# บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 อุตสาหกรรมปลาป่น

อุตสาหกรรมปลาป่น เป็นอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมเลี้ยงสัตว์ เนื่องจากมีสารอาหารโปรตีนที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสัตว์เลี้ยง เช่น กุ้ง สุกร ไก่ เป็นต้น ปลาป่นเป็นผลผลิตที่เกิดจากปลาเป็ดและเศษปลาที่เหลือจากการแปรรูปจากโรงงานต่างๆ เช่น หัว ก้าง และกระดูกปลา นำมาเข้ากระบวนการผลิตโดยการนึ่ง อบ แห้ง และบดให้ละเอียด เพื่อทำให้สุกและแห้งก่อน แล้วบรรจุลงกระสอบพลาสติกสาน วัตถุดิบผลิตปลาป่นมีน้ำเป็นองค์ประกอบร้อยละ 70 ของแข็งร้อยละ 18 และไขมันร้อยละ 12 และหลังจากผ่านกระบวนการผลิตจนเป็นปลาป่นแล้วจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบร้อยละ 9 ของแข็งร้อยละ 85 และไขมันร้อยละ 6 จากการขยายตัว ของธุรกิจปศุสัตว์ และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทะเลชายฝั่ง (กุ้งกุลาดำ) ส่งผลให้ความต้องการใช้ปลาป่นเป็นวัตถุดิบ ผลิตอาหารสัตว์ภายในประเทศเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะปลาป่นเป็นวัตถุดิบที่สำคัญสำหรับใช้ผสมอาหารสัตว์ เนื่องจากมีกรดอะมิโน และสารที่ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของสัตว์ ซึ่งโดยทั่วไปอาหารสัตว์ จะมีปลาป่นเป็นส่วนผสม ประมาณร้อยละ 7-10 แต่ในอาหารสัตว์บางชนิดจำเป็นต้องใช้ปลาป่นมาก เนื่องจากต้องเร่งการเจริญเติบโต เช่น อาหารกุ้งกุลาดำ จะมีปลาป่นเป็นส่วนผสมถึงร้อยละ 35 ผลผลิตปลาป่นช่วงระยะเวลาตั้งแต่ปี 2545-2548 เฉลี่ยปีละประมาณ 5.28 แสนตัน และผลผลิตปลาป่นที่ได้ในแต่ละปีจะถูกนำไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์ต่างๆ ดัง ตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** ผลผลิตปลาป่นที่ได้ในแต่ละปีจะถูกนำไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์ต่างๆ

| สัตว์เลี้ยง | ร้อยละ |
|---|---|
| กุ้ง | 20 |
| สุกร | 27 |
| ไก่ | 36 |
| ปลา | 15 |
| เป็ด | 2 |
| ส่งออก | 3 |

Prince of Songkla University Pattani Campus

โดยปริมาณผลผลิตปลาป่นที่ได้ทั้งหมดนี้ใช้ในประเทศ คิดเป็นร้อยละ 97 และที่เหลืออีกร้อยละ 3 ส่งออกไปต่างประเทศแถบเอเชีย เช่น จีน ไต้หวัน อินโดนีเซีย อินเดีย ญี่ปุ่น เวียดนาม ฟิลิปปินส์ และลาว

**2.1.1 ปลาป่น (Fishmeal)**

หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากปลาเบญจพรรณขนาดเล็กที่จับได้ในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยวัตถุดิบส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากการทำการประมงโดยเรืออวนลาก, อวนล้อม ส่วนเหลือของปลา เช่น หัวปลา ท้องปลา และก้างปลา จากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำอื่นๆ หรือปลาที่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการบริโภคได้ ซึ่งผ่านกระบวนการหลัก 3 ขั้นตอน คือ กระบวนการปรุงสุก, กระบวนการอบแห้งและกระบวนการบดให้ละเอียด รวมถึงวัตถุอื่นๆที่เติมลงไปเพื่อวัตถุประสงค์บางประการ อาทิ เปลือกหอย, ขนไก่ เป็นต้น

**2.1.2 คุณค่าทางโภชนาการของปลาป่น**

ปลาป่นเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ในหมวดโปรตีนจากสัตว์ที่มีคุณภาพสูง มีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบ ทุกชนิด และยังมีสาร UGF (Unidentifled Growth Factor) ซึ่งเร่งการเจริญเติบโตของสัตว์ โดยมีโปรตีนและราคาสูงสุดในบรรดาวัตถุดิบอาหารสัตว์ในหมวดโปรตีนด้วยกัน (กากถั่วเหลือง กากเรพซีด กากเมล็ดฝ้าย กากเมล็ดทานตะวัน และกากถั่วลิสง) จากการสำรวจโดยการออกแบบสอบถามโรงงานผลิตปลาป่นทั้งหมด 16 โรงงาน ในเขตจังหวัดสงขลา 10 โรงงานและจังหวัดปัตตานี 6 โรงงาน ในช่วงเดือนเมษายน 2538 และทำการสุ่มตัวอย่างปลาป่นเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ (มะลิและจูอะดี, 2539) พบว่า ปลาป่นซึ่งผลิตจากวัตถุดิบที่จับได้ด้วยเรืออวนลากซึ่งเป็นปลาหน้าดินมีโปรตีนต่ำ มีองค์ประกอบของสารต่างๆในปลาป่นที่ผลิตได้ ดัง ตารางที่ 2.2

**ตารางที่ 2.2** องค์ประกอบของปลาป่นที่มาจากเรืออวนลาก (มะลิและจูอะดี, 2539)

| องค์ประกอบ | ร้อยละ (โดยน้ำหนัก) |
|---|---|
| โปรตีน | 43-65 |
| เถ้า | 20-38 |

ส่วนปลาป่นที่ผลิตได้จากวัตถุดิบที่มาจากเรืออวนล้อมซึ่งเป็นปลาผิวน้ำมักมีคุณภาพดีกว่า โดยมีองค์ประกอบของสารต่างๆในปลาป่นที่ผลิตได้ ดัง ตารางที่ 2.3

Prince of Songkla University Pattani Campus

**ตารางที่ 2.3** องค์ประกอบของปลาป่นที่มาจากเรืออวนลาก (มะลิและจูอะดี, 2539)

| องค์ประกอบ | ร้อยละ (โดยน้ำหนัก) |
|---|---|
| โปรตีน | 60-68 |
| เถ้า | 14-20 |

ซึ่งวิธีการจับปลาแต่ละวิธีจะได้วัตถุดิบที่มีคุณภาพแตกต่างกันส่งผลให้ปลาป่นที่ผลิตออกมาได้แตกต่างกันด้วย นอกจากนี้ปลาป่นซึ่งผลิตจากส่วนเหลือของอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำมักมีระดับโปรตีนค่อนข้างต่ำ มีองค์ประกอบของสารต่างๆในปลาป่นที่ผลิตได้ ดัง ตารางที่ 2.4

**ตารางที่ 2.4** องค์ประกอบของปลาป่นที่มาจากเรืออวนลาก (มะลิและจูอะดี, 2539)

| องค์ประกอบ | ร้อยละ (โดยน้ำหนัก) |
|---|---|
| โปรตีน | 52-58 |
| เถ้า | 20-30 |

ผลผลิตปลาป่นที่ผลิตได้มีชนิดโปรตีนต่างๆ ดัง ตารางที่ 2.5

**ตารางที่ 2.5** ชนิดของโปรตีนปลาป่นและผลผลิตปลาป่นที่ผลิตได้

| ชนิดของโปรตีนปลาป่น | ผลผลิตปลาป่นที่ผลิตได้ |
|---|---|
| ปลาป่นชนิดโปรตีนร้อยละ 60 ขึ้นไป | ร้อยละ 25 |
| ปลาป่นชนิดโปรตีนร้อยละ 55-59.9 | ร้อยละ 40 |
| ปลาป่นชนิดโปรตีนร้อยละ 50-54.9 | ร้อยละ 20 |
| ปลาป่นชนิดโปรตีนร้อยละ 49-49.9 | ร้อยละ 15 |

**2.1.3 กระบวนการผลิตปลาป่น**

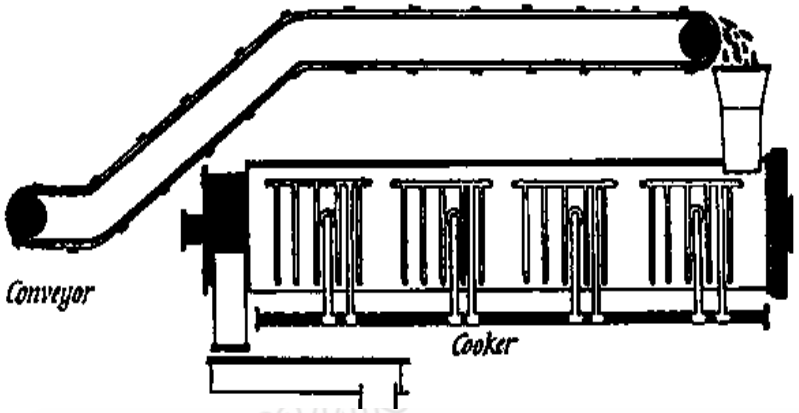
กระบวนการผลิตปลาป่นมีขั้นตอนหลักที่สำคัญ 3 ขั้นตอนหรืออาจมีขั้นตอนการผลิตนอกเหนือจากขั้นตอนดังกล่าวขึ้นกับโมเดลของเครื่องจักรแต่ละโรงงานที่ใช้ในการผลิต

**2.1.3.1 กระบวนการปรุงสุก**

วัตถุดิบที่ผ่านการล้างแล้วจะถูกปรุงสุกในหม้อต้มสุก เป็นเวลา 15-20 นาที กระบวนการปรุงสุกหรือกระบวนการใช้ระบบไอร้อน บางโรงงานจะใช้ระดับเผาน้ำมันให้ร้อน โดยใช้ไม้ยางพาราหรือน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง คือการทำโปรตีนในเนื้อปลาให้เปลี่ยนจาก

Prince of Songkla University Pattani Campus

ของเหลวจนมีลักษณะเหนียวหนืดเป็นก้อนหนาขึ้น น้ำและน้ำมันถูกขับออกมาเป็นจำนวนมาก ปลาดิบจะสูญเสียของเหลวน้อยมาก ในอุตสาหกรรมพื้นฐานกระบวนการปรุงสุก ประกอบด้วย ท่อยาวที่ห่อหุ้มด้วยไอน้ำ วัตถุดิบจะเคลื่อนตัวบิดเป็นเกลียวผ่านท่อไอน้ำนี้ กระบวนการปรุงสุกบางกระบวนการมีการฉีดไอน้ำเข้าไปทำให้เนื้อปลาสุก ดังนั้นกระบวนการปรุงสุกเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ความระมัดระวัง ถ้าเนื้อปลาถูกปรุงสุกไม่สมบูรณ์ ของเหลวในเนื้อปลาจะถูกบีบออกมาน้อย และถ้ากระบวนการปรุงสุกนานเกินไปวัตถุดิบในเนื้อปลาจะนิ่ม การทำให้แห้งจะไม่เกิดขึ้นในกระบวนการปรุงสุก



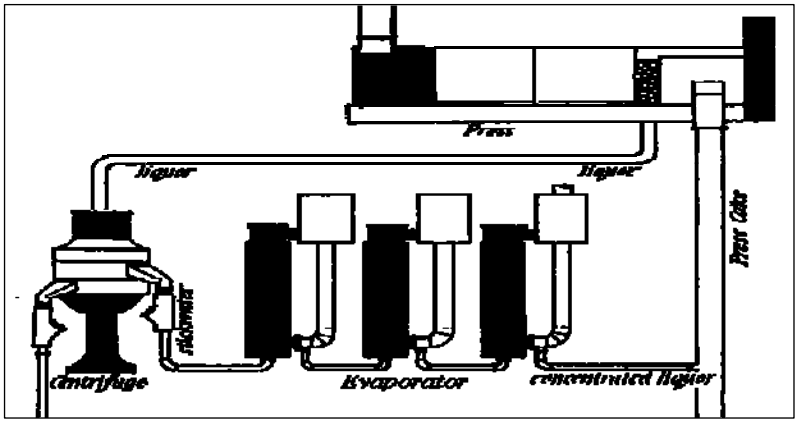

**รูปที่ 2.1** กระบวนการปรุงสุก

(Food and Agriculture Organization of the United Nation, 2007)

Prince of Songkla University Pattani Campus

**2.1.3.2 กระบวนการนึ่งความดัน**

วัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการปรุงสุก จะถูกผ่านเข้าสู่หม้อความดันสูง เป็นเวลา 15 นาที ในขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการกำจัดน้ำและน้ำมันออก เนื้อปลาจะถูกลำเลียงผ่านท่อที่มีรู โดยแกนที่มีลักษณะเป็นเกลียวปลายท่อจะมีขนาดเล็กลง และมีการเพิ่มความดันขึ้นเรื่อย ๆ โดยปกติจนกระทั่งเสร็จสิ้นกระบวนการนึ่ง น้ำและน้ำมันถูกขจัดทางรูเล็ก ๆ ของท่อและของแข็งจะแยกออกมาทางปลายท่อมีลักษณะเหมือนเค้กซึ่งถือเป็นการสิ้นสุดในกระบวนการให้ความดัน ในระหว่างกระบวนการนึ่งความชื้นจะลดลงไปร้อยละ 50-70 และน้ำมันลดลงประมาณร้อยละ 4

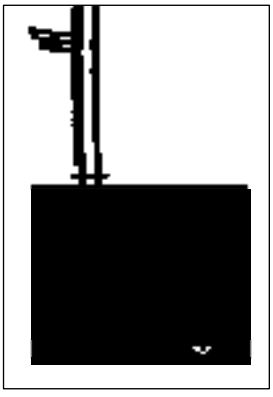



**รูปที่ 2.2** กระบวนการนึ่งความดัน

(Food and Agriculture Organization of the United Nation, 2007)

**2.1.3.3 การใช้ประโยชน์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการผลิตปลาป่น**

ของเหลวที่ได้จากกระบวนการผลิตปลาป่น ระหว่างกระบวนการปรุงสุกและกระบวนการนึ่งความดัน ซึ่งเป็นของเหลว หรือเรียกว่า stick water ซึ่งเป็นส่วนของเศษเนื้อปลา, น้ำในตัวปลา และน้ำมัน ผสมรวมกันอยู่ ซึ่งมีโปรตีนในปริมาณสูง สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ ซึงจะมีลักษณะเป็นชั้นของน้ำมันผสมกันกับเศษผงของเนื้อปลาในสัดส่วน 2 : 3 โดยหลังจากสิ้นสุดกระบวนการปรุงสุก จะปั่นเหวี่ยงเพื่อกำจัดน้ำมันออก ส่วนของน้ำมันมีการทำให้บริสุทธิ์ เป็นกระบวนการทำความสะอาดก่อนจะถูกลำเลียงไปเก็บในถัง น้ำมันที่สะอาดจะมีคุณค่าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ เพื่อการบริโภค อาทิ เช่น เนยเทียม และส่วนที่ หลังจากการสกัดเอาน้ำมันออก วัตถุดิบจะข้นและหนืดขึ้นจนกลายเป็น thick syrup ซึ่งยังมีของแข็งบรรจุอยู่ร้อยละ 30-50 และ thick syrup ที่เข้มข้นจะถูกนำกลับไปเติมในวัตถุดิบอีกครั้งเพื่อทำแห้งและเป็นเพื่อนำไปผลิตปลาป่นอีกครั้ง



**รูปที่ 2.3** ถังเก็บน้ำมัน

(Food and Agriculture Organization of the United Nation, 2007)

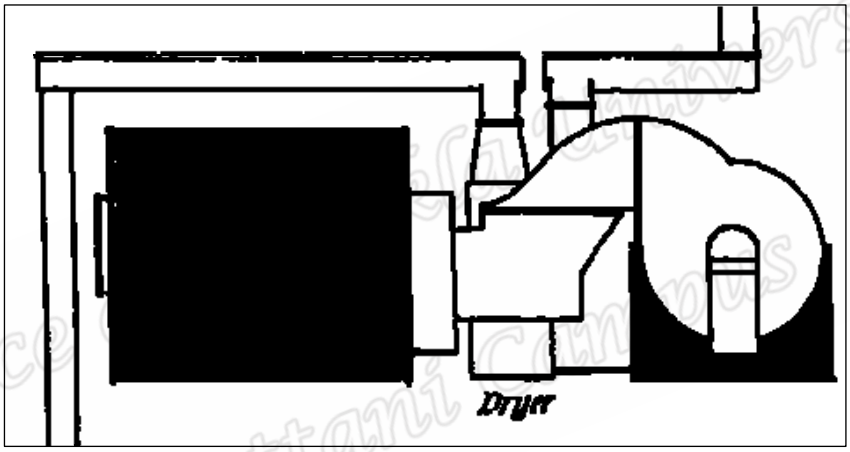
Prince of Songkla University Pattani Campus

**2.1.3.4 กระบวนการบดให้ละเอียด**

วัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นเค้กที่ผ่านการเอาน้ำและน้ำมันออกถูกส่งเข้าสู่เครื่องบดและทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ เศษชิ้นเล็กจะตกผ่านตะแกรงร่อนสู่ด้านล่างของหม้อ เพื่อเข้าสู่กระบวนการทำให้แห้ง

**2.1.3.5 กระบวนการทำแห้ง**

วัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการบด จะถูกส่งเข้าเตาอบโดยกระบวนการนี้จะทำโดยผ่านอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิสูงถึง 500 องศาเซลเซียส ผ่านวัตถุดิบอย่างรวดเร็ว เพื่อทำให้วัตถุดิบแห้งวัตถุจะมีอุณหภูมิปริมาณ 100 องศาเซลเซียส ขั้นตอนนี้ต้องมีการควบคุมและดูแลอย่างเอาใจใส่เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะวัตถุดิบอาจไหม้ได้หากให้ความร้อนนานเกินไป และอาจไม่แห้งหากได้รับความร้อนน้อยเกินไป วัตถุดิบที่แห้งจะถูกส่งไปยังกระบวนการต่อไป




**รูปที่ 2.4** กระบวนการทำแห้ง

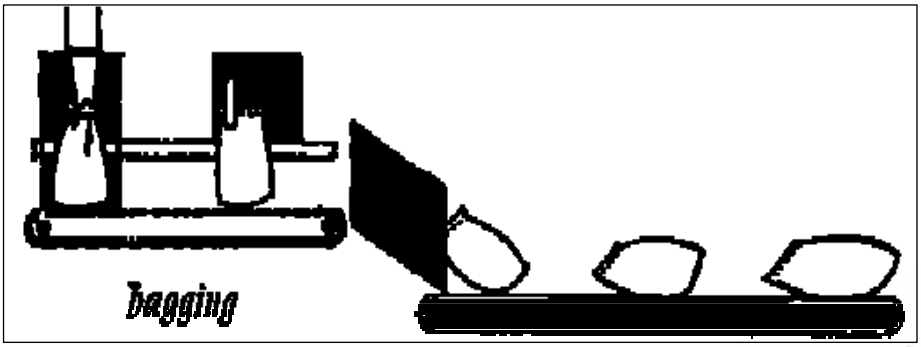
(Food and Agriculture Organization of the United Nation, 2007)

**2.1.3.6 กระบวนการบดป่นและกระบวนการร่อน**

วัตถุดิบที่แห้งจะถูกบดให้เป็นผงมีลักษณะเหมือนแป้งผ่านตะแกรงร่อนขนาด 3 มิลลิลิตร ตกลงสู่ด้านล่างในขั้นตอนนี้จะมีการเติมเปลือกหอยบดผสมลงไปด้วนเพื่อทำให้เนื้อปลาที่จับตัวเป็นก้อนและกระดูกเกิดการแตกตัวเป็นผงได้ง่ายขึ้นเป็นเวลา 10-15 นาที โดยวัตถุดิบที่ผ่านการร่อนจะถูกทำให้แห้งเพิ่มเติมอีกภายหลัง

**2.1.3.7 กระบวนการบรรจุ**

หลังจากวัตถุดิบเย็นลงจะทำการบรรจุลงถุง และเก็บไว้ในโกดังที่แห้งและเย็น ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญต้องทำอย่างระมัดระวังและรวดเร็ว เพราะอาจเกิดปัญหาจากการรบกวนของแมลงขนาดเล็ก




**รูปที่ 2.5** กระบวนการบรรจุ

(Food and Agriculture Organization of the United Nation, 2007)

**2.1.4 วัตถุดิบ**

วัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตปลาป่น คือ ปลาเบญจพรรณขนาดเล็ก (ปลาเป็ด) ซึ่งมีประมาณ ร้อยละ 80-90 ของจำนวนปลาที่จับได้ทั้งหมด ปลาเป็ดจัดเป็นวัตถุดิบที่สำคัญที่สุดในขบวนการผลิตปลาป่น เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่ต้องใช้ในปริมาณสัดส่วนที่สูงสุดในขบวนการผลิต ในปี 2548 ราคาปลาเป็ดหน้าโรงงานอยู่ที่ระดับ 4.81 บาทต่อกิโลกรัม เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับปี 2547 สำหรับในปี 2549 (มกราคม-สิงหาคม) ราคาปลาเป็ดได้ปรับตัวเพิ่มสูงขึ้นเป็นประวัติการณ์ โดยเฉลี่ยกิโลกรัมละ 5.38 บาท ราคาเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 เมื่อเทียบกับในช่วงเดียวกันในปี 2548 เนื่องจากปริมาณวัตถุดิบปลาเป็ดเข้าโรงงานน้อย เพราะชาวประมงออกไปจับปลาลดลง สาเหตุจากภาวะน้ำมันมีราคาแพง ส่งผลให้ต้นทุนในการจับปลา ซึ่งแต่ละปีจะมีวัตถุดิบจากแหล่งต่างๆ เข้ามายังโรงงานปลาป่น ในปริมาณเฉลี่ยปีละ 2-2.4 ล้านตัน ซึ่งสามารถผลิตเป็นปลาป่นได้เฉลี่ยปีละ 5-6 แสนตัน โดยมีอัตราส่วนการผลิตอยู่ที่ (4-4.5) : 1 โดยวัตถุดิบต่างๆที่เข้าสู่ขบวนการผลิต มีดังนี้

1) ปลาเป็ดจากเรือประมงกว่า 50000 ลำ ประมาณร้อยละ 55

2) เศษปลาซูริมิจากโรงงานซูริมิ ประมาณร้อยละ 20

3) ปลาโอ ปลาทูน่าจากโรงงานปลากระป๋อง ประมาณร้อยละ 10

4) อื่นๆ เช่น เศษปลาจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ หัวกุ้งจากโรงงานแปรรูปกุ้ง ปลาหัวเขียวจากการทำประมง และปลาเป็ดคุณภาพดีจากการทำประมงนอกน่านน้ำ โดยรวมประมาณร้อยละ 15

Prince of Songkla University Pattani Campus

**2.1.5 กระบวนการผลิตปลาป่นของโรงงานในจังหวัดปัตตานี**

ในส่วนของจังหวัดปัตตานีพบว่า โรงงานผลิตปลาป่นส่วนใหญ่จะผลิตได้ปลาป่นเบอร์ 3 โปรตีนร้อยละ 50-55 โดยใช้วัตถุดิบประเภท ปลาอวนลาก และเศษชิ้นส่วนปลาจากกระบวนการแปรรูปสัตว์น้ำ เช่น หัวปลา กระดูกปลา โดยรับซื้อจากเรือประมงและอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำ จากนั้นรวบรวมวัตถุดิบกองไว้ที่พื้นหน้าบ่อรับวัตถุดิบก่อนใช้รถตักหรือแรงงานคนลำเลียงวัตถุดิบลงบ่อ วัตถุดิบถูกลำเลียงต่อไปตามรางเข้าสู่กระบวนการผลิตในขั้นตอนนี้พบว่ามีน้ำทิ้งออกมา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นของเหลวที่อยู่ในวัตถุดิบ และเมื่อรวมกับน้ำล้างพื้นและเครื่องจักร พบว่าวัตถุดิบ 1 ตันมีน้ำทิ้งออกมาประมาณ 350 ลิตร จากนั้นวัตถุดิบถูกลำเลียงเข้าสู่หม้ออบ ซึ่งมีจำนวน 10 หม้อ ภายในแต่ละหม้อจะมีท่อเหล็กลักษณะเป็นเกลียวสว่านเชื่อมต่อและวนรอบแกนเหล็ก ภายในท่อเหล็กจะกลวงถูกหล่อด้วยไอความร้อนซึ่งได้จากการต้มน้ำในหม้อต้มขนาดใหญ่ ความร้อนจะแพร่ผ่านท่อเหล็กนี้ เมื่อวัตถุดิบสัมผัสท่อจะสุกและกลายเป็นของเหลวข้นที่มีลักษณะเหมือนโคลน เรียกว่า เค้ก วัตถุดิบใช้เวลาอยู่ในหม้ออบแต่ละหม้อประมาณ 10 นาที ก่อนถูกลำเลียงสู่หม้ออบอื่นๆ ต่อไป แต่ละหม้อที่วัตถุดิบผ่าน ความชื้นในวัตถุดิบจะลดลงจนแห้ง ไอน้ำในวัตถุดิบจะลอยสูงไปตามปล่องซึ่งจะเข้าสู่เครื่องกำจัดกลิ่นโดยการฉีดละอองน้ำ จากนั้นวัตถุดิบที่แห้งถูกลำเลียงไปยังตะแกรงร่อนเพื่อคัดแยกเอาเศษขยะออกจากปลาป่น จากนั้นปลาป่นจะถูกส่งเข้าเครื่องบดให้เป็นผงละเอียดอีกครั้งก่อนจะบรรจุถุงและเก็บไว้รอจำหน่าย

**2.2 สาหร่ายคลอเรลลา (*Chlorella* sp.)**

**2.2.1 ชีววิทยาสาหร่ายคลอเรลลา**

ในปี ค.ศ. 1890 เอ็ม ดับพลิว ไบเจอร์นิค นักจุลชีววิทยาชาวดัตช์ ได้ค้นพบ *Chlorella* sp. เป็นคนแรกและได้ตั้งชื่อว่า *Chlorella* มาจากภาษากรีกว่า คลอโรส (Chloros) แปลว่า สีเขียว กับภาษาลาตินว่า เอลล่า (Ella) แปลว่า เล็ก ชนิดของ *Chlorella* ที่พบครั้งแรก คือ *Chlorella* vulgaris และเชื่อกันว่า *Chlorella* sp. อาจเป็นลูกโซ่วงจรอาหารอย่างแรกที่เกิดขึ้นในโลกในสภาพของพืชเซลล์เดียวที่มีนิวเคลียสและมีผนังเซลล์ที่สมบูรณ์ (วิสัย, 2534; วงศ์เมือง, 2530; Steenblock, 1987) คลอเรลลาจัดอยู่ในลำดับอนุกรมวิธาน ดังนี้

Kingdom: Flora

Division: Chlorophyta

Class: Trebouxiophyceae

Order: Chlorellales

Family: Chlorellaceae

Genus: *Chlorella*

Species *Chlorella sp.*

Prince of Songkla University Pattani Campus

*Chlorella* sp. เป็นสาหร่ายสีเขียวจัดอยู่ในดิวิชั่น Chlorophyta ชั้น Chlorophyceae อันดับ Chlorellales วงศ์ Chlorellaceae สกุล *Chlorella* ซึ่งมีลักษณะสำคัญ คือ เป็นสาหร่ายเซลล์เดียว มีขนาดเล็ก ประมาณ 1-10 ไมครอน อาจอยู่เป็นเซลล์เดี่ยว ๆ หรือรวมกันเป็นกลุ่มก้อน ลักษณะของเซลล์มีรูปร่างหลายแบบ เช่น ทรงกลม รูปไข่ และรูปรี เซลล์มีหลายขนาดในสภาพแวดล้อมเดียวกัน *Chlorella* sp. มีคลอโรพลาสรูปร่างคล้ายถ้วยหรือระฆัง หรือเป็นแบบแถบข้าง (parietal) อาจมีหรือไม่มีเม็ดแป้ง ไม่มีรยางค์และคอนแทคไทค์แวคิวโอล (contractile vacuole) (Kumar and Singh, 1971 ; Fritsch, 1975 ; Richmond,1986) ผนังเซลล์หนาและแข็ง มี 3 ชั้น ผนังเซลล์ชั้นกลางหนาที่สุดประกอบด้วย เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ผนังเซลล์ชั้นนอกเป็นสารประกอบโพลีเมอร์ซึ่งจะทำหน้าที่จับกับโลหะหนักหรือสารพิษในร่างกาย ได้อย่างรวดเร็ว และชั้นในสุดเป็นชั้นของเยื่อหุ้มเซลล์ (วิสัย, 2534; Becker and Venkataraman, 1982) การสืบพันธุ์เป็นแบบไม่อาศัยเพศ โดยการสร้าง autospore ภายในเซลล์ที่เจริญเต็มวัย เซลล์ของ *Chlorella* sp. เติบโตได้ในแหล่งที่มีความเข้มข้นของสารอาหารในช่วงกว้าง ในธรรมชาติจึงพบ *Chlorella* sp. ทั้งในสภาพน้ำจืด น้ำเค็มและน้ำเสีย (Kumar and Singh, 1971 ; Richmond,1986) โดยทั่วไป *Chlorella* sp. มีทั้งที่อยู่อย่างอิสระและบางชนิดก็อาศัยอยู่ภายในตัวของสัตว์อื่น เช่น ฟองน้ำ ไฮดรา โปรโตซัว เป็นต้น บางครั้งเรียก *Chlorella* sp. ชนิดนี้ว่า *Zoochlorella* (Kumar and Singh, 1971)

การจำแนกชนิดและสายพันธุ์ของ *Chlorella* sp. จะอาศัยสมบัติทางสรีรวิทยาและชีวเคมี แต่มีข้อยกเว้นสำหรับบางสายพันธุ์ซึ่งไม่สามารถจัดหมวดหมู่โดยวิธีนี้ได้ Kessler and Socder (1962) อ้างโดย Richmond (1986) จำแนกชนิดและสายพันธุ์ของ *Chlorella* sp. ได้ 25 สายพันธุ์ โดยอาศัยคุณสมบัติทางสรีรวิทยาและชีวเคมี โดยศึกษาลักษณะการสร้างคาโรทีนอยด์ ในสภาวะการขาดไนโตรเจน ศึกษาไฮโดจีเนสแอคติวิตี และลักษณะของผนังเซลล์ เป็นต้น *Chlorella* sp. สามารถจำแนกโดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลักษณะโครงสร้างของเซลล์ เช่น ผนังเซลล์ ลักษณะของคลอโรพลาส การมีหรือไม่มีไพรีนอยด์ จำนวน autospore ลักษณะการแบ่งเซลล์และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเซลล์ Fott and Navakova (1969) อ้างโดย Richmond (1986) นอกจากนี้ *Chlorella* sp. สามารถจำแนกกลุ่มโดยอาศัยลักษณะทางสรีรวิทยา เช่น ผลของแหล่งน้ำตาลกลูโคส กาแลคโทส แมนโนส ฟรักโทส และซูโครส ที่มีต่อการเติบโตในสภาวะให้แสงและไม่ให้แสง ความต้องการไทอามิน ผลของไนเตรท กรดอะมิโน กลูโคส ซึ่งมีผลต่อรูปร่างของเซลล์ สี ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง เป็นต้น De Silva and Gyllenvberg (1972) อ้างโดย Richmond (1986)

**2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของคลอเรลลา**

1. แหล่งอาหาร

1.1 แหล่งคาร์บอน

คาร์บอนเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย การเติมสารอาหารที่จำเป็นต่าง ๆ มากขึ้นจะไม่มีผลทำให้ปริมาณเซลล์เพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณคาร์บอนถูกจำกัด สาหร่ายสามารถใช้คาร์บอนได้ในรูปของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์แหล่งคาร์บอนในรูปอนินทรีย์สารในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไป จะพบในรูปของ $CO_2$, $H_2CO_3$, $HCO^{3-}$ และ $CO_3^{-2}$ ขึ้นอยู่กับค่าความเป็น กรด-ด่าง ของน้ำ ส่วนแหล่งคาร์บอนในรูปอินทรีย์สารที่สำคัญ คือ กลูโคส อะซิเทต เอทธานอล อะลานีน แอสพาร์เทต ฟรักโทส กาแลคโทส ไพรูเวต และซักซิเนต (Becker and Venkataraman, 1982 ; Richmond, 1986)

Richmond (1986) กล่าวว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต้องการคาร์บอนสูงกว่าสาหร่ายสีเขียว เนื่องจากโดยทั่วไปจะเติบโตในน้ำที่มีค่าความเป็น กรด-ด่าง ค่อนข้างสูงประมาณ 8.5-11.0 สาหร่ายแต่ละชนิดมีความสามารถในการใช้แหล่งคาร์บอนได้แตกต่างกัน สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญในการผลิตมวลชีวภาพของ *Scenedesmus* sp. และ *Chlorella* sp. จากการศึกษาพบว่า ชนิดของน้ำตาลและความเข้มของแสงมีผลต่ออัตราการเติบโตของ *Chlorella pyrenoidosa* และ *Chlorella ellipsoidea* Samejima and Myers (1958) อ้างโดย Richmond (1986)

Lee *et al.* (1989) พบว่า *Chlorella* sp. ที่เลี้ยงโดยใช้กลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนสามารถให้ปริมาณเซลล์สูงกว่าการใช้อะซิเทตเป็นแหล่งคาร์บอน พบว่าให้น้ำหนักเซลล์แห้งและปริมาณแซนโธฟิลล์ (xanthophyll) สูงกว่าที่เลี้ยงโดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 เป็นแหล่งคาร์บอน Theriaulte (1965)

Burris *et al.* (1981) พบว่าความเข้มแสงและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการสังเคราะห์แสง โดยจะขึ้นกับปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำ เมื่อปริมาณความเข้มข้นของ $HCO^{3-}$ สูงประมาณ 2-3 มิลลิโมล จะทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ซึ่งจะมีผลต่อการเคลื่อนย้ายคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่เซลล์

Richmond (1986) รายงานว่า อัตราการเติบโตของ *Chlorella* sp. ในอาหารที่เติมและไม่เติมคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.56-4.43 มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ควรให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของสาหร่ายแต่อาจหยุดให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในช่วงมืด ซึ่งจะไม่มีผลกระทบต่อการเติบโตของสาหร่าย ส่วน Bhumiratana *et al.* (1972) พบว่าการให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 2 ผสมกับอากาศเพียงพอต่อการเติบโตของสาหร่ายสีเขียว

Miyachi and Shiraiwa (1979) พบว่า การให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 2 พอเพียงกับความต้องการคาร์บอนภายในเซลล์ของ *Chlorella* sp. และสาหร่ายเติบโตได้ดีกว่าการ

Prince of Songkla University Pattani Campus

ได้รับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ (ประมาณร้อยละ 0.04) เพียงอย่างเดียวนอกจากนี้ การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นแหล่งคาร์บอน *Chlorella* sp. จะใช้ได้น้อย เนื่องจากไม่สามารถดูดซับประจุของไบคาร์บอเนตเข้าสู่เซลล์ได้ แต่จะใช้ได้ดีเมื่อเติม คาร์บอนิคแอนไฮเดรส (carbonicanhydrase) ร่วมด้วย โดยเอนไซม์นี้จะเป็นตัวเร่งให้เกิดการเปลี่ยนรูปของ $HCO^{3-}$ เป็น $CO_2$ เร็วขึ้นจึงส่งผลให้มีการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น

1.2 แหล่งไนโตรเจน

ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อการเติบโตของสาหร่าย เป็นตัวที่มีบทบาทเกี่ยวกับน้ำหนักแห้งของสาหร่าย โดยมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับเมทแทบอลิซึมภายในเซลล์สาหร่ายมีปริมาณไนโตรเจนคิดเป็นร้อยละ 1-10 ของน้ำหนักแห้ง

สาหร่ายสามารถใช้ไนโตรเจนได้ทั้งในรูปของอินทรีย์สารและอนินทรีย์สาร ได้แก่ เกลือแอมโมเนีย ไนเตรท และไนไตรท์ แต่พบว่า หลังจากอัตราการเติบโตสูงเมื่อใช้ในรูปของไนเตรทหรือแอมโมเนีย นอกจากนี้ยังขึ้นกับชนิดของสาหร่ายด้วย โดยทั่วไปพบว่าสาหร่ายใช้แอมโมเนียหมดก่อนแล้วจึงใช้ไนเตรท สำหรับสาหร่ายบางชนิด สามารทใช้ไนไตรท์ได้แต่จะใช้ได้ในความเข้มข้นต่ำ ประมาณ 0.046 กรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นสูงไนไตรท์มีผลยับยั้งการเติบโตของสาหร่าย ส่วนการใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งไนโตรเจน พบว่าจะทำให้ค่าความเป็น กรด-ด่างของอาหารลดลง ก่อให้เกิดความเป็นพิษได้ สาหร่ายบางชนิดมีความไวสูงต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียโดยจะเกิดการยับยั้ง การเติบโตที่ความเข้มข้น 0.017 กรัมต่อลิตร ของแอมโมเนีย (Richmond, 1986 ; Abeliovich, 1980)

ไนโตรเจนในรูปอินทรีย์สารที่สาหร่ายสามารนำไปใช้ได้ ได้แก่ เอมีน ยูเรีย กลูตามีน และแอสพาราจีน เป็นต้น การใช้ยูเรียให้ผลผลิตใกล้เคียงกับการใช้ไนเตรท และแอมโมเนีย ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ของสาหร่าย (Richmond, 1986 ; Darley, 1982 ; Abeliovich, 1980)

Syrett (1981) อ้างโดย Richmond (1986) พบว่า *Chlorella eillipsoidea* สามารถใช้แหล่งไนโตรเจนในรูปไนเตรทและยูเรียได้แต่ไม่สามารถใช้แอมโมเนียได้ ส่วน *Chlorella pyrenoidosa* สามารถใช้ได้ทั้งแอมโมเนีย ไนเตรทและยูเรีย

Bhumiratana *et al.* (1974) ทดลองเลี้ยง *Scenedesmus* sp. ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมไนเตรท แอมโมเนียและยูเรีย พบว่า การเติมแอมโมเนียเพียงอย่างเดียวสาหร่ายจะตาย สาหร่ายเติบโตได้ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมยูเรียและเติบโตดีที่สุดเมื่อใช้ยูเรียร่วมกับไนเตรท

ธิดาและนิเวศน์ (2517) ทดลองสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงแพลงตอนพืชในแง่ที่มีต้นทุนต่ำ พบว่า สารไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเติบโตของ *Chlorella* sp. คือ โพแทสเซียมไนเตรท ($KNO_3$) ที่ปริมาณความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับ

Prince of Songkla University Pattani Campus

Saxena *et al.* (1983) รายงานว่าโซเดียมไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ให้ปริมาณผลผลิตของสาหร่ายสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ยูเรียและแอมโมเนียไนเตรท

1.3 แหล่งฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเติบโต มีบทบาทในกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์ การเคลื่อนย้ายพลังงานและการสังเคราะห์กรดนิวคลิอิค รวมทั้งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ช่วยให้ค่าความเป็นกรด-ด่างค่อนค้างคงที่ ซึ่งโดยปกติเซลล์จะใช้ฟอสฟอรัสได้ดีในรูปออโธฟอสเฟต (orthophosphate) ในแหล่งน้ำธรรมชาติพบฟอสฟอรัสในรูปอนินทรีย์ฟอสเฟตมากกว่าอินทรีฟอสเฟตโดยทั่วไปสาหร่ายจะใช้ฟอสฟอรัสในรูปอนินทรีย์ฟอสเฟต ได้แก่ $H_2PO^{4-}$ และ $HPO_4^{2-}$ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเติบโตแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของสาหร่าย การขาดฟอสฟอรัสมีผลใกล้เคียงกับการขาดไนโตรเจน คือ ทำให้ปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลล์ อาร์เอ็นเอ ลดลงและ ดีเอ็นเอ ลดลงแต่คาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น (Hosakul, 1972 ; De la Noue and Basseres, 1989 ; Richmond, 1986)

สาหร่ายสีเขียวต้องการฟอสฟอรัสร้อยละ 2-3 ของน้ำหนักแห้งเพื่อใช้ในการเติบโต *Chlorella* sp. *Ankistrodesmus* sp. และ *Hydrodictyon* sp. สามารถดูดซึมสารประกอบเมตาฟอสเฟตและโพลีฟอสเฟตได้มากเมื่อได้รับแสง ส่วนในสภาพมืดสาหร่ายสามารถดูดซึมสารประกอบทั้งสองชนิดนี้ได้น้อยลง แต่สามารถดูดซึมสารประกอบ ออโธฟอสเฟตได้มากขึ้น Ketehun and Redfiele (1949) อ้างโดย จรูญ (2531)

Hosakul (1972) พบว่า *Chlorella* sp. และ *Scenedesmus* sp. เติบโตได้ดีที่ความเข้มข้นของฟอสเฟต 1 มิลลิโมลต่อลิตร และที่ความเข้มข้นของฟอสเฟตต่ำกว่า 0.1 มิลลิโมลต่อลิตร สาหร่ายจะชะงักการเติบโต รวมทั้งเป็นผลให้ความเป็นบัฟเฟอร์ของฟอสเฟตสูญเสียไปด้วย และ Knauss and Porter (1954) อ้างโดย Hosakul (1972) พบว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัส 6-45 มิลลิโมลต่อลิตร ไม่มีผลยับยั้งการเติบโตของสาหร่าย

De la Noue and Basseres (1989) เลี้ยง *Chlorella* sp. *Scenedesmus obliquus* และ *Phormudium bohneri* ในห้องปฏิบัติการพบว่า *Chlorella* sp. เติบโตได้ดีในน้ำมูลสุกรที่เจือจางร้อยละ 2 ซึ่งมีค่า $P\text{-}PO_4^{3-}$ 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่สาหร่ายอีก 2 ชนิด คือ *Phormudium bohneri* และ *Scenedesmus obliquus* เจริญได้ดีที่น้ำมูลสุกรเจือจางร้อยละ 3 ซึ่งมีค่า $P\text{-}PO_4^{3-}$ 8.3 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. แสง

แสงเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมจากภายนอกมีความสำคัญในการเลี้ยงสาหร่าย โดยเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดการสังเคราะห์แสง ความเข้มของแสงเพิ่มขึ้นการเจริญของสาหร่ายจะเพิ่มขึ้นสูงด้วย โดยจะเพิ่มการสังเคราะห์แสงและเร่งการทำงานของเซลล์ (Kosaric, *et al.*, 1974) แต่ความเข้มข้นแสงที่สูงเกินไปจะมีผลไปยับยั้งการหายใจของเซลล์ ส่วนการเกิดปรากฏการณ์การยับยั้งด้วยแสง (photoinhibition) ขึ้นกับสายพันธุ์ของสาหร่ายและช่วง

Prince of Songkla University Pattani Campus

ระยะเวลาการได้รับแสง สาหร่ายได้รับแสงที่ความเข้มข้นสูงเป็นเวลานานจะเกิดการยับยั้งการหายใจของเซลล์ (Vonshak *et al.*, 1982)

Lorenzen (1963) อ้างโดย Richmond (1986) รายงานว่า *Chlorella* sp. เติบโตในสภาพที่มีทั้งช่วงมืดและช่วงสว่างแต่ไม่สามารถเติบโตได้ในสภาวะที่มีแสงอย่างต่อเนื่อง การให้แสงที่มีความเข้มสูงอย่างต่อเนื่อง จะมีผลทำให้เซลล์มีสีซีดหรือปรากฏลักษณะสีเหลืองอมน้ำตาล ซึ่งเป็นผลจากการที่เม็ดสีถูกทำลาย

Pipes and Koutsoynnis (1962) เลี้ยง *Chlorella* sp. โดยให้แสงอย่างต่อเนื่องพบว่ามีผลยับยั้งการเติบโตโดยตรง ส่วน Bhumiratana *et al.* (1974) รายงานว่าการเลี้ยงสาหร่ายโดยทั่วไปควรให้ได้รับแสง ช่วงสว่าง : ช่วงมืด เท่ากับ 16 : 8 โดยทั่วไป *Chlorella* sp. ต้องการความเข้มแสงประมาณ 45 กิโลลักซ์ โดยเลี้ยงในบ่อเปิดกลางแจ้งแต่ Bhumiratana *et al.* (1972) พบว่า สาหร่าย *Scenedesmus* sp. ต้องการแสงประมาณ 12.5±0.7 กิโลลักซ์ ในสภาพห้องปฏิบัติการส่วน หยกแก้วและคณะ (2525) พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. $K_3$ เติบโตได้ดีที่ความเข้มแสง 100 กิโลลักซ์ เช่นเดียวกับ Takada and Hirokawa (1978) พบว่า *Chlorella ellipsoidea* เติบโตได้ดีที่ความเข้มแสง 120 กิโลลักซ์ ส่วน Alias (1988) รายงานว่า *Chlorella virginica* ซึ่งเลี้ยงที่ความเข้มแสง 3,040 ลักซ์ เติบโตได้ดีและให้ปริมาณเซลล์สูง กว่าการเลี้ยงที่ความเข้มแสง 2,260 และ 1,140 ลักซ์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

3. อุณหภูมิ

สาหร่ายแต่ละชนิดตอบสนองต่อช่วงอุณหภูมิแตกต่างกันและทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงจำกัดต่างกัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วประมาณ 10-15 องศาเซลเซียส หรือมากกว่าสาหร่ายไม่สามารถปรับตัวได้จะชะงักการเติบโตและการแบ่งเซลล์ของ *Chlorella* sp.

Hosakul (1972) เลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus* sp. และ *Chlorella* sp. จำนวน 19 สายพันธุ์ พบว่า แต่ละสายพันธุ์ต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเติบโตและอุณหภูมิที่มีผลยับยั้งการเติบโตแตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์เช่น *Chlorella* sp. 50C เติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส และถูกยับยั้งการเติบโตที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส ส่วน *Chlorella vulgaris* 49A เติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส เติบโตได้น้อย และที่ 42 องศาเซลเซียส จะถูกยังยั้งการเติบโต

*Chlorella* sp. เติบโตได้ดีและให้ผลผลิตสูงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในตอนกลางวันและ 15 องศาเซลเซียส ในตอนกลางคืน ในสภาพห้องปฏิบัติการ และที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสในตอนกลางวัน และ 20 องศาเซลเซียส ในตอนกลางคืน ในสภาพบ่อเปิดกลางแจ้งในประเทศไทย พบว่า อุณหภูมิเหมาะสมอยู่ในช่วง 35-36 องศาเซลเซียส การเติบโตจะลดลงใน

Prince of Songkla University Pattani Campus

อุณหภูมิที่สูงกว่า 41 องศาเซลเซียส และในห้องปฏิบัติการ เซลล์จะตายหลังจากเลี้ยง 2-3 วัน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

Novak and Brune (1985) พบว่า *Chlorella* sp. เติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ในสภาพห้องปฏิบัติการมีอัตราการเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.070 ต่อชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 15, 22 และ 33 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าอัตราการเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.015, 0.025 และ 0.045 ต่อชั่วโมง ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส สาหร่ายไม่สามารถเติบโตได้

De la Noue and Basseres (1989) พบว่า *Chlorella* sp. ซึ่งเลี้ยงในน้ำมูลสุกร ร้อยละ 2สามารถเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และมีค่าอัตราการผลิต เท่ากับ 41 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน สูงกว่าที่เลี้ยงที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าอัตราการผลิตเท่ากับ 36 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน

Sadakane *et al.* (1981) พบว่า *Chlorella ellipsoidea* เติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปเลี้ยงภายใต้สภาวะความเย็นที่อุณหภูมิ 10, 15 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ปริมาณเซลล์ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ ที่อุณหภูมิ 3, 5 และ 7 องศาเซลเซียส ปริมาณเซลล์มีความแตกต่างกันและปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด

Nakamura and Miyachi (1982) เลี้ยง *Chlorella vulgaris* 11 cell พบว่า ที่อุณหภูมิ 20-24 องศาเซลเซียส เซลล์มีการสะสมแป้งได้สูงสุด แต่จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และจะคงที่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

4. ความเป็น กรด-ด่าง

ความเป็น กรด-ด่าง ของอาหารเลี้ยงสาหร่าย มีผลต่อกระบวนการต่างๆ ทางชีววิทยาของเซลล์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นตัวบ่งบอกการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือปริมาณของไบคาร์บอเนตในอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งจะมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมของกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์สาหร่าย (Becker and Venkatanaman, 1982) สาหร่ายตอบสนองต่อค่าความเป็น กรด-ด่าง ของอาหารเลี้ยงเชื้อแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของสาหร่าย สำหรับ *Chlorella* sp. เติบโตได้ดีในค่าความเป็น กรด-ด่าง ช่วงกว้าง แต่โดยทั่วไปสามารถเติบโตได้ดีในช่วงค่าความเป็น กรด-ด่าง ที่มีค่าเป็นกรดเล็กน้อย จนถึงกลาง และบางสายพันธุ์เช่น *Chlorella saccharophila* สามารถเติบโตได้ดีใน ค่าความเป็น กรด-ด่าง ที่เหมาะสมต่อการเติบโตของ *Chlorella homosphaera* เติบโตได้ดีที่ค่าความเป็น กรด-ด่าง เท่ากับ 6 (Richmond, 1986) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะต่อการเติบโตของ *Chlorella* sp. $K_3$ อยู่ในช่วง 7-8 (จรูญ, 2531)

Malis-Arad and McGowan (1982) พบว่า *Chlorella vulgaris* เติบโตได้ดีที่ความเป็น กรด-ด่าง 6.3 โดยจะให้ปริมาณเซลล์สูง และเกิดการแบ่งเซลล์สูงสุด แต่มีปริมาณของโพลีแซคคาไรค์และเซลลูเลสแอคติวิตี้ต่ำ แต่เมื่อนำไปเลี้ยงภายใต้สภาวะที่ค่าความเป็น กรด-ด่าง

Prince of Songkla University Pattani Campus

9.5 เป็นเวลา 16, 20 และ 24 ชั่วโมง ไม่พบว่ามีการแบ่งเซลล์ แต่มีปริมาณของโพลีแซคคาไรด์ และเซลล์ลูเลสแอคติวิตี้เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า

Hosakul (1972) พบว่า *Chlorella* sp. และ *Scenedesmus* sp. ทั้ง 18 สายพันธุ์ มีความต้องการค่าความเป็น กรด-ด่าง ในการเติบโตแตกต่างกัน แต่ที่ค่าความเป็น กรด-ด่าง 3.5 หรือ 9.5 จะหยุดชะงักการเติบโตและเซลล์จะผิดปกติ นอกจากนี้ถ้าแหล่งไนโตรเจนแตกต่างกัน ก็มีผลทำให้ค่าความเป็น กรด-ด่าง ในระหว่าง การเติบโตแตกต่างกันด้วย

**2.2.3 ประโยชน์ของคลอเรลลา**

หลายคนเชื่อว่าคลอเรลลาเป็นแหล่งอาหารและพลังงานเพราะในทางทฤษฎีเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงกับอ้อย พบว่าคลอเรลลามีประสิทธิภาพมากกว่าอ้อยร้อยละ 8 เหตุผลที่คลอเรลลาเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญเพราะมีโปรตีนสูงและมีธาตุอาหารที่จำเป็น เมื่อทำให้แห้งจะมีโปรตีนประมาณร้อยละ 45 ไขมันร้อยละ 20 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 20 เส้นใยร้อยละ 5 แร่ธาตุและวิตามินร้อยละ 10 อย่างไรก็ตามด้วยเหตุผลที่มันมีขนาดเล็กทำให้เก็บเกี่ยวได้ยากส่งผลให้การนำมาเป็นแหล่งอาหารต้องทำการเพาะเลี้ยงในพื้นที่ขนาดใหญ่ (Wikipedia the free encyclopedia, 2008)

1. แหล่งโปรตีน

*Chlorella* sp. มีปริมาณโปรตีนในเซลล์สูงปริมาณร้อยละ 55-60 ตารางที่ 2.5 เป็นโปรตีนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นหลายชนิด ในปริมาณค่อนค้างมาก เช่น ทรีโอนีน ไลซีน และลูซีน เป็นต้น รวมทั้งกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปกรดไขมันไม่อิ่มตัว *Chlorella* sp. ประกอบด้วยวิตามิน และเกลือแร่ที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น วิตามินเอ บี1 บี2 บี6 บี12 และไนอะซีน เป็นต้น นอกจากนี้มีปริมาณเบต้า-คาโรทีน ประมาณ 180 มิลลิกรัมต่อเซลล์แห้ง 100 กรัม ซึ่งเป็นสารก่อให้เกิดวิตามินเอและเป็นตัวต่อต้านออกซิเดชัน (วิสัย, 2534)

Dam *et al.* (1965) ได้ศึกษาการใช้ *Scendesmus obliquus* เพื่อเป็นแหล่งอาหารโปรตีนของมนุษย์ พบว่าร่างกายสามารถย่อย (digestibility) สาหร่ายแห้งของ *Scendesmus obliquus* ได้ร้อยละ 68 ของไนโตรเจน และร่างกายสามารถย่อยสาหร่ายแห้งของ *Chlorella pyrenoidosa* ได้ร้อยละ 58 ของไนโตรเจน จากสาหร่ายแห้งซึ่งผ่านการสกัดผนังเซลล์ด้วยเอทานอล

Steenblock (1987) กล่าวว่า ผลิตภัณฑ์จาก *Chlorella* sp. มีส่วนประกอบที่แตกต่างกันขึ้นกับส่วนประกอบของสาหร่าย และวัตถุดิบอื่นๆที่ใช้เป็นส่วนประกอบ ซึ่งเซลล์ที่บดให้แตกด้วยเครื่อง Dyno-mill เซลล์ที่ถูกความร้อนและผ่านการลอกผนังเซลล์ออกโดยที่สภาพสีของเซลล์ยังสมบูรณ์มีค่าความสามารถที่ร่างกายจะย่อยได้ เท่ากับร้อยละ 79.5, 50 และ 47

Prince of Songkla University Pattani Campus

**ตารางที่ 2.6** เปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีของ *Chlorella* สายพันธุ์ต่างๆ

| | กรัม/100 กรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | *Chl. Pyrenoidosa*[a] | *Chl. Pyrenoidosa*[b] | *Chl.* vulgalis[c] | *Chl.* NO. 650818[a] | *Chl.* sp.[e] |
| โปรตีน | 60.2 | 56.5 | 55.2 | 60.2 | 58.4 |
| คาร์โบไฮเดรต | 18.5 | 17.8 | 21.04 | 20.1 | 23.2 |
| ไขมัน | 10.7 | 7.5 | 8.07 | 11 | 9.3 |
| เยื่อใย | 2.8 | 2.5 | 12.09 | .02 | 0.3 |
| เถ้า | 7.2 | 8.25 | 3.28 | 4.6 | 4.2 |

หมายเหตุ *Chl.* : *Chlorella*

ที่มา a : Taiwan chlorella (1964)

b : Lubitz (1963)

c : Kobayashi and Kurata (1978)

d : Steenblock (1987)

e : วิสัย (2354)

Lubitz (1963) พบว่า *Chlorella pyrenoidosa* 71105 ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 56.5 ไขมันร้อยละ 7.5 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 17.8 และเยื่อใยร้อยละ 2.5 (ตาราง 2) คุณภาพของโปรตีนแสดงในรูป protein efficiency ratio (PER) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.19 ส่วนโปรตีนจากเคซีน และโปรตีนจากไข่ที่สกัดไขมันออก (deffated egg protein) มีค่า PER เท่ากับ 3.30 และ 4.10 ตามลำดับ และค่า PER ของสาหร่ายสูงกว่าโปรตีนจากผักและธัญพืชมาก แต่สูงกว่าโปรตีนจากถั่วเหลืองเล็กน้อย

2. ใช้เป็นอาหารสัตว์

หยกแก้วและคณะ (2526) เลี้ยง *Chlorella* sp. $K_3$ ในน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำนมถั่วเหลืองเป็นเวลา 3 วัน แล้วนำมาเลี้ยงไรแดง (Moinamacrocopa) โดยใช้ความหนาแน่นของสาหร่ายเริ่มต้น เท่ากับ 0.1, 0.2, 0.3, และ 0.4 ตามลำดับ ใช้เวลาเลี้ยง 5-6 วัน ใช้ไรแดงเริ่มต้น 10 ตัวต่อ 100 มิลลิลิตร พบว่า มีปริมาณไรแดงเพิ่มขึ้น เท่ากับ 252, 629, 1,042 และ 1356 ตัวต่อ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ

Prince of Songkla University Pattani Campus

จรูญ (2531) เลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. $K_3$ ในน้ำกากส่าเหล้าเข้มข้นร้อยละ 1.5 เป็นเวลา 10 วัน มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.2 ได้เซลล์สาหร่ายมี โปรตีนร้อยละ 16.6 นำไปเลี้ยงไรแดงในระยะเวลา 3 วัน ได้ปริมาณไรแดงเพิ่มมากที่สุด คิดเป็นโปรตีนร้อยละ 53.23 และค่าบีโอดีของน้ำหลังเลี้ยงไรแดงลดลงร้อยละ 67.93-78.80

จรูญ (2531) เลี้ยง *Chlorella* sp. $K_3$ ในน้ำกากส่าเข้มข้นร้อยละ 1.5 พบว่า สาหร่ายเติบโตและเพิ่มจำนวนได้ดีที่สุดที่ระยะเวลา 10 วัน ได้เซลล์สาหร่ายมีโปรตีนร้อยละ 26.6

โชคชัยและคณะ (2546) ทำการศึกษาการเพาะไรแดงโดยใช้กากน้ำตาลแทนการใช้กากผงชูรสในบ่อซีเมนต์ขนาด 3 ตารางเมตร แบ่งการทดลองเป็น 5 ชุด ชุดที่ 1 (ชุดควบคุม) ใช้กากผงชูรส 1,200 มิลลิลิตรต่อบ่อ ชุดที่ 2-5 ใช้กากน้ำตาลในปริมาณ 200, 400, 800 และ 1,200 มิลลิลิตรต่อบ่อ พบว่า ผลผลิตไรแดงเฉลี่ย 699.00, 549.69, 581.00, 798.33 และ 194.33 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ โดยชุดที่ 4 ซึ่งใช้กากน้ำตาล 800 มิลลิลิตรต่อบ่อ ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 5 แต่ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม และเมื่อศึกษาหาปริมาณกากน้ำตาลที่เหมาะสมในรายละเอียดในปริมาณกากน้ำตาล 600, 700, 800, 900 และ 1,000 มิลลิลิตรต่อบ่อ พบว่าได้ผลผลิตไรแดงเฉลี่ย 674.33, 646.67, 693.33, 713.33, 731.67 และ 706.67 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ โดยผลผลิตไรแดงเฉลี่ยทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ เมื่อศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตไรแดงที่ได้จากการหมักกากน้ำตาล 600 มิลลิลิตร หมักในน้ำสะอาด จำนวน 6 ลิตร โดยใช้ระยะเวลาที่ต่างกันคือ 0, 1, 2 และ 3 วัน พบว่าได้ผลผลิตไรแดงเฉลี่ย 650.33, 615.67, 630.33, 635.00 และ 603.33 กรัมต่อบ่อ ตามลำดับ โดยผลผลิตไรแดงเฉลี่ยทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการทดลองสรุปได้ว่าในการเพาะไรแดงในบ่อซีเมนต์ขนาด 3 ตารางเมตร ด้วยวิธีของศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดปทุมธานี โดยใช้ปุ๋ย N-P-K สูตร 16-20-0 จำนวน 90 กรัม ปุ๋ยยูเรียจำนวน 90 กรัม ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต จำนวน 15 กรัม ปูนขาว จำนวน 180 กรัม สามารถใช้กากน้ำตาลในปริมาณ 600 มิลลิลิตรต่อบ่อ แทนการใช้กากผงชูรสได้ ส่วนการหมักกากน้ำตาลด้วยน้ำสะอาดก่อนนำไปใช้เพาะไรแดงนั้น ไม่มีความจำเป็นเนื่องจากไม่มีผลต่อผลผลิตไรแดง

ธิดาและคณะ (2536) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการเพาะเลี้ยงไรแดงด้วย *Chlorella* ในภาคใต้ พบว่าการใช้สูตรอาหารของ Yamagushi ซึ่งประกอบด้วย $(NH_4)_2SO_4$ 100 กรัมต่อตัน ปุ๋ย N-P-K สูตร 16-20-0 ปริมาณ 15 กรัมต่อตัน และยูเรีย 5 กรัมต่อตัน สามารถใช้เพาะเลี้ยง *Chlorella* น้ำจืดและใช้เป็นอาหารของไรแดงได้ และเมื่อใส่ $Ca(OCl_2)$ 2-3 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไปในการเพาะเลี้ยง *Chlorella* ช่วยควบคุมโปรโตซัวและโรติเฟอร์ทำให้ *Chlorella* เจริญเติบโตได้ดี การแช่พันธุ์ไรแดงในน้ำเค็ม 20 ส่วนในพันส่วน เป็นเวลา 10 วินาที เพื่อกำจัดโรติเฟอร์ *Brachionus rubens* ซึ่งชอบเกาะตัวไรแดงให้ผลไม่ดีเท่าที่ควรถึงแม้ว่าโรติเฟอร์ส่วนใหญ่ที่เกาะอยู่จะหลุดออกจากตัวไรแดง เพราะหลังจากนั้น 1 วันไรแดงตายร้อยละ 25 และโรติเฟอร์ที่เหลือ

ตกค้างจากการล้างออกสามารถเพิ่มจำนวนขึ้นมาได้อีก การทดลองเพาะเลี้ยงไรแดงในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 25, 30, และ 35 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ไรแดงขยายพันธุ์ได้เร็วที่สุด แต่อายุสั้นกว่าที่ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งให้จำนวนลูกทั้งหมดเท่ากัน ไรแดงที่ให้กิน *Chlorella* $0.5x10^6$ เซลล์ต่อตัวต่อวัน เพิ่มจำนวนไม่แตกต่างกับไรแดงที่ให้กิน *Chlorella* $1.5x10^6$ เซลล์ต่อตัวต่อวัน และเมื่อเพาะเลี้ยงไรแดงในถัง 100 ลิตร กลางแจ้งพบว่า ถ้าอุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 32-35 องศาเซลเซียส ให้ *Chlorella* $0.5\text{-}1.5x10^6$ เซลล์ต่อตัวต่อวัน และพันธุ์ไรแดงแข็งแรง ไม่มีสิ่งมีชีวิตอื่นที่จะคอยแย่งอาหารปนเปื้อน การเพาะเลี้ยงไรแดงจะประสบผลสำเร็จและเป็นไปได้ที่เลี้ยงเพียง 1 วัน แล้วผลผลิตเพิ่มขึ้นมากพอที่จะเก็บเกี่ยวได้

วีระและคณะ (2526) เลี้ยง *Chlorella* sp. $K_3$ เพื่อใช้เป็นอาหารโรติเฟอร์ โดยใช้ปุ๋ยชนิดต่างๆ พบว่า ปุ๋ยที่ให้ความหนาแน่นของจำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุด คือ น้ำคาวปลา ผสมกับอาหารสังเคราะห์ NS I โดยให้ความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ $20.2x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิเมตร ในระยะเวลา 4 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำทิ้งจากโรงงานผงชูรส ผสมกับอาหารสังเคราะห์ NS I, NS I, น้ำทิ้งโรงงานผงชูรส และน้ำความปลาเพียงอย่างเดียว ซึ่งให้ความหนาแน่นของเซลล์เท่ากับ $18.3x10^7$, $15.8x10^7$, $15.5x10^7$, และ $2.3x10^7$ เซลล์ต่อมิลลิเมตร ตามลำดับ

Abu-Rezeq and James (1985) พบว่าความหนาแน่นของ *Chlorella* sp. $50x10^6$ เซลล์ต่อมิลลิเมตร เหมาะสมที่สุดชะใช้เป็นแหล่งอาหารแก่โรติเฟอร์ เป็นผลทำให้ผลผลิตโรติเฟอร์สูงขึ้น และทำให้มีโอเมก้า 3 เซลล์สูง

Arakawa *et al.* (1960) อ้างโดย Richmond (1986) รายงานว่า เมื่อผสม *Chlorella* sp. ร้อยละ 10 ลงในกากถั่วเหลืองที่นำไปเลี้ยงไก่ไข่ พบว่า ไข่ที่ได้มีสีสดกว่าไข่ไก่ที่ได้จากไก่ที่เลี้ยงโดยไม่เติมสาหร่ายลงในกากถั่วเหลือง

Sreesai *et al.* (2001) ได้นำน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรมาทำการบำบัดและกลับมาใช้ใหม่ โดยพบว่า น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรส่วนใหญ่มีสมบัติไม่ผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง มีสารอินทรีย์และธาตุอาหารซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้แหล่งน้ำตามธรรมชาติเสื่อมโทรม ในการนำน้ำทิ้งเหล่านี้กลับมาใช้ประโยชน์เป็นสิ่งที่น่าสนใจ การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสารอินทรีย์และธาตุอาหารในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรมาเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. และทำการเก็บเกี่ยว *Chlorella* sp. โดยใช้สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กคือไรแดง จนทำให้น้ำผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง สาหร่าย *Chlorella* sp. สามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรภายใต้สภาวะการเลี้ยงอย่างง่าย พบว่าปริมาณมวลของสาหร่ายอยู่ในช่วง 100-260 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายใน 2-4 วัน อย่างไรก็ตามพบว่า *Chlorella* sp. สามารถเพิ่มจำนวนเซลล์ได้สูงสุดเพื่อผลิตไรแดงได้ภายใน 2 วัน และเมื่อ *Chlorella* sp. เพิ่มขึ้นจาก 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึง 260 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการบำบัดก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ในทางกลับกัน เมื่อเพิ่มปริมาณไรแดง 1,500 ตัวต่อลิตร ถึง 0.3 กรัมต่อลิตร ($p>0.05$) ปรากฏว่าไม่ได้ส่งผลให้คุณภาพน้ำดีขึ้น จากการศึกษาพบว่าปริมาณ *Chlorella* sp.

Prince of Songkla University Pattani Campus

1 มิลลิกรัมต่อไรแดง 12 ตัว จะให้ประสิทธิภาพดีที่สุด คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรหลังการเพาะเลี้ยง ค่าของแข็งตกตะกอน, $OD_{560}$ และ COD ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง สรุปได้ว่าเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรที่ดีที่สุด ภายในเวลา 2 วัน ต้องใช้ไรแดงน้ำหนักเปียก 0.3 กรัมต่อลิตร (3,000 ตัวต่อลิตร) ที่ความเข้มข้นคลอเรลลา 100-260 มิลลิกรัมต่อลิตร

Prathumratana (2001) งานวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัด *Chlorella* sp. ในน้ำทิ้งครัวเรือนโดยใช้ไรแดง (*Moina macrocopa*) โดยการวัดสมบัติทางเคมี แบ่งการทดลองออกเป็น 5 ขั้นตอน การทดลองที่ 1 ทำการแปรสัดส่วน *Chlorella* sp. ต่อจำนวนไรแดง ดังนี้ 1:1, 1:2, 1:3, 2:1, 2:3, 3:1 และ 3:2 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด *Chlorella* sp. จากน้ำทิ้งครัวเรือน การทดลองที่ 2 ศึกษาระดับความลึกของภาชนะในการเพาะเลี้ยง *Chlorella* sp. ด้วยน้ำทิ้ง การทดลองที่ 3 ทำการศึกษาผลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตของ *Chlorella* sp. โดยแปรความเข้มแสง 3,000, 4,000, 5,000 ลักซ์ และแสงธรรมชาติ การทดลองที่ 4 ทำการเปรียบเทียบการกำจัด *Chlorella* sp. ของไรแดงในภาชนะทึบแสงกับภาชนะโปร่งแสง การทดลองที่ 5 ทำการศึกษาประสิทธิภาพของ *Chlorella* sp. โดยแปรการเก็บเกี่ยวไรแดงที่ปริมาณ 0, 1/3, 1/2, 2/3 และทั้งหมดของจำนวนไรแดง น้ำทิ้งจากครัวเรือนมีความสกปรกสูงเมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ผลการศึกษาพบว่า สัดส่วน 3:1 ของสาหร่ายที่มีความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และไรแดง 0.01 กรัมต่อลิตร จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด โดยให้ผลผลิตไรแดงรวมทั้งหมด 3.66 กรัมต่อลิตร ภายในเวลา 6 วัน ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งของสาหร่ายทำให้ค่า $OD_{560}$, ค่าของแข็งตกตะกอน และ COD ถูกบำบัดไปร้อยละ 73.73, 57.56 และ 43.35 ตามลำดับ ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตไรแดงคือ ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น, ความลึกของภาชนะเพาะเลี้ยง, ชนิดของภาชนะเพาะเลี้ยง และปริมาณการเก็บเกี่ยวของจำนวนไรแดงทั้งหมด ($p<0.05$) การบำบัดโดยใช้ไรแดงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัด TKN และ TP เพิ่มขึ้นร้อยละ 9 และ 6 ตามลำดับ สรุปได้ว่า สภาวะที่ดีที่สุดในการเพาะเลี้ยงไรแดงเพื่อกำจัด *Chlorella* sp. ในน้ำทิ้งครัวเรือนควรใช้สัดส่วน *Chlorella* sp. ต่อไรแดง 3:1 โดยความเข้มข้นของ *Chlorella* sp. เท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของไรแดงเท่ากับ 100 ตัวต่อลิตร เพาะเลี้ยงที่ความลึก 10 เซนติเมตร ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ ภาชนะเพาะเลี้ยงโปร่งใส ที่สัดส่วนการเก็บเกี่ยว 2/3 ของจำนวนไรแดงทั้งหมด เป็นเวลา 6 วัน น้ำทิ้งจากครัวเรือนที่ทำการกำจัด *Chlorella* sp. โดยใช้ไรแดงเรียบร้อยแล้วนั้นมีความสกปรกเพียงเล็กน้อย และมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง

Zhihui *et al.* (1988) ทดลองอาหารที่เหมาะสมต่อการเติบโตของไรแดง (Moina mongolica Daday) โดยใช้ *Chlorella* sp., *Platymonas* sp., *Dunaliella salina* และ *Diorateria zhanjiangensis* พบว่า *Chlorella* sp. เป็นแหล่งอาหารที่ดีที่สุด ในการเลี้ยงไรแดง เมื่อใช้ปริมาณเซลล์ 45-70 มิลลิกรัมต่อลิตร

3. ใช้ในวงการแพทย์และอุตสาหกรรม

ภายในเซลล์ของ *Chlorella* จะมีสารเร่งการเจริญที่เรียกว่า Chlorella Growth Factor (CGF) ซึ่งประกอบด้วย กรดอะมิโน เปปไทด์ โปรตีน วิตามิน น้ำตาล และกรดนิวคลีอิค CFG มีคุณสมบัติต่อต้านมะเร็งที่เรียกว่า “SARCONA180” โรคมะเร็งเม็ดเลือดขาวในหนู และระงับการเจริญของเนื้องอกในหนูได้ปริมาณร้อยละ 52.9 นอกจากนี้มีรายงานการใช้ CFG ในการชะลอความชราโดยใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง *Chlorella* และ CFG มีผลต่อระบบย่อยอาหาร โดยจะเข้าไปช่วยทำให้เชื้อแลคโตบาซิลลัสในลำไส้เพิ่มจำนวนมากขึ้น และมีบทบาทในการล้างพิษในลำไส้ และผนังเซลล์ของ *Chlorella* จะดูดซับพิษในลำไส้ มีรายงานว่า โรงพยาบาลในญี่ปุ่นบางแห่งใช้ *Chlorella* รักษาแผลในกระเพาะโดย CFG จะกระตุ้นเกิดการสมานแผล *Chlorella* sp. ได้ถูกทดลองนำไปใช้ในงานวิจัยพบว่า สามารถลดระดับครอเรสเตอรอลในเลือด ตับ และน้ำเหลือง เพิ่มวิตามินบี12 และธาตุเหล็กให้กับผู้บริโภคมังสวิรัติ และยังช่วยป้องกัน และต้านสารพิษ โดยพบว่า หนูทดลองกิน *Chlorella* sp. วันละ 8 กรัม สามารถขับแคดเมียมออกจากร่างกายได้มากกว่าหนูซึ่งไม่กิน *Chlorella* sp. เป็นต้น (วิสัย, 2534; Steenblock, 1987; Vonshak, 1990)
คลอโรฟิลล์ที่ได้จาก *Chlorella* sp. ซึ่งมีปริมาณ 40 มิลลิกรัม ต่อ 1 มิลลิกรัม มีบทบาทสำคัญต่อการเติบโตของร่างกาย มีผลต่อปฏิกิริยาของฮอร์โมน และการกระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดแดง เป็นต้น นอกจากนี้การนำคลอโรฟิลล์มาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น ผสมสีเทียนไข ขี้ผึ้ง น้ำมันขนมหวาน หมากฝรั่ง และอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เป็นต้น

4. <u>ผลิตสารปฏิชีวนะ</u>

Kumar and Singh (1971) รายงานว่า *Chlorella* sp. สามารถผลิตสารปฏิชีวนะชื่อคลอเรลลิน (Chlorellin) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย *Pseudomonas* sp. และ *Mycobacterium* sp.

5. <u>ใช้บำบัดน้ำเสียและของเหลือทิ้ง</u>

สำหรับของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ รวมทั้งน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตปลาป่น หรือของเสียจากการเลี้ยงสัตว์ต่าง ๆ พบว่าในของเหลือทิ้งหรือของเสียเหล่านี้ ยังคงมีสารอาหารหรือแร่ธาตุอยู่ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยง *Chlorella* sp. ได้เพราะ *Chlorella* sp. สามารถพบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ เช่น ในแหล่งน้ำธรรมชาติ บ่อน้ำเสีย สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่มีคลอโรฟิลล์ จึงสามารถสังเคราะห์สารอินทรีย์จำพวกคาร์โบไฮเดรตขึ้นด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแสงแดด นำคาร์โบไฮเดรตไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่และผลพลอยได้ คือ ออกซิเจน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อแบคทีเรีย นอกจากนี้สาหร่ายจะช่วยใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสซึ่งมีอยู่ในน้ำ จะเป็นการนำของเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ทั้งยังช่วยในการลดมลภาวะ อีกทางหนึ่งด้วย ซึ่งพบว่ามีผู้ศึกษาการนำของเหลือทิ้งเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเซลล์เดียว ดังต่อไปนี้

Prince of Songkla University Pattani Campus

กรองจันทร์ (2536) ทดลองเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา ในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล พบว่าคลอเรลลาที่คัดแยกมาจากน้ำทิ้ง สายพันธุ์ T9 สามารถเจริญเติบโตในอาหารสูตร NS. III และและให้มวลชีวภาพสูงกว่า *Chlorella sp.* ($K_3$) ที่เป็นสายพันธุ์เปรียบเทียบ ส่วนการนำคลอเรลลาสายพันธุ์ที่คัดเลือกไว้ และนำไปเลี้ยงในในน้ำทิ้ง โดยการให้ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเจริญเติบโต พบว่าปริมาณมวลชีวภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อให้ความเข้มแสง 5200 ลักซ์ เติมคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 2 และให้ $NaNO_3$ เป็นแหล่งไนโตรเจน ซึ่งในสภาวะการเลี้ยงคลอเรลลาในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล ที่ให้ปัจจัยดังกล่าวนี้ จะทำให้มวลชีวภาพของคลอเรลลาสูงสุดเท่ากับ 5.40 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 วัน สอดคล้องกับการศึกษาของ สันติชัย และทวีป (2537) ที่ใช้ *Chlorella sp.* บำบัดน้ำทิ้งของโรงงานแปรรูปอาหารทะเล พบว่าการเลี้ยง *Chlorella sp.* ในน้ำทิ้งให้ปริมาณสูงสุดเท่ากับ 2.2 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 16 วัน และพบว่า *Chlorella sp.* มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งทำให้ปริมาณแอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสฟอรัสลดลงร้อยละ 98-99 ที่ระยะเวลา 4 วัน

ชิตและไพศาล (2525) เลี้ยง *Chlorella* sp. ในน้ำทิ้งจากการหมักแก๊สชีวภาพ โดยเจือจางน้ำทิ้งในอัตราส่วน 1:1 ให้ผลดีที่สุด พบว่า ค่าซีโอดีและบีโอดี ลดลงร้อยละ 82.62 และ 92.07 ตามลำดับ หลังการเลี้ยง 10 วัน ได้สาหร่ายที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 39.38

ชลธี (2546) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการเติบโตของสาหร่ายคลอเรลลาด้วยการใช้น้ำทิ้งซึ่งเป็นส่วนของซีรัมน้ำยาง ที่ความเข้มข้นต่างกัน 5 ระดับ ตั้งแต่ร้อยละ 1, 2, 3, 4 และ 5 ต่อปริมาตรน้ำ ผลการศึกษาพบว่า คลอเรลลาที่เติบโตในน้ำทิ้งที่ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 1 ต่อปริมาตร จะมีความหนาแน่นของเซลล์สูงสุด เมื่อนำผลการศึกษาที่ได้ เปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี พบว่า การเติบโตและผลิตของคลอเรลลาที่ได้จากการเลี้ยงด้วยซีรัมน้ำยางที่ระดับร้อยละ 1 ให้ผลผลิตที่สูงกว่า

วีนา (2535) ได้ทำการศึกษาเพาะเลี้ยงคลอเรลลา ในน้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร พบว่า คลอเรลลาสามารถเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของน้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกรให้ดีขึ้นได้ และพบว่ามีการเพิ่มปริมาณของคลอเรลลา ซึ่งสามารถนำไปเป็นอาหารสำหรับสัตว์น้ำวัยอ่อนได้

สันติชัยและทวีป (2537) ที่ใช้ *Chlorella* sp. บำบัดน้ำทิ้งของโรงงานแปรรูปอาหารทะเล พบว่าการเลี้ยง *Chlorella* sp. ในน้ำทิ้งให้ปริมาณสูงสุดเท่ากับ 2.2 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 16 วัน และพบว่า *Chlorella* sp. มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งทำให้ปริมาณแอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสฟอรัส ลดลงร้อยละ 98-99 ที่ระยะเวลา 4 วัน

ฐิติมา (2540) ได้ทำการศึกษาการใช้น้ำกากส่าในการเพาะเลี้ยงคลอเรลลาระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อหาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของคลอเรลลา พบว่าการใช้น้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 มีการเจริญเติบโตของคลอเรลลาด้านจำนวนเซลล์ ไม่

แตกต่างจากสูตร NS. III และที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าสูงกว่าร้อยละ 1 คลอเรลลามีการเจริญของจำนวนเซลล์ลดลง เพราะสาเหตุจากสีของน้ำกากส่าที่เป็นสีน้ำตาลเข้ม จะขัดขวางการส่องผ่านของแสงทำให้จำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นช้าและมีจำนวนน้อย

หยกแก้วและคณะ (2525) เลี้ยง *Chlorella* sp. $K_3$, *Scenedesmus acutus* 272-3a, *Chlamydomonas* sp. 1K และ *Chlorella* sp. Chx. ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำนมถั่วเหลือง (น้ำแช่ถั่วเหลือง) พบว่า *Chlorella* sp. $K_3$ เติบโตได้ดีที่สุดในน้ำทิ้งที่มีการให้อากาศและสามารถบำบัดน้ำเสียร่วมกับแบคทีเรียได้ โดยทำให้ค่าบีโอดีลดลงร้อยละ 95 ภายในเวลา 2 วัน ได้ปริมาณเซลล์สาหร่าย $2.86x10^8$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และปริมาณเซลล์แบคทีเรีย $1.87x10^9$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ภายในเวลา 3 วัน คิดเป็นน้ำหนักแห้งของตะกอนทั้งหมด เท่ากับ 1,820 มิลลิกรัมต่อลิตร (จากสาหร่ายเริ่มต้น100 มิลลิกรัมต่อลิตร) และปริมาณโปรตีนในตะกอนเท่ากับร้อยละ 47.85

Boongorsrang *et al.* (1986) เลี้ยง *Spirulina* sp. SP-1 และสาหร่ายสีเขียว ได้แก่ *Uronema* sp. 80, *Ulothrix* sp. 81 และ *Chlorella* sp. $K_3$ เพื่อใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากบ้านเรือนที่ผ่านการบำบัดแล้ว พบว่า หลังจากการเลี้ยง 5 วัน สาหร่ายสีเขียวมีศักยภาพในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีค่าไนโตรเจนที่ถูกใช้ไป 7.27, 5.70, และ 5.57 มิลลิกรัม ต่อกรัมเซลล์ต่อวัน และค่าฟอสฟอรัสที่ถูกใช้ไป 0.78, 0.94 และ 1.08 มิลลิกรัมต่อกรัมเซลล์ต่อวันตามลำดับ สำหรับ *Spirulina* sp. SP-1 ไม่เติบโตในน้ำทิ้งเนื่องจากค่าความเป็น กรด-ด่าง ไม่เหมาะสมและขาดแหล่งคาร์บอนที่จำเป็นต่อการเติบโต

De la Noue and Basseres (1989) เลี้ยง *Chlorella* sp., *Scendesmus obliquus* และ *Phormiduim bohneri* ในน้ำมูลสุกรซึ่งผ่านการย่อยสลายขั้นต้นแล้ว พบว่า สาหร่ายสามารถเติบโตได้ดีในน้ำเสียเมื่อเจือจางด้วยน้ำประปาให้มีความเข้มข้นของน้ำมูลสุกรร้อยละ 2 โดยใช้หัวเชื้อ 80 มิลลิกรัมของน้ำหนักแห้งของสาหร่ายต่อลิตร เลี้ยงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สามารถลดค่าแอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสเฟต ได้มากกว่าร้อยละ 90 ปริมาณซีโอดีลดลงร้อยละ 60-90 โดยขึ้นกับชนิดของสาหร่าย ให้ปริมาณผลผลิตของมวลชีวภาพ 500-750 มิลลิกรัมของน้ำหนักแห้งต่อลิตร หลังการเลี้ยงเป็นเวลา 12 วัน ค่าอัตราการผลิตของ *P. Bohneri*, *Chlorella* sp. และ *S. obliguus* คิดเป็น 31, 37 และ 53 มิลลิกรัมของน้ำหนักแห้งต่อลิตรต่อวัน ตามลำดับ

Govindan and Sundaralingan (1979) เลี้ยง *Chlorella pyrenoidosa* ร่วมกับแบคทีเรียในน้ำทิ้งจากโรงงานทอผ้าในอัตราส่วนน้ำทิ้งต่อน้ำเท่ากับ 1:5 พบว่า ค่าบีโอดีลดลงร้อยละ 98 ในเวลา 8-12 วัน

Govindan (1983) เลี้ยง *Chlamydomonas* sp., *Chlorella pyrenoidosa*, *Scenedesmus quadricauda* และ *Merismopedia tennissima* ร่วมกันในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตสาคู พบว่า สามารถลดค่าบีโอดีได้ร้อยละ 93-97 และลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 93

Prince of Songkla University Pattani Campus

Nakayama (1975) เลี้ยง *Chlorella pyrenoidosa* C-28 ในยีสต์สกัดเจือจาง ซึ่งประกอบด้วย แอมโมเนียมซัลเฟตร้อยละ 0.1 และ กลูโคสร้อยละ 0.38 คิดเป็นค่าซีโอดี เริ่มต้นเท่ากับ 3,639 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน โดยเลี้ยงทั้งในสภาพระบบเปิดและระบบปิด ได้ปริมาณเซลล์เท่ากับ 254.8 และ 272.8 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และค่าซีโอดีของน้ำลดลงร้อยละ 93.7 และ 94.4 ตามลำดับ

Przytocka-Jusiak *et al.* (1984) เลี้ยง *Chlorella vulgaris*/AA ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตไนโตรเจนซึ่งผ่านการบำบัดขั้นที่สอง ซึ่งมีปริมาณแอมโมเนีย 25-250 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรท 50-500 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์ 0-30 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสเฟต 5-30 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเลี้ยงแบบต่อเนื่องในถังหมักชนิด packed bed พบว่า ค่าซีโอดีลดลงร้อยละ 94.0-99.9

Wong and Chan (1990) เลี้ยง *chlorella salina* ในน้ำทิ้งจากบ้านเรือนซึ่งผ่านการบำบัดขั้นที่สองแล้ว โดยมีค่าความเค็ม 14 พีพีที ในระบบบ่อเปิดพบว่า สาหร่ายสามารถใช้ประโยชน์จากแอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสเฟต ได้สูงคิดเป็นร้อยละ 89-100, 35-66 และตามลำดับ ได้ปริมาณเซลล์ในอัตรา 5.1 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 46.8

Inthorn *et al.* (2001) ได้ศึกษาการใช้สาหร่ายในการบำบัดสีและ COD ในน้ำทิ้งกากน้ำตาล พบว่า 22 สายพันธุ์ ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและ 12 สายพันธุ์ของสาหร่ายสีเขียวมีความสามารถในการบำบัดสีและบำบัด COD ในน้ำทิ้งกากน้ำตาล พบว่า *Chlorella saccharophila* และ *Chlorella vulgaris* มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีและ COD ได้มากที่สุดร้อยละ 16.60-18.10 และร้อยละ 12.70-13.40 ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยให้ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และไว้ในที่มืดอีก 12 ชั่วโมง ให้เซลล์ในสารละลายกากน้ำตามมีความเข้มข้น 0.2 - 0.3 กรัมต่อลิตร พบว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการบำบัดสีและ COD ภายใต้สภาวะนี้ในเวลา 3 วันของการเพาะเลี้ยง ประสิทธิภาพในการบำบัดสีของ *Chlorella saccharophila* และ *Chlorella vulgaris* เท่ากับร้อยละ 21.2 และ 17.2 ส่วน COD เท่ากับร้อยละ 9 และ 17.3 ตามลำดับ

Sreesai and Pakpain (2007) ได้ทำการศึกษา การนำธาตุอาหารจากน้ำทิ้งอาคารบ้านเรือนในเมืองกรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย กลับมาใช้โดย *Chlorella vulgaris* พบว่าปริมาณน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน (1200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) ใจกลางกรุงเทพมหานคร ภายใต้การบำบัดขั้นที่สอง ที่ศูนย์การบำบัดน้ำทิ้งหนองแขม ที่มีความสามารถในการบำบัด 600 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน บ่อยครั้งพบว่าน้ำทิ้งจากโรงงานมีค่าความสกปรกเกินค่ามาตรฐาน โดยเฉพาะค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมด ดังนั้นการนำธาตุอาหารในน้ำทิ้งจากโรงงานกลับมาใช้ใหม่ก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม ทำได้โดยการนำสาหร่ายเพื่อให้สาหร่ายดึงธาตุอาหารจากน้ำทิ้งเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยในการเจริญเติบโตของสาหร่าย เช่น ความเข้มแสง และ เวลาในการใช้ธาตุอาหารในน้ำทิ้งจากโรงงานหนองแขมเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของ *Chlorella vulgaris* ในระบบการเพาะเลี้ยงแบบเก็บเกี่ยวครั้งเดียว โดยเริ่มจากความ

หนาแน่นของมวลสาหร่าย 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สาหร่ายมีการเจริญเติบโตอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจาก 3000, 5000 และ 8000 ลัคซ์ ซึ่งควบคุมให้อยู่ในช่วงแสงจากธรรมชาติ คือ ตั้งแต่ (2500-9000 ลัคซ์) พบว่าภายใน 4 วันที่ทำการทดลอง ได้ค่าความหนาแน่นของมวลสาหร่ายสูงสุด เท่ากับ 390 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เท่ากับ 5.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และพบว่า *Chlorella vulgaris* สามารถดึงไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ประมาณร้อยละ 62 และ 58 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปรงของไนโตรเจนไปเป็นโปรตีนในเซลล์สาหร่ายประมาณร้อยละ 24 และปริมาณไนโตรเจนที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้งหลังจากเก็บเกี่ยวสาหร่ายใน 4 วัน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง สามารถสรุปได้ว่า *Chlorella vulgaris* มีความสามารถในการเข้าร่วมบำบัดธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน เพราะใช้ระยะเวลาสั้นเพียง 4-7 วันในการที่จะให้สาหร่ายเติบโตเต็มที่ อย่างไรก็ตามก่อนการปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดออกไป ควรทำการเก็บเกี่ยวสาหร่ายก่อนที่สาหร่ายจะเน่าเปื่อยและปลดปล่อยธาตุอาหารที่สะสมอยู่ในรูปของสารอินทรีย์กลับสู่น้ำอีกครั้ง

นอกจากนี้ยังมีการนำของเหลือทิ้งอื่นๆมาใช้ประโยชน์สำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายอีก เช่น Wong et al. (1977) อ้างโดย จรูญ (2531) ได้นำน้ำทิ้งจากท่อระบายน้ำทิ้งสกัดแล้วโดยนำมาตากแห้ง แล้วปั่นผสมกับน้ำกลั่นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงตะกอน 15 นาที จึงเก็บรวบรวมเฉพาะน้ำส่วนใสมาใช้โดยนำไปนึ่งฆ่าเชื้อก่อน พบว่าน้ำทิ้งที่นำมาใช้ซึ่งมีความเข้มข้นร้อยละ 1-3 *Chlorella pyrenoidosa* มีอัตราการเจริญเติบโตและปริมาณคลอโรฟิลล์สูงกว่าที่เลี้ยงด้วยอาหาร Kuhl medium ซึ่งมีการยืนยันอีกครั้งโดย Wong (1977) อ้างโดย จรูญ (2531) ที่ใช้น้ำทิ้งจากท่อระบายน้ำนำมาย่อยสลายและสกัดมาเลี้ยง *Chlorella pyrenoidosa* และ *Chlorella saliva* ก็พบว่าอัตราการเจริญเติบโตทั้งคลอเรลลาน้ำจืดและคลอเรลลาน้ำเค็ม ที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากท่อระบายที่สกัดแล้วมีการเจริญสูงกว่าที่เลี้ยงใน Conventional medium, Kulh medium และ MAV enrichment medium เช่นกัน ส่วน Garrett และAllen (1976) อ้างโดย จรูญ (2531) ได้นำของเหลวจากการเลี้ยงสุกร (slurry) ที่รวบรวมไว้ประมาณ 5 สัปดาห์ ในถังใต้ดินซึ่งปิดมิดชิด แล้วนำมากรองปั่นให้ตกตะกอน เมื่อนำมาใช้โดยมิได้เจือจาง พบว่าสาหร่ายสีเขียวและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินไม่สามารถเจริญได้ แต่เมื่อนำมาเจือจางในอัตราส่วน 1:1 กับน้ำกลั่น พบว่าสัดส่วนการเจือจางนี้มีความเหมาะสมทำให้สาหร่าย 5 สายพันธุ์ เจริญเติบโตให้ผลผลิตสูงสุด และมีช่วง lag phase สั้นที่สุด นอกจากนี้ยังช่วยลดค่า บีโอดีและซีโอดี ลดลงถึงร้อยละ 99.90 และทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสและไนโตรเจนในของเหลวลดลงร้อยละ 96.70 และ 95.40 ตามลำดับ

Yirong and Puetpaiboon (2007) ได้ทำการศึกษา ดุลยภาพมวลไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเล พบว่า น้ำเสียจากกระบวนการผลิตอาหารทะเลมักจะมีไนโตรเจนในปริมาณสูงจากโปรตีนในอาหารทะเล ซึ่งไนโตรเจนเป็นสาเหตุสำคัญในกระบวนการยูโทรฟิเคชั่นในแหล่งน้ำที่มีไนโตรเจนปนเปื้อน บึงประดิษฐ์

(Constructed Wetland) เป็นอีกหนทางหนึ่งซึ่งช่วยในการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสีย ข้อดีของบึงประดิษฐ์ คือดูแลรักษาง่ายและเป็นระบบบำบัดที่ไม่ซับซ้อน จุดมุ่งหมายของการศึกษาครั้งนี้คือศึกษาดุลยภาพมวลไนโตรเจนในบึงประดิษฐ์ขนาดทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งระบบการทดลองประกอบไปด้วยบึงประดิษฐ์ 3 ชุดทดลอง ที่แปรผันไปตามระยะเวลากักพัก คือ 5 วัน 10 วัน และ 15 วัน โดยบึงประดิษฐ์มีขนาด 0.30x1.20x1.70 เมตร (กว้างxยาวxสูง) และใช้ต้นธูปฤาษี (Typha augustifolia) เป็นพืชในการทดลอง ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง, ของแข็งแขวนลอย, ปริมาณออกซิเจนละลาย, $BOD_5$, TKN, $NH_3$-N, $NO_3^-$-N, $NO_2^-$-N, Org-N และอุณหภูมิ หลังจากเสร็จสิ้นการทดลอง ต้นธูปฤาษีและดินได้ถูกนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด จากผลการทดลองพบว่า ประมาณร้อยละ 51.70, 48.05 และ 41.33 ตามลำดับ ของไนโตรเจนหายไปในบรรยากาศโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น ที่ระยะเวลากักพัก 5 วัน 10 วัน และ 15 วันตามลำดับ และพบว่าประมาณร้อยละ 28.30, 40.80 และ 55.57 ตามลำดับ ของไนโตรเจนสะสมอยู่ในต้นธูปฤาษี โดยกระบวนการดูดซึมไนโตรเจนโดยพืชร้อยละ 0.02, 0.10 และ 0.27 ตามลำดับ สะสมอยู่ในดินและไนโตรเจนในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีประมาณร้อยละ 19.98, 11.05 และ 2.83 ตามลำดับ ที่ระยะเวลากักพัก 5 วัน 10 วัน และ 15 วันตามลำดับ จากการทดลองพบว่ากลไกการดูดซึมไนโตรเจนโดยพืชและดีไนตริฟิเคชั่นมีบทบาทสำคัญมากที่สุดในการกำจัดไนโตรเจนโดยระบบบึงประดิษฐ์โดยใช้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเล

Prince of Songkla University Pattani Campus

**2.3 ไรแดง**

**2.3.1 ชีววิทยาไรแดง**

ไรแดงเป็นสัตว์น้ำจำพวก Crustacean ขนาดตัวเล็กมาก สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จัดอยู่ในลำดับอนุกรมวิธาน ดังนี้

Phylum Arthropoda

Class Crustacea

Subclass Branchiopoda ( Phyllopoda )

Order Cladocera ( Waterfleas )

Suborder Calyptomera

Family Daphnidae

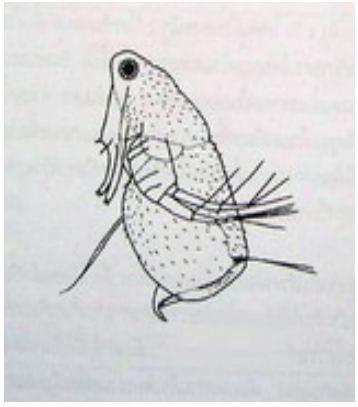
Genus Moina (Edmondson, 1966) อ้างโดย กมลศิริ, 2545)

ไรแดง (*Moina macrocopa*) มีขนาด 0.4-1.8 มิลลิเมตร ตัวมีสีแดงเรื่อๆ ถ้าอยู่รวมกันเป็นจำนวนมากจะเห็นเป็นกลุ่มสีแดงชัดเจน ลักษณะทั่วไปของไรแดง ส่วนหัวกว้าง มีตารวมขนาดใหญ่ มีแอ่งที่ซอกคอ (cervical sinus) หนวดคู่แรกมีขนาดใหญ่สั้นไม่แบ่งเป็นปล้อง ปลายหนวดมีขนเล็กๆ 5-6 เส้นตรงเกือบกึ่งกลางมีขนรับความรู้สึก (sense hair) 1 เส้น หนวดคู่ที่ 2 มีขนาดใหญ่ ตรงปลายแบ่งเป็น 2 แขนง แต่ละแขนงมี 3 ปล้องขนาดเท่าๆกัน ลำตัวมีเปลือกหรือฝาคลุมแบบ 2 ฝาประกบกัน ส่วนฝาด้านท้องมีหนามเล็กๆที่ postabdomen มีหนาม (spine) เรียงกันเป็นแถว 9 อัน หนามอันแรกที่อยู่ใกล้ฐานของ postabdominal spine มีขนาดใหญ่ ปลายแยกเป็น 2 แฉก เรียกว่า bident (กมลศิริ, 2545)

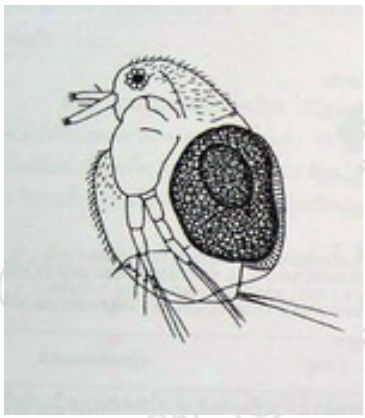
**2.3.2 ลักษณะของไรแดง**

ไรแดงสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ไรแดงเพศผู้ จะมีขนาดเล็กกว่าไรแดงเพศเมียดัง(รูปที่ 2.6) ขาคู่แรกลักษณะงอเป็นตะขอ (hook) หนวดคู่แรกมีขนาดเล็กและยาวกว่าเพศเมีย ปลายหนวดที่มีขนเล็กๆ จะมีตะขอเล็กอยู่ประมาณ 5 อัน ส่วนไรแดงเพศเมียมีขนาดใหญ่กว่าเพศผู้ ลำตัวอ้วนเกือบกลม มีขนาดเฉลี่ย 0.6 มิลลิเมตร แบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ ไรแดงเพศเมียที่สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ ดัง (รูปที่ 2.7) และไรแดงเพศเมียที่สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ดัง (รูปที่ 2.8) ไรแดงเพศเมียตัวโตเต็มวัยส่วนมากจะเห็นตัวอ่อน หรือไข่ที่กำลังเจริญเติบโตเป็นตัวอ่อนอยู่ภายใน brood chamber ประมาณ 7-10 ตัว เนื่องจากไรแดงในสภาวะปกติ จะมีการสืบพันธุ์แบบ parthenogenesis ตัวเมียสามารถสร้างไข่และไข่จะเจริญเติบโตเป็นตัวอ่อนภายใน brood chamber ของแม่ได้โดยไม่ต้องผสมพันธุ์ตัวอ่อนที่ออกมาจาก brood chamber ของแม่ใหม่ๆจะมีขนาด 0.5 มิลลิเมตร (กมลศิริ, 2545; ภาณุและคณะ, 2541)

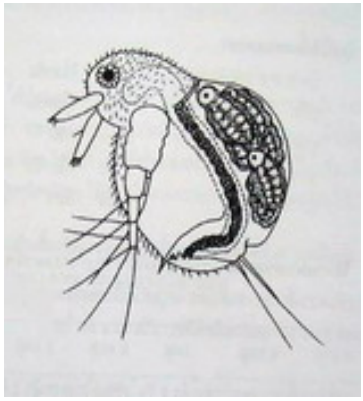
Prince of Songkla University Pattani Campus



**รูปที่ 2.6** ไรแดงเพศผู้ (ลัดดาและคณะ, 2523)



**รูปที่ 2.7** ไรแดงเพศเมียที่สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (ลัดดาและคณะ, 2523)



**รูปที่ 2.8** ไรแดงเพศเมียที่สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (ลัดดาและคณะ, 2523)

Prince of Songkla University Pattani Campus

**2.3.3 การสืบพันธุ์ของไรแดง**

ไรแดง มีการสืบพันธุ์ 2 แบบ คือ

**2.3.3.1 เป็นการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ**

ไรแดงเพศเมียจะไข่แล้วฟักเป็นตัวโดยไม่ต้องผสมกับไรแดงเพศผู้ โดยปกติไรแดงจะมีอายุระหว่าง 4-6 วัน แพร่พันธุ์ได้ 1-5 ครั้ง หรือเฉลี่ย 3 ครั้ง ๆ ละ 19-23 ตัว ทั้งนี้สภาวะแวดล้อมจะต้องเหมาะสม

**2.3.3.2 เป็นการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ**

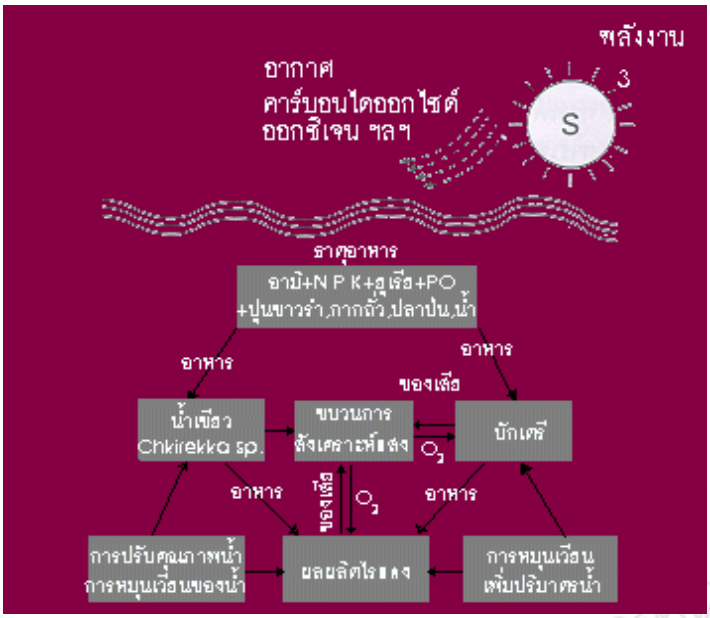
ในสภาวะแวดล้อมที่ผิดปกติ เช่น อุณหภูมิหรือต่ำเกินไป ความเป็นกรดเป็นด่างไม่เหมาะสมหรือขาดแคลนอาหาร ไรแดงจะเพิ่มปริมาณเพศผู้มากขึ้นแล้วไรแดงเพศเมียจะสร้าง ไข่ขึ้นอีกชนิดหนึ่ง คือ ephippium egg ซึ่งมีไข่อยู่ภายใน 2 ใบ สีขาวสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะต้องได้รับการผสมพันธุ์จากเพศผู้แล้วสร้างเปลือกหุ้มหนา แม่ 1 ตัว จะให้ไข่ชนิดนี้ 2 ฟอง หลังจากนั้นตัวเมียก็จะตาย เนื่องจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมนั้น ไข่จะถูกทิ้งให้อยู่ก้นบ่อหรือก้นแหล่งน้ำนั้น ไข่เปลือกแข็งนี้สามารถทนต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้นาน และจะฟักออกเป็นตัวเมื่อสภาวะแวดล้อมที่ดีขึ้นและมีอาหารที่อุดมสมบูรณ์ (ภาณุและคณะ, 2541)

**2.3.4 คุณค่าทางโภชนาการของไรแดง**

ไรแดง เป็นอาหารธรรมชาติที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ดังนั้นการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนด้วยไรแดงจึงทำให้อัตราอดและอัตราการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำวัยอ่อนสูงมาก ไรแดงน้ำหนักแห้งประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 74.09, คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 12.50, ไขมันร้อยละ 10.19 และเถ้าร้อยละ 3.47 สันทนา (2529) อ้างโดย ภาณุและคณะ (2541)

Prince of Songkla University Pattani Campus

### 2.3.5 ปัจจัยสำคัญต่างๆในการเพาะเลี้ยงไรแดง




**รูปที่ 2.9** ปัจจัยสำคัญต่างๆในการเพาะเลี้ยงไรแดง ภาณุและคณะ (2541)

การเพิ่มผลผลิตของไรแดงในบ่อนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการพลังงานจากแสงแดดเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ที่ทำให้ขบวนการต่าง ๆ ในภาพดำเนินไปด้วยดี ปุ๋ยและอาหารต่าง ๆ จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อการแพร่ขยายของน้ำเขียว อีกทั้งยังทำให้เกิดขบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งจะใช้ของเสียต่างๆ จำพวกแอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ และอื่น ๆ ที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต ทำให้คุณสมบัติของน้ำดีขึ้น การหมุนเวียนของน้ำจะเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ ซึ่งเป็นประโยชน์โดยตรงต่อไรแดง การเพิ่มปริมาณน้ำเขียวมากขึ้น และการใส่ยีสต์ก็สามารถช่วยในการเพิ่มผลผลิตของไรแดงได้อย่างมหาศาลเช่นเดียวกัน

### 2.3.6 การเพาะเลี้ยงไรแดง

วิธีการเพาะเลี้ยงไรแดง แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

#### 2.3.6.1 การเพาะเลี้ยงไรแดงในบ่อซีเมนต์

มีการพัฒนาเรื่อยมาจากการใช้ฟางต้ม มูลสัตว์ เลือดสัตว์ อาหารผสมและน้ำเขียวจากการศึกษาค้นคว้าทดลองและวิจัยของหน่วยงานที่รับผิดชอบหลาย ๆ องค์กรทำให้ปัจจุบันสามารถเพาะเลี้ยงไรแดงในบ่อซีเมนต์ได้ 2 วิธี คือ

Prince of Songkla University Pattani Campus

1. การเพาะเลี้ยงแบบเก็บเกี่ยวไม่ต่อเนื่อง คือ การเพาะไรแดงแบบการเก็บเกี่ยวเพียงครั้งเดียว การเพาะแบบนี้จำเป็นที่จะต้องมีบ่ออย่างน้อย 5 บ่อ เพื่อใช้ในการหมุนเวียนให้ได้ผลผลิตทุกวัน การเพาะแบบไม่ต่อเนื่องจะให้ปริมาณไรแดงที่แน่นอนและจำนวนมาก ไม่ต้องคำนึงในด้านศัตรูมากนัก เพราะว่าเป็นการเพาะในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ

2. การเพาะแบบเก็บเกี่ยวต่อเนื่อง คือ การเพาะไรแดงแบบเก็บเกี่ยวผลผลิตไรแดงหลายวันภายในบ่อเดียวกัน การเพาะแบบนี้ต้องมีบ่ออย่างน้อย 5 บ่อ การเพาะแบบต่อเนื่องจะต้องคำนึงถึงศัตรูของไรแดงและสภาวะแวดล้อมในบ่อเพาะไรแดง เนื่องจากการเติมพวกอินทรีย์สารต่างๆ หรือการเติมน้ำเขียวลงในบ่อควรมีการถ่ายน้ำและเพิ่มน้ำสะอาดลงในบ่อเพื่อเป็นการลดความเป็นพิษของแอมโมเนียและสารพิษอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในบ่อ การเพาะไรแดงทั้ง 2 วิธี ควรจะมีเครื่องเป่าอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนในบ่อให้เพียงพอต่อความต้องการของไรแดง อีกทั้งยังช่วยย่อยสลายอินทรีย์สารและให้น้ำในบ่อหมุนเวียน หรือจะใช้เครื่องตีน้ำช่วย

วัสดุและอุปกรณ์

1. บ่อผลิต ลักษณะของบ่อซีเมนต์ ถ้าเป็นการลงทุนใหม่บ่อซีเมนต์ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงไรแดงที่เหมาะสมควรมีลักษณะเป็นรูปไข่ แต่ถ้ามีบ่อซีเมนต์สี่เหลี่ยมอยู่แล้วก็สามารถนำมาใช้ได้เช่นกัน พื้นก้นบ่อของบ่อไรแดง ควรฉาบและขัดมันให้เรียบร้อยเพื่อความสะดวกในการหมุนเวียนของน้ำ เพราะถ้าไม่มีการหมุนเวียนของน้ำที่ดีแล้ว จะทำให้การย่อยสลายของปุ๋ยและอาหารผสมดีขึ้น อีกทั้งเป็นการป้องกันการตกตะกอนของน้ำเขียว ถ้าน้ำเขียวตกตะกอนแล้ว จะทำให้อาหารของไรแดงน้อยลง และผลผลิตของไรแดงก็จะลดน้อยลงด้วย บ่อซีเมนต์ที่ใช้ในการเพาะไรแดงควรมีทางน้ำเข้าและน้ำออกเพื่อสะดวกในการเพาะ การล้าง และการเก็บเกี่ยวไรแดง ทั้งนี้การสร้างบ่อผลิตต้องอยู่กลางแจ้ง ไม่มีหลังคา และต้นไม้บังแสงแดด ขนาดของบ่อซีเมนต์ขนาดของบ่อเพาะไรแดงจะขึ้นอยู่กับความต้องการผลผลิตของไรแดง แต่ในด้านความสูงของบ่อควรจะมีความสูงประมาณ 60 เซนติเมตร

2. เครื่องเป่าลม ในบ่อเพาะที่มีขนาดใหญ่ ตั้งแต่ 30-50 ตารางเมตรจำเป็นที่จะต้องมีเครื่องเป่าลมไว้ในบ่อเพาะ เครื่องเป่าลมจะก่อให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำในบ่อเพาะเป็นการป้องกันการตกตะกอนของน้ำเขียวแล้วยังช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนอีกทั้งยังช่วยเร่งการขยายพันธุ์การเจริญเติบโตของน้ำเขียวและไรแดงให้เร็วขึ้น และลดความเป็นพิษของน้ำที่มีต่อไรแดง

3. ผ้ากรอง การกรองน้ำลงในบ่อเพาะทุกครั้ง ไม่ว่าจะเป็นน้ำบาล น้ำคลอง น้ำประปา และน้ำเขียวที่เป็นเชื้อเริ่มต้น ควรผ่านผ้ากรองขนาด 69 ไมครอน หรือต่ำกว่าก็ได้เพื่อเป็นการป้องกันสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ และศัตรูของไรแดง

4. น้ำเขียว เป็นสาหร่ายเซลล์เดียวขนาดเล็กเรียกแพลงก์ของพืชโดยทั่วไปจะมีอยู่มากมายหลายชนิดและมีคุณค่าทางอาหารแตกต่างกันสาหร่ายเซลล์เดียวที่ใช้ในการ

Prince of Songkla University Pattani Campus

เพาะเลี้ยงไรแดง คือ *Chlorella sp.* ขนาด 2.5-3.5 ไมครอน มีโปรตีนสูงกว่าสาหร่ายเซลล์เดียวชนิดอื่น คือมีโปรตีนร้อยละ 64.15 การเพาะพันธุ์โดยการใช้ปุ๋ยอนินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ก็ได้ ระยะเวลาในการเพาะเพื่อให้น้ำเขียวเข้มจะใช้เวลาประมาณ 3 วัน

5. ไรแดง หัวเชื้อไรแดงใช้สำหรับแพร่ขยายพันธุ์ต่อไป ควรมีสภาพที่สมบูรณ์ มีขนาดใหญ่ อายุประมาณ 2 วัน ควรทำความสะอาดทุกครั้งก่อนจะนำไรแดงมาเป็นหัวเชื้อ เพื่อเป็นการป้องกันศัตรูที่เกาะติดมากับไรแดง

6. กากผงชูรส (อามิ-อามิ) อามิ-อามิ เป็นกากของการทำผงชูรส ซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุไนโตรเจนร้อยละ 4.2 และฟอสฟอรัสร้อยละ 0.2 การใช้ควรใช้ทั้งน้ำและตะกอนร่วมกัน ในกรณีอามิ-อามิเกิดการตกตะกอนมากขึ้นควรลดระดับ ปริมาณที่ใช้ลง เพื่อป้องกันการเน่าเสียของน้ำในบ่อไรแดง

7. อาหารสมทบ ได้แก่ รำ กากถั่วและปลาป่น หมัก สามารถนำมาเป็นอาหารของไรแดงได้โดยตรง และทำให้เกิดแบคทีเรียจำนวนมากซึ่งไรแดงสามารถนำมาใช้เป็นอาหารได้อีกทางหนึ่ง

8. ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ปุ๋ยนา สูตร 16-20-0, ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต สูตร 0-46-0 และปุ๋ยยูเรีย สูตร 46-0-0 ในการใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ทุกครั้งควรละลายน้ำ เพื่อป้องกันการตกค้างของปุ๋ยในบ่อเพาะไรแดง

9. ปูนขาว การใช้ปูนขาวในบ่อเพาะเลี้ยงไรแดงก็เพื่อเป็นการปรับความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ ช่วยเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ ช่วยการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของน้ำเขียวเร็วขึ้น การใช้ปูนขาวควรละลายน้ำก่อนจึงใส่ลงในบ่อเพาะเลี้ยงไรแดง ปูนขาวที่มีขายอยู่ในท้องตลาดทั่วไป โดยปกติจะมีอยู่หลายประเภท เช่น

- ปูนเผา หรือ Calcium oxide (CaO)
- ปูนเปียก หรือ Calcium hydroxide $Ca(OH)_2$
- หินปูน หรือ $CaCO_3$
- ปูนมาร์ล

ปูนต่าง ๆเหล่านี้จะมีประสิทธิภาพเรียงจากมากมาหาน้อย โดยปูนเผาจะมีประสิทธิภาพสูงสุด

ขั้นตอนการเพาะเลี้ยง

ไรแดง เป็นสัตว์น้ำจึงต้องการอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนเช่นเดียวกับสัตว์น้ำชนิด อื่น ๆ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เกลือแร่ และวิตามิน ดังนั้นเคล็ดลับการเพาะเลี้ยงไรแดงก็คือการให้อาหารที่เหมาะสมในปริมาณเพียงพอ และการควบคุมสภาวะแวดล้อมในบ่อเพาะเลี้ยงให้เหมาะสม หากอาหารในบ่อเพาะเลี้ยงมากหรือน้อยเกินไปก็จะทำให้ผลผลิตไรแดงลดต่ำลง ไรแดงสามารถทนต่อสภาวะแวดล้อมได้ดีแต่ถ้าสภาวะแวดล้อมเลวมากไรแดงทนไม่ได้ผลผลิตก็จะต่ำลง วิธีการเพาะเลี้ยงไรแดง มี 5 ขั้นตอน ซึ่งแต่ละขั้นตอนในการปฏิบัติจะมีผลต่อปริมาณและระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวผลผลิตให้ยาวนานขึ้น ดังต่อไปนี้

Prince of Songkla University Pattani Campus

1. การเตรียมบ่อผลิต กรณีบ่อใหม่จะต้องล้างบ่อให้อยู่ในสภาพเป็นกลางหรือด่างอ่อน ๆ (7-8) โดยแช่น้ำทิ้งไว้ประมาณ 1-3 สัปดาห์ แล้วระบายน้ำทิ้ง ถ้าต้องการลดระยะเวลาให้หมักฟางหญ้า หรือเศษพืชผักไว้ในบ่อเพราะจะเกิดกรดอินทรีย์ เช่น กรดฮิวมิค ซึ่งจะช่วยแก้ความเป็นด่างได้เล็กน้อย หรือใช้กรดน้ำส้มเทียมผสมน้ำในบ่อให้เต็ม แช่ทิ้งไว้ประมาณ 3-5 วัน แล้วระบายน้ำทิ้ง และเปิดน้ำใหม่แช่ทิ้งไว้อีก 24 ชั่วโมง ส่วนบ่อเก่าต้องล้างบ่อแล้วตากบ่อให้แห้งเพื่อกำจัดศัตรูไรแดง

2. การเตรียมน้ำ การระบายน้ำเข้าบ่อโดยผ่านการกรองด้วยผ้าแพลงก์ตอนจะช่วยป้องกันศัตรูไรแดงและคัดขนาดของแพลงก์ตอนพืชที่ติดมากับน้ำและเป็นอาหารไรแดงต่อไป ระดับน้ำที่ใช้ประมาณ 20-30 เซนติเมตร

เทคนิคเสริมบางประการในการเตรียมน้ำ

- น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง จะให้ผลผลิตสูงกว่าน้ำประปา น้ำบาดาลและน้ำฝน ทั้งนี้เพราะมีแพลงก์ตอนพืชปนมากับน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ แต่ก็ควรกรองน้ำด้วยถุงกรองแพลงก์ตอนทุกครั้ง เพื่อป้องกันศัตรูของไรแดงที่อาจจะติดมากับแหล่งน้ำธรรมชาติ

- ควรปรับคุณภาพของน้ำให้มีความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 8 โดยใช้ปูนขาวละลายน้ำจะได้น้ำปูนใส ส่วนกากปูนให้ทิ้งไป เพราะเป็นพิษกับไรแดง

3. การเตรียมอาหาร อาหารที่ใช้ผลิตไรแดงจะต้องมีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนทั้งโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิ และเกลือแร่ ชนิดของอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

- อาหารผสม ได้แก่ รำละเอียด ปลาป่น และกากถั่วเหลือง โดยเฉพาะกากถั่วเหลืองจะมีกรดไขมันที่เร่งการลอกคราบของไรแดงทำให้ผลผลิตไรแดงสูงขึ้น

- จุลินทรีย์ เป็นอาหารที่ได้จากการหมักอาหารกับน้ำ ได้แก่ ยีสต์และแบคทีเรีย สำหรับยีสต์จะมีวิตามินอี ซึ่งช่วยในการทำงานของระบบสืบพันธุ์

- น้ำเขียว เป็นอาหารอีกชนิดหนึ่งในที่นี้หมายถึงแพลงก์ตอนพืชหลาย ๆ ชนิดที่ไรแดงกินได้ เช่น คลอเรลลา ซีเนเดสมัน ฯลฯ ซึ่งทำให้ไรแดงสมบูรณ์จึงมีผลผลิตที่เพิ่มขึ้น

วิธีหมักอาหารกับน้ำ ใช้อาหาร 1 ส่วน : น้ำ 2 ส่วน : ปูนขาว 1 ส่วน จะเกิดจุลินทรีย์พวกบักเตรีซึ่งจะเป็นอาหารเสริมของไรแดง การหมักอาหารใช้เวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ส่วนอัตราอาหารผสมที่ใช้ คือ รำละเอียด 2 ส่วน ปลาป่น 1 ส่วน และกากถั่วเหลือง 1 ส่วน ในปริมาณ 40 กรัมต่อตารางเมตร เช่น บ่อผลิตขนาด 50 ตารางเมตร ใช้รำละเอียด 1 กิโลกรัม ปลาป่น 0.5 กิโลกรัม และกากถั่วเหลือง 0.5 กิโลกรัม

Prince of Songkla University Pattani Campus

เทคนิคเสริมบางประการในการเตรียมอาหาร

- ถังน้ำมีสีเขียว แสดงว่าเกิดแพลงก์ตอนพืชแล้ว จึงเติมอาหารผสมลงบ่อ แพลงก์ตอนพืชจะแพร่พันธุ์เป็นอาหารของไรแดงต่อไป

- อาหารต้องผ่านการหมักอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ระยะเวลาที่หมักอาหารประมาณ 50-60 ชั่วโมง

- อาหารที่หมักแล้วหากใช้ถุงผ้าโอลอนแก้วกรองส่วนที่เป็นกากออก จะทำให้น้ำเสียช้าลงและช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวไรแดงยาวนานขึ้น

4. การเตรียมพันธุ์ไรแดง การเพาะเลี้ยงไรแดงให้ได้ปริมาณมาก จำเป็นต้องใช้แม่พันธุ์ที่มีชีวิตสมบูรณ์และแข็งแรง มีวิธีการดำเนินการง่าย ๆ ดังนี้

- การคัดพันธุ์ไรแดง ควรแยกไรแดงออกจากแพลงก์ตอนสัตว์ชนิดอื่น โดยใช้กระชอนอวนมุ้งสีฟ้าขนาดตาเล็กที่สุด ซึ่งสามารถแยกไรแดงจากโคพีพอด และลูกน้ำได้ แต่ถ้าได้พันธุ์ไรแดงที่ไม่มีแพลงก์ตอนสัตว์ชนิดอื่นปะปนมาจะดีที่สุด

- การสังเกตเพศไรแดง ไรแดงมี 2 เพศ คือ ไรแดงเพศเมียและไรแดงเพศผู้ ในสภาวะเหมาะสมไรแดงจะสร้างเพศผู้เพียงร้อยละ 5 ของประชากรไรแดง แต่ในสภาวะไม่เหมาะสมไรแดงจะสร้างเพศผู้มากขึ้นสำหรับการเลือกแม่พันธุ์หรือหัวเชื้อ โดยสังเกตไรแดงที่มีรูปร่างอ้วนกลมซึ่งมีวิธีการตรวจสอบ คือใช้แก้วใส่น้ำใส ๆ แล้วช้อนไรแดงพอประมาณยกขึ้นส่องดู ถ้าพบไรแดงเพศผู้ซึ่งมีลำตัวผอมยาวรี แสดงว่ามีไรแดงเพศผู้มากกว่าร้อยละ 5 ซึ่งไม่ควรนำไปขยายพันธุ์

- การเติมแม่พันธุ์ไรแดง ไรแดง 1 กิโลกรัมผสมน้ำร้อยละ 20 จะได้ไรแดง 1 ลิตร ปริมาณที่ใช้เฉลี่ย 30-40 กรัมต่อตารางเมตร บ่อขนาด 50 ตารางเมตร ใช้แม่พันธุ์ไรแดง 2 กิโลกรัม จะได้ผลผลิตประมาณครั้งละ 12 กิโลกรัม ซึ่งเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ประมาณวันละ 5 กิโลกรัม

5. การควบคุมบ่อผลิต การคงสภาพบ่อผลิตให้สามารถเก็บผลผลิตได้มากกว่า 7 วัน มีวิธีการดังนี้

- การเก็บเกี่ยวผลผลิตให้เก็บเกี่ยวเพียงวันละครึ่งหนึ่งของผลผลิตทั้งหมด คือ ครั้งแรก วันที่ 3 หรือ 5 หลังจากเติมแม่พันธุ์ไรแดง

- การเติมอาหาร ให้เติมอาหารหมักแล้วร้อยละ 10-25 ของครั้งแรกทุกวัน โดยสังเกตปริมาณผลผลิตไรแดงในบ่อ

- การถ่ายน้ำ หมายถึง การระบายน้ำออกและเติมน้ำเข้าทุก 2-3 วัน ระดับ 5-15 เซนติเมตร โดยสังเกตปริมาณผลผลิตไรแดงในบ่อ

Prince of Songkla University Pattani Campus

6. การดำเนินการเพาะเลี้ยงไรแดง

วิธีเพาะเลี้ยงไรแดงแบบเก็บเกี่ยวไม่ต่อเนื่อง

1. ในบ่อซีเมนต์ขนาด 50 ตารางเมตร ซึ่งทำความสะอาดและตากบ่อทิ้งไว้แล้ว 1 วัน

2. เปิดน้ำและกรองลงบ่อให้ได้ระดับความสูง 20 เซนติเมตร ปริมาณน้ำ 10 ลูกบาศก์เมตร พร้อมทั้งละลายปุ๋ยและอาหารลงในบ่อโดยใช้สูตรใดสูตรหนึ่ง ดังนี้

สูตรที่ 1 อามิ-อามิ 8 ลิตร ปุ๋ยนา (16-20-0) 1.2 กิโลกรัม ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 1.2 กิโลกรัม ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) 100 กรัม ปูนขาว 1 กิโลกรัม กากถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม

สูตรที่ 2 รำละเอียด 1 กิโลกรัม ปลาป่น 0.5 กิโลกรัม กากถั่วเหลือง 0.5 กิโลกรัมปุ๋ยนา (16-20-0) 1.2 กิโลกรัม ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 1.2 กิโลกรัม ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) 100 กรัม ปูนขาว 1 กิโลกรัม (อาหารที่ใช้ควรหมักไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง อัตราส่วนที่ใช้หมักได้แก่ อาหาร 1 ส่วน: น้ำ 2 ส่วน: ปูนขาว 1 ส่วน)

สูตรที่ 3 อามิ-อามิ 6 ลิตร กากถั่วเหลืองหมัก หรือรำละเอียดหมักหรือปลาป่นอย่างใดอย่างหนึ่ง 0.5 กิโลกรัม ปุ๋ยนา (16-20-0) 1.2 กิโลกรัม ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 1.2 กิโลกรัม ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) 100 กรัม ปูนขาว 1 กิโลกรัม

สูตรปุ๋ยและอาหารที่ใช้เพาะไรแดงทั้ง 3 สูตร ให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อบ่อประมาณ 13-15 กิโลกรัม

3. ทำการเติมน้ำเขียวลงในบ่อประมาณ 1 ตัน (1,000) ลิตร ทิ้งไว้ประมาณ 3 วัน ในระหว่างนี้ควรเดินคนบ่อย ๆ เพื่อป้องกันการตกตะกอน

4. หลังจากน้ำเขียวเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว ทำการแบ่งเชื้อน้ำเขียวไปลงบ่อเพาะใหม่จำนวน 1 ตัน หลังจากนั้นจึงนำพันธุ์ไรแดงที่มีความสมบูรณ์ใส่ลงไปจำนวน 2 กิโลกรัม และให้อากาศออกซิเจนในน้ำ ทิ้งไว้ประมาณ 2 วัน ไรแดงจะขยายพันธุ์ขึ้นและสามารถเก็บเกี่ยวไรแดงได้ประมาณ 13-15 กิโลกรัม ใช้เวลาการเพาะเลี้ยงไรแดงประมาณ 5 วัน จะต้องมีบ่อซีเมนต์จำนวน 5 บ่อ จึงจะทำการเพาะไรแดงแบบไม่ต่อเนื่องได้ครบวงจร

วิธีเพาะเลี้ยงไรแดงแบบเก็บเกี่ยวต่อเนื่อง

1. เมื่อดำเนินขั้นตอนตามวิธีการเพาะในแบบที่ 1 ถึงข้อ 4 ในการเก็บเกี่ยวไรแดงมาใช้เพียงพอ ของไรแดงที่เกิดขึ้นในบ่อประมาณ 5-6 กิโลกรัม

2. ลดระดับน้ำลงให้เหลือประมาณ 10 เซนติเมตร แล้วทำการเติมน้ำสะอาดและน้ำเขียวผสมอาหารและปุ๋ยอย่างละ 5 เซนติเมตร ทำเช่นนี้ทุกวันจนกว่าสภาวะแวดล้อมในบ่อไรแดงไม่เหมาะสมหรือผลผลิตต่อไรแดงลดลง จึงทำการล้างบ่อแล้วเริ่มทำการเพาะใหม่

Prince of Songkla University Pattani Campus

3. ผลผลิตไรแดงแบบการเพาะต่อเนื่อง จะสามารถเก็บเกี่ยวไรแดงได้ประมาณ 25 กิโลกรัม ระยะเวลาในการเพาะจนถึงเก็บเกี่ยวครั้งสุดท้ายรวม 12 วัน หลังจากนี้ควรล้างบ่อทำความสะอาดและเริ่มเพาะเลี้ยงใหม่

ปัญหาและวิธีแก้ไข

ปัญหาของบ่อผลิตไรแดง คือ ผลผลิตลดลง ซึ่งมีวิธีแก้ไข ดังนี้

1. เมื่อน้ำในบ่อผลิตมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 6

- ใช้ปูนขาวละลายน้ำสาดทั่วบ่อ
- ใช้ปุ๋ยไนไตรเจนประเภทไนเตรท เช่น โซเดียมไนเตรท (16-0-0)
- ใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับหินฟอสเฟต
- ถ่ายน้ำออกครึ่งหนึ่งแล้วเติมน้ำใหม่

2. เมื่อน้ำในบ่อผลิตมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่า 10

- ใช้สารส้มละลายน้ำราดทั่วบ่อ (วิธีนี้ทำให้ระยะเวลาเก็บเกี่ยวสั้นลงและน้ำเขียวอาจตกตะกอนได้)
- ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนประเภทแอมโมเนีย เช่น แอมโมเนียซัลเฟต
- ใช้ปุ๋ยคอก คือ มูลไก่ (วิธีนี้ทำให้ผลผลิตต่ำ และน้ำเสียเร็วขึ้น)
- ถ่ายน้ำออกครึ่งหนึ่งแล้วเติมน้ำใหม่

3. เมื่อปริมาณออกซิเจนต่ำ สังเกตจากไรแดงลอยตัวในตอนเช้าแต่ผลผลิตไรแดงต่ำลงในวันต่อมา หรือน้ำขุ่นเข้ม

- ถ่ายน้ำก้นบ่อออกครึ่งหนึ่งแล้วเติมน้ำใหม่
- เติมน้ำโดยยกปลายท่อให้สูงขึ้น
- กวนน้ำหรือตีน้ำกระจายสัมผัสกับอากาศ
- ใช้เครื่องปั๊มอากาศช่วยเพิ่มออกซิเจน

4. เมื่อมีศัตรูไรแดงในบ่อผลิต

- แมลง ใช้สวิงตาห่างสีฟ้าช้อนขึ้น
- ลูกปลา ลูกอ๊อด ลูกเขียด ใช้กากชา ความเข้มข้น 30 พีพีที หรือ 30 กรัมต่อปริมาณน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร

5. เมื่อน้ำในบ่อผลิตมีความเข้มข้นสูง สีเขียวข้น เนื่องจากมีอาหารมากเกินไป

- ถ่ายน้ำก้นบ่อออกครึ่งหนึ่ง แล้วเติมน้ำสะอาดลงไป
- ลดปริมาณอาหารที่ให้

6. เมื่อน้ำในบ่อผลิตใสจนเห็นก้นบ่อ เนื่องจากอาหารน้อยเกินไป

Prince of Songkla University Pattani Campus

- เติมอาหรผสมร้อยละ 20-40 ทันทีแล้วหมักอาหารผสมอีกร้อยละ 10-25 เติมในวันรุ่งขึ้นและวันต่อ ๆ ไป

- เติมน้ำเขียวประมาณ 5-10 เซนติเมตร

เทคนิคที่ควรทราบ

1. การเตรียมน้ำลงในบ่อเพาะไรแดง ควรกรองน้ำด้วยผ้ากรองทุกครั้ง เพื่อป้องกันสิ่งที่มีชีวิตเล็ก ๆ หรือศัตรูไรแดงในแหล่งน้ำที่อาจจะเข้ามาพร้อมกับน้ำที่ใช้

2. น้ำเขียวที่จะนำลงบ่อเพาะไรแดง ควรกรองด้วยถุงกรองแพลงก์ตอน เพื่อป้องกันสิ่งที่มีชีวิตเล็ก ๆ ติดมากับน้ำเขียว

3. แพลงก์ตอนสัตว์และพืชที่อยู่ในน้ำจืดชอบน้ำที่มีความเป็นด่างเล็กน้อย คือประมาณ 7.5-8.5 ดังนั้นน้ำที่นำมาเลี้ยงเป็นกรดหรือเป็นกลางควรปรับให้เป็นด่าง

4. การเพาะไรแดงโดยการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์หรืออาหารเม็ดเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้ผลผลิตไรแดงสูง อีกทั้งการเติมสารอาหารพวกอินทรีย์สารจะทำให้เกิดการเน่า น้ำเสียได้ง่ายและผลผลิตไรแดงจะไม่แน่นอน การเตรียมอาหารที่เหมาะสมและมีการเพาะน้ำเขียว นอกจากจะเป็นอาหารไรแดงแล้วยังช่วยรักษาระบบนิเวศวิทยาในการอยู่ร่วมกันของไรแดงทำให้เกิดผลผลิตไรแดงสูงได้

5. การเพาะไรแดง ปัจจัยที่คำนึงถึงปัจจัยแรกคืออาหาร (น้ำเขียว) ซึ่งนับว่าเป็นอาหารที่เหมาะสมต่อการใช้เลี้ยงไรแดง คงสภาพอยู่ได้นานไม่เน่าเสีย เจริญเติบโตได้รวดเร็วด้วยปุ๋ยชนิดต่างๆ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์จะทำให้น้ำเขียวมีการเจริญเติบโตได้ดีและคงสภาพอยู่ได้นาน

6. การเพิ่มระดับน้ำอาหารผสมและปุ๋ยก็จะเป็นปัจจัยหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตของไรแดง เนื่องจากการเพิ่มน้ำและปุ๋ยจะเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำเขียวให้มากขึ้น ก็จะทำให้ไรแดงมีผลผลิตสูงขึ้น แต่การเพิ่มระดับน้ำสูงขึ้นจะทำให้เกิดการสังเคราะห์แสงของน้ำเขียวไม่ดีพอ และไรแดงขาดออกซิเจน จึงควรวางระบบท่อลมให้เพียงพอหรืออาจจะใช้เครื่องปั่นน้ำก็ได้

7. การใช้ออกซิเจน โดยทั่วไปสิ่งที่มีชีวิตจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในขบวนการสร้างพลังงาน ฉะนั้นในการเพิ่มออกซิเจนโดยใช้ปั๊มลมลงในบ่อเพาะเลี้ยงไรแดง นอกจากจะช่วยให้ไรแดงมีการขยายพันธุ์ได้รวดเร็วขึ้นแล้ว ยังทำให้บักเตรีที่อยู่ในบ่อทำการย่อยอินทรีย์สารได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยให้น้ำเขียวมีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยป้องกันการตกตะกอนของน้ำเขียวได้ ดังนั้นในการเพิ่มออกซิเจนในบ่อเพาะเลี้ยงไรแดงก็จะมีส่วนให้ไรแดงมีผลผลิตสูงขึ้น

8. การหมุนเวียนน้ำ การหมุนเวียนน้ำก็เป็นปัจจัยอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเพาะน้ำเขียวและไรแดงโดยตรง โดยจะช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจน และยังช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจน และยังช่วยไม่ให้น้ำเขียวตกตะกอนเกิดการสูญเสียเปล่า นอกจากนี้ยังช่วยให้ปุ๋ยที่

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตกตะกอนทับถมกันอยู่กระจายฟุ้งขึ้นมา เพื่อเป็นประโยชน์โดยตรงต่อน้ำเขียวซึ่งจะมีผลทำให้ผลผลิตของไรแดงสูงขึ้น

9. แสงแดด แสงแดดนับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด และควบคุมได้ยากมากที่สุด แสงแดดจะมีผลต่อปริมาณความหนาแน่นของน้ำเขียว และระยะเวลาที่ใช้ในการเพาะไรแดงโดยตรง ในการเพาะไรแดงถ้าทำการเพาะในช่วงที่มีแดดจัดจะทำให้ผลผลิตของไรแดงสูงขึ้น และใช้ระยะเวลาสั้นกว่าการเพาะในช่วงทีมีแดดไม่จัดหรือ ไม่มีแสงแดด

10. อุณหภูมิ อุณหภูมิจะเป็นปัจจัยธรรมชาติอีกปัจจัยหนึ่ง ซึ่งสามารถควบคุมได้ยาก จะมีผลต่อผลิตของไรแดงโดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิต่ำก็จะทำให้ผลผลิตของไรแดงต่ำ และเมื่ออุณหภูมิสูงถึงจุดที่เหมาะสมก็จะทำให้ผลผลิตของไรแดงสูงขึ้น ระยะเวลาในการเพาะไรแดงก็จะเร็วขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้การเพาะไรแดงใช้เวลาน้อยลงแต่ได้ผลผลิตสูงขึ้น

11. ศัตรูของไรแดงก็นับว่า เป็นปัจจัยหนึ่งที่จะเป็นตัวกำหนดปริมาณของไรแดงในบ่อโรติเฟอร์นับว่าเป็นศัตรูชนิดหนึ่งของไรแดงเพราะว่าโรติเฟอร์เป็นตัวแย่งกินอาหารของไรแดงและจะเข้าเกาะตามตัวของไรแดง จึงควรระมัดระวังทุกขั้นตอนในการป้องกันโรติเฟอร์

**2.3.6.2 การเพาะเลี้ยงไรแดงในบ่อดิน**

บ่อดินที่จะใช้เพาะเลี้ยงไรแดง ควรมีขนาดประมาณ 200-800 ตารางเมตร โดยวิธีดำเนินการดังนี้

1. กำจัดสิ่งรกภายในบริเวณบ่อและศัตรูต่างๆ ของไรแดง ประมาณ 2 วัน

2. กรองน้ำลงบ่อให้มีระดับน้ำสูงจากพื้นบ่อประมาณ 25-40 เซนติเมตร พร้อมกับเติมปุ๋ยและอาหารลงไป

3. สูตรอาหารที่ใช้มี ดัง ตารางที่ 2.7

**ตารางที่ 2.7** สูตรอาหารที่ใช้

| **วัสดุบ่อ** | **200 ตารางเมตรบ่อ** | **800 ตารางเมตร** |
|---|---|---|
| ปูนขาว | 15 กิโลกรัม | 60 กิโลกรัม |
| อาม-อามิ | 25 ลิตร | 100 ลิตร |
| ปุ๋ย สูตร 16-20-0 | 2.5 กิโลกรัม | 10 กิโลกรัม |
| ยูเรีย | 1.2 กิโลกรัม | 5 กิโลกรัม |
| กากถั่วเหลือง | 2.5 กิโลกรัม | 10 กิโลกรัม |

Prince of Songkla University Pattani Campus

ถ้าไม่มีอามิ-อามิ ให้ใช้มูลไก่ประมาณ 80 กิโลกรัมต่อ 800 ตารางเมตร แล้วใส่น้ำเลี้ยงคลอเรลลาประมาณ 2 ตัน ถ้าไม่มีน้ำเขียวก็หมักทิ้งไว้ประมาณ 3 วัน

4. เมื่อน้ำในบ่อมีสีเขียวแล้วให้เติมเชื้อไรแดง ประมาณ 2 กิโลกรัม

5. เริ่มเก็บเกี่ยวไรแดงได้ในวันที่ 4-7 จึงควรเก็บเกี่ยวไรแดงให้ได้มากที่สุด (ควรเก็บเกี่ยวในช่วงเช้าก่อนพระอาทิตย์จะขึ้นจะเก็บเกี่ยวได้สะดวกและได้ปริมาณมาก) หลังจากนั้นไรแดงจะเริ่มลดน้อยลง จึงควรเติมอาหารลงไป อาหารที่ควรเติมในระยะนี้ควรจะเป็นพวกย่อยสลายเร็ว เช่น น้ำถั่วเหลือง น้ำเขียว รำ เลือดสัตว์ ปุ๋ยวิทยาศาสตร์และปุ๋ยคอก เป็นต้น โดยเติมอาหารลดลงไปจากเดิมครึ่งหนึ่ง ไรแดงจะเพิ่มจำนวนมากขึ้นใน 2-3 วัน และจะกลับลดลงไปอีกก็ให้เติมอาหารลงไปเท่ากับครั้งที่ 2 ในกรณีนี้การเกิดไรแดงจะลดจำนวนลงมากถึงจะเติมอาหารลงไปอีก ไรแดงก็จะไม่เพิ่มปริมาณมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใส่อาหารกับผลผลิตที่ได้และเวลาที่เสียไปเห็นว่าไม่คุ้มกับการลงปุ๋ยแล้วจึงควรเริ่มการเพาะเลี้ยงไรแดงใหม่ ซึ่งปกติแล้วเมื่อไรแดงไม่ได้ 15 วัน ก็จะเริ่มต้นใหม่

**2.3.7 ราคาจำหน่าย**

ไรแดงสดที่มีชีวิตจะมีราคาสูงกิโลกรัมละ 50-80 บาท ขึ้นกับฤดูกาลและไรแดงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีปริมาณน้อยลง เนื่องจากแหล่งเกิดไรแดงตามธรรมชาติลดลง แต่ความต้องการไรแดงเพิ่มขึ้น คาดว่าการผลิตไรแดงเพื่อจำหน่ายจะเป็นอาชีพที่ทำรายได้ให้เกษตรกรอย่างมาก

Prince of Songkla University Pattani Campus

**2.3.8 ต้นทุนการผลิตไรแดง**

ต้นทุนการผลิตไรแดงแบบไม่ต่อเนื่อง ในบ่อซีเมนต์ 50 ตารางเมตร

**2.3.8.1 ต้นทุนค่าปุ๋ย**

**ตารางที่ 2.8** ต้นทุนค่าปุ๋ยเคมี

| **วัสดุบ่อ** | **ราคาต่อหน่วย** | **เป็นเงิน** | **หน่วย** |
|---|---|---|---|
| 1. กากผงชุรส ใช้บ่อละ 8 ลิตร ๆ ละ | 35 | 2.80 | สตางค์ |
| 2. ปุ๋ยนา (16-20-0) ใช้บ่อละ 1.2 กิโลกรัม ๆ ละ | 5 | 6 | บาท |
| 3. ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ใช้บ่อละ 1.2 กิโลกรัม ๆ ละ | 4 | 4.80 | บาท |
| 4. ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) ใช้บ่อละ 0.100 กิโลกรัม ๆ ละ | 8 | 0.80 | บาท |
| 5. ปูนขาว ใช้บ่อละ 1 กิโลกรัม ๆ ละ | 1 | 1 | บาท |
| 6. กากถั่วเหลือง ใช้บ่อละ 1 กิโลกรัม ๆ ละ | 12 | 12 | บาท |
| **รวมเป็นเงิน** | | **27.40** | **บาท** |

**2.3.8.2 ต้นทุนค่าไฟฟ้า**

1. เครื่องปั๊มลมใช้มอเตอร์ 10 กิโลวัตต์ บ่อละ 6 บาทต่อวัน ระยะเวลา 2 วัน คิดเป็นเงิน 12 บาท

2. เครื่องสูบน้ำขนาด 2 นิ้ว ใช้ 1 ชั่วโมง คิดเป็นเงิน 2 บาท

**2.3.8.3 ต้นทุนค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์**

1. ค่าเสื่อมราคาบ่อซีเมนต์ 50 ตารางเมตร คิดร้อยละ10 ต่อปี ราคาก่อสร้างบ่อละ 30,000 บาท ระยะเวลาที่ใช้ 10 วัน คิดเป็นเงิน 82.19 บาท

2. ค่าเสื่อมราคาของเครื่องปั๊มลมคิดร้อยละ10 ต่อปี ราคาเครื่องละ 21,000 บาท ระยะเวลาที่ใช้ 2 วัน คิดเป็นเงิน 11.50 บาท

3. ค่าเสื่อมราคาเครื่องสูบน้ำขนาด 2 นิ้ว คิดร้อยละ10 ต่อปี ราคาเครื่องละ 7,000 บาท ระยะเวลาที่ใช้ 1 วัน คิดเป็นเงิน 1.92 บาท

4. ค่าเสื่อมราคาของปั๊มลม คิดร้อยละ10 ต่อปี ราคาเครื่องละ 28,000 บาท ระยะเวลาที่ใช้ 10 วัน คิดเป็นเงิน 76.71 บาท

Prince of Songkla University Pattani Campus

**2.3.8.4 ต้นทุนค่าแรง**

1. ค่าจ้างคนงานประจำ 3,000 บาท ต่อคนต่อเดือน ระยะเวลาทำงานเฉลี่ย 10 ชั่วโมง ๆ ละ 17 บาท คิดเป็นเงิน 170 บาท

**2.3.8.5 ต้นทุนการผลิตไรแดงต่อกิโลกรัม**

ค่าปุ๋ย+ค่าไฟฟ้า+ค่าเสื่อมราคา+ค่าแรงงาน

**2.3.8.6 ผลผลิตเฉลี่ย**

$$= \frac{320.12}{13} = 24.62$$

การนำไรแดงมาใช้ การนำไรแดงมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ไรแดงที่ได้จากบ่อผลิตในลักษณะนี้จะมีเชื้อโรคที่ทำอันตรายกับสัตว์น้ำน้อยกว่าไรแดงที่ไดจากแหล่งน้ำธรรมชาติ แต่เพื่อความมั่นใจจึงควรล้างด้วยสารละลายด่างทับทิม 0.1 กรัม ต่อน้ำ 20 ลิตร ซึ่งจะได้สารละลายสีชมพูอ่อน สารละลายนี้จะเพิ่มออกซิเจนให้กับไรแดงและน้ำด้วยเพราะด่างทับทิมเมื่อละลายน้ำจะให้ออกซิเจนในน้ำ สำหรับปริมาณไรแดงที่ใช้ในการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนให้ใช้ในปริมาณ 500-800 กรัมต่อลูกปลาจำนวน 100,000 ตัวต่อวัน โดยแบ่งอาหารให้ 4-5 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 4-6 ชั่วโมง ระวังอย่าให้มีลูกไรเหลือลอยอยู่ตลอดเวลา เพราะลูกไรส่วนมากจะตายหมักหมมอยู่บริเวณพื้นบ่อการอนุบาลลูกปลาดุกอุยตั้งแต่ไข่แดงยุบในระยะเวลา 2 สัปดาห์ จะได้ลูกปลาดุกอุยขนาดเฉลี่ย 2 เซนติเมตร ในการอนุบาลลูกปลาดุกอุย หรือ ปลาดุกเทศ อาจใช้อาหารสำเร็จรูปช่วยได้โดยเริ่มฝึกให้ลูกปลากินอาหารสำเร็จรูป เมื่อลูกปลามีอายุได้ 8-10 วัน โดยให้พร้อมกับไรแดง แล้วค่อย ๆ ลดปริมาณไรแดงลงและเพิ่มปริมาณอาหารสำเร็จรูป จนกระทั่งลูกปลาสามารถกินอาหารสำเร็จรูปได้ทั้งหมด

**2.3.9 การลำเลียงขนส่งไรแดง**

การขนส่งไรแดงนั้นควรลดกิจกรรมการดำเนินชีวิตของไรแดงโดยบรรจุไรแดงในอุณหภูมิต่ำเพื่อให้เกิดการใช้พลังงานต่าง ๆ ในตัวให้น้อยที่สุด ในระหว่างการลำเลียงนั้นควรให้อุณหภูมิภายในถุงเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้า ๆ ไม่รวดเร็วและช่วงกว้างของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่มากนักจนเป็นอันตรายต่อไรแดง การขนส่งไรแดงที่ยังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบันควรทำดังนี้

1. การขนส่งไรแดงโดยวิธีนำไรแดงแช่ในน้ำแข็งประมาณ 1-2 วินาทีเพื่อลดกิจกรรมและระบบการเผาผลาญพลังงานในตัวเอง แล้วรีบบรรจุในน้ำสะอาด และมีน้ำแข็งคลุมรอบนอกถุง เป็นวิธีที่ดีที่สุด

Prince of Songkla University Pattani Campus

2. การขนส่งไรแดงในระยะทางใกล้ ๆ ซึ่งใช้ระยะเวลา 2-3 ชั่วโมง นั้น ไม่จำเป็นต้องใช้ไรแดงแช่ในน้ำแข็ง แต่ควรนำไรแดงมาบรรจุในน้ำสะอาดแล้วอัดออกซิเจน คลุมน้ำแข็งรอบ ๆ แล้วขนส่งไรแดงในรถที่มีเครื่องปรับอากาศก็ยิ่งเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งมากยิ่งขึ้น ในกรณีที่ไม่สามารถหาน้ำแข็งได้ก็สามารถขนส่งในรถที่มีเครื่องปรับอากาศได้

3. การลำเลียงไรแดงในลักษณะแช่แข็งก็เป็นอีกวิธีหนึ่ง เช่นเดียวกันโดยนำไรแดงไปแช่แข็งในตู้เย็นและให้ไรแดงแข็งโดยเร็ว เพื่อความสดวิธีนี้สามารถเก็บไว้ได้นานและยังสดอยู่เสมอ แต่ไรแดงที่ได้เป็นไรแดงที่ตายแล้ว สัตว์น้ำวัยอ่อนจะชอบกินไรแดงสดมากกว่าไรแดงที่แช่แข็ง การให้อาหารลูกปลาลูกกุ้งวัยอ่อนจึงควรให้ครั้งละน้อย ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเสียได้ง่าย

**2.3.10 การเก็บรักษาไรแดง**

1. ใช้วิธีการเก็บโดยการแช่แข็ง วิธีนี้สามารถเก็บไว้ได้นานและยังสดอยู่เสมอ ส่วนมากเป็นไรแดงที่ตาย (โดยปกติสัตว์น้ำวัยอ่อนมักชอบกินไรแดงที่ยังมีชีวิตอยู่) ไรแดงที่เก็บโดยวิธีนี้ไม่สามารถนำไปใช้เป็นพันธุ์ในการผลิตต่อไป

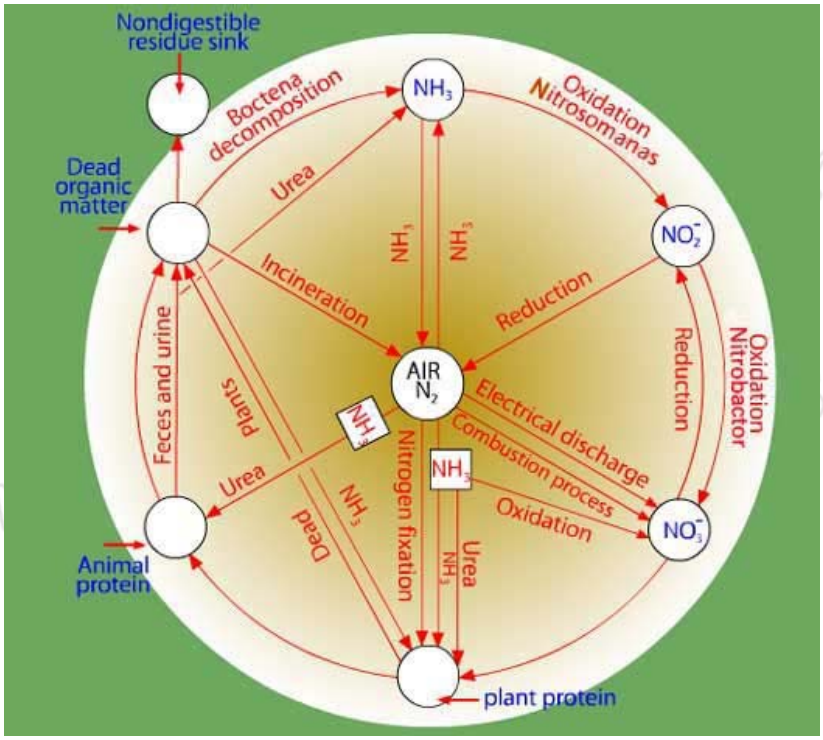
2. วิธีการเก็บในอุณหภูมิต่ำประมาณ 10 องศาเซลเซียส โดยเติมน้ำลงไป 50 เปอร์เซ็นต์ จะอยู่ได้นาน 4 วัน ในภาชนะเปิดประมาณวันที่ 3 จะสังเกตเห็นไข่สีขาวขุ่นหรือสีชมพู ซึ่งเป็นไรแดงชนิดที่จะต้องผสมพันธุ์กับเพศผู้ ซึ่งจะสร้างขึ้นเมื่อสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสม อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 6 หรือสูงกว่า เป็นต้น

Prince of Songkla University Pattani Campus

**2.4 ไนโตรเจน**

**2.4.1 วัฏจักรไนโตรเจน (Nitrogen cycle)**

ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนและกรดนิวคลีอิก ก๊าซไนโตรเจนจัดเป็นแหล่งไนโตรเจนและเป็นก๊าซที่พบมากที่สุดในบรรยากาศของโลก คือประมาณ 79% แต่สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ไม่สามารถนำก๊าซไนโตรเจนมาเปลี่ยนเป็นโปรตีนหรือกรดนิวคลีอิกได้โดยตรง ถ้าไม่ถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียเสียก่อน ทั้งนี้เพราะก๊าซไนโตรเจนมีเสถียรภาพมากซึ่งสามารถอธิบายได้โดย วัฏจักรไนโตรเจน ดัง รูปที่ 2.10




**รูปที่ 2.10** วัฏจักรของไนโตรเจน (Nitrogen cycle)
(คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร)

ก๊าซไนโตรเจนถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ในกระบวนการที่เรียกว่า การตรึงไนโตรเจน (Nitrogen Fixation) ไปเป็นแอมโมเนีย และจะมีแบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับ เรียกกระบวนการนี้ว่า ไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) สารประกอบไนเตรทนี่เองที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ แต่ในขณะเดียวกันสารประกอบไนเตรทบางส่วนจะถูกเปลี่ยนให้กลับกลายเปลี่ยนไปเป็นก๊าซไนโตรเจนคืนสู่บรรยากาศโดยกระบวนการที่เรียกว่า ดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification)

โดยทั่วไป สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กจะมีการนำไนโตรเจนไปใช้ในรูปของไนเตรท ($NO_3^-$) ดังสมการ

$$\text{green plant} + NO_3^- + CO_2 \xrightarrow{\text{sunlight}} \text{protein}$$

จะมีแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถจับ $N_2$ ในอากาศมาใช้ได้ดังสมการดังนี้

$$N_2 + \text{special bacteria} \longrightarrow \text{protein}$$

ในมนุษย์จะมีการขับถ่ายไนโตรเจนออกมาในรูปของยูเรีย (urea) ซึ่งจะกลายเป็น $NH_3$ ดังนี้

$$\text{Protein(organic N.)} + \text{Bacteria} \longrightarrow NH_3$$

$$2NH_3 + 3O_2 \longrightarrow 2NO_2^- + 2H^+ + 2H_2O$$

$$2NO_2^- + O_2 \longrightarrow 2NO_3^-$$

$$2NH_3 + 4O_2 \longrightarrow 2NO_3^- + 2H^+ + 2H_2O$$

**2.4.2 สารประกอบไนโตรเจนที่เกี่ยวข้องกับน้ำเสีย**

1. สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน เช่น $NH_3$, $NO_3^-$ และ $NO_2^-$ สารพวกนี้จะอยู่ในรูปปุ๋ยและเกลือปัสสาวะ

2. สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก ซึ่งสารดังกล่าวนี้เป็นส่วนประกอบของร่างกายพืชและสัตว์ ในอุจจาระ และในปุ๋ยที่ได้จากมูลสัตว์ เป็นต้น การที่สารเหล่านี้เข้ามามีบทบาทในน้ำเสีย เนื่องจากแบคทีเรียสามารถเปลี่ยนรูปจากสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์โดยกระบวนการ Mineralization ซึ่งกระบวนการ mineralization คือ การเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำซึ่งแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้ กระบวนการดังกล่าวมีความสำคัญต่อวัฏจักรในน้ำเสีย เพราะทำให้พืชน้ำและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กสามารถนำอนินทรียสารไปใช้ได้

Prince of Songkla University Pattani Campus

**2.4.3 กระบวนการเปลี่ยนรูปต่างๆของไนโตรเจน**

Nitrogen mineralization (Ammonification) เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนจาก ไนโตรเจน ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์โดยแบคทีเรีย เช่น

โปรตีน ⟶ กรดอะมิโน ⟶ deamination ⟶ $NH_4^+$

Nitrification เป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแอมโมเนียมไปเป็นไนเตรทโดยแบคทีเรีย ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ

1. $NH_4^+$ ⟶ $NO_2^-$ เกิดจากแบคทีเรียในกลุ่ม *Nitrosomanas sp.*
2. $NO_2^-$ ⟶ $NO_3^-$ เกิดจากแบคทีเรียในกลุ่ม *Nitrobacter sp.*

Denitrification เป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยน $NO_3^-$ ไปเป็น $N_{2\,(g)}$ โดยแบคทีเรียอีกประเภทซึ่งก็คือ *Pseudomanas sp.*

**2.4.4 ผลของการมีไนโตรเจนในแหล่งน้ำ**

1) เมื่อมีแอมโมเนีย อยู่ในแหล่งน้ำมากจะเป็นอันตรายโดยตรงกับปลา

2) เมื่อมีการเปลี่ยนรูปจาก $NH_3$ ⟶ $NO_2^-$ ⟶ $NO_3^-$ จะมีการใช้ออกซิเจนปริมาณมาก

3) การเกิดปรากฏการณ์ ที่แหล่งน้ำมีสารอาหารมากเกินไป (Eutrophication) ซึ่งเกิดจากการที่ปริมาณสารอาหาร ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส จำนวนมากลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้พืชน้ำโดยเฉพาะสาหร่ายเติบโตเพิ่มปริมาณมากขึ้น ทำให้มีการใช้ออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น จนอาจทำให้แหล่งน้ำเกิดการเน่าเสียได้และเมื่อมีปริมาณเกิดสาหร่ายมาก ก็จะมีการตายของสาหร่ายด้วย ซึ่งสาหร่ายที่ตายลงจะตกลงสู่ใต้น้ำ เกิดการทับถมกันจนทำให้แหล่งน้ำเกิดการตื้นเขินในที่สุด

4) การเกิดคลอรามีน (Chloramine) เกิดจากการรวมตัวของคลอรีนและแอมโมเนีย หรือสารอินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งเชื่อกันว่าเป็นสารก่อมะเร็ง

5) เกิด Blue Babies หรือ Metemoglobinemia ในเด็กหรือประชากรผู้ใหญ่บางกลุ่มได้ (พวก Navajo, Eskimo และคนที่ขาดเอนไซม์ glucose-6-phosphate dehydrogenase)

Prince of Songkla University Pattani Campus