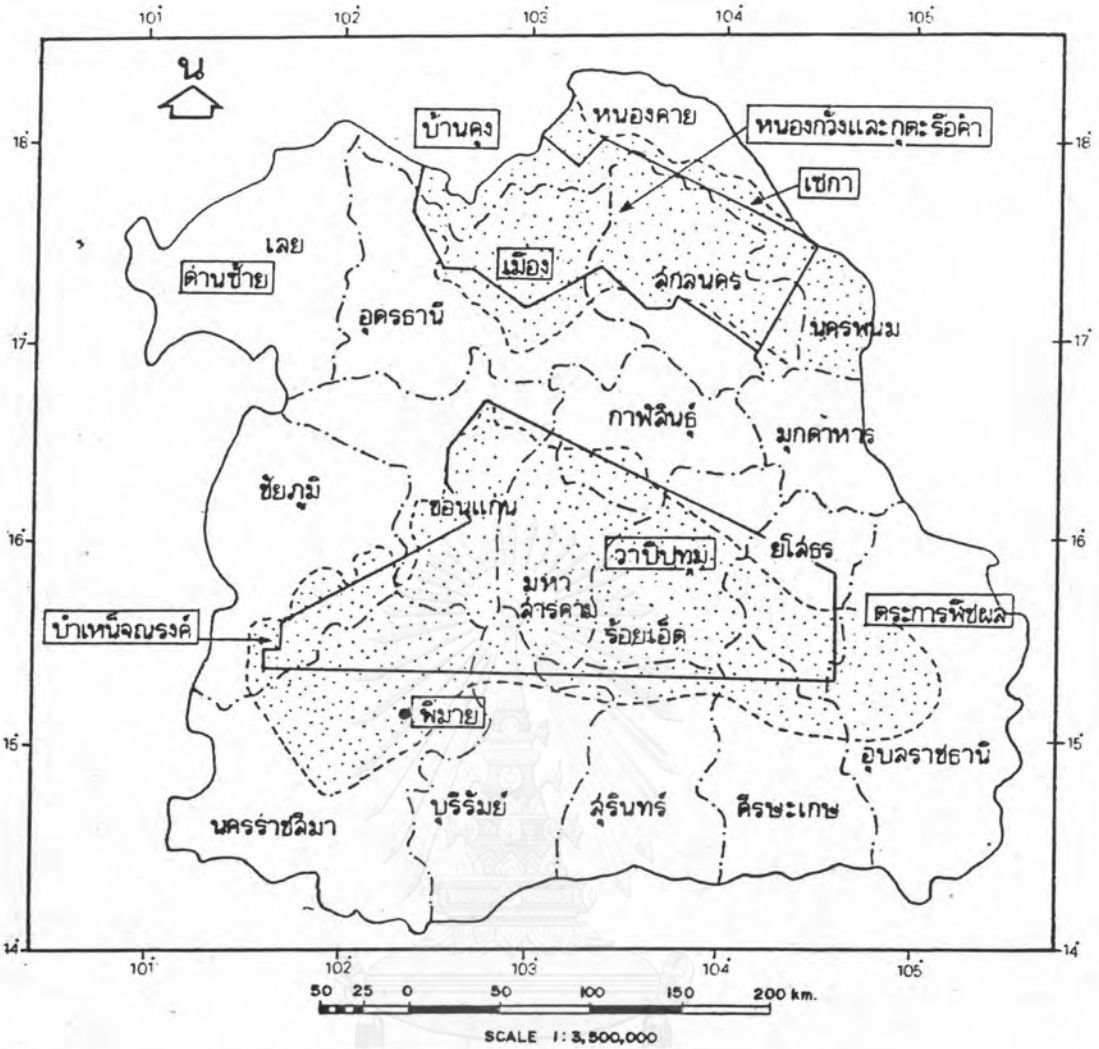
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศหรืออีกนัยหนึ่ง "ที่ราบสูงโคราช" ตั้งอยู่ระหว่างเส้นละติจูดที่ 19 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 101 ถึง 106 องศาตะวันออก ที่ราบสูงนี้ล้อมรอบด้วยแม่น้ำโขงทางด้านทิศตะวันออกและทิศเหนือ ส่วนทิศตะวันตกถูกล้อมรอบด้วยเทือกเขาเพชรบูรณ์ และดงพญาเย็น ทางด้านทิศใต้และทิศตะวันออกเฉียงใต้มีเทือกเขาสันกำแพง และเทือกเขาพนมดงรักกั้นพรหมแดนระหว่าง ไทยกับกัมพูชา และไทยกับลาว ตามลำดับ การที่ที่ราบสูงโคราชมีภูเขากั้นเป็นขอบโดยรอบ ทำให้รูปร่างของตัวที่ราบสูงมีลักษณะคล้ายกะทะ

สัมฤทธิ์ ชุษณะทัศน์(2526) กล่าวว่า สภาพธรณีวิทยาของภาคตะวันออกเฉียงเหนือรองรับด้วยหินชุดมหาสารคามซึ่งมีเกลือหินเป็นองค์ประกอบ โดยพบลักษณะการวางตัวของเกลือหินเป็นรูปกะทะคว่ำ กระจัดกระจายเกือบทุกจังหวัด พื้นที่รองรับด้วยเกลือหินแสดงในภาพที่ 2.1 การที่โครงสร้างของเกลือมีรูปร่างเป็นกะทะหรือโดมใกล้ผิวดินดังกล่าว และมีกลไกของน้ำบาดาลเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้น้ำบาดาลที่ชุดเจาะในบริเวณนี้มีเกลือละลายอยู่ ซึ่งจะเค็มมากหรือน้อยก็อยู่ที่ปริมาณน้ำที่เข้ามาละลายเกลือและความลึกของชั้นเกลือ นอกจากบ่อบาดาลที่ชุดเจาะในบริเวณดังกล่าวได้น้ำกร่อยหรือน้ำเค็มแล้ว การผลิตเกลือสินเธาว์จากน้ำเกลือใต้ดินประกอบกับการสร้างอ่างเก็บน้ำบนพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเกิดดินเค็ม ยังทำให้น้ำภายในอ่างเก็บน้ำแปรสภาพเป็นน้ำเค็ม และเป็นสาเหตุของการเกิดและการแพร่กระจายดินเค็มอีกด้วย (สมศรี อรุณินท์, 2524)

2.2 อิทธิพลของอ่างเก็บน้ำต่อการแพร่กระจายความเค็ม

การสร้างอ่างเก็บน้ำบนพื้นที่ดินเค็มหรือพื้นที่ที่มีศักยภาพในการแพร่กระจายดินเค็ม จะก่อให้เกิดดินเค็มและน้ำในอ่างเก็บน้ำแปรสภาพกลายเป็นน้ำเค็ม อาจเกิดได้ 2 ลักษณะคือ

1. การสร้างอ่างเก็บน้ำในบริเวณพื้นที่ราบเรียบซึ่งมีระดับน้ำเค็มใต้ดินอยู่ตื้น เมื่อสร้างอ่างเก็บน้ำ ระดับน้ำใต้ดินในบริเวณนั้นจะถูกยกระดับให้อยู่ใกล้ผิวดินมากขึ้น ทำให้อ่างเก็บน้ำถูกปน



แผนที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

ขอบเขตพื้นที่ซึ่งรองรับด้วยเกลือ

ขอบเขตจังหวัด

เขตประกาศเพื่อการศึกษาแร่โปแตชและเกลือหิน

▲ แหล่งเกลือสินเธาว์โดยการต้ม

◉ แหล่งเกลือสินเธาว์โดยการต้มและตาก

● แหล่งเกลือสินเธาว์โดยการตาก

■ เหมืองเกลือหิน

ภาพที่ 2.1 พื้นที่รองรับด้วยเกลือหิน (วจี รามรณงค์, 2523)

เปื้อนด้วยน้ำเค็มใต้ดิน และทำให้เกลือสามารถขึ้นมาบนผิวดินได้ง่ายขึ้น จึงเห็นคราบเกลือหรือลักษณะของดินเค็มบริเวณรอบๆอ่างเก็บน้ำนั้น

2. การสร้างอ่างเก็บน้ำบนพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเกิดดินเค็มที่เป็นเนิน โดยสร้างคันดินหรือเขื่อนขวางทางน้ำไว้ ทำให้น้ำถูกกักเก็บไว้ด้านหน้าคันเขื่อน น้ำในอ่างเก็บน้ำจะไปเร่งการละลายแหล่งเกลือใต้ดิน ทำให้เกลือในน้ำมากขึ้น อีกทั้งทำให้น้ำเค็มใต้ดินบริเวณอ่างเก็บน้ำมีระดับใกล้ผิวดินยิ่งขึ้น เมื่อน้ำใต้ดินไหลไปตามความลาดเอียงของเนิน จึงเกิดการแพร่กระจายดินเค็มบริเวณท้ายอ่างเก็บน้ำขึ้น

การแปรสภาพจากแหล่งน้ำจืดเป็นแหล่งน้ำเค็มเห็นได้จาก อ่างเก็บน้ำหนองบ่อ จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งเป็นตัวอย่างหนึ่งของการแปรสภาพจากแหล่งน้ำที่เคยใช้ประโยชน์ในการชลประทานกลายเป็นน้ำเค็ม เนื่องจากการสร้างอ่างเก็บน้ำบนพื้นที่ที่มีศักยภาพการเกิดดินเค็ม และการทำเกลือสินเธาว์ในบริเวณใกล้เคียง

2.3 สาหร่ายเกลียวทอง

2.3.1 แหล่งที่พบสาหร่ายเกลียวทอง

สาหร่ายเกลียวทองเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินขนาดเล็กชนิดหนึ่ง นับตั้งแต่ Turpin ได้คัดแยกสาหร่ายเกลียวทองจากแหล่งน้ำจืดเป็นครั้งแรกในปีค.ศ. 1827 มีรายงานว่าพบสาหร่ายชนิดนี้ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น ดิน ทราย แหล่งน้ำจืด น้ำกร่อย น้ำทะเล น้ำหล่อเย็นจากโรงไฟฟ้า น้ำพุร้อนหรือแม้แต่น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตยางเส้น(Ramaswamy et al., 1982; Ciferri, 1983) ส่วนในประเทศไทย ก็มีรายงานหลายฉบับรายงานว่า พบสาหร่ายชนิดนี้ในแหล่งน้ำประเภทต่างๆของประเทศไทยจากการสำรวจ พบว่าแหล่งน้ำธรรมชาติที่พบสาหร่ายเกลียวทองเจริญอย่างหนาแน่นจะเป็นแหล่งน้ำที่มีความเป็นกรด-ด่าง และมีความเข้มข้นของเกลือสูง ดังนั้นจึงอาจพบสาหร่ายเกลียวทองในแหล่งน้ำที่มีความเข้มข้นของเกลือสูงถึง 85 ถึง 270 กรัมต่อลิตรแม้ว่าความเข้มข้นของเกลือที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทองคือ 20 ถึง 70 กรัมต่อลิตรก็ตาม (Ciferri, 1983) อย่างไรก็ตาม ค่าความเข้มข้นของเกลือดูเหมือนจะมีบทบาทสำคัญโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทองมากกว่าความเป็นกรด-ด่าง ดังเช่นผลการสำรวจทะเลสาบ Rombou และทะเลสาบ Bodou ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 10 ถึง 10.3 และ 10.2 ถึง 10.4 ตามลำดับ แต่มีความเข้มข้นของเกลือต่างกันคือ 13 ถึง 26 และ 32 ถึง 55 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าในทะเลสาบ Rombou จะมี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Cyanobacteria น้อยกว่าร้อยละ 50 ของแพลงตอนพืชทั้งหมด และส่วนใหญ่เป็น S.platensis ส่วนทะเลสาบ Bodou จะพบ Cyanobacteria อย่างน้อยร้อยละ 80 ของแพลงตอนพืชทั้งหมดและเป็น S.platensis ประมาณร้อยละ 80ในเดือนพฤศจิกายน และธันวาคม ส่วนเดือนอื่นจะพบแต่เฉพาะสาหร่ายเกลียวทองเท่านั้น (Ciferri, 1983 อ้างถึง Iltis, 1971)

2.3.2 อนุกรมวิธาน

การจัดลำดับอนุกรมวิธานของสาหร่ายเกลียวทองในระยะแรก ค่อนข้างสับสน เนื่องจากยึดถือการเห็นหรือไม่เห็นผนังกั้นเซลล์เป็นหลักในการแยกสกุล(genus) Spirulina และ Arthrospira ออกจากกัน โดย Turpin ได้กำหนดสกุล Spirulina ขึ้นในปี 1827 ซึ่งเรียกสาหร่ายที่พบว่า Spirulina oscillaroides โดยเขาไม่ได้กล่าวถึงผนังกั้นเซลล์ในตัวอย่างที่พบ ส่วนสกุล Arthrospira ได้ถูกกำหนดขึ้นในปี 1852 โดย Stizenberger สำหรับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ที่เป็นเกลียว และมองเห็นผนังกั้นเซลล์ชัดเจน ความแตกต่างเรื่องการมีผนังกั้นเซลล์นี้ถูกใช้ในการพิจารณาแยก Spirulina ชนิดที่มีขนาดใหญ่จากชนิดที่มีขนาดเล็ก และเป็นที่ยึดถือต่อมาอีกประมาณ 100 ปี (Ciferri, 1983) แต่ต่อมาเมื่อเทคนิคการย้อมสีและประสิทธิภาพของกล้องจุลทรรศน์ดีขึ้นจึงพบว่า สาหร่ายเกลียวทองทุกชนิดไม่ว่าจะมีขนาดเล็ก หรือใหญ่ล้วนมีผนังกั้นเซลล์ทั้งสิ้น ส่วนการเห็นหรือไม่เห็นผนังกั้นเซลล์นั้น ขึ้นอยู่กับว่าตัวอย่างนั้นมีชีวิตหรือไม่ (Ciferri, 1983 อ้างถึง Figini, 1925 และ Welsh, 1961)

อย่างไรก็ตามปัจจุบันนี้ ได้มีการจัดลำดับอนุกรมวิธานของสาหร่ายเกลียวทองไว้ดังนี้ (Edmonson, 1963)

Phylum Cyanophyta
Class Cyanophyceae
Order Oscillatoriales
Family Oscillatoriaceae
Genus Spirulina

หลังจากที่พบสาหร่ายเกลียวทองตั้งแต่ปี 1827 เป็นต้นมา ได้มีผู้พบสาหร่ายชนิดนี้กว่า 30 ชนิดทั่วโลก เช่น S. platensis S. major S. princeps S. laxissima S. subtilissima S. caldaria S. curta S. gigantea และ S. spirulinoides S. fusiformis S. maxima S. labyrinthyformus (thermophilic sp.) แต่ชนิดที่เหมาะสำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม คือ S. platensis S. gigantea และ

S. maxima (Nakamura, 1981)

2.3.3 สัญฐานวิทยาของสาหร่ายเกลียวทอง

1. รูปร่าง

สาหร่ายเกลียวทองมีรูปร่างเป็นเส้นสายประกอบด้วยเซลล์รูปทรงกระบอกเรียงต่อกันบิดเป็นเกลียว (helicoidal trichome) ไม่มีกิ่งก้านซึ่งเป็นลักษณะประจำสกุล แต่ลักษณะของ trichome เช่น ระยะห่างระหว่างเกลียว(helix) และเส้นผ่าศูนย์กลางของเกลียว (pitch) มีความแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดหรือแม้แต่ในชนิดเดียวกันก็อาจพบว่ามีลักษณะของ trichome แตกต่างกันได้ ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ และความเค็ม เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่ารูปร่างที่ขดเป็นเกลียวนี้ จะพบในสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารเหลวเท่านั้น และถ้าเลี้ยงในอาหารแข็งก็จะเปลี่ยนรูปร่างเป็น true spiral การเปลี่ยนรูปร่างจาก helix เป็น flat spiral เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำที่ผิวของอาหารแข็ง แต่ถ้าเปลี่ยนแปลงจาก trichome ที่เป็น spiral กลับมาเป็น helixจะเกิดขึ้นเร็วมาก การเปลี่ยนรูปร่างจาก helix มาเป็น spiral อาจเกี่ยวข้องกับความจำเป็นเพื่อลดพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศในอาหารแข็ง และอาจเป็นไปได้ที่การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดจากการรับน้ำ (hydration) หรือการสูญเสียน้ำ (dehydration) ของ oligopeptides ในผนังชั้น peptidoglycan เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะ rigidity ของเซลล์ (Richmond, 1986)

2. ขนาดเซลล์

ขนาดของสาหร่ายเกลียวทองผันแปรค่อนข้างมากตามชนิดของสาหร่ายเช่น เซลล์ของสาหร่ายสายพันธุ์ที่มีขนาดเล็ก จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์ 1 ถึง 3 ไมครอนเท่านั้น แต่ถ้าเป็นชนิดที่มีขนาดใหญ่ จะมีขนาด 3 ถึง 12 ไมครอน และจากการเปรียบเทียบระหว่าง S. platensis ที่คัดแยกจากประเทศชาดกับ S. maxima ที่คัดแยกจากเม็กซิโก ซึ่งเลี้ยงในสภาพเดียวกัน พบว่า S. maxima มีเส้นผ่าศูนย์กลางของ trichome 50-60 ไมครอน ระยะห่างระหว่างเกลียวเท่ากับ 80 ไมครอน ส่วน S. platensis มีเส้นผ่าศูนย์กลางของ trichome เท่ากับ 35 ถึง 50 ไมครอน และมีระยะห่างระหว่างเกลียวเท่ากับ 60 ไมครอน ส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์ S. platensis มีค่าเท่ากับ 6 ถึง 8 ไมครอนกว้างกว่า S. maxima ซึ่งเท่ากับ 4 ถึง 6 ไมครอน (Ciferri, 1983 อ้างถึง Marty et al., 1970) ความยาวของ trichome โดยปกติจะยาวประมาณ 2-3 มิลลิเมตร แต่อาจพบยาวถึง 20 มิลลิเมตร ภายใต้สภาพ

แวดล้อมบางอย่าง (Ciferri, 1983 อ้างถึง Eykelenburg, 1979)

3. โครงสร้างของเซลล์

1) ผนังเซลล์ ผนังเซลล์ของสาหร่ายเกลียวทองไม่มีชั้นของเมือกหุ้ม ดังนั้นจึงยากต่อการเกาะของจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ยังทำให้การกรองสาหร่ายเพื่อการเก็บเกี่ยวทำได้ง่ายอีกด้วย (Nakamura, 1981) จากการศึกษาส่วนประกอบผนังเซลล์ของสาหร่ายเกลียวทองด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนโดย Holmgren (1971) พบว่าประกอบด้วยชั้นบาง ๆ ที่เป็น โปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ถึง 4 ชั้น

2) โปรโตพลาสซึม โปรโตพลาสซึมของสาหร่ายเกลียวทองชนิดที่มี trichome ขนาดเล็ก มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มี gas vacuole และเกือบจะไม่เห็นผนังกั้นเซลล์ ส่วนชนิดที่มี trichome ขนาดใหญ่ เช่น S. platensis และ S. maxima ไซโตพลาสซึมจะมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ(granular cytoplasm) ประกอบด้วย gas vacuole และมองเห็นผนังกั้นเซลล์ได้ชัดเจน โปรโตพลาสซึมของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินแตกต่างจากเซลล์ของสาหร่ายชนิดอื่นๆ โดยโปรโตพลาสซึมจะประกอบด้วยอาณาเขต 2 ส่วนด้วยกันคือ บริเวณตอนในของเซลล์ไม่มีสีเรียก เซนโทรพลาสซึม (centroplasm) กับบริเวณภายนอกที่อยู่ติดกับผนังเซลล์ บริเวณนี้จะมีสีเรียก โครโมพลาสซึม (chromoplasm) ขอบเขตระหว่างเซนโทรพลาสซึมและโครโมพลาสซึมนั้นไม่มีการแบ่งที่แน่นอน เซนโทรพลาสซึมอาจจะยื่นเข้าไปในเขตของโครโมพลาสซึมได้

- เซนโทรพลาสซึม เนื่องจากสาหร่ายเกลียวทองเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน จึงไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear membrane) และนิวคลีโอลัส (nucleolus) นิวเคลียสไม่มีรูปร่างที่แน่นอน สารที่ทำหน้าที่เป็นนิวเคลียสจะรวมตัวกันอยู่ภายใน เซนโทรพลาสซึม จากการศึกษาของ Becker และ Venkataraman(1982) พบว่าปริมาณ RNA ใน S. platensis และ S. maxima มีประมาณร้อยละ 3.5 และ 2.2 ของน้ำหนักแห้งตามลำดับส่วน DNA มีประมาณร้อยละ 1.0 และ 0.6 ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ รวมแล้วปริมาณกรดนิวเคลอิคในสาหร่ายชนิดนี้มีน้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งใกล้เคียงกับสาหร่ายเซลล์เดียวชนิดอื่นๆ เช่น Chlorella Scenedesmus ซึ่งมีประมาณร้อยละ 4 ถึง 6 แต่ต่ำกว่าแบคทีเรีย หรือยีสต์ (ซึ่งมีประมาณร้อยละ 4 ถึง 10 ของน้ำหนักแห้งและอาจสูงถึงร้อยละ 9 ถึง 22 ของน้ำหนักแห้ง ถ้าเร่งการเจริญเติบโตเพื่อประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม)

- โครโมพลาสซึม บริเวณโครโมพลาสซึม ประกอบด้วยรงควัตถุ (pigment)ซึ่งไม่รวมกันเป็นเม็ดพลาสติด (plastid) แต่จะเกาะติดกับ thylakoid ซึ่งเกิดจาก plasmalemma ซึ่งเรียงตัวเป็นชั้นๆโดยรอบบริเวณ โครโมพลาสซึมรงควัตถุที่พบในสาหร่ายชนิดนี้ ได้แก่

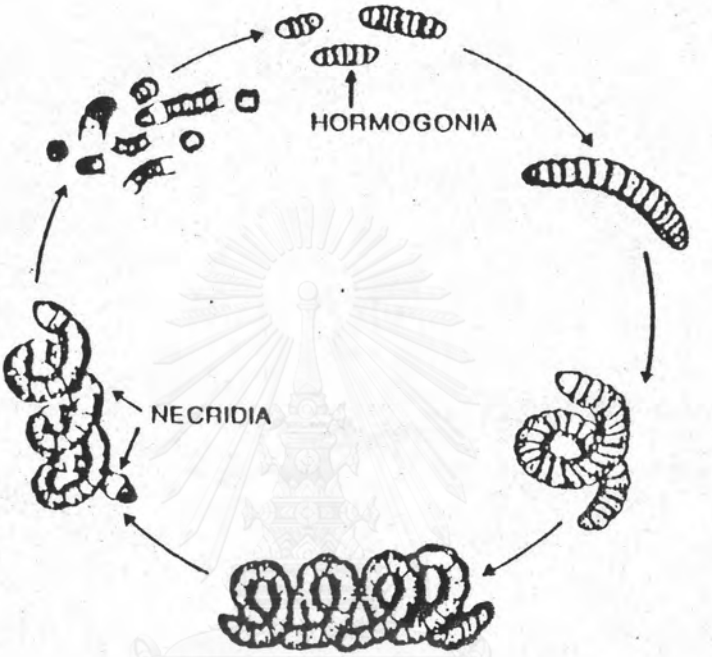
chlorophyll : chlorophyll a
carotenoid : b-carotene, echinenone, cryptoxanthin, zeaxanthin, xanthophyll, lutein, euglenanone, oscillaxanthin-like oscillal-glycocide myxoxanthophyll หรือ myxoxanthophyll-like myxol-glucoside
phycobilin : c-phycocyanin, allophycocyanin

สาหร่ายเกลียวทองมีเม็ดสีคลอโรฟิลล์ เอ มากที่สุด ทั้ง 2 ชนิด คือ S. maxima และ S. platensis คือประมาณร้อยละ 0.8 - 1.5 ของน้ำหนักแห้ง จึงทำให้สาหร่ายชนิดนี้มีสีเขียวเข้มและอมน้ำเงิน สำหรับรงควัตถุชนิดcarotenoid พบว่าmyxoxanthophyll และ b-carotene มีปริมาณมากที่สุดคือประมาณร้อยละ 0.2 ถึง 0.4 ของน้ำหนักแห้ง (Ciferri, 1983 อ้างถึง Paoletti et al., 1980) นอกจากนั้นบริเวณโครโมพลาสซึมยังประกอบด้วยแวคคิวโอเทียม (pseudo vacuole) หรือ gas vacuole ซึ่งพบเฉพาะสาหร่ายชนิดที่มีเซลล์ขนาดใหญ่เท่านั้น ส่วนชนิดที่มีเซลล์ขนาดเล็กจะไม่มี gas vacuole (Ciferri, 1983) gas vacuoleนี้ ทำให้เซลล์สาหร่ายลอยตัวอยู่บนผิวน้ำได้ (Richmond, 1986)

2.3.4 วงชีพของสาหร่ายเกลียวทอง

วงชีพของสาหร่ายเกลียวทอง อาจแสดงขั้นตอนต่างๆได้ด้วยภาพที่ 2.2 ดังนี้คือ trichome ที่เจริญเติบโตเต็มที่จะขาดเป็นท่อนๆ อาจจะเป็น 2 ท่อนหรือมากกว่าสองเรียกแต่ละท่อนนี้ว่า hormogonium ก็ได้แต่ละท่อนที่ขาดออกไป สามารถเติบโตเป็นสายใหม่ได้ การขาดออกเป็นท่อนนั้น เกิดจากการสร้างเซลล์พิเศษที่เรียกว่า necridia ซึ่งเวลาต่อมาจะย่อยสลายไป ทำให้เกิดการขาดเป็นท่อนที่บริเวณนี้ เซลล์ที่อยู่ติดกับ necridia ทั้ง 2 ด้านจะมีผนังเซลล์โค้งนูนและบาง ระหว่างการเกิดขบวนการนี้ ของเหลวภายในเซลล์จะมีความเข้มข้นน้อยเซลล์จึงมีสีซีด ในกรณีที่มีสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม hormogonium อาจไม่เจริญเติบโต แต่จะพักตัวจนกว่าสภาพแวดล้อมเหมาะสมจึงเจริญเติบโตโดยเพิ่มจำนวนเซลล์ด้วยการแบ่งเซลล์ ซึ่งเกิดขณะที่ของเหลว

ภายในเซลล์เข้มขึ้น เซลล์สาหร่ายขณะนี้จะมีสีเขียวสดใส ด้วยขบวนการดังกล่าว trichome สาหร่ายจะยาวขึ้นและมีรูปร่างบิดเป็นเกลียว การที่เซลล์ขาดเป็นท่อนๆบริเวณที่เป็นเซลล์necridia หรือการที่เซลล์ขาดออกจากกันเองซึ่งเกิดขึ้นไม่บ่อยนักนี้ ทำให้สาหร่ายชนิดนี้เพิ่มจำนวนและแพร่กระจายทั่วไป (Ciferri, 1983)



ภาพที่ 2.2 วงชีพของสาหร่ายเกลียวทอง (Richmond, 1986)

2.3.5 สรีรวิทยาของสาหร่ายเกลียวทอง

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทอง ได้แก่

1. แสง

ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดสำหรับการผลิตสาหร่ายเป็นปริมาณมาก คือ แสง ซึ่งมีผลอย่างมากต่อขบวนการสังเคราะห์แสง (Richmond, 1986) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแสง ตลอดจนตัวแปรที่มีผลทำให้สาหร่ายได้ปริมาณแสงมากน้อยเพียงใด ได้แก่

- คุณสมบัติของแสง ซึ่งได้แก่ ความยาวคลื่น (wave length) และ

ความเข้มแสง (light intensity)

- ความลึกของตัวกลางที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย
- ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย

ช่วงความยาวคลื่นที่สาหร่ายสามารถใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ ช่วงแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้ (visible light) คือ 400 ถึง 700 นาโนเมตร ความเข้มของแสงที่เหมาะสมสำหรับสาหร่ายชนิดนี้ Ogawa และคณะ (1970) กล่าวว่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 30 กิโลลักซ์ ส่วน Venkataraman (1983) กล่าวว่าอยู่ในช่วง 30 ถึง 35 กิโลลักซ์ สำหรับการเริ่มต้นเลี้ยงสาหร่ายซึ่งมีความเข้มข้นของเซลล์ไม่มากนัก จำเป็นต้องลดความเข้มแสงลงโดยการให้ร่มเงา เพราะการได้รับแสงที่มีความเข้มสูงเพียงชั่วระยะเวลาสั้นๆจะทำให้เกิดการทำลายรงควัตถุภายในเซลล์ทำให้สาหร่ายมีสีจางลง(bleach) (Venkataraman, 1983) ซึ่ง Powles เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า "photooxidation" (Richmond, 1986)

ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย แสงอาทิตย์มีความสามารถในการส่องผ่านไปในบ่อได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น สำหรับในบ่อที่มีระบบน้ำหมุนเวียน เซลล์สาหร่ายจะได้รับแสงสลับกันไปตามการหมุนเวียนของน้ำ ก่อให้เกิดช่วง มืด-สว่าง (light dark cycle) ซึ่งมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสง (Richmond et al., 1980b) ความถี่ของการรับแสงของเซลล์สาหร่ายขึ้นกับความลึกของน้ำ ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย ลักษณะการหมุนเวียนของน้ำ และความเข้มแสง จากการทดลองของ Richmond และคณะ(1980b) เมื่อกำหนดให้ความเข้มแสงคงที่ คือ 23 กิโลลักซ์ต่อตารางเมตรต่อนาที ความสามารถในการส่องผ่านของแสงขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย กล่าวคือ เมื่อสาหร่ายมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นความสามารถในการส่องผ่านของแสงจะน้อยลง และพบว่าที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายซึ่งวัดโดยดูจากค่า O.D.(Optical Density) ที่ 560 นาโนเมตร เท่ากับ 0.4 เซลล์ที่อยู่ในระดับความลึก 3 เซนติเมตร จากผิวน้ำเท่านั้นที่จะได้รับแสง

2. <u>อุณหภูมิ</u>

สาหร่ายเกลียวทอง เป็นสาหร่ายที่ชอบอุณหภูมิค่อนข้างสูง(Thermophilic algae) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 35 ถึง 40 องศาเซลเซียส (Richmond, 1986 อ้างถึง Zarrouk, 1966) แต่จากการศึกษาถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมของสาหร่ายเกลียวทองชนิดต่างๆ ในห้องปฏิบัติการของ Richmond เอง ชี้ให้เห็นว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายชนิดนี้อยู่ในช่วง 35 ถึง 37 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะเป็น

อันตรายต่อสาหร่าย(Richmond, 1986) และถ้าควบคุมให้อุณหภูมิเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส ตลอดทั้งวัน สาหร่ายจะไม่เจริญเติบโต แต่ถ้าลดอุณหภูมิลงเหลือ 35 องศาเซลเซียส สาหร่ายจะสามารถเจริญเติบโตได้อีกครั้ง อุณหภูมิที่สูงกว่า 45 องศาเซลเซียส trichome จะหักเป็นท่อนและตามด้วยการย่อยสลายของเซลล์ นอกจากนี้ยังพบว่าการได้รับอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส เพียงระยะเวลาสั้นๆ (ประมาณ 10 นาที) มีผลทำให้สาหร่ายตายได้ (Ciferri, 1983 อ้างถึง Charenkova et al.; 1975) สำหรับการเลี้ยงกลางแจ้ง Ciferri (1983) กล่าวว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในเวลากลางวันเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ส่วนเวลากลางคืนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิต่ำสุดที่สาหร่ายเกลียวทองยังคงเจริญเติบโตได้ประมาณ 15 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมถึง 20 องศาเซลเซียส และสำหรับการเลี้ยงเป็นปริมาณมาก การเจริญเติบโตจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงสุดในเวลากลางวันต่ำกว่า 12 องศาเซลเซียส แต่ในเวลากลางคืน สาหร่ายเกลียวทองสามารถทนอุณหภูมิที่ลดต่ำลงได้เป็นอย่างดี แม้ว่าอุณหภูมิจะต่ำกว่าจุดเยือกแข็งก็ตาม (Richmond et al., 1980b, Richmond, 1986)

3. ความเป็นกรด-ด่าง

ความเป็นกรด-ด่าง เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย เนื่องจากระดับความเป็นกรด-ด่างจะเป็นตัวกำหนดการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับสาหร่าย และการละลายของธาตุอาหารต่างๆ นอกจากนี้ ความเป็นกรด-ด่างยังมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อขบวนการ Metabolism ต่างๆ ของสาหร่ายอีกด้วย (Venkataraman, 1983)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารเลี้ยงสาหร่ายจะมีค่าเท่าใดนั้น ขึ้นกับองค์ประกอบและปริมาณสารที่ทำหน้าที่เป็น สารกันกระทบ (buffer) ในอาหาร ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอาหาร อุณหภูมิ ตลอดจนกิจกรรมทาง metabolism ของสาหร่าย โดยทั่วไปความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับสาหร่ายชนิดนี้ เท่ากับ 8.3 ถึง 10.5 (Richmond, 1980a) จากการศึกษาของ Richmond (1986) ถึงการเลี้ยงสาหร่ายในบ่อกลางแจ้ง พบว่าถ้าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10.3 จะไม่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโต แต่ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างสูงถึง 11 จะยับยั้งการเจริญเติบโตอย่างรุนแรง สาหร่ายเกลียวทองสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงแบบค่อยเป็นค่อยไป แต่ถ้าในอาหารเลี้ยงสาหร่ายมีความเป็นสารกันกระทบน้อย ความเป็นกรด-ด่างจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและเป็นอันตรายต่อสาหร่าย ในสูตรอาหารของ Zarrouk การเติมโซเดียม

ไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ในปริมาณ 16.8 กรัมต่อลิตร จะทำหน้าที่เป็นสารกันกระทบที่ดีของอาหาร

2.3.6 องค์ประกอบทางเคมีและการใช้ประโยชน์

องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเกลียวทอง นับเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการประเมินศักยภาพการใช้ประโยชน์ของสาหร่ายชนิดนี้ในด้านอาหาร องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเกลียวทองผันแปรตามสายพันธุ์ สภาพแวดล้อมที่สาหร่ายเจริญอยู่ ได้แก่ แสง อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และอาหาร(Switzer, 1982) นอกจากนี้วิธีวิเคราะห์ที่แตกต่างกันก็ให้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันด้วย องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายชนิดนี้แสดงในตารางที่ 2.1

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าสาหร่ายเกลียวทองประกอบด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าหลายชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีน ซึ่งพบในปริมาณมากถึงร้อยละ 71 และเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพ เนื่องจากประกอบด้วยกรดอะมิโน ทั้งชนิดที่ร่างกายสังเคราะห์ได้ (non-essential amino acids) และชนิดที่ร่างกายสังเคราะห์ไม่ได้ (essential amino acids) แต่ถ้าเปรียบเทียบสาหร่ายเกลียวทองกับอาหารโปรตีนมาตรฐานเช่น นม หรือ ไข่ จะพบว่ามี methionine cystine และ lysine น้อยกว่า อย่างไรก็ตาม นักวิทยาศาสตร์หลายท่านสรุปว่า สาหร่ายชนิดนี้ยังมีโปรตีนที่มีคุณภาพและปริมาณสูงกว่าพืชทุกชนิด รวมทั้งพืชตระกูลถั่ว (Switzer, 1980)

นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายเกลียวทองประกอบด้วยวิตามิน และเกลือแร่หลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิตามิน เอ ที่ได้จากเม็ดสีคาโรทีนอยด์ วิตามิน บี ซึ่งพบวิตามินบีหลายชนิด แต่ชนิดที่มีความสำคัญ ได้แก่ วิตามินบี 12 ซึ่งพบมากในเนื้อสัตว์ ดังนั้นสำหรับผู้บริโภคอาหารมังสวิรัติ การรับประทานสาหร่ายเกลียวทองน่าจะช่วยชดเชยวิตามินบี 12 ที่ขาดไปได้

จากองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารดังกล่าว ทำให้มีการนำสาหร่ายเกลียวทองไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อย่างกว้างขวาง ก่อให้เกิดการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมในหลายประเทศ เช่น ประเทศไทย ญี่ปุ่น ไต้หวัน สหรัฐอเมริกา และอิสราเอล เป็นต้น การใช้ประโยชน์ของสาหร่ายเกลียวทองอาจสรุปโดยย่อดังภาพที่ 2.3

2.3.7 การศึกษาเรื่องความเค็มกับสาหร่ายเกลียวทอง

จากการที่สาหร่ายเกลียวทองหลายชนิด สามารถอยู่ได้ในแหล่งน้ำที่มีเกลือละลายอยู่สูงหรือแม้แต่ในน้ำทะเล จึงอาจเป็นไปได้ว่าสาหร่ายชนิดนี้มีความสามารถทนความเข้มข้นของเกลือระดับต่างๆได้กว้าง ดังนั้นจึงมีนักวิทยาศาสตร์จากหลายประเทศ ทำการทดลองเรื่องนี้โดย

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเกลียวทอง (Hills, 1980)

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ	
Moisture	7.0	
Ash	9.0	
Proteins	71.0	
Crude fiber	0.9	
Xanthophylls	1.80	กรัม./กิโลกรัม ผลผลิต
Carotene	1.90	กรัม./กิโลกรัม ผลผลิต
Chlorophyll-a	7.60	กรัม./กิโลกรัม ผลผลิต
Total organic nitrogen	13.35	
Nitrogen from proteins	11.36	
Crude protein (% N x 6.25)	71.0	
Essential amino acids		
Isoleucine	4.13	
Leucine	5.80	
Lysine	4.00	
Methionine	2.17	
Phenylalanine	3.95	
Threonine	4.17	
Tryptohan	1.13	
Valine	6.00	
Nonessential amino acids		
Alanine	5.82	
Arginine	5.98	
Aspartic acid	6.43	
Cystine	0.67	
Glutamic acid	8.94	
Glycine	3.46	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

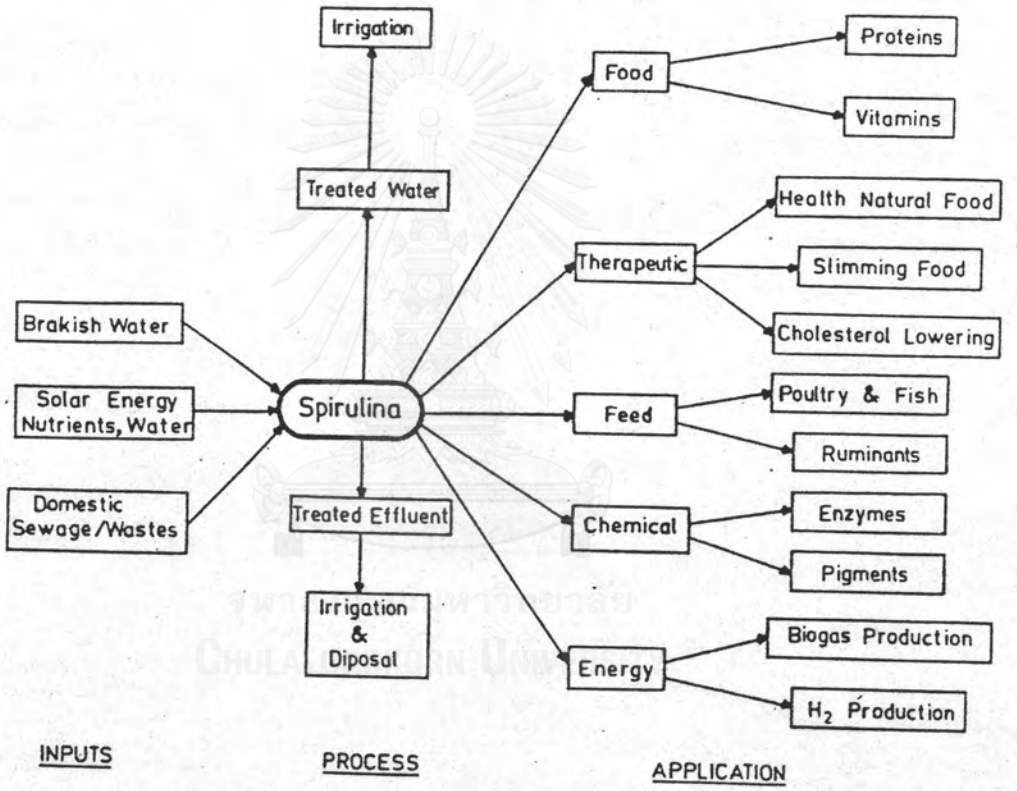
ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ	
Histidine	1.08	
Proline	2.97	
Serine	4.00	
Tyrosine	4.60	
Vitamins (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)		
Biotin (H)	0.4	
Cyanocobalamin (B_{12})	0.2	
d-Ca-Pantothenate	11	
Folic acid	0.5	
Inositol	350	
Nicotinic acid (PP)	118	
Pyridoxine (B_6)	112	
Riboflavin (B_2)	40	
Thiamine (B_1)	5	
Tocopherol (E)	190	
nucleic acids (ร้อยละ)		
Ribonucleic acid (RNA)	3.50	
RNA = N x 2.18		
Deoxyribonucleic acid (DNA)	1.00	
DNA = N x 2.63		
Carotenoids(มิลลิกรัม/กิโลกรัม	4,000	
x-Carotene	Traces	
B-carotene	1,700	มิลลิกรัม/ลิตร
Xantophylis	1,000	มิลลิกรัม/ลิตร
Cryptoxanthin	556	มิลลิกรัม/ลิตร
Echinenone	439	มิลลิกรัม/ลิตร

15579

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ	
Zeaxanthin	316	มิลลิกรัม/ลิตร
Luthein and Euglenanone	289	มิลลิกรัม/ลิตร
Chlorophyll-a	7,600	มิลลิกรัม/ลิตร



ภาพที่ 2.3 การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายเกลียวทองในด้านต่าง ๆ (Venkataraman, 1983)

เลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ระดับต่างๆ เช่น

1. ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทอง

การศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทอง ได้มีการศึกษาโดยเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ระดับต่างๆ ดังนี้

ในปี 1977 Watanabe และคณะ รายงานถึงการเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง 3 สายพันธุ์ คือ S. platensis สายพันธุ์น้ำจืด (M-184) ที่แยกจากทะเลสาบน้ำจืด Kasumigura ประเทศญี่ปุ่น S. platensis สายพันธุ์น้ำกร่อย (M-135) ที่แยกจากทะเลสาบชาด ประเทศชาด และ S. maxima สายพันธุ์น้ำกร่อย (M-185) ที่แยกจากทะเลสาบ Texcoco ประเทศเม็กซิโก โดยเลี้ยงในอาหารสูตร CT ที่เติมโซเดียมคลอไรด์ระดับต่างๆ ผลการทดลองพบว่า การเติมโซเดียมคลอไรด์จะยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทองสายพันธุ์น้ำจืด (M-184) และจะไม่เจริญเติบโตเลยหากเติมโซเดียมคลอไรด์มากกว่า 10 กรัมต่อลิตร ส่วนสาหร่ายเกลียวทองสายพันธุ์น้ำกร่อย M-135 และ M-185 การเติมโซเดียมคลอไรด์จะเป็นการเร่งให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และพบว่า ถ้าในอาหารมีโซเดียมคลอไรด์ต่ำกว่า 1 กรัมต่อลิตร สาหร่ายจะไม่มีการเจริญเติบโตเลย

ส่วนการทดลองของ Chiu และคณะในปี1980(1980b) พบว่า S. platensis ที่ใช้ในการทดลอง สามารถเจริญในอาหารที่มีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ในช่วงกว้าง แต่ช่วงที่เหมาะสมที่สุด คือ 0 ถึง 0.5 กรัมต่อลิตร และพบว่าแม้ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์จะสูงถึง 20 ถึง 30 กรัมต่อลิตร S. platensis ก็ยังสามารถเจริญเติบโตได้

ในปี 1985 Reedและคณะรายงานการทดลองเลี้ยง S. platensis ในอาหารสูตร BG11 ซึ่งเติมโซเดียมไนเตรทร้อยละ 0.15 และเติมเกลือสมุทรระดับต่าง ๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 70 กรัมต่อลิตร พบว่าสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตในอาหารดังกล่าวได้ แต่การเจริญเติบโตจะช้าถ้าเลี้ยงในอาหารที่มีโซเดียมไบคาร์บอเนตมากเกินไป จึงอาจกล่าวได้ว่าความสามารถทนต่อความเค็มของ S. platensis อาจเพิ่มขึ้นได้ ถ้าอยู่ในสภาพที่มีปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตน้อยลง แต่อย่างไรก็ตาม การเพาะเลี้ยงสาหร่ายกลางแจ้งในสภาพที่มีโซเดียมคลอไรด์สูง และโซเดียมไบคาร์บอเนตต่ำ อาจประสบปัญหาเนื่องจากการปนเปื้อนโดยสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ได้

2. การเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในน้ำกร่อย น้ำเค็ม และน้ำทะเล

นอกจากการเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในอาหารที่มีโซเดียมคลอไรด์ระดับต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีผู้ศึกษาถึงการนำน้ำกร่อย น้ำเค็ม และน้ำทะเลมาใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายอีกด้วย ทั้งนี้ นอกจากจะเป็นการศึกษาเพื่อนำน้ำเหล่านั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์แล้ว ยังเป็นการลดต้นทุนในการเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในระดับอุตสาหกรรมอีกด้วย ดังเช่น ประเทศอิสราเอลได้มีการศึกษาอย่างต่อเนื่องถึงการนำเอาน้ำเค็มใต้ดินมาใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง เพื่อพัฒนาไปสู่ระบบอุตสาหกรรมตั้งแต่ปี ค.ศ. 1974 เป็นต้นมา

Richmond และคณะ (1981) ได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำเค็มใต้ดินบริเวณหุบเขา Arava ที่อยู่ในแนวเส้นทางจากทะเล Dead Sea ถึง Red Sea และเลือกน้ำเค็มจาก Yotvata เป็นตัวแทนน้ำเค็มใต้ดิน แต่เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของน้ำใต้ดินแปรปรวนมาก จึงจำเป็นต้องสังเคราะห์น้ำตัวอย่างให้มีองค์ประกอบเช่นเดียวกับน้ำในบ่อใต้ดิน และเติมธาตุอาหารต่าง ๆ ตามสูตรของ Zarrouk ยกเว้นโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตลดปริมาณลงเหลือ 0.05 กรัมต่อลิตร และทดลองในห้องปฏิบัติการ ผลการศึกษาพบว่าอัตราการเจริญเติบโตของ S. platensis ในอาหารที่เตรียมจากน้ำประปาที่ Beer Sheva (ชุดควบคุม) และน้ำเค็มที่สังเคราะห์ขึ้นมานี้ ไม่มีความแตกต่างกันเลย โดยมี doubling time เท่ากับ 9.8 และ 10.3 ชั่วโมงตามลำดับ และเพื่อต้องการทราบว่าสารประกอบตัวใดในอาหารที่เป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่าย ถ้าความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้นเนื่องจากการระเหยของน้ำในบ่อเลี้ยงสาหร่ายกลางแจ้ง จึงทำการทดลองต่อและพบว่าถ้าฟอสเฟตไม่เป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่าย แม้ความเข้มข้นของซัลเฟตและคลอไรด์จะเพิ่มขึ้นเป็น 50 เท่า (44.1 และ 94.2 กรัมต่อลิตรตามลำดับ) สาหร่ายยังคงเจริญเติบโตได้ และพบว่า สาหร่ายมีการตอบสนองต่อแมกนีเซียม แม้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเพียงเล็กน้อย โดยในการทดลองกลางแจ้งพบว่า ความเข้มข้นของแมกนีเซียมสูงกว่า 1.4 กรัมต่อลิตร จะมีผลยับยั้งการเจริญเติบโต และจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ถ้าในอาหารเลี้ยงสาหร่ายมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมเท่ากับ 490 มิลลิกรัมต่อลิตรและในอาหารนั้นไม่มีไบคาร์บอเนต อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายจะถูกยับยั้งอย่างรุนแรง ต่อเมื่อปริมาณไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นเป็น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงจะป้องกันการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยแมกนีเซียมได้ นอกจากนี้ Richmond และคณะ ยังได้พยายามพัฒนาการเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองชนิดน้ำเค็ม S. subsalsa ในอาหารที่เตรียมจากน้ำทะเลอีกด้วย โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองพบว่า doubling time ในระยะ exponential ของกราฟการเจริญเติบโตเท่ากับ 14 ถึง 15 ชั่วโมง และพบว่าแสงเป็นปัจจัยจำกัดที่อาจทำให้ค่า maximal doubling time ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเพิ่มความเค็มเป็น 93.6 กรัมโซเดียมคลอไรด์ต่อ

ลิตร สาหร่ายก็ยังคงเจริญเติบโตได้ตามปกติ แต่เมื่อเพิ่มความเค็มขึ้นเป็น 117 กรัมโซเดียมคลอไรด์ต่อลิตร อัตราการเจริญเติบโตจะลดลงร้อยละ 50

ต่อมาในปี 1985 Vonshak และ Amos รายงานถึงปัญหาการพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในน้ำเค็มของประเทศอิสราเอลว่า ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายกลางแจ้งมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาสำคัญ ได้แก่ แสง อุณหภูมิ และความหนาแน่นของสาหร่าย ทั้งนี้เนื่องจาก ในฤดูร้อนสภาพแวดล้อมต่าง ๆ มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ดังนั้น ถ้าเลี้ยงสาหร่ายไปสักระยะหนึ่ง ความหนาแน่นของสาหร่ายจะเพิ่มขึ้นเป็นเหตุให้แสงส่องผ่านอาหารลงไปได้น้อย ทำให้การเจริญเติบโตลดลงด้วย ส่วนในฤดูหนาวอุณหภูมิในช่วงกลางวันต่ำ จึงเป็นเหตุให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายลดลง

ในปี 1984 Cian และคณะ รายงานว่า สามารถเลี้ยง S. subsalsa เป็นปริมาณมากในทะเลทรายโดยใช้บ่อซีเมนต์หรือบ่อพลาสติก อาหารเลี้ยงสาหร่ายประกอบด้วยสารอาหารที่สำคัญดังนี้ ไนโตรเจนจากมูลไก่ ฟอสเฟต โพแทสเซียม และแมกนีเซียมในบ่อพลาสติกใช้น้ำเค็มรวมกับสารอาหารดังกล่าว ส่วนสำหรับการทดลองในบ่อคอนกรีต ใช้น้ำบาดาลซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากับ 35 ถึง 40 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า ในบ่อพลาสติกและบ่อซีเมนต์ให้ผลผลิต 17 และ 18.9 กรัมต่อตารางเมตรต่อวันตามลำดับ และพบว่าแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคือ โซเดียมไนเตรท และแอมโมเนียมไนเตรท ส่วนฟอสเฟต และโพแทสเซียม ซึ่งให้ในรูปโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ควรมีปริมาณ 0.2 กรัมต่อลิตร

สำหรับการใช้น้ำทะเลในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง ได้มีผู้ศึกษาดังนี้ Inkenouye (1974) รายงานการศึกษาเรื่องการใช้น้ำทะเลจากอ่าวอาระเบียน ประเทศคูเวต ซึ่งมีคลอไรด์ 22.4 กรัมต่อลิตรเลี้ยง S. platensis โดยขั้นแรก เลี้ยงในอาหารสูตรของ Zarrouk ซึ่งมีน้ำทะเลร้อยละ 25 นาน 2 สัปดาห์ ปรากฏว่าสาหร่ายสามารถเจริญได้ดีเทียบเท่ากับการเจริญเติบโตของสาหร่ายในอาหารสูตรของ Zarrouk จากนั้นในขั้นที่ 2 นำสาหร่ายจากขั้นแรกมาเลี้ยงในอาหารที่มีน้ำทะเลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 ผลการเจริญเติบโตยังคงเป็นปกติ และเมื่อเลี้ยงในขั้นที่ 3 โดยใช้สาหร่ายเริ่มต้นจากขั้นที่ 2 เลี้ยงในอาหารที่มีน้ำทะเลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 75 พบว่าสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ แม้ว่าช่วง 5 ถึง 7 วันแรกจะมีการชะงักการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังพบว่า รูปร่างของสาหร่ายเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอีกด้วย

ในปี 1979 Faucher และคณะ รายงานถึงการเลี้ยง S. maxima ในอาหาร 3 สูตรได้แก่ น้ำทะเลจากบริษัท Triton Marine Salt ซึ่งมีความเค็มประมาณ 35 ส่วนในพันส่วนโดยไม่เติมธาตุอาหาร และน้ำทะเลดังกล่าวซึ่งเติมธาตุอาหารต่าง ๆ ตามสูตรของ Zarrouk เปรียบเทียบกับอาหารสูตรของ Zarrouk ผลการศึกษาพบว่า การเจริญเติบโตของสาหร่ายในอาหาร 2 สูตรแรกเป็นครึ่งหนึ่งของการเจริญเติบโตในอาหารสูตรของ Zarroukเพราะสาหร่ายขาดธาตุอาหารประเภทฟอสฟอรัส ไนเตรท และไบคาร์บอเนต ทั้งนี้เนื่องจากน้ำทะเลมีธาตุอาหารดังกล่าวในปริมาณที่ต่ำมาก ส่วนอาหารสูตรสองที่เตรียมจากน้ำทะเล แม้จะเติมธาตุอาหารสูตรต่างๆ ตามสูตรของ Zarrouk ก็ยังพบว่าสาหร่ายมีการเจริญเติบโตต่ำ ในเรื่องนี้ Faucher และคณะ อธิบายว่า เนื่องจากน้ำทะลเมีแคลเซียม และแมกนีเซียมมาก จึงตกตะกอนกับฟอสเฟตและคาร์บอเนต ทำให้สาหร่ายขาดธาตุดังกล่าว ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงลดอิออนดังกล่าวในน้ำทะเลก่อนนำมาทดลอง ผลการทดลองพบว่า การเจริญเติบโตของสาหร่ายในน้ำทะเลที่ผ่านการลดความกระด้างด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต 19.2 กรัมต่อลิตร ที่ความเป็นกรด-ด่าง 9.2 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วกรองตะกอนออก เติมโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต โซเดียมไนเตรท และเฟอรัสซัลเฟต 0.5 3.0 และ 0.01 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีเทียบเท่ากับการเจริญเติบโตในอาหารสูตรของ Zarrouk

นอกจากจะมีการศึกษาการเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองโดยใช้น้ำทะเลดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีการนำเอาเกลือสมุทร(crude sea salt) มาใช้เป็นสารอาหารที่สาหร่ายต้องการน้อย (micronutrient) เพื่อเลี้ยงสาหร่ายอีกด้วย ดังรายงานผลการศึกษาต่อไปนี้

ในปี 1982 Ajala Jimenez และคณะ ได้รายงานถึงการศึกษาการเลี้ยง S. maxima ด้วยอาหารราคาถูก โดยใช้เกลือสมุทรเป็นแหล่งธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องการน้อยในปริมาณ 14 กรัมต่อลิตร และใช้ saltpeter ซึ่งเป็นปุ๋ยธรรมชาติราคาถูกใช้แพร่หลายในประเทศชิลีเป็นแหล่งไนโตรเจน และเติมสารอาหารตัวอื่นๆ ได้แก่ โซเดียมไบคาร์บอเนต โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต และเฟอรัสซัลเฟต พบว่าการเจริญเติบโตของสาหร่ายให้ผลดีเช่นเดียวกับการเจริญเติบโตในอาหารสูตรของ Zarrouk และพบว่า ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนไนโตรเจนในอาหารให้เป็นโปรตีนในสาหร่ายสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายในอาหารสูตรของ Zarrouk อีกด้วย คือ มีค่าร้อยละ 67.5 และ 26.7 ตามลำดับ

ส่วนการทดลองของ Chaudhari และคณะ ในปี 1983 เพื่อศึกษาถึงการใช้เกลือสมุทรร่วมกับอาหารสูตรพื้นฐาน และอาหารที่เตรียมจากปุ๋ยมูลหมัก (night soil

digester) หรือน้ำเสีย (raw sewage) เลี้ยง S. platensis โดยใช้น้ำเสียและมูลหมักที่ปล่อยให้ตกตะกอน และเอาแต่ส่วนใสข้างบนไปใช้ทดลอง ผลการทดลองพบว่า จำเป็นต้องใส่โซเดียมไบคาร์บอเนต 4 กรัมต่อลิตรลงในอาหาร จึงจะทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ และพบว่าการเติมเกลือสมุทรลงในอาหารที่เตรียมจากปุ๋ยมูลหมักและน้ำเสียจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเกลือสมุทรที่เพิ่มขึ้นจาก 1 ถึง 5 กรัมต่อลิตร โดยพบว่าปริมาณเกลือสมุทรที่เหมาะสมสำหรับอาหารที่เตรียมจากปุ๋ยมูลหมักและน้ำเสีย คือ 5 และ 3 กรัมตามลำดับ และเพื่อศึกษาถึงผลของเกลือสมุทรที่มีต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของสาหร่าย Chaudhari และคณะ จึงทดลองโดยใช้เกลือสมุทรร่วมกับอาหารสูตรพื้นฐาน ซึ่งเจือจางให้มีความเข้มข้นร้อยละ 75, 50 และ 25 ผลปรากฏว่าแม้จะลดสารอาหารในอาหารสูตรพื้นฐานลงเหลือร้อยละ 25 ถ้ามีการเติมเกลือสมุทร การเจริญเติบโตของสาหร่ายจะสูงกว่าสาหร่ายในอาหารสูตรพื้นฐานที่ไม่ได้เติมเกลือสมุทร

3. <u>การใช้โซเดียมคลอไรด์ลดความเป็นพิษของแอมโมเนียในน้ำเลี้ยงสาหร่ายที่ใช้มูลสัตว์เป็นแหล่งอาหาร</u>

การใช้มูลสัตว์ ตลอดจนยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองมักประสบปัญหาการสลายตัวของสารดังกล่าวกลายเป็นแอมโมเนีย ในสภาพอาหารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง แอมโมเนียนี้เป็นสารที่มีพิษต่อสาหร่าย ซึ่งจะมีผลทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายลดอย่างเห็นได้ชัด (Berend et al., 1980) ดังนั้น จึงมีผู้สนใจศึกษาถึงการเกิดและการลดความเป็นพิษของแอมโมเนีย โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

ในปี 1980 Chiu และคณะ (1980a) รายงานการใช้โซเดียมคลอไรด์ระดับต่างๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 7 กรัมต่อลิตร ร่วมกับมูลสุกรหมัก (fermented swine manure) ซึ่งเจือจางให้มีไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย 50 มิลลิกรัมต่อลิตรเพื่อเลี้ยง S. platensis ผลการทดลองพบว่า การเติมโซเดียมคลอไรด์ลงในอาหาร ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเพิ่มขึ้นและทำให้การสูญเสียไนโตรเจนในรูปไนแอมโมเนียลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าอาหารเลี้ยงสาหร่ายมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ช้าลงอีกด้วย จากการทดลองในครั้งนี้สรุปได้ว่าปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยง S. platensis ด้วยมูลสุกรหมักที่มีไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรคือ โซเดียมคลอไรด์ 3 ถึง 7 กรัมต่อลิตร และเพื่อศึกษาถึงผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายในสภาพที่มีไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียสูง (มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร) Chiu และคณะ จึงทำการทดลองต่อในขั้นที่ 2 โดยเตรียมมูลสุกรหมักให้มีไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียเข้มข้น 50 ถึง 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เติมโซเดียมคลอไรด์ 0 ถึง 3 กรัมต่อลิตร ผลการศึกษาพบว่าถ้าใช้ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สาหร่ายจะเจริญเติบโตได้ดีถ้าเติมโซเดียมคลอไรด์มากกว่า 2 กรัมต่อลิตร และสาหร่ายจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ถ้าโซเดียมคลอไรด์ต่ำกว่า 1 กรัมต่อลิตร และถ้าไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นเป็น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องใส่โซเดียมคลอไรด์มากกว่า 2 กรัมต่อลิตร สาหร่ายจึงมีการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังพบอีกว่า สาหร่ายจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้เลย หากความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในอาหารสูงกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร แม้จะเติมโซเดียมคลอไรด์ 3 กรัมต่อลิตรก็ตาม

ส่วนการศึกษาของ Tsai (1980) ศึกษาถึงผลของความเค็มระดับต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของ S. platensis ในอาหารที่เติมน้ำซึ่งได้จากการกรองมูลสุกรหมัก (ความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียเท่ากับ 5 มิลลิลิตรต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงสาหร่ายทุกวันเพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจน และเติมสารเคมีตัวอื่น ๆ เพื่อเป็นแหล่งอาหาร ได้แก่ โซเดียมไบคาร์บอเนต โพแทสเซียมซัลเฟต โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต และโซเดียมไนเตรท ในอัตราส่วน 8.4 1 0.5 และ 1 กรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยควบคุมอาหารดังกล่าวให้มีความเค็มระดับต่าง ๆ กันดังนี้คือ 0 10 และ 20 ส่วนในพันส่วน ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มความเค็มในอาหารเลี้ยงสาหร่ายมีผลทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายดีขึ้นตามลำดับ แต่การเลี้ยงสาหร่ายในอาหารที่ใช้น้ำที่ได้จากการกรองมูลสุกรหมักเป็นแหล่งอาหารเป็นเวลานาน ๆ มักประสบปัญหาการปนเปื้อนจากแพลงตอนและโปรโตซัว เขาจึงศึกษาการยับยั้งการปนเปื้อนดังกล่าวโดยใช้โซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไบคาร์บอเนต ผลการศึกษาพบว่าการใช้โซเดียมคลอไรด์ 3 กรัมต่อลิตร หรือโซเดียมไบคาร์บอเนต 8.4 กรัมต่อลิตร ทั้ง 2 วิธีนี้ สามารถควบคุมจำนวนโปรโตซัวและโรติเฟอร์ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในปี 1979 Faucher และคณะ ได้ศึกษาถึงผลของความเค็ม อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง ที่มีต่ออัตราการเกิด และความเป็นพิษของแอมโมเนีย ในอาหารเลี้ยงสาหร่ายที่ใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน ทั้งนี้เนื่องจากสภาพความเป็นด่างของอาหารเลี้ยงสาหร่าย ทำให้ยูเรียสลายตัวกลายเป็นแอมโมเนียซึ่งเป็นพิษต่อสาหร่าย ดังนั้น เพื่อลดอัตราการเกิด และความเป็นพิษของแอมโมเนียดังกล่าว Faucher และคณะ จึงทดลองที่ความเค็ม อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง 2 ระดับ โดยทดลองกับยูเรียระดับต่างๆ ตั้งแต่ 0.1 ถึง 1.0 กรัมต่อลิตร (ดังตารางที่ 2.2) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ที่ระดับความเข้มข้นของยูเรียเท่ากับ 0.1 ถึง 0.2 กรัมต่อลิตร จะมีอัตราการเจริญเติบโตใกล้เคียง หรือดีกว่าสาหร่ายในอาหารสูตรควบคุมเล็กน้อย และพบว่า ความเข้มข้นของยูเรียในระดับดังกล่าว ความเค็ม อุณหภูมิ และความเป็น

กรด-ด่าง ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย อย่างไรก็ตาม ในสภาพที่มียูเรียมากกว่า 0.2 กรัมต่อลิตรการเจริญเติบโตจะลดลง และพบว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย Faucher และคณะ เสนอว่า ไม่ว่าจะมีความเข้มข้นของยูเรียเท่าไรก็ตามอาหารที่เลี้ยงควรมีความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.3 เสมอ

ตารางที่ 2.2 ผลของอุณหภูมิ ความเค็ม และความเป็นกรด-ด่าง ต่อการเจริญเติบโตของ Spirulina maxima ในอาหารเลี้ยงสาหร่ายที่เตรียมจากน้ำทะเล

อุณหภูมิ	ความเค็ม	pH	การเจริญเติบโต* % ยูเรีย (กรัม/ลิตร)				
			0.1	0.2	0.4	0.6	1.0
32	21.5	8.3	94	113	97	81	68
38	21.5	8.3	100	112	100	69	62
32	40.0	8.3	97	103	93	83	49
38	40.0	8.3	96	104	92	62	58
32	21.5	9.1	100	104	80	68	52
38	21.5	9.1	100	91	59	41	32
32	40.0	9.1	100	104	83	67	46
38	40.0	9.1	100	96	65	52	43

หมายเหตุ : การเจริญเติบโต* หมายถึง £O.D./O.D. ของ S. maxima ในอาหารสูตรควบคุม3x10