บทที่ 5
อภิปราย สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลของการเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร (UASB) ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 10 , 30 , 50 % ระยะเวลา 1 เดือน พบว่า *S. platensis* มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำทางกายภาพเคมีชีวภาพและมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการบางประการของสาหร่ายดังนี้

ผลผลิตเบื้องต้นของ *S. platensis*

มวลชีวภาพ (Biomass) น้ำเสีย 10 , 30 , 50 % ตลอดการเพาะเลี้ยงมีค่า 0.02 – 0.32 g/l (น้ำหนักแห้ง) จากผลการเพาะเลี้ยงน้ำเสีย 50 % *S. platensis* มีมวลชีวภาพมากกว่าน้ำเสีย 10 , 30 % เนื่องมาจากน้ำเสีย 50 % มีปริมาณสารอาหารมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองเพาะเลี้ยง *S. maxima* ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกรที่น้ำเสีย 50 % ได้ผลผลิตของ *S. maxima* 2 g/l (น้ำหนักแห้ง) (Canizares, 1993) และ Biomass ในการเพาะเลี้ยงครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงการเพาะเลี้ยง *Spirulina* sp. ในน้ำเสียจากบ่อ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ที่ความเข้มข้น 1 : 3 ได้ Biomass 0.14 – 25.00 g/l (ธำรงค์, 2539) และมีค่าเหมือนการเพาะเลี้ยง *Spirulina* sp. ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งสาคู เมื่อวิเคราะห์ค่า C : N : P ในอัตราส่วน 24.00 : 0.14 : 1.00 พบว่าอัตราการเจริญของ *Spirulina* sp. 0.51 *µg*/l/day ได้ Biomass 0.02 g/l (น้ำหนักแห้ง) (Phang et al.,2000)

คลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll - a) น้ำเสีย 10 , 30 , 50 % ตลอดการทดลองมีค่า Chlorophyll - a 38.6 - 69.2 *µg*/l จากผลการทดลองน้ำเสีย 50 % มีค่า Chlorophyll - a สูง เนื่องมาจาก *S. platensis* มีการเจริญและเพิ่มจำนวนเซลล์สอดคล้องกับมวลชีวภาพ เป็นผลทำให้มีการสังเคราะห์แสงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปริมาณ Chlorophyll - a จะแปรผันตามชนิด สภาพแวดล้อมและปัจจัยทางด้านสารอาหารในแหล่งน้ำนั้น ๆ (ผกาวรรณ,2534 ; นันทนา, 2536) จากผลการเพาะเลี้ยงค่า Chlorophyll – a มีค่ามากกว่าการวิจัยความหลากหลายของ Phytoplankton และคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีค่า Chlorophyll – a 4.93 – 20.72 ($x\ 10^{-3}$ *µg*/l) (Tularak et al.,2000)

ความสัมพันธ์ผลผลิตเบื้องต้นของ *S. platensis* กับสารอาหาร และการบำบัดน้ำเสีย ในน้ำเสีย 10 , 30 , 50 %

จากผลการศึกษาเมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์ – เอ กับสารอาหาร และการบำบัดน้ำเสีย พบว่าในบ่อเพาะเลี้ยง *S. platensis* ที่ระดับความเชื่อมั่น 90 % พบว่าเมื่อปริมาณคลอโรฟิลล์ – เอ ของสาหร่ายเพิ่มขึ้น ปริมาณไนเตรท – ไนโตรเจนจะมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณ

ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีเพิ่มขึ้น ปริมาณไนเตรท ไนโตรเจน เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจน ลดลง จะเห็นได้ว่า คลอโรฟิลล์ – เอ ของสาหร่าย จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณค่า NO_3-N แสดงว่า *S. platensis* ต้องการสารอาหารพวก NO_3-N น้อย แต่จะเลือกดูดสารอาหารพวก NH_3-N ไปใช้ก่อน เมื่อปริมาณของ NH_3-N ลดลงจึงจะใช้ NO_3-N โดยจะทำการลดออกซิเจนให้เป็น NH_3-N ก่อนจึงค่อยนำไปใช้ โดยเอมไซม์ nitrate – nitrite reductase (ศิริเพ็ญ, 2537)

คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี

อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิอากาศตลอดการเพาะเลี้ยงมี 26.77 - 27.18 °C และอุณหภูมิของน้ำมีค่า 25.5 - 28.2 °C (ตาราง 7) อุณหภูมิของน้ำไม่มีความแตกต่างในวันเดียวกันทุกความเข้มข้น แตกต่างแต่ละวันทำการเพาะเลี้ยงประมาณ ±3 °C และต่างจากอุณหภูมิอากาศน้อยกว่า 2 °C ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์สภาพปกติที่ *S. platensis* สามารถเจริญอยู่ได้ในช่วงอุณหภูมิ 15 - 50 °C (จีระพรรณ, 2532 ; Nakamura, 1982) โดยมีค่าเหมือนกับการเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในสภาพกลางแจ้ง โดยใช้สูตรน้ำกากส่าเหล้าความเข้มข้น 0.5 % มีอุณหภูมิของน้ำ 25.5 – 28.5 °C (สุพัตรา, 2533) ซึ่งอุณหภูมิของน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งกระทรวงอุตสาหกรรมของไทยกำหนดค่าอุณหภูมิของน้ำทิ้งไม่เกิน 40 °C (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2538)

ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ตลอดการเพาะเลี้ยงมีค่า pH 9.47 - 10.20 ก่อนการเพาะเลี้ยงมีค่าเป็นด่าง เพราะมีการปรับค่า pH โดย NaOH 6 N ในช่วง 10 ± 1 (ตาราง 7) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของ *S. platensis* มีค่า 9 - 11 (จีระพรรณ, 2532 ; เยาวลักษณ์, 2534 ; Nakamura, 1982) โดยค่า pH จากการเพาะเลี้ยงมีค่าเหมือนกับการศึกษาการเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในสูตรน้ำกากส่าเหล้าความเข้มข้น 0.5 % ซึ่งมีค่า pH 9.7 – 10.7 (สุพัตรา, 2533) แต่ต่างกับการเพาะเลี้ยง *Spirulina* sp. ในน้ำเสียจากโรงงานปุ๋ยเคมี ซึ่งมีค่า pH 8.3 (Anaga and Abu, 1996)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ตลอดการเพาะเลี้ยงมีค่า DO 2.3 - 7.25 mg/l (ตาราง 10) แม้จะมีค่า DO บางช่วงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่เหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำมีค่า 5 mg/l ถ้าค่า DO ต่ำกว่า 3 mg/l จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2538) ทั้งนี้ควรจะเป็นเหตุผลมาจากปริมาณ BOD_5 และ COD ที่แตกต่างกัน ถ้าค่า DO 0.063 mg/l จะทำให้อัตราการเจริญของ *S. platensis* ลดลง 36 % แต่ในการเพาะเลี้ยงมีค่าสูงกว่า 0.063 mg/l จึงไม่มีผลกระทบ (Marguez *et al.*, 1995)

ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD_5) ตลอดการเพาะเลี้ยงมีค่า BOD_5 0.68 - 11.03 mg/l เมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงค่า BOD_5 เพิ่มขึ้น 532.35 , 127.27 , 272.92 % (น้ำเสีย 10 % , 30 % และ 50 %) มีค่าต่างกับการเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในน้ำกากส่าเหล้า 0.5 % สามารถลดค่า BOD_5 46.43 % (ยุวดีและ

คณะ, 2535) จากผลการเพาะเลี้ยง ค่า BOD_5 เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากการตายของ *S. platensis* ซึ่งเก็บผลผลิตไม่หมด แต่ปริมาณค่า BOD_5 มีค่าเหมือนกับการเพาะเลี้ยง *Spirulina* sp. ในน้ำเสียจากบ่อ UASB ได้ค่า 6.66 - 35.00 mg/l (ธำรงค์, 2539) ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งกำหนดให้ค่า BOD_5 ไม่เกิน 10 mg/l และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมีค่า BOD_5 ไม่เกิน 20 mg/l (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2538) ผลการเพาะเลี้ยงค่า BOD_5 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) ตลอดการเพาะเลี้ยงมีค่า COD อยู่ระหว่าง 95.3 - 1,943 mg/l เมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงค่า COD ลดลง 86.24 และ 90.90 % (น้ำเสีย 10 % และ 30 %) แต่น้ำเสีย 50 % มีค่า COD เพิ่มขึ้น 92.95 % มีค่ามากกว่าการเพาะเลี้ยง *Spirulina* sp. ในน้ำทิ้งจากโรงงานยางสามารถลดค่า COD ได้ 31.50 % (พิมพรรณ, 2532) จากผลการเพาะเลี้ยงน้ำเสีย 10, 30 % มีค่าร้อยละการลดลงแต่น้ำเสีย 50 % มีค่าเพิ่มขึ้น ผลมาจากน้ำเสีย 50 % มีปริมาณสารอินทรีย์มากเกินกว่าจะออกซิไดซ์ได้หมด จากผลการเพาะเลี้ยง ค่า COD ส่วนใหญ่ยังสูงกว่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ทั้งนี้เนื่องมาจากการเก็บเกี่ยว *S. platensis* ที่ตายออกไม่หมดทำให้มีอินทรีย์คาร์บอนเพิ่มมาก จึงมีส่วนในการทำให้ค่า COD เพิ่มขึ้นอย่างมากโดยเฉพาะที่น้ำเสีย 50 % ส่วนน้ำเสีย 10, 30 % เมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงมีค่าลดลงถึงเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง

ออร์โธฟอสเฟต (PO_4-P) ตลอดการเพาะเลี้ยงมีค่า 2.74 - 54.4 mg/l ซึ่งมีค่าสูงกว่าปริมาณ PO_4-P ที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย 0.1 - 2.0 mg/l (Traichaiyaporn, 1985) (Chu., 1942) เมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงค่า PO_4-P ลดลง 58.92, 58.38, 47.80 % (น้ำเสีย 10 %, 30 % และ 50 %) ซึ่งร้อยละการลดลงของค่า PO_4-P ต่ำกว่าการเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในน้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร ซึ่งน้ำเสีย 50 % มีค่า PO_4-P 2.27 - 5.70 mg/l สามารถลดค่า PO_4-P ลงได้ 98 % (Carnizares, 1993) ผลจากการเพาะเลี้ยงค่า PO_4-P ค่อนข้างสูง แต่ในน้ำไม่เป็นพิษหรือทำอันตรายต่อสัตว์น้ำ เพียงแต่เป็นตัวการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำ เนื่องจากการเจริญเติบโตของพืชน้ำและสาหร่าย (ไมตรีและจารุวรรณ, 2530) ปริมาณ PO_4-P เพิ่มขึ้นอาจมาจากการตายของสิ่งมีชีวิต และทำให้มีการสลายตัวของเซลล์ และการย่อยสลายของสารประกอบอินทรีย์และปลดปล่อย PO_4-P ออกสู่แหล่งน้ำที่เลี้ยงสาหร่าย (นิตยา, 2526)

ปริมาณแอมโมเนีย - ไนโตรเจน (NH_3-N) ตลอดการเพาะเลี้ยงมีค่า NH_3-N 0.05 - 71.7 mg/l แม้สาหร่ายนิยมใช้ NH_3-N มากกว่า NO_3-N ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายมีค่าอยู่ระหว่าง 1.3 - 6.5 mg/l (ศิริเพ็ญ, 2543) แต่อาจเป็นเพราะมีการเกิด ammonification อยู่ตลอดเวลาเนื่องจากมีอินทรีย์ไนโตรเจนมาก ทำให้มี NH_3-N สูงเกินกว่าสาหร่ายจะนำไปใช้หมด เมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงค่า NH_3-N ลดลง 99.81, 99.90, 99.87 % ซึ่งร้อยละการลดลงของค่า NH_3-N สูงกว่าการเพาะเลี้ยง *S. maxima* ในน้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร 50 % (v/v) มีค่า NH_3-N 12.43 - 12.5 mg/l สามารถลดค่า NH_3-N ลงได้ 75 % (Canizares, 1993) การเพาะเลี้ยงครั้งนี้ค่า NH_3-N สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของประเทศไทยกำหนดค่าไม่เกิน 0.05 mg/l (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2538)

ปริมาณไนเตรท - ไนโตรเจน (NO_3-N) ตลอดการเพาะเลี้ยงมีค่า NO_3-N 0.01 - 1.51 mg/l เมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงน้ำเสีย 10 และ 30 % มีค่า NO_3-N ลดลง 93.33 และ 52.94 % แต่น้ำเสีย 50 % ค่า NO_3-N เพิ่มขึ้น 200 % จากผลการเพาะเลี้ยงค่า NO_3-N ลดลง 93.33 % ในน้ำเสีย 10 % ดีกว่าการเพาะเลี้ยง *Chlorella* sp. ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกรมีค่า NO_3-N เพิ่มขึ้น 15.07 - 340.81 % (วีนา, 2535) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของ NH_3-N และ NO_3-N จากการเพาะเลี้ยงค่าของ NH_3-N มากกว่า NO_3-N เมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยง ในน้ำเสีย 10 , 30 , 50 % มีร้อยละของค่า NH_3-N ลดลง แต่ค่า NO_3-N โดยเฉพาะที่น้ำเสีย 50 % มีค่าเพิ่มขึ้น เพราะ *S. platensis* จะเลือกดูด NH_3-N ไปใช้ก่อน ต่อเมื่อปริมาณของ NH_3-N ลดลงจึงจะใช้ NO_3-N และ NO_2-N โดยจะทำการลดออกซิเจนให้เป็น NH_3-N ก่อนจึงค่อยนำไปใช้โดยเอนไซม์ nitrate – nitrite reductase และ NO_3-N มีความเสถียรมากกว่า NH_3-N วงจรของการเกิด NO_3-N มีมากกว่า เนื่องจากปริมาณมากมายของ bacteria ในน้ำเสียจึงทำให้ค่า NO_3-N ที่วัดได้แทนที่จะลดลงกลับเพิ่มขึ้น (ศิริเพ็ญ, 2537) ค่า NO_3-N อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินกำหนดค่า NO_3-N ไม่เกิน 5 mg/l (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2538)

คุณค่าทางโภชนาการของ *S. platensis*

เมื่อทำการเก็บเกี่ยวสาหร่ายในรูปสาหร่ายแห้ง แล้วนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของ *S.. platensis* พบว่ามีค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละน้ำหนักแห้ง (ตาราง 3)

ตาราง 3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของ *S. platensis* คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง

แหล่งน้ำเสีย	ความชื้น(%)	เถ้า(%)	เยื่อใย(%)	โปรตีน (%)	ไขมัน(%)	คาร์โบไฮเดรต(%)	อ้างอิง
น้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกรที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 10 % , 30% , 50 %	4.84-6.2	29.2-34.8	0.05-0.48	26.7-51	0.92-1.62	9.73-32.2	(จงกล, 2543)
อาหารอนินทรีย์	-	-	-	69.5-71	8	12.5	สมศักดิ์, 2530
เพาะเลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้าความเข้มข้น 0.5 % ผสมกับสารเคมีบางชนิด	-	-	7.38	68.63	6.75	12.99	ฤทัยรา, 2533

จากตาราง 3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย จะเห็นได้ว่าการทดลองครั้งนี้มีเปอร์เซนต์โปรตีนต่ำกว่างานวิจัยของ FAO ที่รายงานโดยสมศักดิ์ (2530) และในน้ำกากส่าเหล้าความเข้มข้น 0.5 % ผสมกับสารเคมีบางชนิด เนื่องจากการทดลองครั้งนี้ใช้น้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซ ชีวภาพมูลสุกรโดยตรงไม่เติมสารเคมีใด ๆ ช่วยลดต้นทุนการผลิต เพราะในน้ำเสียยังมีสารอาหารพอเพียงสำหรับใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นของน้ำเสีย 50 % มีเปอร์เซนต์โปรตีนมากกว่าความเข้มข้นของน้ำเสีย 10 , 30 % ผลจากการทดลองสามารถนำผลผลิตสาหร่าย *S. platensis* ใช้เป็นอาหารสัตว์ต่อไป

ความสัมพันธ์ของคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายกับสารอาหาร ในน้ำเสีย 10 , 30 และ 50 %

ผลการศึกษาเมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 90 % พบว่าปริมาณออร์โธฟอสเฟต เพิ่มขึ้น ทำให้เปอร์เซนต์ความชื้นเพิ่มขึ้นตาม และเมื่อปริมาณแอมโมเนีย – ไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณ เปอร์เซนต์ความชื้น เถ้า โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และ ไขมันลดลง

สรุปผลการวิจัย

การเพาะเลี้ยง *S . platensis* ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร ให้ผลผลิตเบื้องต้นสูงที่สุดในน้ำเสีย 50 % คุณภาพน้ำเมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยง พบว่า COD และ NH_3-N ในน้ำเสีย 10 , 30 และ 50 % ลดลงถึงเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง และคุณค่าทางโภชนาการของ *S. platensis* โดยเฉพาะโปรตีนและไขมันมีค่าสูงที่สุดในน้ำเสีย 50 %

ข้อเสนอแนะ

1. การเพาะเลี้ยง *S . platensis* สภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการวัดการเจริญเติบโตและคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาอย่างต่อเนื่อง

2. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในครั้งนี้มีงาน 2 ด้าน การบำบัดน้ำเสียและคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย ซึ่งเป็นหัวข้อที่กว้างพอสมควรมีผลทำให้งานออกมาสรุปยาก ในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาเฉพาะด้าน

3. ในการบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะค่า DO , BOD_5 , COD จะมีค่าสูงต่ำสลับกันไป ซึ่งมีผลมาจากการตายของสาหร่าย ควรมีการเก็บผลผลิตของสาหร่ายออกให้มากกว่านี้

4. ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไม่ควรให้น้ำลึกเกินไป เพราะจะทำให้แสงส่องไม่ถึง

5. ในการหาคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย ควรมีการศึกษาในรายละเอียดอื่น ๆ นอกเหนือจากการวิจัยครั้งนี้ เช่น การศึกษา Caroteniod วิตามิน แร่ธาตุ ฯลฯ เพื่อเป็นแนวทางในการนำสาหร่ายไปใช้ประโยชน์

6. ความเป็นพิษเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาว่า *S . platensis* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกรมีความเป็นพิษหรือไม่ก่อนที่จะนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ต่อไป

7. Stock *S . platensis* ที่ใช้เป็นเชื้อตั้งต้นในการวิจัยครั้งนี้เท่ากับ 20 ลิตรต่อน้ำเสีย 100 ลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่จัดว่าค่อนข้างน้อย คาดว่าถ้าเพิ่มปริมาณ Stock ในแต่ละ treatment ให้มากขึ้น อาจมีผลดีต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำและการเพิ่มผลผลิตของสาหร่าย