บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สาหร่ายเกลียวทอง จัดเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue green algae) ชนิดหนึ่ง มีรูปร่างบิดเป็นเกลียวคล้ายเกลียวของขดลวดสปริง นิยมเรียกว่าสาหร่ายสไปรูไลน่า จัดได้ว่ามีขนาดค่อนข้างใหญ่คือ ใหญ่กว่าสาหร่าย *Chlorella* ประมาณ 100 เท่า มีความยาวประมาณ 50-500 ไมครอน และมีความกว้างประมาณ 3-8 ไมครอน ปัจจุบันสาหร่ายเกลียวทองได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง (ดวงมณี, 2547)

2.1 การจัดอนุกรมวิธานของสาหร่ายเกลียวทอง

สาหร่ายเกลียวทองชนิด *Spirulina platensis* จำแนกตามหมวดหมู่ตามหลักอนุกรมวิธานดังนี้

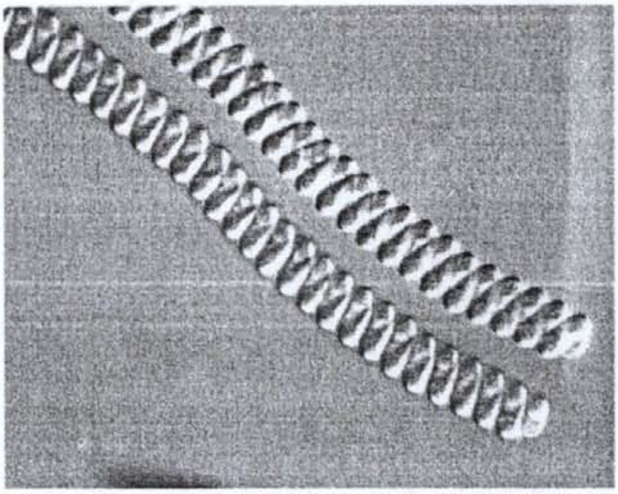
Kingdom	Monera
Division	Cyanophyta
Class	Cyanophyceae
Family	Ocillatoriaceae
Genus	*Spirulina*
Species	*Spirulina platensis*

2.2 ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายเกลียวทอง

สาหร่ายเกลียวทองประกอบด้วยเซลล์ที่เรียงตัวต่อกันเป็นสายบิดเกลียวคล้ายลวดสปริงแต่ไม่แตกแขนงเรียกว่า ไตรโคม (trichome) มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกตลอดสายปลายทั้งสองข้างโค้งมน เคลื่อนที่ได้ โดยทั่วไปความกว้างของเกลียว (helix) ประมาณ 4-8 ไมครอน ระยะห่างระหว่างเกลียว (pitch) ประมาณ 60 ไมโครเมตร มีความยาวของไตรโคม (length) ประมาณ 300-500 ไมโครเมตร อย่างไรก็ดีสาหร่ายเกลียวทองชนิดเดียวกันเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมต่างกันขนาดและรูปร่างก็อาจแตกต่างกันด้วย เช่น สาหร่ายที่เจริญอยู่ในระบบน้ำหมุนเวียนตลอดเวลาสีจะเข้มกว่าและมีขนาดไตรโคมสั้นกว่าสาหร่ายที่เจริญในระบบน้ำที่ไม่หมุนเวียน ผนังเซลล์ของสาหร่ายประกอบด้วยสารมิวโคโพลีเมอร์ เพคติน และโพลีแซคคาไรด์ ไม่พบสารประกอบพวกเซลลูโลสและไม่มีเมือกหุ้ม มีกรดนิวคลีอิกอยู่เป็นกลุ่มในไซโตพลาสซึม ภายในจะมีไทลาคอยด์เป็นที่เกาะของคลอโรฟิลล์เอและรงควัตถุอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีแกสแวคคิวโอล

ทำให้สาหร่ายเกลียวทองมีการลอยตัวได้ดี และสาหร่ายมีสารปฏิชีวนะบางชนิดที่สามารถต่อต้านแบคทีเรียได้ (ดวงมณี, 2547)

สาหร่ายเกลียวทองจัดเป็นจุลินทรีย์พวกโปรคาริโอท (Procaryote) ไม่มีนิวเคลียร์เมมเบรน (Nuclear membrane) สารพันธุกรรมจึงกระจายอยู่ทั่วไปในเซลล์ ในสาหร่ายเกลียวทองขนาดเล็กสังเกตเห็นผนังกั้นเซลล์ได้ยาก เนื่องจากไม่มีแกสแวคคิวโอล จึงทำให้เห็นไซโตพลาสซึมเป็นเนื้อเดียว สำหรับสายพันธุ์ขนาดใหญ่จึงสามารถมองเห็นผนังกั้นเซลล์ได้อย่างชัดเจนนอกจากนี้แกสแวคคิวโอลยังทำให้เซลล์ของสาหร่ายมีน้ำหนักเบา จึงมักพบสาหร่ายชนิดนี้แขวนลอยอยู่ในน้ำ นอกจากนี้ภายในไซโตพลาสซึมของสาหร่ายเกลียวทองยังประกอบด้วยไทลาคอยด์ (Thylakoid) ซึ่งเป็นที่ยึดเกาะของคลอโรฟิลล์–เอ และรงควัตถุชนิดอื่นๆ สาหร่ายเกลียวทองเคลื่อนที่โดยการหมุนรอบแกนของเซลล์ ไม่มีเซลล์สืบพันธุ์ จึงเจริญเติบโตได้โดยการแบ่งเซลล์เท่านั้น (ดวงมณี, 2547)



รูปที่ 2.1 ลักษณะของสาหร่ายเกลียวทอง (ดวงมณี, 2547)

แหล่งที่อยู่อาศัยของสาหร่ายประเภทนี้ กระจายอยู่ทั่วไปในดิน ป่าชายเลน น้ำกร่อย น้ำจืด น้ำเค็มและน้ำพุ นอกจากนี้ยังสามารถลอยในทะเลสาบที่มีความเป็นด่างสูง (pH > 9.0) และเป็นสาหร่ายที่ชอบอุณหภูมิสูง (Thermophile) อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 35-40 องศาเซลเซียส

2.3 การเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทอง

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระบบปิด (Close system) ซึ่งเรียกว่า " Batch culture " คือการนำสาหร่ายมาใส่ในอาหารใหม่ สาหร่ายจะมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนเซลล์ แล้วอัตราการเจริญเติบโตจะลดลงและกลายเป็นศูนย์ในที่สุด เนื่องจากความเข้มข้นของของเสียที่ปล่อยออกมา หรือเนื่องจากภาวะการขาดแคลนอาหาร หรือความหนาแน่นของสาหร่ายที่สูงเกินไป ซึ่งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสามารถแบ่งออกเป็น 6 ช่วง ดังต่อไปนี้

Lag phase เป็นช่วงที่สาหร่ายมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ ระยะนี้ไม่มีการเพิ่มจำนวนเซลล์

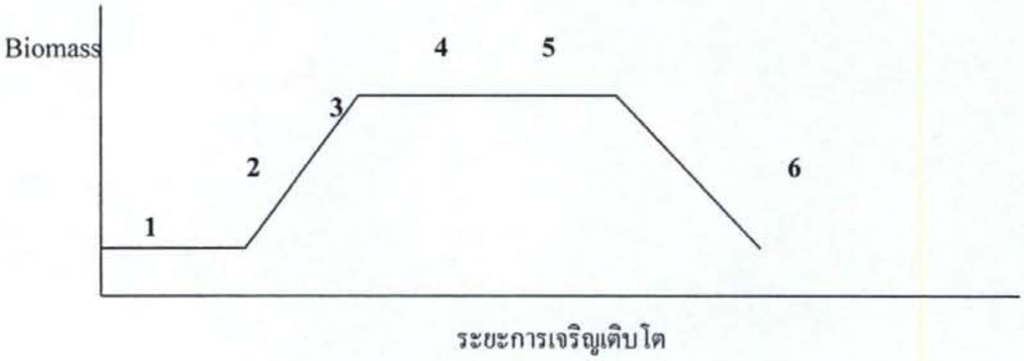
Acceleration phase ระยะนี้มวลสาหร่ายมีการเปลี่ยนแปลงเป็นลำดับขั้นดังนี้ RNA มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ต่อมาโปรตีนและน้ำหนักแห้งจะเพิ่มมากขึ้นมาตามลำดับและขั้นสุดท้ายจึงมีการเพิ่มจำนวนเซลล์

Logarithmic phase ช่วงนี้สาหร่ายมีการแบ่งเซลล์ และเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วมีอัตราเมตาบอลิซึมสูง และเป็นอัตราเจริญที่เพิ่มขึ้นคงที่

Deceleration phase สาหร่ายเริ่มมีอัตราการเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการบังแสงซึ่งกันและกัน ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง มีผลให้การเจริญเติบโตลดลงด้วย

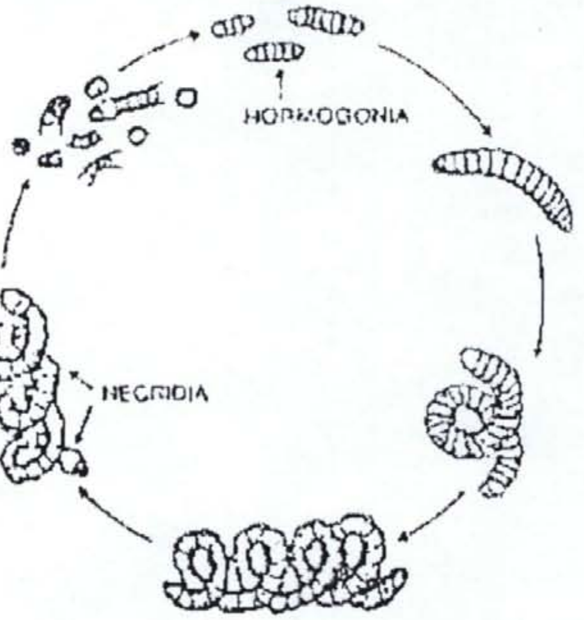
Stationary phase ระยะดังกล่าวมวลหรือจำนวนสาหร่ายมีปริมาณคงที่ แต่องค์ประกอบในเซลล์บางอย่างมีการเปลี่ยนแปลง ช่วงการเจริญนี้จะเกิดการขาดแคลนแร่ธาตุที่สำคัญหรือความเข้มข้นของของเสียที่มากขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง รวมถึงการแบ่งแสงที่เกิดจากความหนาแน่นของสาหร่ายที่เพิ่มมากขึ้น ปัจจัยเหล่านี้ทำให้สาหร่ายเกิดภาวะขาดแคลน และใช้อาหารที่สะสมไว้ในเซลล์

Death phase ในระยะสุดท้าย มวลสาหร่ายจะเริ่มลดลง เนื่องจากอัตราส่วนของการหายใจต่อการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น จนมีค่ามากกว่าหนึ่ง หรือเนื่องจากมีการตายของเซลล์สาหร่าย



รูปที่ 2.2 การเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทองแบ่งเป็น 6 ระยะ

วงจรชีวิตของสาหร่ายเกลียวทองเมื่อเลี้ยงในสภาวะห้องปฏิบัติการจะมีระยะเวลาสั้นประมาณ 1 วัน และใช้เวลาประมาณ 3-5 วัน เมื่อเลี้ยงในสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.3 ต่อวัน ภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการ และ 0.2 ต่อวัน ภายในสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ มีประสิทธิภาพในการดูดพลังงานแสงประมาณร้อยละ 3-4.5% นอกจากนี้สาหร่ายเกลียวทองมักลอยตัวขึ้นมาบริเวณผิวน้ำเนื่องจากภายในเซลล์มีแกสแวคคิวโอล ดังนั้นจึงทำให้ง่ายต่อการเก็บเกี่ยว (ดวงมณี, 2547)



รูปที่ 2.3 วงจรชีวิตของสาหร่ายเกลียวทอง (กนกกาญจน์, 2547)

2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทอง

ปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทองมีดังนี้ คือ

2.4.1 แสง

สาหร่ายเกลียวทองต้องการแสงสว่างในการสังเคราะห์แสง สาหร่ายเกลียวทองจัดเป็น photoautotrophic แม้ว่าจะสามารถเจริญแบบ heterotrophy ซึ่งเป็นการเจริญในความมืดสามารถใช้อินทรีย์สาร เช่น กลูโคส หรือ กรดแอซิติกได้ พลังงานซึ่งช่วยในการสังเคราะห์แสงเป็นพลังงานซึ่งได้จากแสงในช่วงที่เราสามารถมองเห็นได้ (visible light) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400-700 นาโนเมตร และแสงในช่วงที่เป็นรังสีความร้อน (infrared) ความยาวคลื่นของแสงมีความจำเพาะต่อรงควัตถุแต่ละชนิด สาหร่ายเกลียวทองประกอบด้วยรงควัตถุหลายชนิดแต่ที่พบในปริมาณมาก คือ คลอโรฟิลด์ เบตาแคโรทินอยด์ ไฟโคไซยานิน และไฟโคอิริทริน รงควัตถุเหล่านี้จะถูกกระตุ้นด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันพลังงานแสงที่ได้รับทั้งหมดจากรงควัตถุต่างๆจะถ่ายทอดไปยังโมเลกุลของคลอโรฟิลด์ โดยที่คลอโรฟิลด์เป็นรงควัตถุสีเขียวที่ดูดกลืนแสงสีแดงรงควัตถุเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวรับพลังงานของโฟตอนและส่งไปยังศูนย์กลางของการเกิดปฏิกิริยา จากนั้นจะใช้พลังงานนี้แบ่งแยก เชื่อมและจัดระเบียบโมเลกุล อะตอมจนถึงอนุภาคเพื่อให้ได้สารใหม่ ดังสมการ

$$2H_2O + CO_2 \xrightarrow[\text{รงควัตถุ}]{\text{แสง}} CH_2O + O_2 + H_2O \qquad (2.1)$$

แม้ว่าแสงจะจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย แต่สาหร่ายเองก็มีความสามารถในการทนทานต่อแสงได้อย่างจำกัด การได้รับแสงในปริมาณมากเกินไปจะทำให้รงควัตถุถูกทำลาย สาหร่ายจะมีสีซีดและตายในที่สุด เป็นผลมาจากปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชั่น (photooxidation) หรือโฟโตไลซิส (photolysis) ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดช่วง lag phase ความเข้มแสงซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทองที่เลี้ยงในบริเวณกลางแจ้งที่มีอุณหภูมิสูง สาหร่ายจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงความเข้มแสง 20,000-30,000 ลักซ์ ส่วนการเลี้ยงในห้องปฏิบัติการจะใช้ความเข้มแสงเพียง 8,000-10,000 ลักซ์ (พรทิภา, 2533)

2.4.2 ความเป็นกรด – ด่าง

ค่าความเป็นกรด – ด่างของสารละลายมีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของสาหร่าย

เกลียวทองนอกจากนี้ความเป็นกรด – ด่าง ยังมีบทบาทต่อการละลายของเกลือ และสารประกอบเชิงซ้อนชนิดต่างๆในน้ำซึ่งอาจก่อความเป็นพิษ หรือยับยั้งการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต ขณะเดียวกันยังส่งผลต่อการละลายของสารประกอบโลหะ โดยเป็นสาเหตุให้สารประกอบโลหะบางชนิดตกตะกอน ดังนั้นสาหร่ายจึงอาจขาดธาตุโลหะที่จำเป็นบางตัว

ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองพบว่าสาหร่ายเกลียวทองเจริญได้ดีในช่วงความเป็นกรด – ด่างระหว่าง 9-11 และควรอยู่ในระดับ 9.5 จึงจะเหมาะสมที่สุด ถ้าพีเอชต่ำกว่านี้ ควรปรับด้วยโซเดียมไฮดรอดไซด์ ค่าพีเอชจะมีผลต่อการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเกลือแร่อื่นๆ และมีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมในเซลล์สาหร่ายโดยตรง แต่ถ้าค่าความเป็นกรด – ด่างลดลงใกล้เคียง 7 หรือสูงถึง 11.3 จะพบว่ามีการเจริญของสาหร่ายลดลง ซึ่งพบว่าการเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในบ่อกลางแจ้งมีค่าความเป็นกรด- ด่าง เท่ากับ 10.3 จะไม่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย แต่ถ้าความเป็นกรด-ด่างสูงถึง 11 จะมีการยับยั้งการเจริญเติบโตที่รุนแรง (พรทิภา, 2533)

2.4.3 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยมีผลต่อส่วนประกอบของโครงสร้างเซลล์ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อกลไกการควบคุมกระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolic regulatory mechanisms) ความจำเพาะของปฏิกิริยาเอนไซม์ (specificity of enzyme reations) และส่วนประกอบของเซลล์ (cell composition) นอกจากนี้อุณหภูมิยังส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของเซลล์ โดยขึ้นกับการได้รับพลังงานกระตุ้นปฏิกิริยาของเซลล์นั่นเอง ดังนั้นการเลี้ยงสาหร่ายในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม จึงนับว่ามีความจำเป็นเพื่อทำให้ได้ผลผลิตมากขึ้น มีการศึกษาพบว่าเมื่อเลี้ยงสาหร่ายที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10-15 °C สาหร่ายจะไม่สามารถเจริญได้ สาหร่ายเกลียวทองเป็นสาหร่ายที่ชอบอุณหภูมิค่อนข้างสูง (Thermophilic algae) สามารถเจริญได้ดีในสภาพอากาศแบบกึ่งร้อน มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่อปี 28-34 °C ในการเลี้ยงกลางแจ้งอุณหภูมิที่พอเหมาะในเวลากลางวัน คือ 40 °C และเวลากลางคืน คือ 25 °C ในห้องปฏิบัติการพบว่าสาหร่ายที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 45 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงไม่มีการเจริญ แต่จะมีการเจริญเกิดขึ้นถ้านำสาหร่ายกลับมาเลี้ยงที่อุณหภูมิ 35 °C ที่อุณหภูมิสูงกว่า 40 °C จะเกิดการหักของสายสาหร่ายและถ้านำมาเลี้ยงที่อุณหภูมิสูงถึง 50 °C เป็นเวลาสั้นๆ เพียง 10 นาที ก็ทำให้สาหร่ายตายได้

2.4.4 ความเค็ม

เนื่องจากการตอบสนองความเค็มในอาหารที่ต่างกัน ทำให้สามารถแยกสาหร่ายออกเป็น 2 พวก ใหญ่ๆ คือ สาหร่ายที่ทนต่อความเค็ม (Halotolerent alge) และสาหร่ายที่ชอบความ

เค็ม (Halophilic algae) สาหร่ายที่ทนต่อความเค็มจะมีกลไกต่อการตอบสนอง (Respond mechanism) ซึ่งทำให้มีการปรับตัวจนสามารถเจริญเติบโตในอาหารที่มีความเค็มสูงได้ ในขณะที่สาหร่ายที่ชอบความเค็มต้องการเกลือในปริมาณที่พอเหมาะเท่านั้น จึงสามารถเจริญเติบโตได้ และสาหร่ายที่ทนความเค็มสูงนั้นมีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อเซลล์มากกว่าสาหร่ายที่ทนความเค็มต่ำ ดังนั้นสาหร่ายพวกแรกจึงมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่า (พรทิภา, 2533)

ความเค็มมีผลต่อการปรับตัวสาหร่ายต่อระดับ Osmotic potential ของสารอาหาร การปรับตัวดังกล่าวเป็นกระบวนการที่มีสองขั้นตอน คือ ขั้นแรกจะมีการลดกิจกรรมของการสังเคราะห์แสงโดยไม่มีผลต่อกิจกรรมการหายใจ ขั้นที่สองซึ่งต้องผ่านขั้นตอนแรกแล้วพบว่ากิจกรรมการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้น พร้อมกับการเพิ่มของกิจกรรมการหายใจและมีความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้น เพื่อใช้ในการปรับปรุงสมดุลของโซเดียมอิออน (Na^+) และโปตัสเซียมอิออน (K^+) และอาจมีการสังเคราะห์โมเลกุลซึ่งมีความจำเป็นต่อการปรับสมดุลดังกล่าว และพบว่าสาหร่าย เกลียวทอง (*Spirulina platensis*) ที่ใช้ในการทดลองสามารถเจริญในอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ในช่วงกว้าง แต่ละช่วงที่เหมาะสมที่สุดคือ 0-0.5 กรัมต่อลิตร และพบว่าแม้ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์จะสูงถึง 0-30 กรัมต่อลิตร สาหร่ายเกลียวทองก็ยังสามารถเจริญเติบโตได้ดี (พรทิภา, 2533)

2.4.5 การกวนหรือการหมุนเวียนของน้ำ (agitation)

การกวนหรือการหมุนเวียนของน้ำมีผลต่อการเจริญของสาหร่ายเกลียวทอง เนื่องจากการกวนทำให้เพิ่มการกระจายตัวของสาหร่ายให้ได้รับแสงสม่ำเสมอ ช่วยลดอัตราการตกตะกอนของสาหร่าย และทำให้สารอาหารกระจายอย่างทั่วถึง โดยเฉพาะช่วยกระจายคาร์บอนไดออกไซด์ให้สาหร่ายนำไปใช้อย่างเต็มที่ และการเลี้ยงในบ่อเลี้ยงขนาดใหญ่การกวนจะช่วยลดการแบ่งแยกชั้นน้ำอันเนื่องจากอุณหภูมิ (Thermal stratification)

อัตราการกวนขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มแสง ถ้าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายได้รับแสงที่มีความเข้มสูงโดยไม่มีการกวนจะเป็นสาเหตุให้เกิด photolysis หรือ photodestruction ดังนั้นในที่ที่มีความเข้มแสงสูงจะต้องมีอัตราการกวนสูงด้วย เนื่องจากสาหร่ายเมื่อได้รับแสงแล้วก็จะถูกบังด้วยสาหร่ายตัวอื่นอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันการได้รับแสงมากเกินไปและทำให้สาหร่ายได้รับแสงอย่างทั่วถึง ในที่ที่มีความเข้มแสงต่ำและมีอัตราการกวนต่ำจะทำให้การเจริญเป็นไปอย่างช้าๆ แต่จะพบรงควัตถุมีปริมาณมากขึ้น แต่ไม่มากจนเกิดปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชั่นและควรควบคุมอัตราการกวนให้น้ำมีการเคลื่อนที่ประมาณ 20-25 ซ.ม.ต่อวินาที

ถ้าความเป็นกรด– ด่างสูงขึ้น จะพบในรูปคาร์บอเนตอิออน (CO_3^{2-}) มากขึ้น และพบว่าค่าความเป็นกรด– ด่าง ของอาหารที่ใช้ในการเจริญที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 8.5-9.5 เมื่อใดก็ตามที่ค่าความเป็นกรด–ด่างสูงขึ้นถึง 10 แสดงว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มไม่เพียงพอ คาร์บอนไดออกไซด์จะเริ่มเป็นตัวจำกัดการเจริญของสาหร่าย การเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นการทำให้ค่าความเป็นกรด–ด่าง ต่ำลง และเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่ช่วยในการเจริญให้มากขึ้น

2.5.2 ธาตุไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นอีกธาตุหนึ่งที่มีความสำคัญ สาหร่ายสามารถนำธาตุไนโตรเจนมาใช้ได้ทั้งในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เพื่อนำมาสร้างองค์ประกอบต่างๆที่สำคัญของเซลล์ เช่น โปรตีน กรดอะมิโน โคเอนไซด์ กรดนิวคลีอิก คลอโรฟิลล์ ธาตุไนโตรเจนจะมีความสำคัญรองจากคาร์บอน สาหร่ายเกลียวทองไม่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ จึงใช้ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปไนเตรท ไนไตรท์ และแอมโมเนีย หรือสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ ยูเรีย กลูตามิน แอสพาราจิน และกรดอะมิโน เมื่อสาหร่ายใช้ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียจะทำให้ค่าความเป็นกรด – ด่างลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่สาหร่ายเมื่อดูดซึมไนเตรทและไนไตรท์จะนำไปรีดิวซ์ให้เป็นแอมโมเนียเสียก่อนแล้วจึงนำไปใช้งาน ซึ่งหากในอาหารมีไนโตรเจนทั้งแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท สาหร่ายเกลียวทองจะนำแอมโมเนียมาใช้จนหมดเสียก่อนแล้วจึงนำไนเตรทมาใช้ต่อ ในกรณีเพาะเลี้ยงสาหร่ายส่วนใหญ่ชอบใช้ในรูปของ แอมโมเนียไนโตรเจนมากกว่าไนเตรทไนโตรเจน สาหร่ายเกลียวทองจะสะสมไนโตรเจนในรูปรงควัตถุไซยาโนไฟซินและไซโคยานินเป็นสำคัญ และปล่อยไนโตรเจนออกจากเซลล์ในรูปของโพลีเปปไทด์ ส่วนน้อยเป็นกรดอะมิโนอิสระ [3] ถ้าสาหร่ายขาดธาตุไนโตรเจนจะมีผลต่อการสังเคราะห์แสง และปริมาณรงควัตถุ หรือสารสีของเซลล์รวมทั้งกิจกรรมของเอมไซม์บางชนิดลดลงด้วย

2.5.3 ธาตุฟอสฟอรัส

ธาตุฟอสฟอรัสเป็นอีกธาตุหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยมีบทบาทในกระบวนการสร้างพลังงานและสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก เซลล์ของสาหร่ายจะใช้พลังงานที่อยู่ในรูปของอนินทรีย์สาร ได้แก่ ไดไฮโดเจนฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$) ไฮโดรเจนฟอสเฟต ($H_2PO_4^{2-}$) และออโธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) สำหรับฟอสเฟตในรูปสารอินทรีย์ สาหร่ายจะต้องย่อยด้วยเอนไซม์เสียก่อนจึงจะสามารถนำไปใช้งานได้ นอกจากนี้ แสง ความเป็นกรด – ด่าง หรือปริมาณอิออนต่างๆ เช่น โซเดียมอิออน (Na^+) โปแตสเซียมอิออน (K^+) หรือแมกนีเซียมอิออน (Mg^{2+}) เป็นต้น สามารถกระตุ้นการใช้งานของฟอสฟอรัสได้

สาหร่ายสามารถเปลี่ยนฟอสเฟตให้อยู่ในรูปออโธฟอสเฟต (orthophophate) และ ATP ตามลำดับ และจะสะสมไว้ภายในเซลล์ ซึ่งถ้าสารละลายอาหารมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้สาหร่ายลดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและเข้าสู่ระยะคงที่ (stationary phase) และระยะลดจำนวน (decleration phase) สาหร่ายเริ่มปล่อยฟอสฟอรัสออกจากเซลล์ เมื่อมีความหนาแน่นครึ่งหนึ่งของความหนาแน่นสูงสุด แต่จะปล่อยออกมาเพียงเล็กน้อยในขณะที่กำลังจะเจริญเติบโต และเริ่มปล่อยมากขึ้นหลังจากหยุดการเจริญเติบโตแล้ว อัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ดีที่สุดในการเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง คือ 5.5 ต่อ 1

การขาดธาตุฟอสฟอรัสเป็นตัวการทำให้ส่วนประกอบของโปรตีน คลอโรฟิลล์เอ RNA และ DNA น้อยลงและมีผลต่อลักษณะรูปร่างของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เนื่องจากส่วนประกอบของเซลล์ที่เป็น polyphosphate หายไป นอกจากนี้ยังมีการสะสม granules ในเซลล์ที่ขาดฟอสฟอรัสอีกด้วย (ดวงมณี, 2547)

2.5.4 ธาตุอาหารอื่นๆ

สาหร่ายจะใช้กำมะถันในรูปซัลเฟต เป็นองค์ประกอบของอินทรีย์สารพวกโปรตีนหลายชนิด เซลล์จะนำไปใช้เป็นสารประกอบในกรดอะมิโนบางชนิดในโมเลกุลของเอมไซม์ สำหรับไฮโดรเจน ออกซิเจน สาหร่ายจะนำไปใช้ในการสร้างผนังเซลล์และไซโตพลาสซึม แร่ธาตุที่ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันออสโมติกของเซลล์ เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นของไอออน ได้แก่ Br^-, Cl^-, K^+

2.6 คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายเกลียวทอง

คุณค่าทางอาหาร หรือองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเกลียวทองเป็นปัจจัยที่สำคัญในการนำสาหร่ายมาใช้ประโยชน์ เช่น นำมาทำเป็นอาหารสัตว์ อาหารมนุษย์ อาหารเสริมสุขภาพ หรือนำไปสกัดสารบางอย่างเพื่อใช้เป็นยารักษาโรค ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเกลียวทองจะแปรผันตามสายพันธุ์ สภาพแวดล้อมที่สาหร่ายเจริญอยู่ ได้แก่ แสง อุณหภูมิ ความเป็นกรด – ด่าง และอาหาร นอกจากนี้วิธีวิเคราะห์ที่แตกต่างกันก็ให้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันด้วย

การใช้สาหร่ายเกลียวทองเพื่อใช้เป็นอาหารมีมานานแล้วโดยพบว่าในประเทศชาด (Chad) ในทวีปแอฟริกา ประชาชนนิยมนำสาหร่ายเกลียวทองจากทะเลสาบชาดมาตากแห้งใช้รับประทาน หรือในประเทศแม็กซิโก (Mexico) มีการนำสาหร่ายเกลียวทองมาปรุงอาหารและใส่ในขนมปัง กล่าวกันว่าจำทำให้ขนมปังมีรสชาติคล้ายชีส ต่อมามีการนำสาหร่ายเกลียวทองมาวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารพบว่าประกอบด้วยโปรตีนสูงถึง 63-68 % ของน้ำหนักแห้งซึ่งมากกว่าโปรตีนในไข่และเนื้อวัวถึง 3.5 เท่า และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดอะมิโนก็พบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่

สมดุลทั้งในแง่ปริมาณและคุณภาพ มีปริมาณของวิตามินและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายหลายชนิด นอกจากนี้ยังพบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์ ไฟโคไซยานินและคาโรทีนอยด์ในปริมาณที่สูง โดยเฉพาะคาโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นแหล่งของสารเร่งสีในสัตว์ สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ได้เองแต่ต้องได้รับจากอาหารที่กินเข้าไป ปัจจุบันจึงมีการใช้สาหร่ายเกลียวทองแห้งผสมในอาหารเพื่อเร่งสีปลาให้เข้มขึ้น และผลผลิตของสาหร่ายเกลียวทองเมื่อเปรียบเทียบกับพืชเศรษฐกิจอื่นๆแล้วมีผลผลิตต่อเนื้อที่ต่อปีสูงมาก (สายสมร และพิรดา, 2547) จึงจะเห็นได้ว่าสาหร่ายเกลียวทองประกอบด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางอาหารหลายชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีน ซึ่งพบในปริมาณร้อยละ 71 และเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพ เนื่องจากประกอบด้วยกรดอะมิโนทั้งชนิดที่ร่างกายสังเคราะห์ได้ และชนิดที่ร่างกายสังเคราะห์ไม่ได้ แต่ถ้าเปรียบเทียบสาหร่ายเกลียวทองกับอาหารโปรตีนมาตรฐาน เช่น นม หรือ ไข่ จะพบว่ามี methionine cystine และ lysine น้อยกว่า อย่างไรก็ตามนักวิทยาศาสตร์หลายท่านสรุปว่า สาหร่ายชนิดนี้ยังมีโปรตีนที่มีคุณภาพสูงกว่าพืชทุกชนิดรวมทั้งพืชตระกูลถั่ว (สายสมร และพิรดา, 2547)

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายเกลียวทองเทียบกับพืชชนิดอื่นๆ (สุมาลี, 2536)

แหล่งที่มา	ร้อยละจากน้ำหนักแห้ง 100 กรัม			
	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	เถ้า
สาหร่ายเกลียวทอง	64-72	7	12	5
สาหร่ายคลอเรลล่า	40-50	10-30	10-25	6-10
ถั่วเหลือง	39	19	36	6
ข้าวไม่ขัดสี	9	3	81	7
ข้าวขัดสี	7.5	1	91	1
ข้าวสาลี	11	2	85	2

2.7 การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายเกลียวทอง

ปัจจุบันมีการนำสาหร่ายเกลียวทองมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางซึ่งสามารถแบ่งการใช้งาน ดังนี้

2.7.1 ใช้เป็นอาหารของมนุษย์

สาหร่ายเกลียวทองถูกนำมาใช้เป็นอาหารของมนุษย์ตั้งแต่ศตวรรษที่ 1 ชาวแอสเทค์ (Aztecs) ที่อาศัยอยู่ในประเทศแม็กซิโกใช้สาหร่ายเกลียวทองจากทะเลสาบมาเป็นอาหารที่เรียกว่า

สหรัฐอเมริกามีการนำสาหร่ายเกลียวทองมาผลิตเป็นอาหารของมนุษย์โดยบริษัท Sosatexcoco ร่วมกับองค์กรพัฒนาอุตสาหกรรมแห่งสหประชาชาติและสถาบันผลิตอาหารแห่งชาติของประเทศแม็กซิโกผลิตเป็นอุตสาหกรรมสาหร่ายอัดเม็ด นำมาทำเป็นส่วนผสมของขนมปังกรอบและขนมหวานต่างๆ ประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศญี่ปุ่นรับประทานสาหร่ายนี้ในรูปเม็ดหรือผง (สายสมร และพิรดา, 2547) ชนเผ่าคาเนบู (Kanebou) ที่อาศัยอยู่แถบทะเลทรายซาฮาราทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของทะเลสาบชาด นำสาหร่ายเกลียวทองมาตากแห้งเรียกว่า Dihe ซึ่งนำมาใช้สำหรับทำซอสปรุงอาหารหรือคลุกข้าว ในแถบเอเชียจีนได้นำสาหร่ายเกลียวทองมาทำเป็นอาหารโดยเรียกว่า Lan ซึ่งเก็บเกี่ยวจากทะเลสาบน้ำจืดและแหล่งอื่นๆ ชาวอินโดนีเซียเรียกว่า Ke – Klap โดยตากแห้งแล้วนำมาประกอบอาหาร ในประเทศอินเดียใช้สาหร่ายเกลียวทองเป็นอาหารโปรตีน และประเทศเวียดนามมีการทดสอบคุณค่าทางอาหารในมนุษย์ ปรากฏว่าอาหารเสริมที่ทำจากสาหร่ายเกลียวทองชื่อLanavina สามารถช่วยรักษาโรคที่เกี่ยวกับตับได้ ส่วน Lina ช่วยแก้ปัญหาสภาวะการขาดสารอาหารในมนุษย์ และในอาหารเสริมทั้งสองชนิดมีสาร lactogil ซึ่งช่วยกระตุ้นการไหลของน้ำนมมารดา

2.7.2 ใช้ในทางการแพทย์

สาหร่ายเกลียวทองเป็นสาหร่ายที่มีสารอาหารครบถ้วนและมีคุณภาพสูง ส่งผลให้สาหร่ายเกลียวทองมีประสิทธิภาพเป็นทั้งอาหารและยาที่ให้ผลในการป้องกัน ควบคุมและรักษาโรคต่างๆได้ เช่น โรคเบาหวาน โรคกระเพาะอาหาร โรคตับ โรคริดสีดวงทวาร โรคโลหิตจาง โรคความดันโลหิตสูง และแม้แต่โรคมะเร็ง เนื่องจากสาหร่ายสไปรูไลนามีผนังเซลล์ที่ไม่ใช่เซลลูโลส ทำให้ย่อยง่าย จึงเหมาะสมกับผู้ป่วยที่เพิ่งฟื้นไข้และคนชรา การรับประทานสาหร่ายเกลียวทองจะสามารถตัดปัญหาเรื่องไขมันสะสมซึ่งทำให้อ้วน เพราะว่าสาหร่ายเกลียวทองมีคลอเรสเตอรอน้อยและส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว ในผู้ที่ป่วยเป็นโรคความดันโลหิตสูงต้องการสารโคลีน (Choline) เพื่อช่วยลดความดันโลหิตให้ต่ำถึงแม้ว่าสาหร่ายเกลียวทองจะมีสารโคลีนในปริมาณน้อย แต่ก็มี คลอโรฟิล เซอรีน และเมทไทโอนีนมาก สารเหล่านี้มีคุณสมบัติที่จะช่วยชักนำให้ร่างกายผลิตสารโคลีนขึ้นมาได้ ถ้ารับประทานสาหร่ายเกลียวทองสม่ำเสมอภายในสองสัปดาห์ความดันโลหิตจะลดลง 20-30 มิลลิเมตร (สุมาลี, 2536)

ในประเทศแม็กซิโกให้นักกีฬารับประทานสาหร่ายเกลียวทองนาน 30-40 วันพบว่าทำให้กล้ามเนื้อหดตัวดีขึ้น และได้ทดลองในเด็กทารกซึ่งขาดสารอาหารในประเทศแม็กซิโกโดยใช้สาหร่ายเกลียวทองร้อยละ 50 ผสมลงในอาหารสำเร็จรูปปรากฏว่าช่วยให้ทารกมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น

2.7.3 ใช้เป็นอาหารสัตว์

การใช้สาหร่ายเกลียวทองเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์มีการทดลองกันอย่างแพร่หลาย การใช้สาหร่ายเกลียวทองเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์จะทำให้สัตว์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ในสัตว์ปีกพวกเป็ด ไก่จะช่วยทำให้ไข่ดกและไข่แดงมีสีเข้มน่ารับประทานเนื่องจากเบตาแคโรทีนจะเปลี่ยนเป็นวิตามินเอซึ่งทำให้ไข่แดงและเนื้อสัตว์มีสีเข้มขึ้น ในการทดลองกับปลาพบว่าสาหร่ายเกลียวทองในรูปแช่แข็งและเป็นผงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลามากเนื่องจากมีขนาดเล็กและย่อยง่าย พบว่าส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น ปลาเจริญถึงระยะเจริญพันธุ์เร็วขึ้น ได้มีการทดลองผสมสาหร่ายเกลียวทองลงในอาหารเนื้อปลาสดให้ผลการเจริญเติบโตของลูกปลากระพงขาวได้ดีกว่าการเลี้ยงด้วยเนื้อปลาสดเพียงอย่างเดียว และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อในปลากระพงขาวดีกว่าการให้เนื้อปลาสดเพียงอย่างเดียวประมาณ 72 % และมีอัตราการรอดตายสูงกว่า (ณรงค์ศักดิ์, 2533)

2.7.4 ใช้แก้ปัญหามลภาวะเป็นพิษทางน้ำ

การเจริญของสาหร่ายในแหล่งน้ำทั่วไปสามารถเป็นตัวบ่งบอกถึงมลภาวะของแหล่งน้ำได้ มลภาวะทางน้ำนั้นอาจเกิดจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งรวมถึงโลหะหนักบางชนิดด้วย ในกรณีที่แหล่งน้ำมีมลภาวะอันเนื่องมาจากสารอินทรีย์ การเจริญของสาหร่ายจะเป็นไปได้ด้วยดี เนื่องจากสาหร่ายสามารถใช้สารอาหารสำหรับการเจริญได้ แต่ถ้าแหล่งน้ำมีมลภาวะอันเนื่องจากโลหะหนัก การเจริญของสาหร่ายในแหล่งน้ำนั้นจะลดลง นอกจากนี้สาหร่ายสามารถผลิตออกซิเจนให้แก่แหล่งน้ำและยังมีส่วนช่วยในการฟอกตัวของแหล่งน้ำ (Self purification) ซึ่งเป็นการช่วยบำบัดน้ำเสียอีกทางหนึ่ง Soong ได้ทดลองเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองโดยใช้น้ำทิ้งจากการหมักมูลสัตว์พบว่าการเติม โซเดียมคลอไรด์ จะช่วยป้องกันการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำทิ้งได้ และการเติมโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต เล็กน้อยจะทำให้การเจริญของสาหร่ายเกลียวทองในน้ำทิ้งดีกว่าในอาหารสังเคราะห์ Ciferri ใช้น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน (domestic raw sewage) ซึ่งผ่านกระบวนการบำบัดขั้นที่สองแล้ว (Secondary effluent) เลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง โดยน้ำทิ้งที่มีค่า BOD 10-13 ppm ,ไนโตรเจน 40.8 ppm, ฟอสฟอรัส 4.8 ppm โดยใช้สาหร่ายเกลียวทองเริ่มต้นทดลอง 0.5 กรัม ต่อปริมาตร 10 ลิตร ปรับ pH โดยใช้ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 1 กรัม/ลิตร พบว่าในเวลา 8 วัน ไนโตรเจนถูกกำจัดเกือบ 100 % และฟอสฟอรัส ถูกกำจัด 64 %

2.8 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง และการบำบัดน้ำเสีย

มีรายงานการเพาะเลี้ยง *Spirulina platensis* ทั้งในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม บ้านเรือน และน้ำจากแหล่งต่าง ๆ รวมทั้งใช้อาหารอนินทรีย์เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กันดังนี้

การเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีส่วนผสมของน้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกรมีอัตราการเจริญดีกว่าที่เพาะเลี้ยงโดยสูตรอาหาร Zarrouk's medium การเพาะเลี้ยง *Spirulina maxima* ในสภาวะที่มีการเจริญแบบอิสระและสภาวะที่เซลล์ยึดเกาะกับ Kappa-carrageenan ใช้เวลาเลี้ยง 18 วัน โดยเพาะเลี้ยงในน้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกรที่ความเข้มข้น 25% และ 50% สาหร่ายที่เลี้ยงในสภาพที่ยึดเกาะสามารถดูดซึม Total P 53% , NH_3–N ได้มากกว่า 90% ทั้ง 2 ความเข้มข้น สาหร่ายที่เลี้ยงแบบอิสระที่ความเข้มข้น 50% มีการเจริญได้ดีกว่าสูตรอาหาร Zarrouk's medium ถึง 15 เท่า ใช้เวลาเลี้ยง 144 ชั่วโมง และสาหร่ายดูดซึม NH_3–N 75%, Total–P 53% และ Orthophosphate 98% (สุมาลี, 2536) การเพาะเลี้ยง *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยเพาะเลี้ยงในความเข้มข้นต่างกันและให้อากาศตลอดการทดลอง ผลปรากฏว่าที่ความเข้มข้นของน้ำเสีย 25% และ 50% สามารถลดค่า NH_3–N ได้มากถึง 90% ที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 50% ได้ผลผลิตสาหร่ายมากถึง 2 กรัมต่อลิตร (จงกล, 2543)

2.9 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์ และโรงงานผลิตสุรา

ชนิดและปริมาณน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมแสง โสม และแบ่งน้ำเสียจากโรงงานสุราแสงโสม ออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) น้ำเสียประเภทเจือจางได้แก่ น้ำล้างพื้น น้ำล้างขวดและน้ำโสโครกอื่นๆ

น้ำล้างพื้น น้ำล้างขวดและน้ำโสโครกอื่นๆ ได้มาจาก น้ำจากการล้างขวดเก่า และขวดใหม่ น้ำจากการล้างเรซินของเครื่องทำน้ำบริสุทธิ์และน้ำที่ใช้ภายในโรงงาน ปริมาณน้ำล้างขวดมีปริมาณ 220 ลูกบาศก์เมตร ส่วนน้ำล้างเรซินมีปริมาณ 30 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และน้ำที่ใช้ภายในโรงงานมีประมาณ 100 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

สมบัติของน้ำในส่วนนี้ ได้แก่ น้ำจากการล้างขวดจะมีเศษผงและเศษฉลากต่างๆ ติดไปด้วย จะใช้ตะแกรงกรองเอาเศษออกก่อน น้ำล้างขวดจะมีค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 7.2 และ บีโอดี$_5$ 30 มิลลิกรัม / ลูกบาศก์เดซิเมตร น้ำจากการล้างเรซิน มีค่าบีโอดี$_5$น้อยมาก และน้ำจากการใช้ภายในโรงงานมีค่าบีโอดี 5 ประมาณ 80-100 มล./ลบ.ดม.

2) น้ำเสียประเภทเข้มข้นได้แก่ น้ำกากส่า น้ำเสียที่มีอุณหภูมิ

น้ำเสียประเภทที่เข้มข้น (น้ำกากส่า) จะได้มาจากเครื่องกลั่นสุรา และมีความเข้มข้น ของอินทรีย์สารสูง เช่นน้ำตาลชนิดต่างๆ อาทิ ซูโครส กลูโครส ฟรุกโตส และราฟฟิโนส ซึ่งเป็นสารคอปเปอร์รีดิวซ์ ที่ยีสต์สามารถใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ และยังมีสารคอปเปอร์รีดิวซ์อื่นๆที่ยีสต์ไม่สามารถใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ส่วนใหญ่จะเป็นพวกคาราเมลของน้ำตาล ซึ่งสารที่ไม่มีธาตุไนโตรเจนที่เกิดจากการทำน้ำตาลได้รับความร้อนมากเกินไปในระหว่างกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย และเมลานอยดิน ซึ่งเป็นสารที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากปฏิกิริยาของ

น้ำตาลกับกรดอะมิโน ซึ่งจะมีสีน้ำตาลเข้มและเป็นตัวทำให้กากน้ำตาลหรือน้ำกากส่า มีสีน้ำตาลเข้มด้วย

น้ำที่มีอุณหภูมิสูง ได้แก่ น้ำจากการพ่นเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำและน้ำที่ใช้สำหรับหล่อเย็นในหม้อไอน้ำ สำหรับการทำให้น้ำกลายเป็นไอของเครื่องกลั่นสุรามีปริมาณน้ำที่พ่นเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำมีปริมาณวันละ 30 ลูกบาศก์เมตร ส่วนน้ำหล่อเย็นมีปริมาณวันละ 1,200 ลูกบาศก์เมตร อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส วิธีการบำบัดน้ำทิ้งทั้งหมดจะไหลลงมายังบ่อพักน้ำร้อนเพื่อลดอุณหภูมิจนเหลือ 30-40 องศาเซลเซียส และปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ นอกจากยังมีน้ำเสียที่ผ่านจากการบำบัดขั้นแรกด้วยวิธีการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน หรือจากถังหมักก๊าซชีวภาพซึ่งไม่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม สียังคงมีความเข้มอยู่มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์จากเบื้องต้น ซึ่งยังมีความเข้มสีเป็นที่น่ารังเกียจอยู่ และก่อให้เกิดปัญหามลภาวะได้ ดังนั้น จึงต้องหาวิธีกำจัดสีของน้ำกากส่าให้เหลือน้อยที่สุดจนไม่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะต่อไป