บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ด้วยอาหารที่ได้จากเศษเหลือการเกษตร เปรียบเทียบกับสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ที่ทำการทดลองในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2546 ในช่วงแรกของการทดลอง และเดือนมีนาคม – เมษายน พ.ศ. 2546 ช่วงที่สองของการทดลองโดยสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงในทั้งสองการทดลองทั้งในอาหารสูตร Zarrouk และอาหารทดลองสูตรอื่นๆ เจริญทวีจำนวนได้ไม่หนาแน่นเท่าที่ควร คือ ได้ความหนาแน่น 0.91-1.53 (OD, $560_{นม.}$) ถึงแม้ว่าจะได้รับแสงที่พอเหมาะ คือ 3,000-3,500 ลักซ์ (สุมนทิพย์, 2529; วิรัตน์, 2533; สุมาลี, 2535; Ogawa, 1972; Kosaric *et al.*, 1974; Nakamura,1982; Vonshak *et al.*, 1982; Venkataraman, 1983; Richmond, 1986; Baldia *et al.*, 1990(b); Pelizer *et al.,* 2003) ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในการเพาะเลี้ยง สาหร่าย *Spirulina* sp. แต่เนื่องจากในช่วงของการทดลอง (มกราคม - เมษายน พ.ศ. 2546) ภาคใต้เป็นฤดูร้อน แต่ช่วงนั้นมีฝนตกชุกมาก อุณหภูมิเฉลี่ย 27±5 องศาเซลเซียส บางช่วงจึงมีอุณหภูมิต่ำเกินไปสำหรับการเจริญทวีจำนวนของสาหร่าย *Spirulina* sp. โดยอุณหภูมิที่สาหร่าย *Spirulina* sp. เจริญได้ดีเมื่ออุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจึงมีบทบาทสำคัญต่อเจริญของสาหร่าย *Spirulina* sp. มาก (สุมาลี, 2536; Nakamura, 1970; Chung, 1978; Venkataraman, 1983; Richmond, 1986; Baldia *et al,* 1990(a), 1994; Ogbonna *et al,* 2000; Costa *et al.,* 2001) รายงานทั่วๆ ไปเกี่ยวกับผลผลิตของสาหร่าย *Spirulina* sp. ภายใต้สภาวะการเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิปกติ 30-35 องศาเซลเซียส ว่ามีค่าความหนาแน่นของสาหร่าย *Spirulina* sp. 9.15 กรัมต่อตารางเมตร (Faucher *et al.,* 1979), 2.603 (OD, $560_{นม.}$) (วุฒิชัย, 2536), 11 กรัมต่อตารางเมตร (ลักขณา และคณะ, 2539) และ 1.8 (OD, $560_{นม.}$) (สมบัติ, 2528) อย่างไรก็ตามยังคงมีการรายงานผลผลิตของสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่มีค่าต่ำพอๆ กับที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk ในการทดลองครั้งนี้แม้ทำการเพาะเลี้ยงภายใต้อุณหภูมิที่อยู่ในช่วงปกติคือได้ผลผลิตเฉลี่ย 1.2 (OD, $560_{นม.}$) เมื่อทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส (พิมพรรณ และอารักษ์, 2531; อำนาจและคณะ, 2531; Jimenez *et al.,* 2003)

นอกจากสภาวะที่อุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำแล้ว ปริมาณแสงที่ให้ทั้งความเข้มของแสงและระยะเวลาที่ให้แสงประกอบกัน ที่แม้จะมีรายงานการใช้แสงในทำนองเดียวกันดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. จากการที่ให้แสงความเข้มค่อนข้างต่ำและสม่ำเสมอจะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เป็นตัวจำกัดการเจริญทวีจำนวนของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยง เนื่องจาก

สมเกียรติ (2542) รายงานว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้งเจริญได้ดีกว่าสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในสภาพห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองเพาะเลี้ยงในทำนองเดียวกันนี้เกิดขึ้นในระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในสภาวะกึ่งธรรมชาติที่มีความหนาแน่นของสาหร่ายเริ่มต้นเท่ากันในอาหารชนิดเดียวกันกับที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2546 สาหร่าย *Spirulina* sp. ได้รับแสงแดด ระหว่างเวลา 8.00-11.00 นาฬิกา แสงแดดในช่วงเวลาดังกล่าวมีความเข้มเริ่มต้นจาก 30,000 ลักซ์ ในช่วงเวลา 8.00 นาฬิกา แล้วจึงมีค่าเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับจนมีค่าประมาณ 50,000 ลักซ์ เมื่อเวลา 11.00 นาฬิกา หลังจากนั้นปริมาณแสงที่พื้นที่ดังกล่าวได้รับต่ำลงอยู่ในระดับ 10,000-15,000 ลักซ์ เนื่องจากที่ตั้งของอาคาร (พื้นที่ที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายไม่ได้รับแสงแดดโดยตรงในช่วงหลังจากนั้นในรอบวัน) อุณหภูมิของอากาศในระหว่างเวลาที่ทำการเพาะเลี้ยงมีค่า 30±5 องศาเซลเซียส พบว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถเจริญได้ความหนาแน่นสูงสุดสูงกว่าความหนาแน่นสูงที่สุดจากการทดลองครั้งนี้มากคือได้ความหนาแน่นสูงที่สุด 2.8 (OD, $560_{นม.}$) (คำรบและคณะ, ติดต่อส่วนตัว) นอกจากนี้ปริมาณแสงที่สาหร่ายได้รับสูงกว่าที่เคยปรากฏในรายงานของ Nakamura (1982) และ Baldia *et al.,* (1990(a)) ที่กล่าวว่า เมื่อแสงความเข้มมากกว่า 8,000 – 11,000 ลักซ์ สาหร่ายจะไม่เจริญ อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ของระยะเวลาที่สาหร่ายได้รับแสงปริมาณดังกล่าวที่เป็นช่วงสั้นๆ และ การที่ปริมาณแสงมีการเพิ่มขึ้นเป็นลำดับเชื่อว่ามีส่วนกระตุ้นการเจริญทวีจำนวนของสาหร่าย เนื่องมาจากการเพิ่มความเข้มแสงให้มากขึ้นในช่วงเวลาที่เหมาะสมทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายเพิ่มขึ้น และได้ผลผลิตเพิ่ม (Nakamura, 1982) หากสาหร่ายได้รับแสงปริมาณที่สูงมากเป็นเวลาติดต่อกันอาจเป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสง (Nakamura, 1982; Baldia *et al.*, 1990(a)) ที่สาหร่ายอาจเกิดการฟอกขาวหรือการจาง หรือตายในที่สุดได้ (ธิดา, 2546; Nakamura, 1982; Venkataraman, 1983) ทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้แสดงให้เห็นว่าการให้แสงระดับความเข้มแสงเพียงระดับเดียว สำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้ได้ผลผลิตต่ำ การเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงอย่างที่มีอย่างในสภาพธรรมชาติเป็นตัวกระตุ้นการเจริญที่ดีของสาหร่าย แม้ว่า Olgium และคณะ (2001) รายงานว่า ความเข้มแสงต่ำ (60-144 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที) ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณผลผลิตของสาหร่าย *Spirulina* sp. แต่จะมีผลต่อปริมาณสารอาหารของสาหร่ายเท่านั้น

ในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำที่ยังไม่มีการเจือจาง 50 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่าย *Spirulina* sp. ในสภาวะที่จะสามารถถูกสาหร่ายนำมาใช้ในการเจริญทวีจำนวนอยู่ในปริมาณค่อนข้างสูงทั้งไนเตรท ฟอสเฟต แอมโมเนีย คือมีไนเตรทเฉลี่ย 47.90 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์เฉลี่ย 6.50 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียเฉลี่ย 12.80 มิลลิกรัมต่อลิตร

ฟอสเฟต เฉลี่ย 5.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตาราง 5) อย่างไรก็ตามปริมาณสารอาหารที่มีดังกล่าวยังต่ำกว่าปริมาณที่มีในอาหารสูตร Zarrouk มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หลังจากเจือจางน้ำทิ้งนั้นลง 50 เปอร์เซ็นต์ สาหร่ายจะสามารถใช้สารอาหารที่มีเจริญทวีจำนวนได้ในช่วงสั้นๆ การทวีจำนวนของสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk กับในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำไม่แตกต่างกันในช่วง 8 วันแรกของการเพาะเลี้ยง แต่เมื่อปริมาณสารอาหารในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำลดลงจนกระทั่งไม่เพียงพอต่อการเจริญทวีจำนวนต่อไป ปริมาณสารอาหารเหลืออยู่หลังจากการเจริญทวีจำนวนสูงสุดมีไนเตรทเฉลี่ย 10.53 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์ 8.15 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนีย 0.85 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสเฟต 7.01 มิลลิกรัมต่อลิตร สาหร่ายจึงไม่สามารถเจริญต่อไปได้ และหยุดการเจริญทวีจำนวนก่อนสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk (ตาราง 9 และ 11)

นอกจากนี้อุณหภูมิมีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียที่เป็นตัวย่อยสลายปกติ ในสภาวะที่เหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิที่พอเหมาะสารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารอนินทรีย์ไนโตรเจนที่สาหร่ายจะสามารถนำไปใช้สำหรับการเจริญทวีจำนวนต่อไปได้ แต่น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำที่เก็บมาจากบ่อที่ให้อากาศ ซึ่งมีค่า BOD 100-150 ส่วนในล้านส่วน (โรงงานแปซิฟิกแปรรูปสัตว์น้ำ, ติดต่อส่วนตัว) น้ำทิ้งดังกล่าวจึงมีศักยภาพพอสมควรในการที่สาหร่าย *Spirulina* sp. จะสามารถนำมาใช้ในการเจริญทวีจำนวนได้ แต่การที่อุณหภูมิในช่วงการทดลองมีค่าต่ำกว่าปกติดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น (27±5 องศาเซลเซียส) ซึ่งต่ำเกินไปสำหรับกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำทิ้ง (ธงชัย, 2544) การเจริญทวีจำนวนของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงจึงเกิดขึ้นโดยอาศัยอาหารที่เกิดจากการย่อยสลายที่ได้เกิดขึ้นในบ่อเก็บแต่เดิมเท่านั้น อุณหภูมิในระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจึงไม่ได้มีอิทธิพลเฉพาะต่อการเจริญของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงโดยตรงเท่านั้น แต่ยังมีผลต่อกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำที่เพาะเลี้ยงที่สาหร่าย *Spirulina* sp. จะสามารถนำไปใช้ได้อีกด้วย (มั่นสิน และไพพรรณ, 2539; เปี่ยมศักดิ์, 2543; ธงชัย, 2544)

อีกประการหนึ่งปริมาณการผลิตของโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำในแต่ละวันอาจจะมากน้อยแตกต่างกัน โดยเฉพาะช่วงนั้น(เดือนธันวาคม พ.ศ. 2545) เป็นฤดูมรสุมของภาคใต้ อาจทำให้มีปริมาณวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่โรงงานน้อยกว่าปกติ นอกจากนี้ปริมาณฝนตกลงมาในบ่อบำบัดของโรงงานทำให้เกิดการเจือจางของสารอาหารจากในบ่อน้ำทิ้ง อาจเป็นสาเหตุของการที่ปริมาณสารอาหารในน้ำทิ้งนั้นมีน้อยกว่าปกติ อย่างไรก็ตามมีการทดลองใช้น้ำทิ้งจากโรงงานสัตว์น้ำ แช่แข็ง น้ำทิ้งที่ผ่านการกำจัดแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. แล้วได้ผลผลิต 0.5 กรัม (น้ำหนักแห้งต่อลิตร) หรือได้สาหร่ายความ

หนาแน่นประมาณ 0.9 (OD, $560_{นม.}$) (เสาวภาและอโณทัย, 2532) ซึ่งเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกับผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. จากการทดลองครั้งนี้ที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำเพียง 50 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่วุฒิชัย (2536) เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลความเข้มข้น 100% จากน้ำทิ้งได้ผลผลิต 2.7 (OD, $560_{นม.}$) เมื่อมีการเติมคาร์บอน ไดออกไซด์ร้อยละ 2 โดยตรงในระหว่างการเพาะเลี้ยง ผลผลิตที่ได้สูงกว่าผลจากการทดลองครั้งนี้เนื่องจากที่มีการให้คาร์บอนไดออกไซด์โดยตรงแก่สาหร่าย (เจียมจิตต์และสุชาติ, 2530; ยุวดี, 2544) และพบว่าในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล มีปริมาณสารอาหารมากกว่าในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำที่ถูกเจือจาง 50% คือมีไนเตรท 28±3 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนีย 47±1 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามปริมาณสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ประกอบด้วยน้ำทิ้งเพียงอย่างเดียวยังคงมีความหนาแน่นต่ำกว่าสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk เชื่อว่าการเติมธาตุอาหารบางชนิดที่สำคัญลงไปในอาหารจากน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปอาหารทะเล เช่น โซเดียมไนเตรท ช่วยให้สาหร่าย *Spirulina* sp. เจริญทวีจำนวนได้ดีกว่าสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ที่มีแต่ส่วนประกอบที่เป็นอนินทรีย์สารเท่านั้น (ชื่นจิตร์, 2530) ซึ่งควรได้มีการทดลองกันต่อไป

มูลไก่ไข่แห้งมีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นค่อนข้างสูงคือมีไนโตรเจน 5.9 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสฟอรัส 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (Fallowfield *et al.,*1992) ในอาหารที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ควรมีไนเตรท 0.625 – 12.50 มิลลิกรัมต่อลิตร (Ampornrat *et al.,*1990; Piorreck *et al.,* 1984; Zhenxia *et al.,* 2000) ไนไตรท์ต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียต่ำกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (Ogbonna *et al.,* 2000) ฟอสฟอรัส 1.4-2.3 มิลลิกรัมต่อลิตร (สุมาลี, 2536) ดังนั้นจึงสามารถใช้มูลไก่ไข่แห้งเป็นวัตถุดิบสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ได้ แต่ในน้ำแช่มูลไก่ไข่ความเข้มข้น 100% ที่ใส่มูลไก่ไข่ 6% (น้ำหนัก/ปริมาตร) (วิรัตน์, 2533) และแช่นาน 7 วัน (กุลวัฒน์และปฐมชาติ, 2543) มีปริมาณธาตุอาหารอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าปริมาณธาตุอาหารต่ำที่สุดที่สาหร่าย *Spirulina* sp. ต้องการมาก (น้ำแช่มูลไก่ไข่ความเข้มข้น 100% มีไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตเฉลี่ย 2.3, 0.009, 0.7 และ 0.97 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ) นอกจากนี้ในการทดลองใช้น้ำแช่มูลไก่ไข่ที่มีระดับความเข้มข้นเพียง 1.25% ปริมาณธาตุอาหารที่มีในระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจึงต่ำมากๆ เหล่านี้เป็นสาเหตุให้สาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารชนิดนี้เจริญทวีจำนวนได้ความหนาแน่นต่ำกว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารชุดควบคุม (อาหารสูตร Zarrouk) มากในระยะเวลาการเพาะเลี้ยงที่เท่ากัน ปริมาณธาตุที่น้ำหมักมูลไก่ไข่มีเพียงพอสำหรับการเจริญทวีจำนวนของสาหร่ายเพียงในระยะสั้นๆ เมื่อสาหร่ายมีการเจริญทวีจำนวนไม่รวดเร็วจากปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น จะเห็นได้ว่า ในระยะแรกของการเจริญทวีจำนวน อย่างน้อยที่สุดในสัปดาห์

แรกของการเพาะเลี้ยงในสภาวะดังกล่าว สาหร่าย *Spirulina* sp. ที่มีปริมาณเริ่มต้น 0.6 (OD, $560_{นม.}$) สามารถใช้ธาตุอาหารที่มีในน้ำหมักมูลไก่ไข่ที่มีอยู่เพียงเล็กน้อยสำหรับการเจริญทวีจำนวนได้มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีปริมาณสารอาหารมากมายเช่นอาหารสูตร Zarrouk จากผลที่ความหนาแน่นของสาหร่ายทั้งสองชุดการทดลองในระยะเวลาการเพาะเลี้ยงที่เท่ากัน (วันที่ 8) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในกรณีที่หากสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงมีการเจริญทวีจำนวนที่เร็วกว่านี้ในสภาวะที่เหมาะสมกว่านี้ จะสามารถเพิ่มปริมาณสารอาหารที่มีในน้ำแช่มูลไก่ตามระยะเวลาและสภาวะการเจริญของสาหร่ายได้ จากการทดลองที่ 1 น้ำหมักมูลไก่ที่ความเข้มข้น 7.5 และ 1.25% มีการเจริญทวีจำนวนได้ความหนาแน่นสูงสุด สูงกว่าในอาหารสูตร Zarrouk อาจเนื่องจากสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในชุดการทดลองที่ 1 มีการตายของสาหร่ายเกิดขึ้นพร้อมกัน อาจมีสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง รวมทั้งขนาดของขวดที่ใช้ในการทดลองนั้นมีขนาดเล็กทำให้การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญทวีจำนวนของสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่ทำการเพาะเลี้ยง ดังนั้นเมื่อทำการตรวจวัดค่าความหนาแน่นทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากค่าการเจริญทวีจำนวนของสาหร่ายที่มีอยู่จริง และมีผลต่อสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยง เนื่องจากเมื่อสาหร่ายเกิดการตาย จะมีการย่อยสลายของแบคทีเรีย ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงมีค่าลดลง

ถึงแม้ว่าสาหร่ายสามารถใช้สารประกอบที่มีอยู่ในน้ำในการเจริญทวีจำนวน เช่น ไนโตรเจน ได้ทั้งในรูปของอินทรีย์และสารอนินทรีย์สาร (Abeliovich, 1980; Richmond, 1986) แต่สาหร่ายสามารถใช้สารในรูปของสารอนินทรีย์ไปใช้ประโยชน์ได้ดีกว่า (วิรัตน์, 2533) การที่อุณหภูมิของอากาศในช่วงที่เพาะเลี้ยงอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าปรกติดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นที่เป็นอีกสาเหตุหลักหนึ่งที่ทำให้กระบวนการย่อยสลายของมูลไก่ขณะที่ทำการแช่เกิดได้ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มแอโรบิคที่ทำหน้าที่หลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีในมูลไก่ส่วนใหญ่สามารถทำการย่อยสลายได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อมีอุณหภูมิประมาณ 30-40 องศาเซลเซียส (มั่นสิน และไพพรรณ, 2539) ทำให้ในน้ำแช่มูลไก่ที่ได้มีคุณภาพต่ำกว่าที่ควรดังที่กล่าวมาแล้ว วิรัตน์ (2533) เคยทำการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้ในน้ำหมักมูลไก่ความเข้มข้น 6, 12 และ18 กรัมต่อลิตร ใช้สาหร่ายความหนาแน่นเริ่มต้น 0.6 (OD, $560_{นม.}$) ที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส ให้แสง 3,000-3,500 ลักซ์ 16 ชั่วโมง ต่อวันพบว่าการใช้น้ำแช่มูลไก่ปริมาณ 6 กรัมต่อลิตรทำให้สาหร่ายสามารถเจริญได้ดีที่สุด ได้ผลผลิต 1.1 (OD, $560_{นม.}$) จากระยะเวลา การเพาะเลี้ยงนาน 10 วัน ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าที่เป็นผลจากการทดลองครั้งนี้เล็กน้อย (ผลผลิตการทดลองครั้งนี้ 0.91 OD, $560_{นม.}$) แต่ธิดา (2546) ใช้น้ำหมักมูลไก่ที่ใช้มูลไก่ 2 กรัมต่อลิตร ระดับความเข้มข้น 100% ไม่มีการเติม โซเดียมไนเตรท ไดโพแทสเซียม ไฮโดรเจนฟอสเฟต แต่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนตลง

ไปในอาหาร1 กรัมต่อลิตร และทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในที่กลางแจ้ง พบว่าสาหร่ายสามารถเจริญทวีจำนวนได้ดีมากในระยะเวลาประมาณ 15-30 วัน ผลการเพาะเลี้ยงคล้ายกับที่ Oron และคณะ (1979) ที่ใช้น้ำหมักมูลวัวเข้มข้น 15 กรัมต่อลิตร ที่มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 16 กรัมต่อลิตรทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในบ่อขนาด 200 ลิตร ได้ผลผลิต 3 กรัมต่อลิตร ผลผลิตที่ได้สูงกว่าที่ได้จาการผลการทดลองครั้งนี้เช่นเดียวกัน ผลจากการทดลองในทั้งสองกรณีจะเห็นได้ว่าผลผลิตที่ได้สูงกว่าผลผลิตของการทดลองครั้งนี้ เนื่องมาจากการมีปริมาณธาตุอาหารในอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายมากกว่า ที่มาจากทั้งปริมาณมูลสัตว์ที่ใช้โดยตรงที่เมื่อใช้ในปริมาณมากกว่า ปริมาณสารอาหารที่เกิดจากการหมักย่อมมากกว่า (ชื่นจิตร์, 2530; วิรัตน์, 2533) และ สารอาหารที่มาจากการเติมธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องการในปริมาณมากลงไป (พิมพรรณ และอารักษ์, 2531) ที่อาจไม่สามารถทดแทนด้วยสารอื่นได้ทั้งหมด (Richmond, 1986) ทำให้สาหร่ายเจริญทวีจำนวนได้ดีกว่า (ชื่นจิตร์, 2530; พิมพรรณและอารักษ์, 2531; เสาวภาและอโณทัย, 2532) อย่างไรก็ตามดังที่ปรากฏในรายงานต่างๆ ว่าสาหร่ายสามารถใช้สารอินทรีย์บางชนิดสำหรับการเจริญทวีจำนวนได้ดี (วิรัตน์ 2533; ปิยสิทธิ์ 2536; วุฒิชัย 2536; สมเกียรติ 2542; ประสุดา 2543; Kosaric *et al*., 1974; Oron *et al*., 1979; Baldia *et al*.,1990(a); Phang *et al*., 2000; Ogbonna *et al*., 2000) โดยในอาหารที่มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในอาหารสาหร่ายจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีกว่า (วิรัตน์, 2533) เนื่องจากสารอินทรีย์มีในแหล่งต่างๆ เป็นที่มาของสารที่สาหร่ายต้องการในปริมาณจำกัด (trace elements) ที่สำคัญ (สมบัติ, 2528; Richmond, 1986) สภาวะการเพาะเลี้ยงที่แตกต่างกันเปรียบเทียบเฉพาะกรณีการเพาะเลี้ยงของธิดาที่ใช้มูลไก่เหมือนกัน ที่พบว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. เจริญได้ดีในสภาวะการเลี้ยงแบบกลางแจ้งที่มีปริมาณแสงในรอบวันมากกว่าและไม่สม่ำเสมอมากกว่าการเพาะเลี้ยงในสภาะที่ได้รับแสงสม่ำเสมอในปริมาณ 3,500-4,000 ลักซ์ ดังกล่าว ปรกติในสภาวะกลางแจ้งสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงจะได้รับแสงจัดประมาณ 50,000 ลักซ์ ในระหว่างตั้งแต่เวลาประมาณ 11-15 นาฬิกา ช่วงแสงดังกล่าวเป็นช่วงแสงที่มีรายงานว่าสูงเกินไปสำหรับสาหร่ายชนิดนี้ (Nakamura, 1982; Richmond ,1986) ที่จะเป็นเหตุให้สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงเกิดการจาง (ธิดา, 2546; Nakamura, 1982) หรือ ชะงักการเจริญทวีจำนวน หรือตายได้ (ยุวดี, 2544; Nakamura, 1982) กรณีดังที่กล่าวมาจะเกิดขึ้นต่อเมื่อการเพาะเลี้ยงทำในปริมาณน้อย ปริมาณสาหร่ายที่ใช้เมื่อเริ่มต้นทำการทดลองน้อยเกินไป หรือเมื่อระดับน้ำที่เพาะเลี้ยงตื้นเกินไป แม้จะมีการหมุนเวียนของมวลน้ำที่ช่วยให้สาหร่ายมีโอกาสขึ้นมาอยู่ที่ผิวน้ำด้านบนไม่นาน แต่จะทำให้น้ำที่เพาะเลี้ยงมีอุณหภูมิที่สูงเกินไป (สุมาลี, 2535; ยุวดี, 2544; ธิดา, 2546; Venkataraman, 1983) ระดับน้ำที่ตื้นทำให้สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงได้รับแสงปริมาณดังกล่าวนานเกินไป (Nakamura, 1982) แต่การเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิสูงจะสามารถเกิดการย่อยสลาย

สารอินทรีย์ของสารอินทรีย์ที่ยังอาจถูกย่อยสลายไม่หมดได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น (เปี่ยมศักดิ์, 2543; ธงชัย, 2544) ทำให้เกิดสารอนินทรีย์ที่สาหร่ายจะนำไปใช้เพิ่มมากมีเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นสภาวะการเพาะเลี้ยงสาหร่ายรวมทั้งปริมาตรที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายจึงมีอิทธิโดยตรงต่อการเจริญทวีจำนวนของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงนอกเหนือจากปริมาณอาหารที่มี (วิรัตน์, 2533; Nakamura ,1982; Venkataraman, 1983; Jimenez *et al.,* 2003) ซึ่งจะเห็นได้จากการทดลองที่ 1 ที่ใช้ภาชนะขนาดเล็กกว่าในชุดการทดลองที่ 2 ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่ายก็จะมีผลต่อการเจริญทวีจำนวนของสาหร่าย ในการทดลองที่ 1 จะเห็นได้ว่า การเจริญทวีจำนวนของสาหร่ายจะมีค่าสูงเกินความเป็นจริง เมื่อมาวิเคราะห์ถึงปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ พบว่ามีอยู่น้อยมาก ในน้ำหมักมูลไก่ไข่ที่ความเข้มข้น 1.25% แต่มีการเจริญทวีจำนวนได้สูงกว่า สาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ซึ่งมีธาตุอาหารอยู่อย่างครบถ้วน อาจเนื่องมาจากมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่แตกต่างกันมาก ทำให้สาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงในชุดการทดลองที่ 1 อ่อนแอ และตายลง เกิดการเปลี่ยนสีของน้ำ และตกตะกอน มีการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ทำให้สีของน้ำที่นำมาวัดค่าความหนาแน่นมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

ส่วนน้ำทิ้งโรงงานยางพาราที่นำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. พบว่าในน้ำทิ้งโรงงานยางพารามีปริมาณสารอาหารต่ำมาก ปริมาณธาตุอาหารที่มีต่ำกว่าปริมาณที่น้ำแช่มูลไก่ 1.25 % มี น้ำทิ้งโรงงานยางพาราคือมีไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตเฉลี่ยเพียง 0.131, 0.004, 0.976 และ 0.601 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณสารอาหารที่มีในน้ำทิ้งโรงงานยางพาราจึงต่ำกว่าระดับที่สาหร่าย *Spirulina* sp. ต้องการมาก (สุมาลี, 2536; Ampornrat *et al.,* 1990; Ogbonna *et al.,* 2000; Piorreck *et al.,* 1984; Zhenxia *et al.,* 2000) ทำให้การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในขั้นต้นที่ไม่มีการเติมสารอาหารใดๆ ลงในอาหารเพาะเลี้ยงไม่ประสบความสำเร็จ ทำให้จำเป็นต้องมีการดัดแปลงสูตรอาหารเพาะเลี้ยงที่ใช้น้ำทิ้งโรงงานยางพาราโดยการเติมสารอาหารหลัก 3 ชนิดคือ โซเดียมไนเตรท โซเดียมไบคาร์บอเนต และไดโพเตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตในปริมาณเท่าที่มีในอาหารชุดควบคุมลงไปจึงสามารถเพาะเลี้ยงสาหร่ายได้ (พิมพรรณ และอารักษ์, 2531) ในส่วนนี้จึงเห็นได้ว่าเฉพาะคุณภาพของน้ำทิ้งโรงงานที่เกิดจากการล้างแผ่นยางเท่านั้น ไม่มีสารอาหารสำหรับการเจริญทวีจำนวนของสาหร่าย แต่หากเป็นน้ำทิ้งจากโรงงานยางพาราที่ผลิตยางแผ่นที่ใช้น้ำยางสด ที่ในน้ำทิ้งจากโรงงานอาจมีส่วนของน้ำยางสดที่ถูกชะล้างลงมาปะปนด้วย อาจทำให้น้ำทิ้งมีปริมาณสารอาหารที่พืชต้องการเพิ่มมากขึ้นได้หลังจากน้ำทิ้งผ่านกระบวนการพักหลังการใช้ ที่ปริมาณสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนถูกย่อยสลาย นอกจากนี้การเติมน้ำยางสดลงไปบางส่วนแล้วมีการปล่อยให้เกิดการย่อยสลายเพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณสารอาหารให้แก่น้ำทิ้งเพื่อเพิ่มปริมาณสารอาหารที่สาหร่ายอาจนำไปใช้ได้ หรือใช้น้ำทิ้งจากโรงงานยางพารา

ควรจะใช้น้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการผลิตที่ใช้น้ำยางข้นเป็นวัตถุดิบ ซึ่งควรจะได้มีการศึกษาทดลองกันต่อไป เนื่องจากการที่ภาคใต้เป็นแหล่งของยางพารา กิจกรรมที่ต่อเนื่องที่อาจเป็นประโยชน์ต่อชุมชนจึงควรจะได้รับการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาการใช้ให้เต็มศักยภาพภายใต้แนวความคิดการดูแลและคุ้มครองสิ่งแวดล้อมในเวลาเดียวกัน

หลังจากการเติมสารอาหารหลักที่จำเป็นสำหรับสาหร่ายลงในน้ำทิ้งของโรงงานยางพารา พบว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงเจริญทวีจำนวนได้ดีรองจากสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk เท่านั้น สาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงมีความหนาแน่นมากที่สุด 1.38±0.04 (OD, $560_{นม.}$) ในขณะที่สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารชุดควบคุมมีความหนาแน่นมากที่สุด 1.53±0.06 (OD, $560_{นม.}$) ในระยะเวลาใกล้เคียงกัน ความหนาแน่นของสาหร่ายจากการทดลองครั้งนี้สูงกว่าที่ของพิมพรรณ และอารักษ์ (2531) ที่ทำการทดลองในสภาวะเดียวกันได้รายงานไว้ได้สาหร่ายความหนาแน่นมากที่สุดเฉลี่ย 1.13±0.10 (OD, $560_{นม.}$) ผลการเพาะเลี้ยงในผลการทดลองที่หนึ่งในรายงานฉบับนี้ สาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถเจริญทวีจำนวนได้สูงสุดเฉลี่ย 1.79±0.40 ซึ่งมีค่ามากกว่าสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในครั้งที่สอง เนื่องจากอุณหภูมิขณะทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในการทดลองที่หนึ่งอุณหภูมิสูงกว่าเมื่อทำการทดลองครั้งต่อมา และการเพาะเลี้ยงสาหร่ายใช้ภาชนะในการเพาะเลี้ยงมีขนาดเล็กกว่าการทดลองที่สอง ทำให้อุณหภูมิในภาชนะเพาะเลี้ยงสูงและเหมาะสมสำหรับการเจริญของสาหร่ายมากกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการเจริญทวีจำนวนของสาหร่าย *Spirulina* sp. ในการทดลองจากการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 นั้นมีความแตกต่างกันมาก โดยในการทดลองที่ 1 ใช้เวลาเพียง 7 วัน ส่วนการทดลองที่ 2 ใช้เวลาสูงสุดถึง 29 วัน อาจมีสาเหตุมาจากการใช้ขนาดภาชนะในการเพาะเลี้ยงที่แตกต่างกัน โดยการทดลองที่ 1 ใช้ภาชนะปริมาตรเพียง 1 ลิตร ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมได้ง่ายกว่าการทดลองที่ 2 ซึ่งมีปริมาตร 10 ลิตร แต่การทดลองที่ 1 สามารถรับแสงได้ทั่วถึงกว่าสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในขวดโหลปริมาตร 10 ลิตร ทำให้การเจริญทวีจำนวนของสาหร่าย *Spirulina* sp. เกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าการทดลองที่ 2 ซึ่งการทดลองที่ 2 มีปริมาตรมากกว่าการได้รับแสงของสาหร่าย ก็จะได้รับน้อยกว่า ไม่ทั่วถึง ทำให้ระยะเวลาในการเจริญทวีจำนวนของสาหร่ายเกิดขึ้นได้ช้า รวมทั้งอุณหภูมิต่ำ ทำให้การเจริญทวีจำนวนเกิดขึ้นช้ากว่าการทดลองที่ 1

การตรวจวัดปริมาณแอมโมเนีย ไนเตรท ฟอสเฟต และไนไตรท์ของอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงในระหว่างการทดลองสาหร่าย พบว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. ใช้แอมโมเนียก่อนการใช้สารอาหารจำพวกไนเตรท สอดคล้องกับที่ Abeliovich (1980); Kaplan และคณะ (1986) ; Richmond (1986); Baldia และคณะ (1994); Ogbonnan และคณะ (2000) รายงานไว้ ในวันที่ 4 ของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย อาหารทุกสูตรที่ใช้มีปริมาณแอมโมเนียลดลงไม่มากก็น้อย ในขณะที่ปริมาณไนเตรท

ที่ตรวจพบโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาหารสูตรน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำลดลงเป็นปริมาณมากในวันที่สองและมีความผันผวนระยะต่อไปซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป ในส่วนของปริมาณแอมโมเนียในอาหารสูตร Zarrouk ตรวจพบแอมโมเนียเฉลี่ย 0.99±0.30 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันเริ่มต้น มีการผันผวนขึ้นลงในช่วงนี้ ปริมาณแอมโมเนียลดลงเล็กน้อยคือ เหลือ 0.98±0.16 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันที่ 4 ในน้ำทิ้งโรงงานยางพารามีปริมาณแอมโมเนียในวันเริ่มต้น 3.64±0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือแอมโมเนียในวันที่ 4 เท่ากับ 1.0±0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำในวันเริ่มต้นมีแอมโมเนียเฉลี่ย 5.64±3.77 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณที่มีลดลงเหลือ 1.08± 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันที่ 4 ในน้ำหมักมูลไก่ไข่จากปริมาณ 0.11±0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือเพียง 0.04±0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร และแอมโมเนียที่ตรวจพบในอาหารอย่างง่าย 1.36±0.39 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณและความผันผวนลดลงเล็กน้อย คือเหลือแอมโมเนียในน้ำเพาะเลี้ยง 1.30 ±0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระยะเวลาที่สาหร่ายเพาะเลี้ยงในทุกชุดการทดลองมีการเจริญทวีจำนวนเพิ่มมากขึ้น

ในวันแรกปริมาณไนเตรทในน้ำเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในอาหารชุดควบคุมและในชุดการทดลองสองชุดที่มีโซเดียมไนเตรทในปริมาณเท่าที่มีในอาหารชุดควบคุมคือประมาณ 380 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่แตกต่างกันในทั้งสามชุดการทดลอง ไนเตรทที่มีในทั้งสามชุดการทดลองดังกล่าวลดปริมาณลงแบบทันทีทันใดในวันต่อมาเหลือต่ำกว่า ¼ ส่วนของปริมาณที่มีเมื่อเริ่มต้นทำการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในขณะที่ในชุดการทดลองที่ใช้น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำและที่ใช้น้ำแช่มูลไก่ไข่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนเตรทที่มีไปเพียงเล็กน้อยในวันที่สองของการเพาะเลี้ยง ปกติการเติมสาหร่ายที่จะทำการเพาะเลี้ยงเมื่อเริ่มต้นลงไปในอาหารจะมีแบคทีเรียที่มีอยู่ในสาหร่ายเริ่มต้นที่ใส่ลงไปในอาหารนั้นด้วย (เปี่ยมศักดิ์, 2543) จะเป็นสาเหตุหนึ่งที่อาจทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของระดับปริมาณอาหารในช่วงสั้นๆ ได้ เนื่องจากสาหร่ายสำหรับการเพาะเลี้ยงที่ใช้มาจากการเพาะเลี้ยงแหล่งเดียวกันและผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดก่อนใส่ลงเพาะเลี้ยงเหมือนกันทุกชุดการทดลอง ส่วนนี้จึงไม่ควรจะเป็นสาเหตุหลักของการที่ไนเตรทปริมาณมากที่หายไปซึ่งเกิดขึ้นเฉพาะในชุดการทดลองที่มีไนเตรทสูงเท่านั้น

แต่เชื่อว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงในทั้งสามชุดการทดลองนี้มีการเติมโซเดียมไนเตรทลงไปในปริมาณสูงมาก เป็นเหตุให้มีการดึงเอาไนเตรทปริมาณมากที่มีในอาหารไปสะสมไว้ในเซลล์อย่างรวดเร็ว เนื่องจากโดยทั่วไปสาหร่ายที่อยู่ในอาหารที่ประกอบด้วยสารประกอบไนเตรทเข้มข้นสูง จะสามารถสะสมไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ได้มากกว่าสาหร่ายที่เจริญในอาหารที่มีระดับไนโตรเจนต่ำกว่า (van Eykelenburg, 1980) Gerloff และ Skoog (1954) รายงานว่าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวอีกชนิดหนึ่งคือ *Microcystis aeruginosa* สามารถดึงเอาสารประกอบไนโตรเจน

ที่มีอยู่ในอาหารไปใช้ได้เพิ่มมากขึ้นมากหากในอาหารมีปริมาณสารเหล่านั้นเพิ่มมากขึ้น เป็นผลให้ภายในเซลล์มีปริมาณสารประกอบไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจากที่เคยมีคือ 4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 7.7 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งโดยที่ผลผลิตของสาหร่ายไม่เพิ่มขึ้น การวัดปริมาณไนเตรทหรือสารประกอบไนโตรเจนโดยรวมที่มีในเซลล์ของสาหร่าย *Spirulina* sp. ก่อนและหลังการเติมลงในอาหารเพาะเลี้ยงในช่วงเวลาต่างๆ จะช่วยให้สามารถหาเหตุผลที่แน่นอนของปรากฏการณ์นี้ได้แน่นอนขึ้น

ในระหว่างวันที่สองของการเพาะเลี้ยงถึงวันที่สาหร่ายในทั้งสามชุดการทดลองมีความหนาแน่นมากที่สุดพบว่าปริมาณไนเตรทที่มี มีการเปลี่ยนแปลงจากปริมาณที่มีในวันที่สอง (65-80 มิลลิกรัมต่อลิตร) ไม่มากนัก เหลือปริมาณไนเตรทในวันที่สาหร่ายในทั้งสามชุดการทดลองมีความหนาแน่นมากที่สุดมากกว่าที่ตรวจพบในชุดการทดลองที่ใช้น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำและที่ใช้น้ำหมักมูลไก่ไข่ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. อย่างมีนัยสำคัญ คือ เหลือไนเตรทในน้ำเพาะเลี้ยงสาหร่ายในทั้งสามชุดการทดลองนี้ 66.56-84.91 มิลลิกรัมต่อลิตร ในชุดการทดลองที่ใช้น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำเหลือไนเตรท 13.09 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ในชุดการเพาะเลี้ยงที่ใช้น้ำหมักมูลไก่ไข่เหลือไนเตรทเพียง 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร จากปริมาณไนเตรทที่มีในอาหารทดลองทุกชุดเมื่อเริ่มต้นและเมื่อสาหร่ายเจริญได้ความหนาแน่นมากที่สุด จะเห็นได้ว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยอาหารที่มีการใส่โซเดียมไนเตรท 2.5 กรัมต่อลิตร ในอาหารทดลองทั้งสามกลุ่มในปริมาณที่มากเกินไป (Ampornrat *et al.,*1990) ปริมาณไนเตรทที่ยังคงเหลือในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงหลังจากการเจริญทวีจำนวนของสาหร่ายมากที่สุด ปริมาณไนเตรทเพียงพอต่อความต้องการของสาหร่าย *Spirulina* sp. ในการเจริญทวีจำนวนปรกติต่อไปได้ (Piorreck *et al*.,1984; Ampornrat *et al.,*1990; Zhenxia *et al.,* 2000) โดยทั่วไปสารอาหารจำนวนมากนี้จะถูกทิ้งหลังจากการเก็บเกี่ยวสาหร่าย ซึ่งมักถูกปล่อยลงสู่ลำธารสาธารณะ เป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดปัญหาการแพร่ของสาหร่ายที่ไม่ต้องการในแหล่งน้ำที่เป็นสาเหตุของน้ำเสียในที่สุด จึงสมควรอย่างยิ่งที่จะต้องพยายามลดปริมาณการใช้สารเคมีที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

การลดลงของปริมาณสาหร่ายหลังที่เจริญทวีจำนวนมากที่สุดในบางชุดการทดลองที่แม้ยังมีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นอยู่ในระดับที่สาหร่ายควรจะเจริญต่อไปได้ (ชุดการทดลองที่ใช้อาหารชุดควบคุม น้ำทิ้งจากโรงงานยางพารา และ อาหารอย่างง่าย) ควรเกิดเนื่องมาจากอิทธิพลของสารนอกเซลล์ที่เป็นตัวจำกัดการเจริญทวีจำนวน (growth-inhibiting factors) ที่สาหร่าย *Spirulina* sp. มี และถูกปลดปล่อยออกมาขณะเกิดการเจริญ (Trainor, 1978) ความเป็นด่างของน้ำที่เพาะเลี้ยงที่มีค่ามากขึ้นในระหว่างการเพาะเลี้ยง (ธิดา, 2546; Richmond, 1986; Nakamura, 1982) เกินกว่าช่วงที่สาหร่าย *Spirulina* sp. เจริญได้ดี (Michael and Lesley, 1988; Amponrat, 1990; Baldia *et al.,*

1990(b); Olguin *et al.,* 1997; Ogbonna *et al.,* 2000; Olguin *et al.,* 2001; Danesi *et al.,* 2002; Pelizer *et al.,* 2003) อย่างไรก็ตามอาจหาทางชะลอการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด – ด่างของน้ำที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ด้วยการใช้สารธรรมชาติที่ค่อนข้างเป็นกรดที่หาได้โดยทั่วไป เช่น น้ำจากการหมักปุ๋ยหมักในระยะต้น ซึ่งจะมีความเป็นกรดค่อนข้างสูง (ภัทรพล, 2536)

ในชุดการเพาะเลี้ยงที่ใช้น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำเหลือไนเตรท 13.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรทที่มีถูกใช้ไปเกือบครึ่งของปริมาณที่มีเมื่อเริ่มทำการทดลอง การลดลงเกิดขึ้นเป็นลำดับในระหว่างช่วงเวลาที่เพาะเลี้ยง ในขณะที่ปริมาณที่มีในชุดการทดลองที่ใช้น้ำหมักมูลไก่ไข่เกือบทั้งหมดถูกใช้ไป การพิจารณาหลายส่วนประกอบกันทั้งปริมาณสาหร่ายที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงในวัสดุอาหารที่มีปริมาณสารอาหารตั้งต้นที่แตกต่างกันและปริมาณสารอาหารอย่างเดียวกันในวันที่สาหร่ายเจริญได้ความหนาแน่นมากที่สุดจะพบว่า หากพิจารณาจากชุดการทดลองที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำและในน้ำหมักมูลไก่ไข่ที่สาหร่ายเจริญได้ปริมาณมากที่สุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ปริมาณไนเตรทที่ถูกนำไปใช้ในระหว่างการเจริญทวีจำนวนแตกต่างกันมาก จะเห็นได้ว่าปริมาณการนำเอาไนเตรทไปใช้ของสาหร่ายขึ้นอยู่กับปริมาณที่มีเบื้องต้นเป็นสำคัญ ปรากฏการณ์ในทำนองเดียวกันเกิดขึ้นในอีกทั้งสามชุดการทดลองที่เหลือด้วย ส่วนของปริมาณสาหร่ายที่เกิดขึ้นและการหายไปอย่างมากมายของไนเตรทเมื่อเริ่มทำการเพาะเลี้ยงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อาจเป็นส่วนหนึ่งของที่มาของการเจริญทวีจำนวนที่มากกว่าในทั้งสามชุดการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับอีกสองชุดการทดลองที่เหลือ

การลดลงของไนเตรทเกิดขึ้นควบคู่กันไปการลดลงแอมโมเนีย สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ชัดเจนในชุดการทดลองที่อาหารทดลองมีปริมาณไนเตรทต่ำ เช่น ในชุดการทดลองที่ใช้น้ำหมักมูลไก่ไข่ และน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ เป็นต้น แสดงให้เห็นว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถใช้ทั้งไนเตรทและแอมโมเนียควบคู่กันไปในการเจริญทวีจำนวน (ชื่นจิตร์, 2530; Round, 1977) ปริมาณแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ใช้น้ำทิ้งโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำลดลงเป็นลำดับจากปริมาณที่มีอยู่เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง เหลือปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ย 1.08 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันที่ 4 ซึ่งเป็นปริมาณที่มีรายงานว่าต่ำกว่าความต้องการของสาหร่าย *Spirulina* sp. (Ogbonna *et al.,* 2000) ในระยะเวลาเดียวกัน หากพิจารณาปริมาณแอมเนียที่มีในอาหารเพาะเลี้ยงที่มีน้ำแช่มูลไก่ไข่ 0.25% พบว่ามีปริมาณแอมเนียน้อยกว่าที่ Ogbonna *et al.,* (2000) เคยระบุไว้ คือมีปริมาณแอมโมเนียในอาหารชุดนี้เมื่อเริ่มต้นเพียง 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร (และมีไนเตรทเฉลี่ยเพียง 0.84 มิลลิกรัมต่อลิตร) แต่สาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงในทั้งสองชุดการทดลองมีการเจริญทวีจำนวนได้ความหนาแน่นที่พอๆ กัน จนกระทั่งถึงวันที่ความหนาแน่นของสาหร่ายมีค่าสูงที่สุดที่ไม่มีความแตกต่างกันทั้งในส่วนของความหนาแน่น และระยะเวลาที่สาหร่ายใช้ในการเจริญ

ทวีจำนวน ผลในส่วนนี้แสดงให้เห็นว่า การเจริญของสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีความจำกัดของปัจจัยการเจริญ ซึ่งในที่นี้ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศและสภาวะแสงที่ได้รับ การเจริญทวีจำนวนของสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่มี ซึ่งในช่วงเวลานี้สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงยังคงมีปริมาณไม่มาก อัตราการขยายตัว และความต้องการสารอาหารมีไม่มาก ดังจะเห็นได้ว่า ในเกือบทุกชุดการทดลองมีการลดลงของสารอาหารที่มีไม่มาก อัตราของการเจิญทวีจำนวนที่เกิดขึ้นได้ในอัตราที่จำกัดในระยะเวลาที่มี ทำให้ความจำกัดของปริมาณธาตุอาหารที่มีในอาหารทดลองบางชุด เช่น ในอาหารทดลองน้ำหมักมูลไก่ไข่ ไม่ได้เป็นปัจจัยจำกัดการเจริญทวีจำนวนของสาหร่ายดังที่เกิดในสภาวะปรกติ (ชื่นจิตร์, 2530; Oron *et al.,* 1979; Baldia *et al.,* 1990(a)) ที่จริงแล้วการเจริญทวีจำนวนของสาหร่าย *Spirulina* sp. ในทุกชุดการทดลองในระยะ7-10 วันแรกมีความแตกต่างกันไม่มากภายใต้สภาวะที่ปริมาณธาตุอาหารหลักที่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 7) การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในระยะต้นจึงไม่จำเป็นต้องใส่ธาตุอาหารลงไปมากมายตั้งแต่เริ่มต้นทำการเพาะเลี้ยง การเพิ่มปริมาณธาตุอาหารสามารถทำได้ตามระยะการเจริญของสาหร่ายที่มีจากการที่มีรายงานว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. ใช้แอมโมเนียสำหรับการเจริญได้ดีกว่าไนเตรท (Baldia *et al.,* 1990(a),(b); Chuntapa *et al.,* 2003) และจากการที่ผลจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นอัตราการลดลงของแอมโมเนียที่มีในช่วง 3-4 วันแรกของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. จึงควรมีการเพิ่มอาหารที่เป็นแหล่งของแอมโมเนีย อาจเพิ่มน้ำทิ้งในกรณีของการเพาะเลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ หรือการใช้แหล่งแอมโมเนียมอื่นที่หาง่าย และราคาถูก เช่น ยูเรีย (Danesi *et al*., 2002) ควรจะช่วยสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงเจริญทวีจำนวนได้ดีกว่าการให้ปุ๋ยเพียงครั้งเดียวเมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง อย่างไรก็ตามการทดสอบเพื่อให้ได้ข้อพิสูจน์ที่น่าเชื่อถือจะช่วยให้การพัฒนาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้เป็นไปได้ดียิ่งขึ้นในอนาคต

ปริมาณไนไตรท์ที่ตรวจพบเมื่อเริ่มต้นทำการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ด้วยอาหารสูตร Zarrouk (ชุดควบคุม) ในอาหารที่ได้จากน้ำทิ้งจากโรงงานยางพาราความเข้มข้น 40% ร่วมกับอาหารอย่างง่าย และอาหารอย่างง่ายมีประมาณ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือในชุดการทดลองที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในอาหารที่ใช้ส่วนประกอบที่มีน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ 50% ที่มีปริมาณไนไตรท์ในระหว่างที่สาหร่ายเจริญทวีจำนวนเพิ่มมากขึ้นจนมีค่า 16 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันที่ 5 ของการเพาะเลี้ยง ปริมาณไนไตรท์ที่เกิดเพิ่มมากขึ้นในระหว่างนี้ควรเกิดจากเกิดกระบวนการย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนที่มีในน้ำทิ้งต่อไป เนื่องจากจากการที่น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำเกิดจากกระบวนการล้างเนื้อปลา สารอาหารบางส่วนจากเนื้อปลาในรูปของของเหลวรวมทั้งเลือดที่อยู่ในน้ำทิ้งที่อยู่ในบ่อบำบัดที่นำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายปรกติถูกย่อยสลายได้ดีและน้ำเสียที่มีสารประกอบที่อยู่ในรูปของของแข็งหรือกากที่เหลือจากการ

ย่อยอาหารที่เหลืออยู่ในมูลสัตว์ที่ต้องการทั้งระยะเวลาและสภาวะแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิในระหว่างการย่อยสลายที่มากกว่าของเสียที่มีในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำที่ปรกติผ่านการกำจัดของเสียที่เป็นของแข็งออกแล้วลำดับหนึ่ง เมื่อผ่านกระบวนการย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนในขั้นเกือบสุดท้ายเกิดไนไตรท์ก่อนการเกิดเป็นไนเตรท หรือแอมโมเนียในที่สุดทำให้ปริมาณไนไตรท์ที่วัดได้ในอาหารทดลองชุดนี้สูงมากขึ้น การย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนให้กลายเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนนั้นก็จะมีการเปลี่ยนรูปไปเป็นแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในสภาวะที่เหมาะสม (เปี่ยมศักดิ์, 2543; ธงชัย, 2544)

ปริมาณของไนไตรท์ในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำที่มีปริมาณที่เพิ่มขึ้นสูงมากจนอยู่ในระดับของไนไตรท์ที่มีรายงานว่าไปยับยั้งการเจริญทวีจำนวนของสาหร่าย (Abeliovich, 1980; Kaplan *et al.,* 1986; Richmond, 1986; Ogbonna *et al.,* 2000) ผลจากการทดลองนี้ปริมาณไนไตรท์ที่สูงขึ้นนั้นไม่ทำให้สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงหยุดการเจริญทวีจำนวน ดังรายงานข้างต้น เนื่องมาจากในขณะนั้นเป็นช่วงที่สาหร่ายกำลังมีการเจริญทวีจำนวนอย่างรวดเร็ว เซลล์สาหร่ายมีความแข็งแรงทำให้สามารถทนต่อสภาพไนไตรท์ที่สูงได้ ปริมาณไนไตรท์ที่ได้กล่าวว่าเกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตรที่มีรายงานว่าทำให้สาหร่ายหยุดการเจริญทวีจำนวนนั้น ควรเกิดเนื่องมาจากระยะการเพาะเลี้ยงที่ผ่านช่วงที่สาหร่ายเจริญมากที่สุดแล้วการเพาะเลี้ยงในระยะเวลาต่อจากนั้นเซลล์สาหร่ายอ่อนแอลง อาจเนื่องมาจากหลายปัจจัยโดยเฉพาะเมื่อมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเมื่อเวลาผ่านไปจะมีอิทธิพลของสารภายนอกเซลล์ที่จะเป็นตัวจำกัดความเจริญทวีจำนวนของสาหร่าย (Trainor, 1978)

ส่วนปริมาณไนไตรท์ในน้ำหมักมูลไก่ไข่ที่มีปริมาณน้อยกว่าในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ เนื่องจากในมูลไก่ไข่ปกติประกอบด้วยปริมาณของแข็งเป็นส่วนใหญ่ การย่อยสลายต้องการเวลาในการย่อยสลายดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ระยะเวลาในการย่อยสลายอาจจะน้อยเกินไปและอุณหภูมิขณะทำการแช่น้ำหมักมูลไก่ไข่ครั้งนี้ต่ำเกินไป ทำให้ปริมาณสารอาหารจากการหมักมูลไก่ไข่จึงต่ำ เมื่อนำน้ำที่ได้มาทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ปริมาณธาตุอาหารรวมทั้งไนไตรท์ต่ำกว่าในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำมาก

ปริมาณการใช้ฟอสฟอรัสในการเจริญทวีจำนวนของสาหร่ายจะน้อยมากเมื่อเทียบกับไนโตรเจน (Kosaric, 1978; Phang *et al.,* 2000) ปริมาณไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสมีผลต่อการเจริญทวีจำนวนของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยง เมื่อในอาหารเพาะเลี้ยงมีไนโตรเจนในปริมาณสูงสาหร่ายจะสามารถใช้ฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในการเจริญได้ดีขึ้น (Kaplan *et al.,* 1986) Phang and Ong (1988) รายงานว่าอัตราส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่สาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถเจริญทวีจำนวนได้ดีมีค่า 9 : 1 ในการทดลองครั้งนี้สาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงเจริญทวีจำนวนได้ดีที่สุดเมื่อในอาหารมีอัตราส่วนธาตุไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส 5 : 1 (ในอาหารสูตร Zarrouk อาหารอย่างง่าย

และอาหารที่มีน้ำทิ้งจากโรงงานยางพาราร่วมกับอาหารอย่างง่าย) สอดคล้องกับที่ Kaplan และคณะ (1986) รายงานว่า ในขณะที่สาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารชนิดอื่นที่เหลือคือทั้งในอาหารเพาะเลี้ยงที่มีน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ 50% ที่มีค่าปริมาณไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสประมาณ 3 : 1 ในอาหารที่มีน้ำหมักมูลไก่ไข่ 1.25% ที่มีไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส 1 : 1 เจริญทวีจำนวนได้ต่ำกว่า ความสามารถในการใช้ฟอสเฟตที่มีอยู่ในอาหารถูกจำกัดด้วยปริมาณไนเตรทที่มีอยู่ด้วย (สุวรรณา, 2540; จักรพงษ์, 2543) ในระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ฟอสเฟตที่มีถูกใช้ไปในปริมาณเพียงเล็กน้อยสำหรับการเจริญจนกระทั่งได้ความหนาแน่นมากที่สุด คือประมาณ 6-30% ในขณะเดียวกันมีรายงานว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถใช้สารอาหารจำพวกฟอสเฟตที่มีในอาหารที่ได้จากน้ำทิ้งจากครัวเรือนได้ถึง 60-99 เปอร์เซ็นต์ (Kosaric *et al.,* 1974; Ogbonna *et al,* 2000; Phang *et al.,* 2000; Xiaoyong *et al.,* 2000) ความสามารถในการนำเอาฟอสฟอรัสที่มีในอาหารที่เพาะเลี้ยงไปใช้ยังขึ้นอยู่กับที่มาของอาหาร และ สภาวะของการจัดเตรียมอาหารในขณะนั้นอีกด้วย นอกเหนือจากจะขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย (Kaplan *et al.,* 1986)

ในช่วง 7 วันแรกของการเพาะเลี้ยง สาหร่าย *Spirulina* sp. สามารถเจริญทวีจำนวนได้ในอาหารที่มีน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ 50% และ ในอาหารที่มีน้ำหมักมูลไก่ไข่ 1.25% ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk สาหร่ายที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงในช่วงสัปดาห์แรกนี้มีค่าประมาณ 70% ของปริมาณสาหร่ายที่สามารถเพาะเลี้ยงได้มากที่สุดในอาหารสูตร Zarrouk ที่เพาะเลี้ยงในระยะ 2 สัปดาห์ต่อมา ถึงแม้ว่าในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ 50% และ ในอาหารที่มีน้ำหมักมูลไก่ไข่ 1.25% จะมีปริมาณธาตุอาหารที่มีต่ำกว่าปริมาณที่ในอาหารสุตร Zarrouk มาก แสดงให้เห็นว่า ปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในอาหารทั้งสามสูตรนี้ในขณะนั้นเพียงพอต่อความต้องการของสาหร่ายที่มีในสภาวะที่ทำการเพาะเลี้ยง อย่างไรก็ตามปริมาณอาหารที่มีในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ 50% และ ในอาหารที่มีน้ำหมักมูลไก่ไข่ 1.25% ถูกใช้หมดไปอย่างรวดเร็ว สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารทั้งสองชุดนี้จึงหยุดการเจริญทวีจำนวน ในขณะที่สาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk เจริญทวีจำนวนต่อไปได้จนกระทั่งได้ความหนาแน่นสูงสุดในสองสัปดาห์ต่อมา

ผลการทดลองในส่วนนี้ชี้ให้เห็นว่าในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ และในมูลไก่ไข่มีธาตุอาหารที่สาหร่าย *Spirulina* sp. ต้องการครบถ้วนเมื่อเปรียบเทียบกับที่ในอาหารสูตร Zarrouk มีอยู่ (เสาวภา และอโณทัย, 2532; ธิดา, 2546) เพียงแต่ปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ที่มีในอาหารทดลองทั้งสองชนิดมีอยู่ในระดับความเข้มข้นที่ต่ำเกินไป ทั้งน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ และมูลไก่ไข่จึงสามารถถูกนำมาใช้สำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ได้ดี การใช้อาหารทั้งสองชนิดต้องการความเข้มข้นที่มากกว่าในระดับที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ หรือต้องเป็นน้ำทิ้งโรงงานแปรรูป

สัตว์น้ำ และมูลไก่ไข่ที่ได้จากการเตรียมในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมตามประเด็นปัญหาที่ได้เสนอมาแล้วในตอนต้นของบทวิจารณ์นี้ หรือมีการเติมน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ และน้ำแช่มูลไก่ไข่ลงไปในระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. หลังจากเริ่มทำการเพาะเลี้ยงที่สาหร่าย *Spirulina* sp. กำลังเจริญทวีจำนวนประมาณระยะกลางหรือปลายของ exponential phase ตามสภาวะที่ทำการเพาะเลี้ยงในขณะนั้น กำหนดระยะเวลาการเติมอาหาร และปริมาณอาหารที่ควรมีการเติม ควรได้มีการทดลองต่อไป

เมื่อสาหร่าย *Spirulina* sp. เจริญได้ความหนาแน่นมากที่สุดยังคงมีปริมาณธาตุอาหารเหลืออยู่ในอาหารสูตร Zarrouk อาหารอย่างง่าย และ อาหารที่ได้จากน้ำทิ้งโรงงานยางพาราความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ที่มีอาหารอย่างง่ายเป็นส่วนประกอบ คือยังคงเหลือ ไนเตรทอยู่ประมาณ 25% (74 มิลลิกรัมต่อลิตร) ไนไตรท์ 20% (0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร) แอมโมเนีย 50% (1.3 มิลลิกรัมต่อลิตร) และฟอสเฟตประมาณ 60% (42 มิลลิกรัมต่อลิตร) จะเห็นได้ว่าปริมาณธาตุอาหารที่กล่าวมายังคงเป็นปริมาณที่เพียงพอต่อการเจริญทวีจำนวนของสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่มีการรายงาน (Baldia *et al.*, 1990(a); Jimenez *et al.,* 2003) การที่สาหร่าย *Spirulina* sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเหล่านี้หยุดการเจริญทวีจำนวนทั้งๆ ที่มีธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญทวีจำนวน ปัญหาหลักเนื่องมาจากอิทธิพลของสารภายนอกเซลล์ที่เป็นตัวจำกัดการเจริญทวีจำนวนของสาหร่าย ที่เมื่อสาหร่ายมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นมาก จึงมีการหลั่งของสารนอกเซลล์ที่เป็นอุปสรรคต่อการเจริญทวีจำนวนของสาหร่ายมากขึ้นตามไปด้วยจนกระทั่งทำให้สภาวะแวดล้อมที่สาหร่ายเจริญอยู่ไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญอีกต่อไป ทำให้สาหร่ายหยุดการเจริญ (Trainor, 1978) นอกจากนี้เมื่อระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงนานขึ้น อายุของเซลล์สาหร่ายที่เพิ่มมากขึ้นความแข็งแรงของเซลล์สาหร่ายที่มีลดลง

ธาตุอาหารปริมาณหนึ่งที่ยังคงเหลืออยู่หลังจากที่สาหร่าย *Spirulina* sp. เจริญทวีจำนวนมากที่สุดในระยะหนึ่งที่ปรกติจะถูกทิ้งออกจากระบบการเพาะเลี้ยง ที่มักจะถูกปล่อยลงสู่ลำธารสาธารณะเป็นส่วนใหญ่ที่เป็นสาเหตุหนึ่งทำให้เกิดการเจริญทวีจำนวนของสาหร่ายบางชนิดที่อาจทำให้เกิดมลพิษต่อแหล่งน้ำ อันเนื่องจากการตายลงในเวลาไล่เลี่ยกันทำให้เกิดน้ำเสีย หรือการเป็นพิษต่อสัตว์ที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำของสาหร่ายนั้นโดยตรงก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำดังที่ทราบกันอยู่ทั่วไป (พนิดา, 2530; ไชยยุทธ, 2538; ธงชัย, 2544) อาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่มีธาตุอาหารปริมาณสูงมากซึ่งโดยมากเป็นปริมาณที่มีอยู่มากเกินไป เช่นในอาหารสูตร Zarrouk จะเหลืออาหารตกค้างในที่สุดก่อให้เกิดปัญหาต่อแหล่งน้ำธรรมชาติมากกว่าการใช้อาหารที่มีปริมาณธาตุอาหารน้อยกว่า เช่น การใช้น้ำจากการหมักมูลไก่ไข่หรือน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ ที่นอกเหนือจะเป็นการนำวัสดุที่เกิดขึ้นหรือที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์

ทางหนึ่งแล้ว ยังเป็นหนทางที่ช่วยให้คุณภาพน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำดีขึ้น ขั้นตอนการบำบัดที่ปรกติต้องเป็นการลงทุนอีกส่วนหนึ่งอยู่แล้ว อาจสามารถประหยัดไปได้ นอกเหนือจากที่จะสามารถลดต้นทุนการผลิตสาหร่าย *Spirulina* sp. ลงได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังควรมีการทดลองปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่อาจใช้อาหารที่ได้จากการใช้วัสดุอาหารประเภทต่างๆ อาจเป็นการนำกลับไปใช้เพื่อเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ใหม่อีกครั้งหรือเพื่อการอื่นๆ ที่จะช่วยรักษาคุณภาพของสิ่งแวดล้อมให้มากที่สุด

สำหรับเกษตรกรการที่สามารถประยุกต์ใช้วัสดุที่เป็นเศษเหลือการเกษตรที่มีในชุมชนสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ทั้งน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ มูลไก่ แม้กระทั่งน้ำทิ้งจากโรงงานยางพารา นอกจากจะเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมในชุมชนทางหนึ่งแล้ว ยังจะสามารถเป็นแนวทางในการสร้างงานที่ดีสำหรับสมาชิกชุมชนที่สามารถทำได้โดยง่าย ลงทุนต่ำ สามารถนำสาหร่ายที่ได้ไปใช้สำหรับกิจการอื่นๆ เช่น การนำไปเลี้ยงสัตว์เป็นการสร้างรายได้สำหรับครัวเรือน หรือหาทางปรับปรุงการเพาะเลี้ยงเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สะอาดที่สามารถใช้ในครัวเรือน หรือเพื่อการสร้างรายได้ต่อไปดังที่สาหร่ายชนิดนี้เป็นที่รู้จักในรูปของอาหารเพื่อสุขภาพสำหรับมนุษย์ การเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยวัสดุอาหารที่ใช้ ที่อาจมาจากท้องถิ่นเพื่อการผลิตอาหารสุขภาพยังคงจำเป็นต้องมีการศึกษาพัฒนาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องอีกหลายขั้นตอนโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวกับ สภาพการเพาะเลี้ยง ตลอดจนขั้นตอนและวิธีการทำความสะอาดที่เกี่ยวกับสุขลักษณะเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยจริงๆ