

รายงานการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2548

เรื่อง

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเห็ดคลาบ (*Nostoc commune*) และสาหร่ายสไปรูไลน่า (*Spirulina platensis*) ในน้ำนมดิบที่ทิ้งจากโรงงานผลิตนมเพื่อใช้เป็นอาหารปลาสวยงามและปลาเศรษฐกิจ

Cultivation of Hed-Lab alga (*Nostoc commune*) and *Spirulina platensis* in waste product from milk processing plant for the food of ornamental fishes and economic fishes

โดย

ผศ. สุวีรัตน์ เรืองสมบูรณ์

รศ. ศักดิ์ชัย ชูโชติ

ดร. ปวีณา ทวีกิจการ

นางสาวบุปผา อังพัฒน์

RCH
SH
391
Nb
7251

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 64464

วัน,เดือน,ปี..... 11 ก.ย. 2549

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

กรุงเทพฯ 10520

พ.ศ. 2548

b. 11649446
i.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่องานวิจัย

เรื่อง

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเห็ดคลาบ (*Nostoc commune*) และสาหร่ายสไปรูลิน่า (*Spirulina platensis*) ใน
น้ำนมดิบที่ทิ้งจากโรงงานผลิตนมเพื่อใช้เป็นอาหารปลาสวยงามและปลาเศรษฐกิจ

การทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc commune* ในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน 3 สูตรคือ BG-11, N-free medium และ Chlorella medium เพื่อศึกษาปริมาณสารอาหารและปริมาณสารสี พบว่า *Nostoc commune* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร Chlorella medium มีปริมาณ โปรตีนและผลผลิตสูงสุดที่สุด คือ 42.8 % และ 2.63 กรัมต่อลิตร และมีความแตกต่างทางสถิติกับที่เลี้ยงในอาหารสูตร N-free medium และ BG-11 ส่วนการสร้างสารสี carotenoid และ phycocyanin พบมากที่สุดเมื่อเลี้ยงในอาหารสูตร BG-11

การทดลองเลี้ยงสาหร่ายในอาหารสูตร BG-11 และผันแปรระดับอุณหภูมิเป็น 20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาการสร้างสารสีแคโรทีนอยด์ และไฟโคบิลิโปรตีน พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สามารถสร้างสารสีได้มากที่สุด นอกจากนี้เมื่อทดลองเลี้ยงสาหร่ายที่ความเข้มแสงแตกต่างกันคือ 637 ลักซ์ และ 1680 ลักซ์ เพื่อศึกษาการสร้างสารสีพบว่าปริมาณความเข้มแสงที่สูงยังส่งผลให้มีการสร้างสารสีได้มากกว่าที่ความเข้มแสงต่ำ ส่วนการได้รับแสงยูวีมีผลทำให้การสร้างสารสีของสาหร่ายลดลงทุกประเภทและการทดลองผันแปรแหล่งไนโตรเจนพบว่า NaNO_3 เป็นแหล่งไนโตรเจนที่ดีกว่า KNO_3 เพราะทำให้สาหร่ายมีการสร้างสารสีได้มากกว่า

การเลี้ยง *N. commune* นอกห้องปฏิบัติการโดยเลี้ยงในอาหารผสมน้ำนมดิบ 0.1, 0.2 และ 0.3% เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและการสร้างสารสีพบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมนมดิบ 0.3% มีปริมาณโปรตีนสูงสุดคือ 48.9 % ปริมาณสารสีพบว่าการเลี้ยงในอาหารผสมนมดิบ 0.2% จะให้ปริมาณสารสีทุกประเภทดีที่สุด การทดลองเลี้ยงสาหร่ายในอาหารผสมมูลสุกรที่ระดับ 0.5, 2 และ 5 กรัมต่อลิตร พบว่าสาหร่ายสร้างโปรตีนได้สูงที่สุด 44 % เมื่อเลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 5 กรัมต่อลิตร ส่วนสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 2 กรัมต่อลิตร จะให้ปริมาณสารสีที่ดีที่สุด

การเลี้ยง *N. commune* ในอาหารผสมมูลสุกรและนม โดยมีการผสมในสัดส่วน 0.05:0.1, 0.05:0.2, 0.05:0.3, 0.2:0.1, 0.2:0.2, 0.2:0.3, 0.5:0.1, 0.5:0.2, และ 0.5:0.3% พบว่าอาหารผสมมูลสุกร 0.05 % และนมดิบ 0.3% มีปริมาณโปรตีนสูงสุดคือ 42.6 % ส่วนปริมาณสารสีพบว่าสาหร่ายสามารถสร้างแคโรทีนอยด์ได้สูงที่สุดเมื่อเลี้ยงในอาหารมูลสุกร 0.05 % และผสมนม 0.3 % และสร้างไฟโคไซยานินได้สูงที่สุดเมื่อเลี้ยงในอาหารมูลสุกร 0.05 % และผสมนม 0.2 %

การเลี้ยง *Spirulina* ในอาหารผสมนม 0.1, 0.3 และ 0.5 % พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมนม 0.5 % มีการสร้างโปรตีนสูงสุดคือ 56.73 % ส่วนการสร้างแคโรทีนอยด์จะพบสูงที่สุด 2.25 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเลี้ยงในอาหารผสมนม 0.1 % ปริมาณไฟโคไซยานินพบสูงที่สุด 1.51 มิลลิกรัมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิตร เมื่อเลี้ยงสาหร่ายในอาหารผสมนม 0.3 % และเมื่อเลี้ยงสาหร่ายในอาหารผสมมูลสุกร 0.5, 2 และ 7.5 กรัมต่อลิตร พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.5 กรัมต่อลิตร มีการสร้างโปรตีนสูงที่สุด คือ 69.73 % ส่วนการสร้างแคโรทีนอยด์จะพบสูงเมื่อเลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.5 กรัมต่อลิตร คือมี ปริมาณ 3.14 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณไฟโคไซยานินจะพบสูงที่สุด 3.52 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเลี้ยง สาหร่ายในอาหารผสมมูลสุกร 7.5 กรัมต่อลิตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

Cultivation of Hed-Lab alga (*Nostoc commune*) and *Spirulina platensis* in waste product from milk processing plant for the food of ornamental fishes and economic fishes

The nutrient and pigment content of *N. commune* cultured at different media were studied. *N. commune* was grown in laboratory 1 L batch cultured in BG-11, Nitrogen free medium and Chlorella medium at 25 °C, under continuous illumination; photon flux density 300 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The optimum medium for growth and protein production was Chlorella medium, which *N. commune* had highest percentage of protein 42.8% and had significant difference at 95% degree confidence ($P < 0.05$). The optimum medium for pigment; carotenoid and phycocyanin production was BG-11.

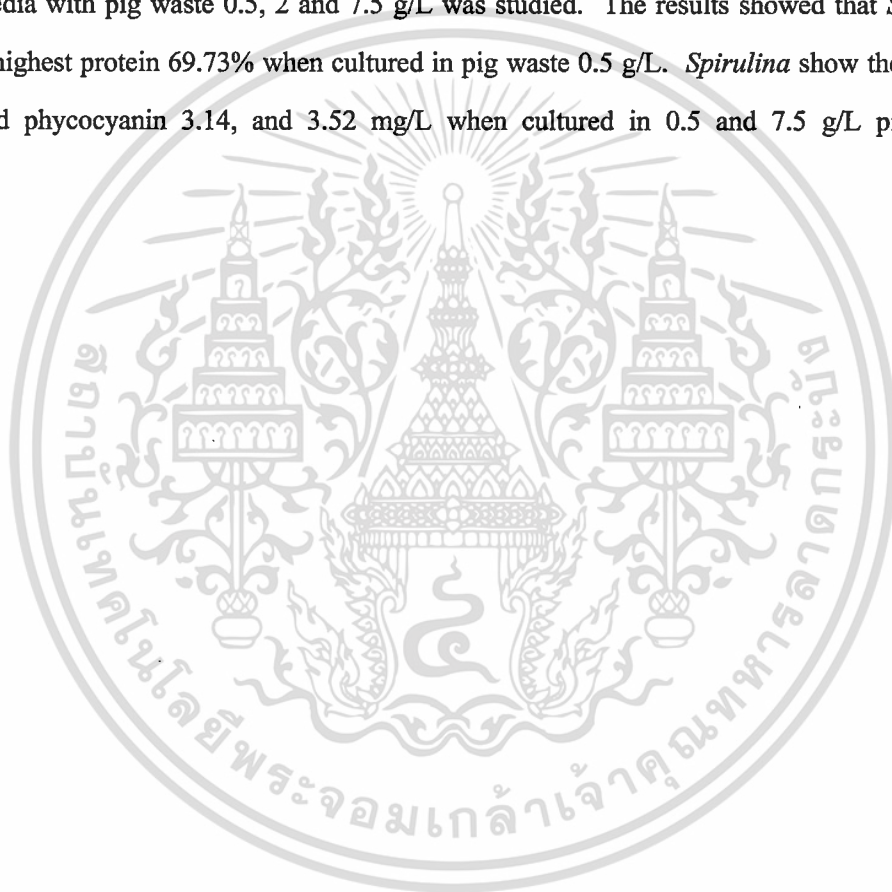
To study the effect of culture condition for carotenoid and phycocyanin production of *N. commune*, *N. commune* were culture in BG-11 at different temperature; 20, 25, 30, and 35 oC. *N. commune* shows the highest pigment production when culture under 25 oC. *N. commune* culture under different light intensity; 637 and 1680 lux show different pigment production. *N. commune* shows the highest pigment production when culture under light intensity 1680 lux. UV could decrease pigment production in *N. commune*. To study the effect of N-source for pigment production of *N. commune*, *N. commune* were cultured in BG-11 at 2 different nitrogen source; NaNO_3 and KNO_3 . *N. commune* shows the highest pigment content when cultured in BG-11 with NaNO_3 as nitrogen source

To study the nutritional value and pigment content of *N. commune* as outdoor culture. *N. commune* were cultured in 12 L glass container with various concentration of fresh milk 0.1%, 0.2%, and 0.3%, under natural light source 12:12 light and dark. The result shows that *N. commune* cultured in 0.3 % fresh milk could produce the highest protein 48.9%, and the highest pigment was found when culture in 0.2% fresh milk. The nutritional value and pigment content of *N. commune* culture in various concentration of pig waste 0.5, 2 and 5 g/L. were studied. The result show that *N. commune* cultured in 5 mg/L pig waste produced the highest protein content 44%, the highest pigment content was showed when culture in 2 g/L pig waste.

To study the effect of pig waste and fresh milk ratio to nutritional value and pigment content of *N. commune*, *N. commune* were cultured in media at various ratio of pig waste and fresh milk; 0.05:0.1, 0.05:0.2, 0.05:0.3, 0.2:0.1, 0.2:0.2, 0.2:0.3, 0.5:0.1, 0.5:0.2, and 0.5:0.3%. *N. commune*

produce the highest protein content 42.6% when culture in pig waste and fresh milk 0.05:0.3%. *N. commune* produce the highest carotenoid and phycocyanin when culture in pig waste and fresh milk 0.05:0.3% and 0.05:0.2% respectively.

To study the effect of fresh milk and pig waste on nutrient and pigment content of *Spirulina*, *Spirulina* was cultured in media with fresh milk 0.1%, 0.3%, and 0.5%, under natural light source 12:12 light and dark. *Spirulina* showed the highest protein content 56.73% when cultured in fresh milk 0.5%, the highest carotenoid content 2.25 mg/L in fresh milk 0.1% and the highest phycocyanin content 1.51 mg/L when cultured in fresh milk 0.3%. The nutrient and pigment content of *Spirulina* cultured in media with pig waste 0.5, 2 and 7.5 g/L was studied. The results showed that *Spirulina* produced the highest protein 69.73% when cultured in pig waste 0.5 g/L. *Spirulina* show the highest carotenoid and phycocyanin 3.14, and 3.52 mg/L when cultured in 0.5 and 7.5 g/L pig waste respectively.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเห็ดคลาบ (*Nostoc commune*) และสาหร่ายสไปรูไลนา (*Spirulina platensis*) ในน้ำ
นมดิบที่ทิ้งจากโรงงานผลิตนมเพื่อใช้เป็นอาหารปลาสวยงามและปลาเศรษฐกิจ

**Cultivation of Hed-Lab alga (*Nostoc commune*) and *Spirulina platensis* in waste product from
milk processing plant for the food of ornamental fishes and economic fishes**

คำนำ

การเพิ่มขึ้นของประชากรในปัจจุบันทำให้มีความต้องการอาหารในการบริโภคเพิ่มขึ้นตามมา ซึ่งปัญหาหลายปัญหาที่ตามมาคือการขาดแคลนอาหาร โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ที่มีฐานะยากจน ปัญหาการขาดแคลนสารอาหารประเภทโปรตีนนับเป็นปัญหาใหญ่ เนื่องจากแหล่งโปรตีนหลักที่ได้จากเนื้อสัตว์นั้นมีต้นทุนสูง และต้องใช้เวลาในการผลิต (การเลี้ยงสัตว์) นาน และยังมีปัญหาการตกค้างของสารอันตราย เช่น สารเร่งสีเนื้อแดงในสุกร หรือฮอร์โมนที่ผสมในไก่เนื้อ จึงทำให้ผู้บริโภคได้รับอันตรายจากสารตกค้างเหล่านี้

แหล่งอาหารโปรตีนที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันคือแหล่งโปรตีนจากพืช โดยเฉพาะจากสาหร่ายทั้งสาหร่ายทะเลและสาหร่ายน้ำจืด แต่เนื่องจากในประเทศไทยเป็นประเทศที่มีแหล่งน้ำจืดมากกว่าทะเลสาหร่ายน้ำจืดจึงมีความเหมาะสมและความเป็นไปได้ที่ประชาชนจะสามารถผลิตเพื่อบริโภคได้เองในครัวเรือนมากกว่า ข้อได้เปรียบของสาหร่ายคือเพาะเลี้ยงได้ง่าย ใช้พื้นที่น้อยกว่าพืชขนาดใหญ่ ใช้ระยะเวลาสั้น และให้คุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น สาหร่ายสไปรูไลนา (*Spirulina*) ซึ่งเป็นที่ยอมรับและรู้จักกันแพร่หลายทั่วโลก สาหร่ายชนิดใหม่ที่มีมานานในประเทศไทยแต่เพิ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างมากคือสาหร่าย *Nostoc commune* สาหร่ายชนิดนี้เป็นที่นิยมบริโภคของคนในท้องถิ่นและมีคุณค่าทางโภชนาการสูงเช่นกัน

การผลิตสาหร่ายในปัจจุบันนอกจากเป็นอาหารเสริมสุขภาพแล้วยังนิยมใช้สาหร่ายผงเพื่อผสมในอาหารสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาหารปลาสวยงามเพื่อเร่งสี ทั้งนี้เนื่องจากสีที่เกิดขึ้นบนตัวปลาโดยทั่วไปแล้วจะเป็นสีของรงควัตถุหรือสารสี โดยเฉพาะที่เป็นสารในกลุ่มคาโรทีนอยด์ ความเข้มของสีที่ปรากฏบนผิวของปลานั้นขึ้นอยู่กับปริมาณคาโรทีนอยด์ที่ได้จากอาหาร เนื่องจากสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์คาโรทีนอยด์เองได้ จำเป็นต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น นอกจากนี้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ ในสาหร่ายยังทำให้สัตว์น้ำมีอัตราการรอดและอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้นด้วย

ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงการสร้างสารสี carotenoid และ phycocyanin ของสาหร่าย *Nostoc* ในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อหาสภาวะปัจจัยที่ทำให้สร้างสารสีมากที่สุด จากนั้นศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc* และ *Spirulina* ในระดับมหภาคโดยใช้น้ำนมดิบในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมและใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ และนำผลผลิตสาหร่ายที่ได้ไปผลิตเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อหาสูตรอาหารที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาสวยงามและสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ และนำผลผลิตสาหร่ายที่ได้ไปผลิตเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อหาสูตรอาหารที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาสวยงามและสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของ *N. commune* ที่เลี้ยงในอาหารที่แตกต่างกัน
2. หาภาวะการเลี้ยงที่ทำให้ *N. commune* สร้างสารสี carotenoid และ phycocyanin สูงสุด
3. ศึกษาสูตรอาหารที่ได้จากการผสมน้ำนมดิบที่เหลือค้ำจืดจากขั้นตอนการผลิตนมแปรรูป และมูลสุกรในอัตราส่วนที่เหมาะสม ในการเลี้ยง *N. commune* เพื่อให้ได้ผลผลิตและคุณค่าทางอาหารสูงสุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจเอกสาร

การเพิ่มขึ้นของประชากรในปัจจุบันทำให้มีความต้องการอาหารในการบริโภคเพิ่มขึ้นตามมา ซึ่งปัญหาหลายปัญหาที่ตามมาคือการขาดแคลนอาหาร โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ที่มีฐานะยากจน ปัญหาการขาดแคลนสารอาหารประเภทโปรตีนนับเป็นปัญหาใหญ่ เนื่องจากแหล่งโปรตีนหลักที่ได้จากเนื้อสัตว์นั้นมีต้นทุนสูง และต้องใช้เวลาในการผลิต (การเลี้ยงสัตว์) นาน และยังมีปัญหาการตกค้างของสารอันตราย เช่น สารเร่งสีเนื้อแดงในสุกร หรือฮอร์โมนที่ผสมในไก่เนื้อ จึงทำให้ผู้บริโภคได้รับอันตรายจากสารตกค้างเหล่านี้

แหล่งอาหารโปรตีนที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันคือแหล่งโปรตีนจากพืช โดยเฉพาะจากสาหร่ายทั้งสาหร่ายทะเลและสาหร่ายน้ำจืด แต่เนื่องจากในประเทศไทยเป็นประเทศที่มีแหล่งน้ำจืดมากกว่าทะเลสาหร่ายน้ำจืดจึงมีความเหมาะสมและความเป็นไปได้ที่ประชาชนจะสามารถผลิตเพื่อบริโภคได้เองในครัวเรือนมากกว่า ข้อได้เปรียบของสาหร่ายคือเพาะเลี้ยงได้ง่าย ใช้พื้นที่น้อยกว่าพืชขนาดใหญ่ ใช้ระยะเวลาสั้น และให้คุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น สาหร่ายสไปรูไลนา (*Spirulina*) ซึ่งเป็นที่ยอมรับและรู้จักกันแพร่หลายทั่วโลก

สาหร่ายชนิดใหม่ที่มีมานานในประเทศไทยแต่เพิ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างมากคือสาหร่ายเห็ดถลาบ หรือ ไช่หิน (*Nostoc commune*) (กาญจนภานัน, 2527; อภารัตน์, 2546) สาหร่ายชนิดนี้มีรายงานว่าพบได้เพียงที่ อ.นาเชือก จังหวัดมหาสารคามและพบในช่วงฤดูฝนเท่านั้น โดยเป็นที่นิยมบริโภคของคนในท้องถิ่นซึ่งนำมาทำเป็นถลาบ ได้มีการนำสาหร่ายเห็ดถลาบจากธรรมชาติมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการพบว่ามีความชื้น 10.19 %, โปรตีน 20.26%, เกลือ 16.20%, ไขมันทั้งหมด 0.02%, โยอาหาร 43.00%, นอกจากนี้ยังประกอบด้วยวิตามินเอ วิตามินบี 1 บี2 แคลเซียม เหล็ก กรดอะมิโนต่าง ๆ เช่น aspartic acid, threonine, serine, glutamic acid, proline, glycine alanine, valine, methionine, isoleucine, leucine, tyrosine, phenylalanine, histidine, lysine, arginine และ tryptophan และได้มีการทดสอบแล้วว่าไม่มีอันตรายต่อผู้บริโภค (อภารัตน์ และคณะ, 2546) ซึ่งเห็นได้ว่าเป็นสาหร่ายที่เหมาะสมที่จะนำมาเป็นแหล่งอาหารมาก แต่การใช้ประโยชน์ของสาหร่ายเห็ดถลาบนี้ชาวบ้านเก็บมาจากธรรมชาติโดยตรงจึงเป็นการเสี่ยงที่จะมีการสะสมพิษ (เจษฎา และคณะ, 2546) ปัจจุบันจึงได้มีการทดลองเพาะเลี้ยงให้ได้ปริมาณมากเพื่อเป็นอาหารมนุษย์ โดยใช้ต้นทุนต่ำเพื่อลดปัญหาการสะสมพิษในอนาคต (คณะผู้วิจัยกำลังดำเนินการวิจัยอยู่) และควรมีการเผยแพร่ให้ประชาชนในท้องถิ่นอื่น ๆ ได้รู้จักและรับประทานสาหร่ายชนิดนี้เป็นอาหารเพื่อสร้างแหล่งอาหารต้นทุนต่ำ หรือให้ประชาชนสามารถเพาะเลี้ยงไว้บริโภคในครัวเรือน หรือเพาะเลี้ยงเพื่อการค้าขายและแปรรูปผลิตภัณฑ์ต่อไปในอนาคต

Nostoc เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอยู่ในกลุ่ม cyanobacteria จัดเป็นพวกโปรคาริโอต ลักษณะของ *Nostoc* อยู่เป็นกลุ่มหรือแผ่นขนาดใหญ่ ในกลุ่มประกอบด้วยเส้นสายอยู่รวมกันเป็นจำนวนมาก มีรูปร่างๆ หุ้มเส้นสาย มี akinete cell มีลักษณะค่อนข้างกลมและมี heterocyst อยู่ภายในเส้นสาย ส่วนใหญ่มักพบอยู่บนดิน ก้อนหินหรือตามหน้าผาที่ชื้นแฉะและในน้ำ บางชนิด (species) นำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มารับประทานได้ ชื่อเรียกในภาษาไทยอาจเรียกผักกม หรือสาหร่ายเห็ดคลาบ (กาญจนภานันท์; 2527, เจริญ; 2546) *Nostoc* ส่วนใหญ่ที่ขึ้นอยู่บนแผ่นดินมีความสามารถในการทนความแห้งแล้งได้เป็นเวลานานหลายเดือนและเมื่อได้รับน้ำใหม่ก็สามารถกลับมาเจริญเติบโตได้อีกทันทีภายในเวลาเพียง 2-3 ชั่วโมง หรือ 2-3 วัน

Nostoc เป็นสาหร่ายที่มีทั้งโทษและประโยชน์ต่อมนุษย์ โดยใน *Nostoc* บางชนิดสามารถสร้างผลเสียคือทำให้เกิดกลิ่นเหม็นในน้ำดื่ม ทำลายพืชสนามกีฬา ทำลายสีผืนหนังตึก (Wnorowski, 1992) ส่วนการใช้ประโยชน์นั้นมีการสกัดสารต่างๆ จากเซลล์นำมาใช้ประโยชน์ หรือบางชนิดนำมาใช้ประโยชน์โดยเป็นอาหาร (Takenaka *et al.*, 1998) การศึกษาในต่างประเทศพบว่ามีการใช้สาหร่ายสกุล *Nostoc* นี้เป็นอาหารเช่นเดียวกัน โดยพบมากที่ประเทศจีน โดยรู้จักกันในนามของ Facai หรือ Black moss และได้มีรายงานของนักวิจัยชาวญี่ปุ่นระบุว่าสาหร่ายชนิดนี้เป็นที่นิยมบริโภคมากในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แต่เป็นชนิดที่ต่างจากของประเทศไทยคือเป็นชนิด *Nostoc flagelliforme* ซึ่งชนิดนี้ประกอบด้วย โปรตีน 21.4 % ไขมัน 0.5 % คาร์โบไฮเดรต 56.8 % ไฟเบอร์ 1.9 % และ เกล็ด 4.4 % ซึ่งได้มีการทดสอบความปลอดภัยในการบริโภคไว้แล้วเช่นกัน (Takenaka *et al.*, 1998)

Nostoc สามารถสร้างรงควัตถุพวก phycobiliprotein ได้ โดยสารสีนี้มีราคาแพงมีการผลิตขายในระดับอุตสาหกรรม (Patricia *et al.*, 1996) นิยมนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนธรรมชาติ (natural protein) โดยเฉพาะ phycocyanin นั้นนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ ใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตรวจวัดระบบภูมิคุ้มกัน (fluorescent markers) (Tchernov *et al.*, 1999) ใช้ผสมในยาต่างๆ สารสกัดจาก *Nostoc commune* ยังมีประสิทธิภาพในการเป็น antifungal, antitumor และ antibacterial ได้ดี (Kajiyama *et al.*, 1998) ส่วน *Nostoc ellipsosporium* มีคุณสมบัติเป็น anti-HIV protein (Gustafson *et al.*, 1997; Kirk *et al.*, 1997) *Nostoc* จึงเป็นสาหร่ายที่ได้รับความสนใจในทางการค้าเป็นอย่างมาก (Reis *et al.*, 1998)

phycobiliprotein เป็นรงควัตถุที่ให้สีแดง (phycoerythrin) และสีน้ำเงิน (phycocyanin) ซึ่งเป็นรงควัตถุพิเศษที่พบในสาหร่ายเพียงบางกลุ่มเท่านั้น และสารสีเหล่านี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์อย่างกว้างขวางจึงทำให้เป็นสารสีที่ได้รับความสนใจอย่างมากในการผลิตขึ้นเพื่อการค้า แต่ประสบปัญหาคือการเลี้ยง *Nostoc* ในห้องปฏิบัติการนั้นได้ผลผลิตปริมาณน้อย และใช้ต้นทุนสูง ดังนั้นหากสามารถเลี้ยง *Nostoc* ให้เพิ่มจำนวนมากได้กลางแจ้งภายนอกห้องปฏิบัติการ (out door) จะได้ผลตอบแทนที่คุ้มค่ามากยิ่งขึ้น (Reis *et al.*, 1998)

การใช้ประโยชน์ทางการเกษตร คือใช้เป็นปุ๋ย เนื่องจาก *Nostoc* เป็นพวกที่มี heterocyst ที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศมาเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียได้ (Svircev *et al.*, 1997; Venkataraman, 1986) จึงทำให้มีผู้นิยมใช้ *Nostoc* เป็นปุ๋ยชีวภาพ (biofertilizer) เป็นจำนวนมาก เช่น *N. calcicola* (Painter, 1995) โดยพบว่าพืชที่ปลูกและมีการใส่ *Nostoc* ลงไปเจริญเติบโตได้รวดเร็วขึ้นเพราะได้รับแอมโมเนียเพิ่มขึ้น (Svircev *et al.*, 1997) Painter (1995) ได้รายงานว่ามีการใช้ *Nostoc* ผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพขายเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การค้าในประเทศอเมริกา ซึ่งผลิตจาก *Nostoc calcicola* และรายงานว่าปุ๋ยชนิดนี้มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ในทะเลทรายได้ และมีรายงานถึงการใช้ประโยชน์จาก *Nostoc* ในการบำบัดน้ำเสียว่าสามารถใช้ *N. muscorus* ในการบำบัดน้ำเสียที่มีนิเกิล (Ni) ปนได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพอีกด้วย (Chatterjee *et al.*, 1996)

สาหร่ายที่นิยมนำมาบริโภคในประเทศไทยยังมีอีกมากมายหลายชนิดเช่น *Scenedesmus* (สุพัตรา, 2533), *Spirulina* (บานชื่น, 2532) *Spirogyra*, *Cladophora* หรือชื่อประจำท้องถิ่นทางภาคเหนือคือเทาหรือผักไก (สรวิศ, 2543) ซึ่งในชนิดหลังนี้ชาวบ้านนิยมนำมาทำลาบ หรือทานสด ทำเป็นผักจิ้มหรือทำเป็นยา โดยสาหร่ายต่าง ๆ มีคุณค่าทางโภชนาการดังนี้ (ตารางที่ 1 และ 2)

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไก (*Cladophora*) เทา (*Spirogyra* spp.) ที่พบในบริเวณภาคเหนือของไทย (หน่วย : ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

	ไก <i>Cladophora</i>	<i>Spirogyra</i>
โปรตีนรวม	19.44	18.65-23.82
ไขมันรวม	3	3.08-5.21
เยื่อใย	16.3	6.72-11.78
แคลเซียม	1.06	-
เหล็ก	0.15	-
แมกนีเซียม	0.17	-
วิตามิน	1.15 ppm	-
คาร์โบไฮเดรต	-	52.04-56.31
เถ้า	-	7.66-14.34

ที่มา : เอกสารเผยแพร่ “สาหร่าย” สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (- ไม่ได้ทำการวิเคราะห์)

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายเห็ดลาบ *N. commune* (อาภารัตน์, 2546)

รายการ (หน่วย)	ปริมาณ
ความชื้น (กรัม/100 กรัม)	10.19
โปรตีน (กรัม/100 กรัม)	20.26
เถ้า (กรัม/100กรัม)	16.2
ไขมันทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	0.02
ใยอาหาร (กรัม/100กรัม)	43
วิตามินเอ (ไมโครกรัม/100กรัม)	2.31
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม/100กรัม)	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.01
วิตามินซี (มิลลิกรัม/100กรัม)	ตรวจไม่พบ
แคลเซียม (กรัม/100กรัม)	3.55
เหล็ก (กรัม/100กรัม)	0.28
กรดอะมิโน (มิลลิกรัม/100กรัม)	
Asparatic acid	3166.21
Threonine*	1193.92
Serine	1186.14
Glutamic acid	2064.97
Proline	486.36
Glycine	1044.1
Alanine	1658.27
Cystine	ตรวจไม่พบ
Valine*	1220.93
Methionine*	49.33
Isoleucine	797.17
Leucine*	1374.11
Tyrosine	446.47
Phenylalanine*	1000.05
Histidine	886.22
Lysine*	450.99
Arginine	1015.52
Tryptophan*	35.62

* กรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acid)

ส่วนการเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* เพื่อเป็นอาหารมนุษย์ซึ่งต้องมีความสะอาดนั้นประสบความสำเร็จเป็นอย่างดีในไทย ดังที่พบได้ว่าการตั้งโรงงานการเพาะเลี้ยงมากหลายแห่งแต่ผลผลิตยังคงมีราคาค่อนข้างสูง ส่วนการเพาะเลี้ยง *Nostoc* เพื่อเป็นอาหารมนุษย์ในระดับอุตสาหกรรมนั้นยังไม่ได้มีผู้ศึกษาไว้แต่พบว่าสามารถทำได้ (อยู่ระหว่างดำเนินการวิจัย) ส่วนการผลิตสาหร่าย *Spirulina* เพื่อเป็นอาหารสัตว์นั้นนิยมผลิตด้วยวิธีที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำเช่น เลี้ยงในแหล่งน้ำที่ประเภทต่าง ๆ เช่น น้ำเสียจากการผลิตกระดาษสา (พงษ์เทพ และอดิเรก, 2539) น้ำทิ้งโรงงานยางพารา โรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานวุ้นเส้น โรงงานฆ่าไก่ โรงงานขนมจีน โรงงานผลิตเส้นหมี่ก้วยเดียว โรงงานน้ำอัดลม บ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ หรือเอกสารที่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตนมถั่วเหลือง (นฤมิต และคณะ, 2528; สุขใจ และนวลพรรณ, 2530; พิมพ์วรรณ และอารักษ์, 2531; จารุวรรณ และมุกดา, 2533; หยกแก้ว และคณะ, 2534; เพ็ญจันทร์ และคณะ 2534; สุขใจ และคณะ, 2535; จีระพรรณ, 2536; สุวิมล, 2536; จีระพรรณและคณะ, 2540; สอนง และคณะ, 2540; Boonme et al, 1991; Tansakul and Jantasilp, 1991; Tanticharoen et al, 1993) โดย *Spirulina* นอกจากเป็นอาหารมนุษย์แล้วยังสามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์เพื่อเพิ่มสีให้สวยงาม เรงการเจริญเติบโตและเพิ่มอัตราการรอดได้อีกด้วย เนื่องจากมีสารสีพวก carotenoid และ phycocyanin เป็นองค์ประกอบอยู่

รงควัตถุที่พบในสาหร่าย

คลอโรฟิลล์ : คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียว ซึ่งเป็นตัวสำคัญในการสังเคราะห์แสง คลอโรฟิลล์มีหลายชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ , บี, ซี, ดี และอี แต่คลอโรฟิลล์ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นคลอโรฟิลล์ชนิด เอ เท่านั้น (Lips and Avissar, 1986) คลอโรฟิลล์ เอ จัดเป็นรงควัตถุสังเคราะห์แสงขั้นต้น สามารถดูดแสงและสังเคราะห์แสงได้ ส่วนคลอโรฟิลล์ชนิดอื่นๆจัดเป็นรงควัตถุสังเคราะห์แสงขั้นสอง (รงควัตถุประกอบ) ซึ่งทำหน้าที่ดูดพลังงานรังสีจากแสงแล้วส่งต่อไปให้คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์เป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่พบในสาหร่ายโดยทั่วไปปกติมีประมาณ 0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง และสามารถเพิ่มสูงได้ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ ในสาหร่ายที่เลี้ยงไว้ในที่มีแสงอ่อนๆ (กาญจนภาชน์, 2527) คลอโรฟิลล์ เอ เป็นดัชนีอย่างหนึ่งในการแสดงมวลสาหร่าย โดยมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณมวลสาหร่าย ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ จะผันแปรได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มแสง ปริมาณไนโตรเจนในอาหาร อายุเซลล์สาหร่าย และปัจจัยทางฟิสิกส์อื่นๆ (Koopman และคณะ, 1980)

phycobiliprotein : phycobiliprotein เป็นสารประกอบเชิงซ้อนประกอบด้วยรงควัตถุอยู่ร่วมกับโปรตีน ในเซลล์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ประกอบด้วย c- phycocyanin เป็นรงควัตถุประกอบสีน้ำเงิน ซึ่งจัดอยู่ในพวกรงควัตถุประกอบ ประเภท phycobilin รงควัตถุประกอบประเภทนี้แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้อีกคือ c-allophycocyanin และ c-phycoerythrin phycobilin มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของโครงสร้าง ละลายได้ดีในน้ำ (สัมพันธ์, 2529) phycobilin แต่ละชนิดจะอยู่ร่วมกับโปรตีนอย่างใกล้ชิดมาก (Humm and Wicks, 1980) กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเรียกว่า phycobiliprotein ในสาหร่ายสีไปรูไลนา c- phycocyanin จะอยู่ร่วมกับ phycobiliprotein ชนิดอื่นๆ (ที่สำคัญคือ c-allophycocyanin) กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น เรียกว่า phycobilisomes (herrera และคณะ, 1989) ซึ่งจะเกาะอยู่ผิวด้านนอกของ thylakoid ภายใน thylakoid มีคลอโรฟิลล์ เอ บรรจุอยู่ phycobilisomes ทำหน้าที่รับพลังงานรังสีจากแสง แล้วส่งให้แก่คลอโรฟิลล์ เอ (Bogorad, 1975 อ้างโดย Boussiba and Richmond, 1980) phycocyanin ยังเป็นแหล่งสะสมไนโตรเจนซึ่งจะให้ธาตุไนโตรเจนแก่เซลล์สาหร่ายในยามที่ขาดแคลนธาตุอาหารไนโตรเจน (Kaplan และคณะ, 1986) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

astaxanthin : astaxanthin (3,3'-dihydroxy- β,β -carotene-4,4'-dione) เป็นรงควัตถุที่อยู่ในกลุ่ม carotenoid เป็นพวก ketocarotenoid หรือ secondary carotenoid ชนิดหนึ่งโดยที่ carotenoid แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ carotene ตัวที่สำคัญและเป็นที่ยูจกคือ beta carotene และประเภทที่ 2 คือ xanthophyll โดยที่ astaxanthin จัดอยู่ในกลุ่มนี้ เกิดจากการออกซิไดซ์ β -carotene ไปเป็น echinenone และ canthaxanthin หลังจากนั้นจึงเปลี่ยนเป็น astaxanthin ตามลำดับ (Donkin, 1976)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของ astaxanthin

ที่มา : Renstrom และคณะ (1981)

ประโยชน์ของรงควัตถุ

1. ใช้ผสมในอาหารสัตว์ นิยมใช้ astaxanthin เติมลงในอาหารเพาะเลี้ยงเพื่อที่จะทำให้สัตว์น้ำมีสีสรรสวยงามและขายได้ในราคาสูง (Johnson and Serroeder, 1995) สำหรับอุตสาหกรรม สัตว์ปีกได้มีการใช้ astaxanthin ผสมในอาหารเลี้ยงสัตว์พบว่าสามารถทำให้ไข่แดงมีสีเหลืองมากขึ้น (Marusich and Bauernfeind, 1989) และ มีการใช้ phycocyanin ซึ่งมีโปรตีนสูงเป็นอาหารของสัตว์น้ำ (Herrera และคณะ, 1989) phycocyanin ยังใช้ในการกระตุ้นภูมิคุ้มกันของ ลูกกุ้ง

2. ใช้ผสมในอาหารมนุษย์ ได้มีการใช้ astaxanthin ทาที่ผิวของปูอัดทำให้ปูอัดมีสีแดงน่ารับประทาน และยังได้มีการนำ phycocyanin มาใช้เป็นสีผสมอาหารในไอศกรีม และในเครื่องสำอางค์ และที่ประเทศเม็กซิโกได้มีการใช้คลอโรฟิลล์เติมลงในนมในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับให้เด็กทารกและเด็กขาดสารอาหารคิม (เจียมจิตต์, 2535)

3. ใช้ในทางการแพทย์ มีการค้นพบว่า astaxanthin จากสาหร่าย มีคุณสมบัติในการเป็น antioxidant ที่สูงมาก (Kobayashi and Sakamoto, 1999) มีสมบัติเป็น strong antioxidant ที่สูงกว่า carotenoid ประเภทอื่นๆ (Terao, 1989) ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดโรคมะเร็งและเนื้องอกได้ เนื่องจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดโรคมะเร็งและเนื้องอกนั้นมีอนุมูลอิสระเป็นจุดเริ่มต้นและส่งเสริมการเกิดมะเร็ง ดังนั้นการที่ astaxanthin มีสมบัติเป็น antioxidant สูง จึงมีส่วนช่วยกำจัดอนุมูลอิสระได้ดี (Palozza and Krinsky, 1992) และมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของ คอลโลฟิลล์ ที่ใช้กระตุ้นการทำงานของตับให้ดียิ่งขึ้น ส่งเสริมการงอกใหม่ของเซลล์ รวมทั้งคอลโรฟิลล์ยังช่วยให้การขับถ่ายดีขึ้น เพราะคอลโรฟิลล์จะช่วยกระตุ้นการบีบรัดตัวของลำไส้ มีการนำ phycocyanin มาใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวเคมีเป็นตัวสืบค้นทางชีวเคมีในเรื่องการตรวจสอบภูมิคุ้มกันโรค และการวัดเซลล์ (Herrera และคณะ, 1989) phycocyanin ที่มีความบริสุทธิ์สูง มีคุณสมบัติเป็นสารเรืองแสง ใช้เป็นสารติดตามในการวิเคราะห์ทางภูมิคุ้มกันวิทยาทางด้านเนื้อเยื่อและจุลทรรศน์วิทยาโดยใช้ phycocyanin ในปริมาณต่ำ (ไม่เกิน 100 ไมโครกรัมโปรตีนต่อมิลลิลิตร) (Herrera และคณะ, 1989)

องค์ประกอบและคุณสมบัติของนม

นํ้านมเป็นอาหารที่มีความเข้มข้นสูง กล่าวคือ มีน้ำโดยเฉลี่ยประมาณ 87% นอกจากนี้ประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เกลือแร่ และวิตามินในอัตราส่วนแตกต่างกัน (ตารางที่ 3) สารที่มีโมเลกุลเล็กซึ่งได้แก่ คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ และวิตามินจะละลายน้ำได้ จึงอยู่ในนํ้านม ในลักษณะสารละลาย โปรตีน และอนไซม์ที่มีโมเลกุลใหญ่จะอยู่ในนํ้านมลักษณะสารแขวนลอย (Colloid) ส่วนไขมันซึ่งเป็นหยดเล็ก ๆ จะอยู่ในสภาพสารผสม (Emulsion) เพราะไม่ละลายน้ำ

ตารางที่ 3 แสดงส่วนประกอบของนํ้านมวัวที่ผลิตขายตามท้องตลาด

ส่วนประกอบของนํ้านม	ปริมาณ (ร้อยละ)	เฉลี่ย (ร้อยละ)
น้ำ	82.0-90.0	87.3
ไขมัน	2.3-7.8	3.67
โปรตีน	2.0-4.5	3.42
แลคโตส	3.5-6.0	4.78
เกลือแร่	0.6-0.9	0.73
ของแข็ง	10.0-18.0	12.69
ของแข็งที่ปราศจากไขมัน	7.5-10.6	8.77

ที่มา : พวงพร (2537)

โปรตีนที่อยู่ในนํ้านมมีคุณภาพสูง คือมีกรดอะมิโนที่สำคัญบางตัวมากเป็นพิเศษ เช่น ไลซีน (Lysine) และลูซีน (Leucine) เป็นต้น สารประกอบพวกโปรตีนที่สำคัญในนํ้านม ได้แก่ เคซีน (Casein) แลคโตโกลบูลิน (Lactoglobulin) แลคตัลบูมิน (Lactalbumin) และ อนไซม์ ซึ่งมีอยู่ในปริมาณต่างกัน วิตามินและเกลือแร่ที่มีในนํ้านมปริมาณสูง ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม โซเดียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมกนีเซียม กำมะถัน และวิตามินเอ ส่วนวิตามินบี และไนอะซินในน้ำนมมีในปริมาณมากพอควร (พวงพร, 2537)

มูลสุกร ซึ่งค่อนข้างมีธาตุอาหารหลักอยู่สูงเช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และมีธาตุอาหารรองคือ แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และธาตุอาหารเสริม เช่น เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดีนัม และคลอรีน นอกเหนือจากนั้นยังให้ฮอร์โมนและสารควบคุมการเจริญเติบโต ชนิดต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับพืชอีกมากมายอีกด้วย (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 แสดงส่วนประกอบของมูลสุกร

ส่วนประกอบของมูลสุกร	ปริมาณ (%)
ไนโตรเจน	1.95
ฟอสฟอรัส	1.76
โพแทสเซียม	0.43
แคลเซียม	1.817
แมกนีเซียม	0.556
กำมะถัน	0.07
	ปริมาณ (ppm)
เหล็ก	4,630
แมงกานีส	670
สังกะสี	190
ทองแดง	32
โบรอน	54
คลอรีน	9,740

ที่มา : <http://www2.doae.go.th/www/work/web/kannika/page1.htm>

ปัจจุบันสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรได้มีการจัดตั้งโรงงานผลิตนมขึ้นมา เพื่อรองรับผลผลิตน้ำนมดิบจากเกษตรกรและผลิตนมสด นมแปรรูปเพื่อเป็นแหล่งอาหารโปรตีนให้แก่นักเรียน และประชาชนที่อยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดชุมพรและพื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งในกระบวนการผลิตนมนี้จะมีน้ำนมดิบเหลือค้างท่อหลังทำการผลิตในแต่ละครั้งเป็นปริมาณมาก ซึ่งเป็นกากเหลือที่ต้องใช้ต้นทุนและระยะเวลาในการกำจัดไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากนัก โดยน้ำนมดิบค้างท่อเหล่านี้ยังคงมีโปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ ปนอยู่ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบเหล่านี้แล้วพบว่าน้ำนมดิบเหล่านี้จะสามารถนำมาใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายได้เพื่อเป็นการนำของเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะถ้านำมาประยุกต์ใช้กับน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์เช่นฟาร์มสุกร ซึ่งน้ำทิ้งจะมีแอมโมเนียเป็นแอมโมเนียสูงเหมาะสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณสารอินทรีย์พวกไนโตรเจนสูงจะทำให้ได้สูตรอาหารในการเลี้ยงสาหร่ายที่มีธาตุอาหารครบถ้วนยิ่งขึ้น และยังเป็นกรนำของเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้ประโยชน์เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มขึ้นมา

การผลิตสาหร่ายในปัจจุบันนอกจากเป็นอาหารเสริมสุขภาพแล้วยังนิยมใช้สาหร่ายผงเพื่อผสมในอาหารสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาหารปลาสวยงามเพื่อเร่งสี ทั้งนี้เนื่องจากสีที่เกิดขึ้นบนตัวปลาโดยทั่วไปแล้วจะเป็นสีของรงควัตถุหรือสารสีโดยเฉพาะที่เป็นสารในกลุ่มคาโรทีนอยด์ ความเข้มของสีที่ปรากฏบนผิวของปลานั้นขึ้นอยู่กับปริมาณคาโรทีนอยด์ที่ได้จากอาหาร เนื่องจากสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์คาโรทีนอยด์เองได้ จำเป็นต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น (Latcha, 1990) นอกจากนี้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ ในสาหร่ายยังทำให้สัตว์น้ำมีอัตราการรอดและอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้นด้วย

ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงการสร้างสารสี carotenoid และ phycocyanin ของสาหร่าย *N. commune* ในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อหาสภาวะปัจจัยที่ทำให้สร้างสารสีมากที่สุด จากนั้นศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Nostoc* ในระดับมหภาคโดยใช้น้ำนมดิบผสมกับมูลสุกรในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมและใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ และนำผลผลิตสาหร่ายที่ได้ไปผลิตเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อหาสูตรอาหารที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาสวยงามและสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ



อุปกรณ์ และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งสารเคมี
2. เครื่องอบสารเคมี
3. อุปกรณ์ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย
4. เครื่องมือในการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ
5. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
6. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
7. ชุดกรองสูญญากาศ

สารเคมี

1. สารเคมีที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสำหรับสูตรอาหาร BG-11, N-free medium และ Chlorella medium
2. สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก
3. สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ
4. สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่าย

วิธีการ

1. คุณค่าทางโภชนาการและการสร้างสารสีของ *N. commune* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน

นำ *N. commune* เพาะเลี้ยงในอาหารชนิดต่างๆ ทั้ง 4 ชนิด คือ BG-11, Nitrogen Free medium และ Chlorella medium เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของ *N. Commune* ในอาหารทั้ง 3 สูตร เพื่อหาสูตรอาหารที่ทำให้ *N. Commune* เจริญได้ดีที่สุด เพาะเลี้ยงสาหร่ายเป็นเวลา 22 วัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ให้แสงต่อเนื่องด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์และให้อากาศตลอดการทดลอง วัดการเจริญเติบโตโดยวิธีการวัดน้ำหนักแห้งและปริมาณคลอโรฟิลล์ทุกๆ 2 วัน วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของ *N. commune* เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

2. การสร้างสารสีของ *N. commune* ภายใต้สภาวะการเลี้ยงที่แตกต่างกัน2.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการสร้างสารสีของ *N. commune*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพาะเลี้ยงสาหร่าย *N. commune* ที่อุณหภูมิต่างกัน คือ 20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ภายใต้การให้แสงต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง และให้ฟองอากาศภายในภาชนะตลอดเวลา ทำการวัดการเจริญเติบโตทุก 3 วัน วัดปริมาณผลผลิตที่ได้และวิเคราะห์ปริมาณสารสี

2.2. ผลของความเข้มแสงที่มีต่อการสร้างสารสีของ *N. commune*

เพาะเลี้ยงสาหร่าย *N. commune* ที่ความเข้มแสงต่างกัน คือความเข้มแสง 637 ลักซ์ และ 1680 ลักซ์ ในสภาวะที่ให้แสงตลอด 24 ชั่วโมง อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ให้อากาศในภาชนะตลอดเวลา วัดการเจริญเติบโตทุก 3 วัน วัดปริมาณผลผลิตที่ได้ และวิเคราะห์ปริมาณสารสี

2.3. ผลของแสงยูวีที่มีต่อการสร้างสารสีของ *N. commune*

เพาะเลี้ยงสาหร่าย *N. commune* ในสภาวะที่ให้แสงยูวี 6 ชั่วโมง สลับกับให้แสงความเข้มแสง 1680 ลักซ์ 18 ชั่วโมง อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ให้อากาศในภาชนะตลอดเวลา วัดการเจริญเติบโตทุก 3 วัน วัดปริมาณผลผลิตที่ได้ และวิเคราะห์ปริมาณสารสี

2.4. ผลของแหล่งไนโตรเจนที่มีต่อการสร้างสารสีของ *N. commune*

เพาะเลี้ยงสาหร่าย *N. commune* ในสูตรอาหาร BG-11 ที่ใช้ในโตรเจนจากธาตุอาหาร NaNO_3 และ KNO_3 ภายใต้การให้แสงต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ให้อากาศในภาชนะตลอดเวลา วัดการเจริญเติบโตทุก 3 วัน วัดปริมาณผลผลิตที่ได้ และวิเคราะห์ปริมาณสารสี

3. คุณค่าทางโภชนาการและการสร้างสารสีของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำนมดิบ และมูลสุกร

3.1 คุณค่าทางโภชนาการและการสร้างสารสีของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำนมดิบ

ทำการทดลองขึ้นต้นโดยเลี้ยงสาหร่าย *N. commune* ในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้น 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4% และ 0.5% ผลการทดลองพบว่าสาหร่าย *N. commune* เจริญได้ในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้น 0.1%, 0.2%, และ 0.3% โดยปุ๋ยสำหรับเพาะเลี้ยงสาหร่ายมีส่วนประกอบดังนี้ โซเดียมไนเตรด (NaNO_3) 150 กรัม/น้ำ 1 ตัน ไคโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) 30 กรัม/น้ำ 1 ตัน โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) 1000 กรัม/น้ำ 1 ตัน จากนั้นทำการทดลองโดยเลี้ยงสาหร่ายในอาหารผสมนมความเข้มข้น 0.1 0.2 และ 0.3 % ในโหลทดลองขนาด 12 ลิตร ภายนอกห้องทดลองให้อากาศตลอดเวลา วัดการเจริญเติบโตโดยการวัดคลอโรฟิลล์และน้ำหนักแห้งทุก ๆ 3 วัน วัดปริมาณผลผลิตที่ได้ วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการปริมาณสารสีและโลหะหนักตกค้าง

3.2 คุณค่าทางโภชนาการและการสร้างสารสีของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในมูลสุกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองขึ้นต้นโดยเลี้ยงสาหร่ายในปุ๋ยผสมมูลสุกรความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร 2 กรัมต่อลิตร 5 กรัมต่อลิตร 7.5 กรัมต่อลิตร พบว่าสาหร่าย *N. commune* สามารถเจริญเติบโตได้ในความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร 2 กรัมต่อลิตร 5 กรัมต่อลิตร จากนั้นจึงทดลองโดยเลี้ยงสาหร่ายในปุ๋ยผสมมูลสุกร 0.5, 2.0, และ 5.0 กรัมต่อลิตร โดยแช่มูลสุกรในน้ำ 1 ลิตร เป็นเวลา 7 วัน และกรองน้ำนำไปใช้ ส่วนประกอบของปุ๋ยคือ โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) 1,000 กรัมต่อน้ำ 1000 ลิตร โดยเลี้ยงในโหลแก้วกลมขนาด 12 ลิตร ภายนอกห้องทดลองให้อากาศตลอดเวลา วัดการเจริญเติบโตทุก 3 วัน วัดปริมาณผลผลิต วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ปริมาณสารสี และโลหะหนักตกค้าง

3.2 คุณค่าทางโภชนาการและการสร้างสารสีของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในมูลสุกรผสมนมดิบ

เลี้ยงสาหร่ายในปุ๋ยผสมมูลสุกรความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร 2 กรัมต่อลิตร และ 5 กรัมต่อลิตร และผันแปรความเข้มข้นของนมดิบในมูลสุกรแต่ละความเข้มข้นเป็น 0.1 0.2 และ 0.3 % โดยเลี้ยงในโหลแก้วกลมขนาด 12 ลิตร ภายนอกห้องทดลองให้อากาศตลอดเวลา วัดการเจริญเติบโตทุก 3 วัน วัดปริมาณผลผลิต วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ปริมาณสารสี และโลหะหนักตกค้าง

4. คุณค่าทางโภชนาการและการสร้างสารสีของ *Spirulina* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำนมดิบ และมูลสุกร

4.1 คุณค่าทางโภชนาการและการสร้างสารสีของ *Spirulina* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำนมดิบ

เตรียมอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในอาหารซึ่งมีส่วนผสมคือ โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) 1 กรัม/ลิตร โซเดียมไนเตรต (NaNO_3) 0.15 กรัม/ลิตร ไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต (K_2HPO_4) 0.03 กรัม/ลิตร ทำการทดลองขึ้นต้นโดยเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในอาหารสูตรปุ๋ยผสมนมทำการทดลองเลี้ยงขึ้นต้นที่ความเข้มข้นของนม 0.05 %, 0.1 %, 0.3 %, 0.5 % และ 1 % ผลที่ได้สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีในทุกความเข้มข้น จึงเลือกเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในอาหารที่ความเข้มข้น 3 ระดับ และใช้ปุ๋ยเป็นตัวควบคุม คือสูตรปุ๋ยผสมนมเข้มข้น 0.1, 0.3 และ 0.5 % โดยทำการเพาะเลี้ยงในโหลแก้วที่มีปริมาตร 10 ลิตรในสภาวะแวดล้อมปกติ โดยวัดการเจริญเติบโตทุก 2 วัน วัดปริมาณผลผลิต วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ปริมาณสารสี และโลหะหนักตกค้าง

4.2 คุณค่าทางโภชนาการและการสร้างสารสีของ *Spirulina* ที่เพาะเลี้ยงในมูลสุกร

เตรียมอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารสูตรปุ๋ยผสมมูลสุกร ทำการทดลองขึ้นต้นโดยเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารสูตรปุ๋ยผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้นของมูลสุกร 0.5 กรัมต่อลิตร, 1 กรัมต่อลิตร, 2 กรัมต่อลิตร, 5 กรัมต่อลิตร และ 7.5 กรัมต่อลิตร ผลที่ได้สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีในทุกความเข้มข้น จึงเลือกเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารที่ความเข้มข้น 3 ระดับ และใช้ปุ๋ยเป็นตัวควบคุม คือสูตรปุ๋ยผสมมูลสุกรเข้มข้น 0.5, 2.0 และ 7.5 กรัมต่อลิตร โดยทำการเพาะเลี้ยงในโหลแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีปริมาตร 10 ลิตรในสภาวะแวดล้อมปกติ วัดการเจริญเติบโตทุก 2 วัน วัดปริมาณผลผลิต วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการปริมาณสารสีและโลหะหนักตกค้าง

การวัดน้ำหนักแห้ง

ทำการวัดน้ำหนักแห้งเพื่อเป็นกรณีในการวัดการเจริญเติบโต โดยการเก็บสาหร่ายปริมาตร 20 มิลลิลิตร กรองผ่านกระดาษกรองขนาดช่องตา 1.2 ไมครอน อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นำสาหร่ายออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์

ในการวัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายจำเป็นต้องทำการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ควบคู่ไปกับน้ำหนักแห้งด้วยโดยการเก็บสาหร่ายปริมาตร 20 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดแก้วแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3000 รอบต่อนาที ในเครื่องปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นรินน้ำส่วนด้านบนทิ้งแล้วทำให้เซลล์แตกด้วยการใส่ glass bead ลงไปในหลอดแก้วแล้วปั่นด้วยเครื่อง vortex จนเซลล์แตกละเอียด เติมเมทานอล 9 มิลลิลิตร เป็นตัวสกัดคลอโรฟิลล์ลงในหลอด แล้วนำหลอดแก้วไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที เพื่อเร่งปฏิกิริยาการสกัดคลอโรฟิลล์ หลังจากนั้นนำหลอดแก้วออกจากอ่างควบคุมอุณหภูมิแล้วนำส่วนน้ำด้านบน (สีเขียว) ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ปริมาณสารสีอื่น

เก็บสาหร่าย 20 มิลลิลิตร และทำการตกตะกอนโดยนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงนี้ศูนย์กลาง ที่ความเร็วรอบ 3500 rpm. อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นรินน้ำส่วนด้านบนทิ้ง นำเซลล์สาหร่ายมาวิเคราะห์ปริมาณสารสี chlorophyll , carotenoid และ phycocyanin

การวิเคราะห์ปริมาณ carotenoid ทำให้เซลล์แตกด้วยการใส่ glass bead ลงไปในหลอดแก้ว แล้วปั่นด้วยเครื่อง vortex จนเซลล์แตกละเอียด โดยเติม acetone 10 มิลลิลิตร แล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 480 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ปริมาณ phycocyanin ทำให้เซลล์แตกด้วยการใส่ glass bead ลงไปในหลอดแก้ว แล้วปั่นด้วยเครื่อง vortex จนเซลล์แตกละเอียด เติมสารละลาย buffer 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 645, 618, 592, 564 และ 455 นาโนเมตร

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของ *N. Commune*

ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของ *N. Commune* ด้วยวิธี Proximate analysis โดยเก็บสาหร่ายแล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนสาหร่ายแห้งแล้วนำสาหร่ายแห้งนั้นมาวิเคราะห์คุณค่าต่างๆ ดังนี้ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ฟอสฟอรัส แคลเซียม เยื่อใย และเถ้า

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS version 9 โดยวิเคราะห์ข้อมูลที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. คุณค่าทางโภชนาการและการสร้างสารสีของ *N. commune* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน

1.1 คุณค่าทางโภชนาการของ *N. commune* ในอาหารสูตรต่างกันคือ BG-11, N-Free medium, และ Chlorella medium

N. commune ที่เลี้ยงในอาหารสูตร Chlorella medium มีร้อยละของโปรตีน ไขมัน และฟอสฟอรัส สูงที่สุดและมีนัยสำคัญแตกต่างทางสถิติจากอาหารอีก 2 สูตร (ตารางที่ 5)คือ มีโปรตีนร้อยละ 42.81 ± 0.17 มีไขมันร้อยละ 2.00 ± 0.28 และมีฟอสฟอรัสร้อยละ 3.79 ± 0.07 *N. commune* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 มีคาร์โบไฮเดรตและแคลเซียม ถึงร้อยละ 45.53 ± 2.89 และ 1.13 ± 0.09 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับ *N. commune* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรอื่น

ตารางที่ 5 คุณค่าทางโภชนาการของ *N. commune* ที่เลี้ยงในอาหารที่แตกต่างกัน

รายการ (ร้อยละ)	BG-11	N-Free medium	Chlorella medium
โปรตีน	33.37 ± 0.78^a	26.40 ± 0.04^b	42.81 ± 0.17^c
ไขมัน	0.53 ± 0.00^a	0.53 ± 0.00^a	2.00 ± 0.28^b
คาร์โบไฮเดรต	45.53 ± 2.89^b	31.02 ± 5.91^a	25.84 ± 1.00^a
เยื่อใย	7.42 ± 2.22^{ab}	15.03 ± 1.36^a	5.45 ± 1.41^b
เถ้า	11.67 ± 0.06^a	31.19 ± 0.08^b	19.94 ± 0.29^c
แคลเซียม	1.13 ± 0.09^b	1.04 ± 0.18^a	0.16 ± 0.01^c
ฟอสฟอรัส	0.34 ± 0.09^a	0.82 ± 0.04^b	3.79 ± 0.07^c

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c, ที่แตกต่างกันในแถวแนวนอนเดียวกันคือมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

1.2 การเจริญเติบโตของ *N. commune* ในอาหารสูตรต่างกันคือ BG-11, NF, Chlorella medium

N. commune ที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงแพลงก์ตอนสูตร Chlorella medium มีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุดและให้ผลผลิตคิดเป็นน้ำหนักแห้งในวันสุดท้ายของการทดลองมากที่สุดเท่ากับ 2.63 ± 0.17 กรัมต่อลิตร ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ *N. commune* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร BG-11, Nitrogen free medium ที่ให้ผลผลิตคิดเป็นน้ำหนักแห้งในวันสุดท้ายเท่ากับ 1.36 ± 0.606 กรัมต่อลิตร และ 0.98 ± 0.19 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

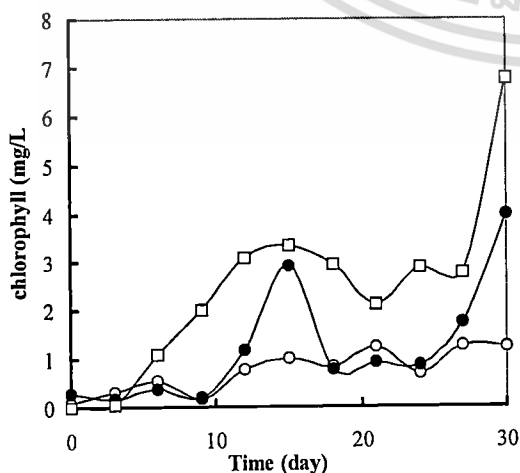
จากผลการทดลองเป็นที่น่าสังเกตว่า *N. commune* สามารถเจริญเติบโตในอาหารสูตร Nitrogen free medium ซึ่งไม่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบได้ถึงแม้ว่าไนโตรเจนจะเป็นธาตุอาหารสำคัญที่ขาดไม่ได้สำหรับเซลล์สัตว์ที่สังเคราะห์หรือการเจริญเติบโตเพื่อการศึกษาด้านนี้ เมื่อนักวิทยาศาสตร์ได้พบปัญหาเกี่ยวกับเรื่องนี้ ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ได้ในการเจริญเติบโต ทั้งนี้เป็นการพิสูจน์ได้ว่า *N. commune* ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีเฮเทอโรซิสต์สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตได้ Wanatabe (1951) ได้ทำการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินพวกที่มีเฮเทอโรซิสต์ในอาหารผสมที่ไม่มีธาตุไนโตรเจนหลายสูตรพบว่าหลังจากเพาะเลี้ยง 2 เดือน สาหร่ายเหล่านั้นจะเจริญขึ้นได้อย่างเห็นได้ชัดและเมื่อนำไปวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธี micro kjeldahl พบว่า *Nostoc sp.* มีไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจากเดิม 3.1 มิลลิกรัม Venkataraman (1959) สันนิษฐานว่า *Nostoc* สามารถปล่อยไนโตรเจนที่ตรึงได้จากบรรยากาศออกมาจากเซลล์ (Extracellular nitrogenous substance)

N. commune สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในอาหารสูตร Chlorella medium ซึ่งมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าอาหารสูตร BG-11 ซึ่งเป็นสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากส่วนประกอบของธาตุอาหารในสูตรต่างๆพบว่า ในอาหารสูตร Chlorella medium มีโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจน 1.25 กรัมต่อลิตร ในขณะที่ในอาหารสูตร BG-11 มีโซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจน 1.5 กรัมต่อลิตร ในส่วนของแหล่งโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสนั้นในอาหารสูตร Chlorella medium มี K_2HPO_4 เป็นส่วนผสม 1.25 กรัมต่อลิตร ในขณะที่สูตร BG-11 และ N-Free medium มี 0.04 และ 0.6 กรัมต่อลิตรเท่านั้น จึงอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณธาตุอาหารหลักในอาหารสูตร Chlorella medium นั้นมีมากกว่าในอาหารสูตรอื่นๆจึงทำให้ *N. commune* มีการเจริญเติบโตได้มากกว่าอย่างเห็นได้ชัด

1.3 ปริมาณรงควัตถุของ *N. commune* ในอาหารสูตรต่างกันคือ BG-11, NF, และ Chlorella medium

คลอโรฟิลล์: ปริมาณคลอโรฟิลล์นั้นพบว่า *N. commune* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร Chlorella medium นั้นมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด เท่ากับ 7.13 ± 0.66 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ปริมาณของคลอโรฟิลล์ของ *N. commune* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร Nitrogen free medium และ BG-11 ให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เท่ากับ 4.57 ± 1.25 และ 3.91 ± 0.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 2)



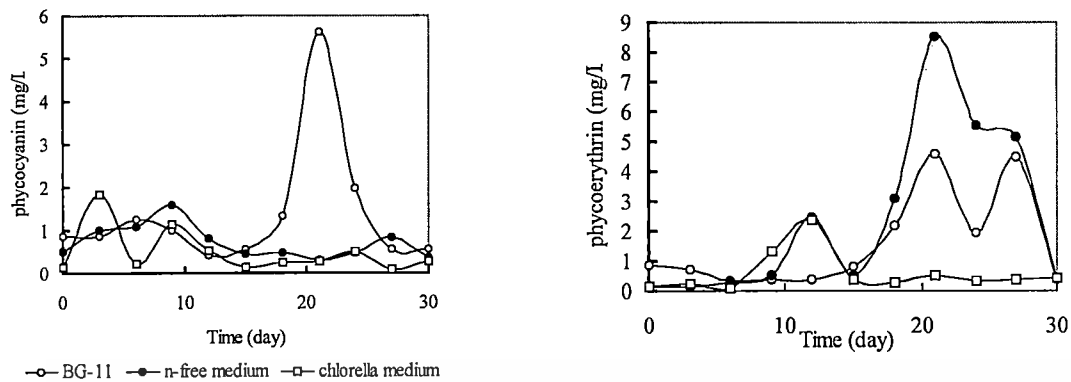
เอกสาร —○— BG-11 —●— n-free medium —□— chlorella medium การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ภาพที่ 2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน

carotenoid: การสร้างสารสี carotenoid ของสาหร่าย *N. commune* นั้น ในช่วงแรกที่เริ่มเลี้ยงจะพบว่าปริมาณ carotenoid ค่อนข้างต่ำ และจะเริ่มมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเลี้ยงไปถึงช่วงวันที่ 12 ซึ่งโดยทั่วไปการสร้างสารสี carotenoid จะมีปริมาณมาก เมื่อสาหร่ายเจริญเติบโตอยู่ในสภาพที่ไม่เหมาะสม เช่น การขาดอาหาร ความเข้มแสงสูง เนื่องจากว่าสาหร่ายต้องมีการเปลี่ยนแปลงเซลล์ และรงควัตถุเพื่อให้สามารถอยู่รอดได้ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม จึงได้มีการสร้าง carotenoid ขึ้นมามากในช่วงนี้ โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 สร้าง carotenoid ได้มากที่สุดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ปริมาณ carotenoid (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่าง

วันที่	BG-11	N-free medium	Chlorella medium
0	0.01 ± 0.04 ^a	0.01 ± 0.03 ^a	0.05 ± 0.02 ^b
3	0.08 ± 0.02 ^a	0.03 ± 0.05 ^b	0.14 ± 0.03 ^c
6	0.01 ± 0.03 ^a	0.11 ± 0.05 ^b	0.09 ± 0.07 ^b
9	0.05 ± 0.03 ^a	0.06 ± 0.03 ^a	0.10 ± 0.02 ^b
12	0.17 ± 0.04 ^a	0.47 ± 0.03 ^b	0.22 ± 0.02 ^c
15	0.22 ± 0.02 ^a	0.35 ± 0.01 ^b	0.48 ± 0.03 ^c
18	0.67 ± 0.02 ^a	0.84 ± 0.08 ^b	0.25 ± 0.03 ^c
21	0.85 ± 0.02 ^a	1.31 ± 0.05 ^b	0.44 ± 0.04 ^c
24	0.08 ± 0.08 ^a	0.10 ± 0.05 ^a	0.08 ± 0.04 ^a
27	0.90 ± 0.08 ^a	1.18 ± 0.07 ^b	0.29 ± 0.04 ^c
30	1.76 ± 0.12 ^a	0.15 ± 0.01 ^b	1.09 ± 0.08 ^c

ตัวอักษร (a,b,c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 3 ปริมาณ phycocyanin และ phycoerythrin ของสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน

phycocyanin / phycoerythrin : รงควัตถุ phycocyanin และ phycoerythrin จัดเป็นรงควัตถุที่อยู่ในกลุ่มของ phycobiliprotein โดยในภาวะที่สาหร่ายขาดแคลนธาตุอาหาร หรือขาดไนโตรเจนสาหร่ายจะสามารถสลาย phycobiliprotein ไปเป็นแหล่งไนโตรเจนได้ โดยจะพบได้ว่าเมื่อปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอจะส่งผลให้ปริมาณของ phycobiliprotein ลดลง ซึ่งในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *N. commune* ในอาหารทั้ง 3 สูตรนี้ สาหร่ายจะสามารถสร้าง phycocyanin ได้มากที่สุดในการสูตร BG-11 โดยมีปริมาณ 5.60 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร และสร้าง phycoerythrin ได้มากที่สุดในการสูตร N-free medium โดยมีปริมาณ 8.52 ± 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ปริมาณของ phycocyanin และ phycoerythrin มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 3)

จากผลการทดลองพบว่าสูตรอาหาร Chlorella medium ให้ผลผลิตและโปรตีนสูงสุด ส่วน BG-11 ให้สาหร่าย *N. commune* สามารถสร้างสารสี carotenoid และ phycocyanin ได้มากที่สุด แสดงว่าปริมาณของไนโตรเจนที่ได้จากสูตรอาหาร BG-11 เหมาะสมต่อการสร้างสารสีของสาหร่ายชนิดนี้ ดังนั้นสูตรอาหาร BG-11 จึงเป็นสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในการทำการศึกษาเรื่องของสภาวะแวดล้อมในการทดลองนี้ โดยจะศึกษาในเรื่องของ อุณหภูมิ ความเข้มแสง และธาตุอาหาร

2. การสร้างสารสีของ *N. commune* ภายใต้สภาวะการเลี้ยงที่แตกต่างกัน

2.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการสร้างสารสีของ *N. commune*

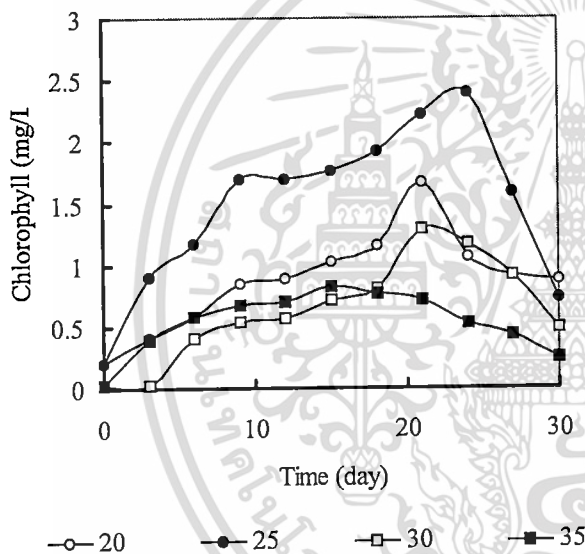
2.1.1 การเจริญเติบโตของ *N. commune* ที่เลี้ยงภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ *N. commune* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณน้ำหนักรากสูงสุดและมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอื่น โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีปริมาณน้ำหนักรากแห้ง 0.79 ± 0.05 กรัมต่อลิตร และที่อุณหภูมิ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำหนักรากแห้ง 0.55 ± 0.04 , 0.22 ± 0.01 , 0.04 ± 0.04 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2.1.2 ปริมาณรงควัตถุของ *N. commune* ที่เลี้ยงภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

คลอโรฟิลล์: ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่าย *N. commune* นั้นมีปริมาณมากที่สุดในการเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยจะมีปริมาณของคลอโรฟิลล์สูงสุดในช่วงของวันที่ 21- 24 โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์ 2.4 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้น ปริมาณของคลอโรฟิลล์จะเริ่มลดลงเนื่องจากการเริ่มมีการตายของเซลล์ และการเจริญเติบโตของสาหร่ายลดลง (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ ของสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

carotenoid: ปริมาณ carotenoid ของสาหร่ายที่เลี้ยงที่อุณหภูมิแตกต่างกัน จะมีค่าสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณ carotenoid 0.79 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีปริมาณของ carotenoid ในระดับที่ใกล้เคียงกัน เมื่อเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 35 องศาเซลเซียส (ตารางผนวกที่ 1)

phycobiliprotein : ปริมาณ ของ phycocyanin และ phycoerythrin สร้างได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณ 2.53 ± 0.33 และ 5.05 ± 0.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับสาหร่าย *N. commune* ที่จะทำให้สาหร่ายสามารถเจริญเติบโต และสร้างสารสีได้ดี (ตารางผนวกที่ 2 และ 3)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากว่าสาหร่ายแต่ละชนิดนั้นมีความต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมแตกต่างกัน เช่น *Haematococcus* นั้นต้องการอุณหภูมิประมาณ 28 องศาเซลเซียส เพื่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารสี (Mark Harker, Alex J. Tsavalos and Andrew J. young, 1996) Fan และคณะ(1994) ได้ทดลองเพาะเลี้ยง *H. pluvialis* ในอาหาร BG-11 ที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าที่อุณหภูมิ 25 และ 28 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญ และถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการเจริญจะลดลง อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของ *Dunaliella bioculata* และ *Dunaliella primolecta* จะอยู่ในช่วง 25-29 องศาเซลเซียส และ *Dunaliella tertiolecta* จะเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (Borowitzka, 1988) โดยทั่วไปสไปรูลินาเจริญเติบโตได้ดีที่ 20-25 องศาเซลเซียส แต่เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงเกิน 40 องศาเซลเซียสจะโตช้า (ชิตา, 2546)

โดยจากการทดลองนี้สาหร่าย *N. commune* เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 35 องศาเซลเซียส สาหร่าย *N. commune* จะเจริญเติบโตได้น้อย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสไปรูลินาซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเหมือนกันแล้ว สไปรูลินาจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า แต่ช่วงการเจริญเติบโตที่สามารถโตได้จะอยู่ในช่วงอุณหภูมิเดียวกัน การสร้างสารสีของสาหร่าย *N. commune* นั้น คลอโรฟิลล์เป็นดัชนีอย่างหนึ่งในการแสดงมวลสาหร่าย โดยมีความสัมพันธ์โดยตรงกับมวลสาหร่าย เมื่อสาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิในช่วง 20-25 องศาเซลเซียสจึงส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายจึงมีปริมาณมากในช่วงอุณหภูมินี้เช่นเดียวกัน ปริมาณของ phycocyanin และ phycoreythrins ของสาหร่าย *N. commune* จะมีปริมาณมากในช่วงอุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณของ phycocyanin และ phycoreythrins จะมีปริมาณลดลง ซึ่งจากการศึกษาของ Van Eykelenburg (1979) พบว่า phycocyanin ในเซลล์ของสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina platensis*) มีปริมาณมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม(15 - 17 องศาเซลเซียส) เนื่องจากในสภาพเช่นนี้ อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายจะต่ำลง สาหร่ายจึงมีการใช้กรดอมิโนเป็นปริมาณน้อย ในโตรเจนภายในเซลล์จึงสะสมอยู่ใน phycocyanin มีปริมาณมากขึ้น แต่ในระหว่างที่สาหร่ายมีการเจริญที่เหมาะสม (optimal growth) กรดอมิโนในเซลล์สาหร่ายจะอยู่ที่ส่วนโปรตีนของเซลล์ Van Eykelenburg (1980) ยังพบว่าที่อุณหภูมิใกล้เคียงหรือมากกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมของสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina platensis*) สาหร่ายจะมีปริมาณ phycocyanin น้อยลง เพราะสาหร่ายมีอัตราเจริญสูงขึ้น

การสร้าง carotenoid ของสาหร่าย *N. commune* สร้างได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส ซึ่งการสร้าง carotenoid ของสาหร่ายนั้นจะสร้างได้ปริมาณมากในช่วงอุณหภูมิที่สูง ซึ่งจากการศึกษาของ Tjahjono และคณะ (1994) ได้ทดลองเพาะเลี้ยง *H. pluvialis* NIES 144 ในช่วงอุณหภูมิ 20-35 องศาเซลเซียส พบว่าสาหร่ายมีการสร้าง astaxanthin สูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส สาหร่ายมี astaxanthin สูงกว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในอาหารที่มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึง 3 เท่า และที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สาหร่ายจะมีการสร้าง astaxanthin ที่สูงกว่า 20 องศาเซลเซียส ถึง 2.5 เท่า คือ ที่อุณหภูมิ 33, 30 และ 20 องศาเซลเซียส สาหร่ายจะมีการสร้าง astaxanthin เท่ากับ 22.6, 19 และ 8.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ บทบาทสำคัญที่น่าจะเกี่ยวข้องกับการสร้าง carotenoid ที่อุณหภูมิสูงคือ ที่อุณหภูมิสูงสาหร่ายจะมีการสังเคราะห์แสงมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ จึงมีผลทำให้เซลล์สาหร่ายมีการสร้าง active oxygen ออกมามากตามการสังเคราะห์แสง ดังนั้นสาหร่ายจึงจำเป็นต้องมีการกำจัด active oxygen ที่เป็นพิษต่อเซลล์โดยการสร้าง carotenoid ออกมาปริมาณมากเพื่อกำจัด active oxygen ดังกล่าว

2.2. ผลของความเข้มแสงที่มีต่อการสร้างสารสีของ *N. commune*

แสงเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว การเจริญเติบโตจะถูกยับยั้งเมื่อมีความเข้มแสงมากเกินไป การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้รับและการสังเคราะห์แสงพบว่า การสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับความเข้มแสงเพิ่มขึ้นและจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงเมื่อความเข้มแสงถึงระดับอิ่มตัว Watt (1969) กล่าวว่า การปลดปล่อยสารประกอบประเภทคาร์บอนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์แสงเปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มแสงด้วย โดยที่ความเข้มแสงสูงๆ จะไปยับยั้งการปลดปล่อยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์แสง

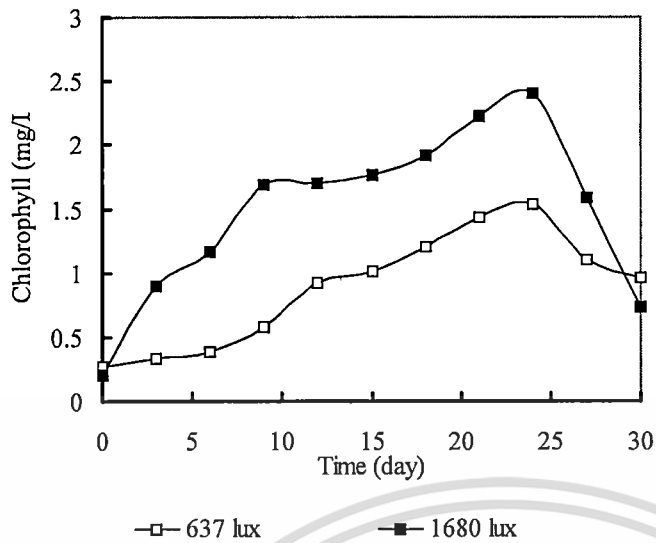
2.2.1 การเจริญเติบโตของ *N. commune* ที่เลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

สาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงภายใต้ความเข้มแสง 1680 ลักซ์ มีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงสุดและมีความแตกต่างทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงที่ความเข้มแสง 637 ลักซ์ โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีปริมาณน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.55 ± 0.04 และ 0.35 ± 0.02 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2.2.2 ปริมาณรงควัตถุของ *N. commune* ที่เลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

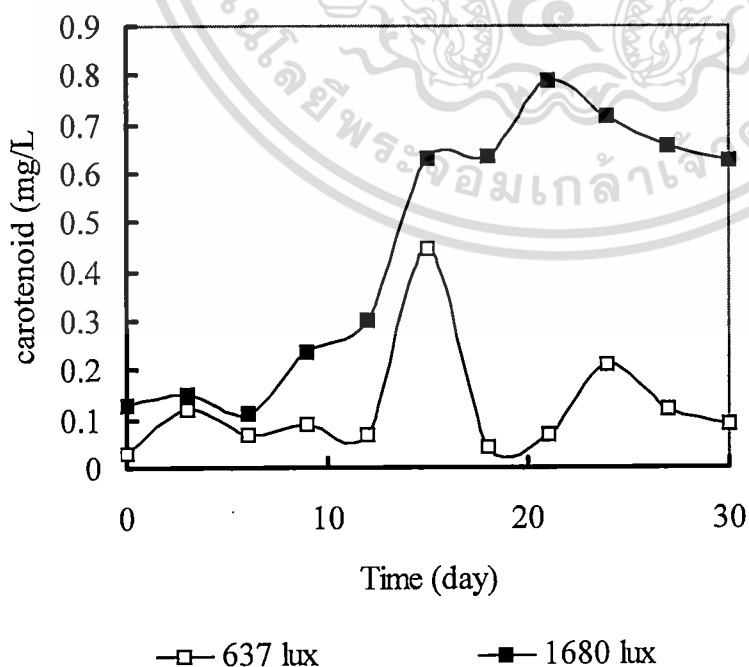
คลอโรฟิลล์: ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายที่เลี้ยงที่แต่ละความเข้มแสง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 5) โดยในช่วงแรกสาหร่าย *N. commune* จะมีการสร้างปริมาณคลอโรฟิลล์ได้มาก ที่ความเข้มแสง 1680 ลักซ์ โดยปริมาณการสร้างคลอโรฟิลล์ก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเริ่มลดลงในช่วงวันที่ 27 ของการทดลอง โดยมีปริมาณสูงสุดที่ 2.4 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยคลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่สาหร่ายใช้ในการสังเคราะห์แสง เพื่อสร้างคาร์บอนให้แก่สาหร่าย ช่วงที่สาหร่ายมีปริมาณของคลอโรฟิลล์มาก และความเข้มแสงพอเหมาะจึงส่งผลให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตได้มากด้วย โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย ซึ่งผลที่ได้ก็จะสอดคล้องตามปริมาณของคลอโรฟิลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5 ปริมาณคลอโรฟิลล์ ของสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

carotenoid: สาหร่าย *N. commune* ที่ได้รับแสง ความเข้มแสง 1680 ลักซ์ มีปริมาณของ carotenoid สูงเนื่องจากว่า เป็นแสงที่มีความเข้มแสงสูงโดยมีปริมาณ carotenoid 0.79 ± 0.21 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มแสงที่สูงนี้จะกระตุ้นให้สาหร่ายมีการสร้าง carotenoid โดยในความเข้มแสง 637 ลักซ์ เป็นความเข้มแสงต่ำ สาหร่าย *N. commune* จะสร้าง carotenoid ได้ในปริมาณที่น้อย โดยมีความเข้มแสง 637 ลักซ์ เป็นความเข้มแสงต่ำ สาหร่าย *N. commune* จะสร้าง carotenoid ได้ในปริมาณที่น้อย โดยมีความเข้มแสง carotenoid คือ 0.43 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 ปริมาณ carotenoid ที่สร้างโดย *N. commune* ที่เลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานวิจัยที่เผยแพร่โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

phycobiliprotein : ปริมาณ phycoerythrin และ phycocyanin ของ สาหร่าย *N. commune* มีปริมาณมากที่สุดเมื่อเพาะเลี้ยงที่สาหร่ายที่ความเข้มแสง 1680 ลักซ์ โดยมีปริมาณของ phycoerythrin 5.05 ± 0.33 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีปริมาณ phycocyanin 3.58 ± 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่มีค่าที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 4 และ 5)

จากการทดลองสาหร่าย *N. commune* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ความเข้มแสง 1680 ลักซ์ โดยมีปริมาณน้ำหนักรวมมากที่สุด ความเข้มของแสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสง การเจริญเติบโต ซึ่งความเข้มของแสงที่เหมาะสมกับสาหร่ายแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน เช่น สาหร่ายสีเขียว ความเข้มแสงที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 5-7.5 กิโลลักซ์ ในขณะที่ ไดอะตอม และ ไดโนแฟลกเจลเลต จะอยู่ในช่วง 10-20 และ 25-30 กิโลลักซ์ ตามลำดับ (Riley and Chester, 1971) จากการศึกษาของ สรวีศ และคณะ (2538) พบว่า ความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการเลี้ยง *D. salina* จะอยู่ในช่วง 5,000-15,000 ลักซ์ Chen และ Lin (1983) รายงานว่า ค่าอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (maximum specific growth rate) ของสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina platensis*) มีค่าเท่ากับ 2 ต่อวัน ในขณะที่มีความเข้มแสง 4 กิโลลักซ์ (การเลี้ยงสาหร่ายภายในห้องปฏิบัติการ) จากการศึกษาของ Zarrouk (1966) อ้างโดย Santillan (1982) รายงานว่า สาหร่ายเกลียวทองมีอัตราการเจริญจำเพาะที่สูง (high specific growth rate) โดยมีค่าเท่ากับ 0.3 ต่อวัน ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ ส่วนในสภาวะธรรมชาติ ในฤดูร้อนมีค่าเท่ากับ 0.2 ต่อวัน และ ในฤดูหนาวซึ่งมีความเข้มแสง น้อยกว่าจะมีค่าเท่ากับ 0.1 ต่อวัน ซึ่งในการทดลองเลี้ยง

สาหร่าย *N. commune* ในห้องปฏิบัติการนี้มีความเข้มแสงสูงสุด 1680 ลักซ์ เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มแสงที่ทำให้สาหร่าย *Spirulina platensis* เจริญเติบโตได้สูงที่สุดคือ 4 กิโลลักซ์ ซึ่งเห็นได้ว่าความเข้มแสงที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย *N. commune* ค่อนข้างจะน้อยกว่าความต้องการของสาหร่าย จึงทำให้สาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในความเข้มแสง 637 ลักซ์ มีการเจริญเติบโตที่ไม่ดี มีปริมาณน้ำหนักรวมที่น้อยที่สุด ซึ่งเป็นผลจากปริมาณความเข้มแสงไม่เพียงพอต่อความต้องการของสาหร่ายเพื่อนำไปใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสง ดังนั้นสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในความเข้มแสง 1680 ลักซ์ ซึ่งมีความเข้มแสงที่สูงกว่า สาหร่ายได้รับแสงเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น สาหร่าย *N. commune* จึงเจริญเติบโตได้ดีกว่า และสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงที่ความเข้มแสง UV 6 ชั่วโมงสลับกับ ความเข้มแสง 1680 ลักซ์ มีการเจริญเติบโตที่น้อยกว่า ความเข้มแสง 1680 ลักซ์ เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) มีผลโดยตรงต่อกรดนิวคลีอิก และยังสามารถทำลายเอนไซม์ ribulose biphosphate (RuBP) carboxylase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง ทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง (Sokawa and Hase, 1968) จึงทำให้สาหร่ายที่เลี้ยงในความเข้มแสงนี้มีการเจริญเติบโตที่น้อยกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในความเข้มแสง 1680 ลักซ์ 24 ชั่วโมง ปริมาณของ carotenoid ของสาหร่าย *N. commune* มีปริมาณมากที่สุดความเข้มแสง 1680 ลักซ์ มีปริมาณ 0.79 ± 0.21 มิลลิกรัมต่อลิตร และ สาหร่ายมีปริมาณ carotenoid รองลงมาที่การเลี้ยงในความเข้มแสง UV 6 ชั่วโมง สลับกับความเข้มแสง 1680 ลักซ์ ซึ่งมีปริมาณ 0.50 ± 0.77 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทั้ง 2 ความเข้มแสงนี้ เป็นแสงที่มีความเข้มแสงสูง ซึ่งความเข้มแสงที่เอ็กสตรีนเป็นเอ็กสตรีนที่ส่งผ่านไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่ว่างานใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงนี้จะกระตุ้นให้สาหร่ายมีการสร้าง carotenoid Fan และคณะ(1994) ได้รายงานว่ เมื่อเพาะเลี้ยง *Haematococcus pluvialis* ในอาหาร BG-11 และให้ความเข้มแสงสูง(200 และ 400 ไมโครอิเล็กตรอนต่อตารางเมตรต่อวินาที) อัตราการสร้าง astaxanthin จะสูงกว่าในอาหารที่มีความเข้มแสงต่ำ (50 และ 100 ไมโครอิเล็กตรอนต่อตารางเมตรต่อวินาที) โดยปกติสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่อาศัยอยู่บริเวณที่ได้รับ ความเข้มแสงสูง ซึ่งภายใต้สภาพนี้ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจำเป็นที่จะต้องมีกลไกเพื่อป้องกันอันตรายจากแสงที่ได้รับ กลไกการป้องกันอันตรายของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เช่น การเคลื่อนหนีแสงเพื่อหลีกเลี่ยงแสงที่มีความเข้มแสงสูง หรือการสร้างสารประกอบที่ใช้ในการดูดซับรังสีอุลตราไวโอเล็ต เพื่อป้องกันแสงที่จัดเกินไปไม่ให้เป็นอันตรายต่อรงควัตถุสังเคราะห์แสงของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ได้แก่ carotenoid (Garcia and Castenhoz, 1991,1993) จากการศึกษาของ Kobayashi และคณะ (1992) ได้เพาะเลี้ยง สาหร่าย *H. pluvialis* NIES 144 ที่สภาพการให้แสง 2 แบบ คือ สภาพที่มีการให้แสง ตลอด 24 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง โดยมีความเข้มแสงในช่วง 68-281 ไมโครโมลอิเล็กตรอนต่อ ตารางเมตร ต่อ วินาที พบว่า สาหร่ายเมื่อเจริญในสภาพที่มีการให้แสงต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง และในสภาพที่มีความเข้มแสง 281 ไมโครโมลอิเล็กตรอนต่อ ตารางเมตร ต่อ วินาที จะกระตุ้นให้สาหร่ายมีการสร้าง astaxanthin สูงที่สุด และ เมื่อให้แสงน้อยกว่า 50 ไมโครโมลอิเล็ก ตรอนต่อ ตารางเมตร ต่อ วินาที จะไม่พบการเปลี่ยนแปลงจากเซลล์ปกติ ไปเป็น aplanospore ที่ไม่เคลื่อนที่ ทำให้การสร้าง astaxanthin เกิดขึ้นน้อยมาก นอกจากนี้ที่ความเข้มแสงเดียวกัน ถ้าให้แสงต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง จะทำให้การสังเคราะห์ astaxanthin สูงขึ้นกว่าให้แสงที่ 12 ชั่วโมง (12light/12dark) ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณเซลล์ไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อมีระยะเวลาการให้แสงต่างกัน การที่ *N. commune* เจริญอยู่ในสภาพที่มีความเข้มแสงสูงและระยะเวลาให้แสงนานสาหร่ายจะมีการสร้าง astaxanthin ได้สูงนั้นน่าจะเป็นเพราะว่า ถ้ามีการให้แสงความเข้มสูง ตลอด 24 ชั่วโมง เซลล์จะมีกลไกป้องกันตัวเองโดยสร้าง carotenoid เพื่อป้องกันแสงให้กับเซลล์ ปริมาณของ phycocyanin และ phycoerythrin จะมีปริมาณมาก เมื่อถึงความเข้มแสง 1680 ลักซ์ โดยมีปริมาณ phycoerythrin 5.05 ± 0.33 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีปริมาณ phycocyanin 3.58 ± 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการศึกษาของ Oquist และคณะ (1974) phycobiliprotein เพิ่มขึ้น เมื่อเซลล์ได้รับแสงที่มีความเข้มแสงต่ำ ในกรณีของ *Anacystis nidulans* เมื่อเลี้ยงในแสงที่มีความเข้มแสง 7 วัตต์ต่อตารางเมตร อัตราส่วนของ phycocyanin ต่อคลอโรฟิลล์ เป็น 0.96 เมื่อความเข้มแสงเพิ่มเป็น 50 วัตต์ต่อตารางเมตร อัตราส่วนของ phycocyanin ต่อคลอโรฟิลล์ลดลงเป็น 0.37 phycocyanin และ phycoerythrin เป็นรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับการดูดกลืนแสง ดังนั้นในที่ที่มีแสงจำกัดหรือในที่ที่มีความเข้มข้นของเซลล์สูงซึ่งจะมีการบังแสงกัน เซลล์จะมีปริมาณของ phycocyanin สูงขึ้นเพื่อให้สามารถจับแสงที่มีปริมาณจำกัดได้มากขึ้น Cohen และคณะ (1993) ได้ทำการทดลองหาผลของความเข้มข้นของเซลล์ต่อปริมาณ phycocyanin ของสาหร่ายเกลียวทอง สายพันธุ์ Z19/2 และ Z17B พบว่า เมื่อความเข้มข้นของเซลล์ที่ใช้เลี้ยงสูง เซลล์มี phycocyanin สูงกว่า การเลี้ยงที่เซลล์ความเข้มข้นต่ำ โดยสาหร่ายเกลียวทองสายพันธุ์ Z17B ที่ความเข้มข้นของเซลล์ 5 มิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อลิตร จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของ phycocyanin 77.7 ± 3.46 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม คลอโรฟิลล์ต่อลิตร จะมีปริมาณของ phycocyanin 122.7 ± 8.48 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และสำหรับสาหร่ายเกลียวทองสายพันธุ์ Z19/2 ที่ความเข้มข้นของเซลล์ 5 มิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อลิตร จะมีปริมาณของ phycocyanin 95.3 ± 10.07 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม คลอโรฟิลล์ต่อลิตร จะมีปริมาณของ phycocyanin 133.6 ± 1.89 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ดังนั้น การที่สาหร่าย *N. commune* มีปริมาณของ phycocyanin และ phycoerythrin มากที่สุดที่ความเข้มแสง 1680 ลักซ์ ก็เนื่องจากว่า สาหร่าย *N. commune* มีการเจริญเติบโตที่ดีในความเข้มแสงนี้และมีความหนาแน่นของเซลล์มาก มีความเข้มข้นของเซลล์สูง และเมื่อมีความเข้มข้นเซลล์เพิ่มขึ้น เกิดการบังแสงกัน ทำให้เซลล์ต้องสังเคราะห์รงควัตถุเพิ่มขึ้น เพื่อให้สามารถจับแสงที่มีอยู่จำกัดได้มากขึ้น การที่สาหร่ายที่เลี้ยงในความเข้มแสง UV 6 ชั่วโมง สลับกับ ความเข้มแสง 1680 ลักซ์ มีปริมาณของ phycocyanin และ phycoerythrin น้อยกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในความเข้มแสง 1680 ลักซ์ 24 ชั่วโมง เนื่องจากว่าแสง UV เป็นแสงที่มีความเข้มแสงสูง ทำให้ปริมาณของ phycocyanin และ phycoerythrin ที่สาหร่ายสังเคราะห์จึงมีปริมาณน้อย และการที่แสง UV มีผลโดยตรงต่อกรดนิวคลีอิก ทำให้เซลล์เกิดการ กลายพันธุ์ ไม่สามารถสังเคราะห์ไฟโคบิลิซิมได้สมบูรณ์ (Williams และคณะ, 1980) จึงทำให้สาหร่ายมีปริมาณของ phycocyanin และ phycoerythrin น้อย สาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงที่ความเข้มแสง 637 ลักซ์ ซึ่งเป็นความเข้มแสงต่ำแต่มีปริมาณของ phycocyanin และ phycoerythrin น้อย เนื่องจากว่า ปริมาณความเข้มแสง 637 ลักซ์ มีความเข้มแสงที่น้อยไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต และการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย จึงทำให้เซลล์สาหร่าย ต่อ 1 ลิตรมีปริมาณน้อย จึงทำให้ปริมาณของ phycocyanin และ phycoerythrin ที่สกัดจากเซลล์ มีปริมาณน้อยด้วย

2.3. ผลของแสงยูวีที่มีต่อการสร้างสารสีของ *N. commune*

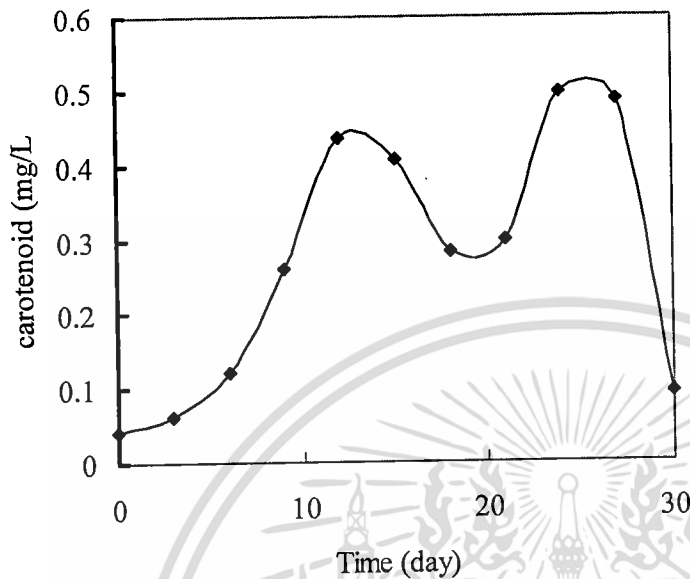
2.3.1 การเจริญเติบโตของ *N. commune* ที่เลี้ยงภายใต้รังสียูวี

สาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงภายใต้แสงยูวีมีปริมาณน้ำหนักแห้งที่สิ้นสุดการทดลองสูงกว่าการเลี้ยงภายใต้แสงปกติ (ความเข้มแสง 1680 ลักซ์) โดยมีน้ำหนักแห้ง 0.64 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติกับน้ำหนักแห้งที่เลี้ยงภายใต้แสงปกติ ซึ่งมีน้ำหนัก 0.55 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3.2 ปริมาณรงควัตถุของ *N. commune* ที่เลี้ยงภายใต้รังสียูวี

คลอโรฟิลล์: โดยการเลี้ยงสาหร่าย *N. commune* ในแสง UV 6 ชั่วโมง สลับกับการให้แสง ความเข้มแสง 1680 ลักซ์ นั้นสาหร่ายจะมีปริมาณของคลอโรฟิลล์รองลงมามีซึ่งมีปริมาณ 2.11 ± 0.02

มิลลิกรัมต่อลิตร และสาหร่าย *N. commune* จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์น้อยที่สุดที่ความเข้มแสง 637 ลักซ์ ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ 1.52 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 7 ปริมาณ carotenoid ใน *N. commune* ที่เลี้ยงภายใต้แสงยูวี

carotenoid: สาหร่ายสามารถสร้าง carotenoid ได้สูงในวันที่ 12 จากนั้นมีปริมาณ carotenoid ลดลงและเพิ่มขึ้นสูงสุดอีกครั้งในวันที่ 24 ซึ่งมีปริมาณ carotenoid เท่ากับ 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าการเลี้ยงด้วยสภาวะปกติมาก (ภาพที่ 7)

phycobiliprotein : ปริมาณ phycobiliprotein จะเพิ่มมากในช่วงแรกหลังการสัมผัสรังสียูวีโดยพบเพิ่มสูงมากประมาณวันที่ 3-6 ของการทดลอง หลังจากนั้น มีการผันแปรตลอดเวลา และกลับเพิ่มขึ้นสูงมากอีกครั้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยพบมีปริมาณ phycocyanin และ phycoerythrin เท่ากับ 1.75 และ 1.42 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ปริมาณ phycobiliprotein (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่พบใน *N. commune* ที่เลี้ยงภายใต้รังสียูวี

วัน	phycocyanin	phycoerythrin
0	0.41 ± 0.00	0.62 ± 0.00
3	0.40 ± 0.01	1.62 ± 0.03
6	1.60 ± 0.04	0.19 ± 0.00
9	0.60 ± 0.02	0.32 ± 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 (ต่อ)

วัน	phycocyanin	phycoerythrin
12	0.44±0.01	0.21±0.00
15	0.82±0.03	0.51±0.02
18	0.40±0.01	1.00±0.03
21	1.07±0.04	0.48±0.04
24	0.27±0.01	0.36±0.03
27	0.29±0.01	0.49±0.03
30	1.75±0.05	1.42±0.07

2.4. ผลของแหล่งไนโตรเจนที่มีต่อการสร้างสารสีของ *N. commune*

2.4.1 การเจริญเติบโตของ *N. commune* ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจนต่างกัน

ปริมาณน้ำหนักรากแห้งของสาหร่าย *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีโพแทสเซียมในเตรท เป็นแหล่งไนโตรเจนมีปริมาณน้ำหนักรากแห้งสูงที่สุดในวันที่ 21 ของการเพาะเลี้ยง โดยมีน้ำหนักรากแห้งเท่ากับ 0.65 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นปริมาณน้ำหนักรากแห้งจะลดลง ส่วนสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีโซเดียมในเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน มีปริมาณน้ำหนักรากแห้งสูงที่สุดในวันที่ 27 ของการเพาะเลี้ยง โดยมีน้ำหนักรากแห้งเท่ากับ 0.73 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเมื่อเทียบปริมาณน้ำหนักรากแห้งสูงสุดที่สาหร่ายผลิตได้พบว่าการเลี้ยงสาหร่ายในสูตรอาหารที่มีโซเดียมในเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจนจะให้ปริมาณน้ำหนักรากแห้งสูงกว่าและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรอาหารที่ใช้ โพแทสเซียมในเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน แต่พบว่าในสูตรอาหารนี้จะมีการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่รวดเร็วกว่า

2.4.2 ปริมาณรงควัตถุของ *N. commune* ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจนต่างกัน

คลอโรฟิลล์: ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในอาหารที่มีโพแทสเซียมในเตรทช่วงแรกจะมีการสร้างคลอโรฟิลล์ในปริมาณที่มากกว่า แต่เมื่อพิจารณาปริมาณคลอโรฟิลล์ที่มากที่สุดของแต่ละธาตุอาหารแล้วพบว่า สาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในธาตุอาหารโซเดียมในเตรทจะมีปริมาณของคลอโรฟิลล์ที่มากกว่าโดยมีปริมาณ 3.98 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีโพแทสเซียมในเตรทจะมีปริมาณของคลอโรฟิลล์สูงสุดคือ 2.09 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์ของ 2 ธาตุอาหารนี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 6)

carotenoid : ปริมาณของ carotenoid ของสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 ที่มี NaNO_3 เป็นแหล่งไนโตรเจนจะมีปริมาณที่มากที่สุด คือ 1.76 ± 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าที่แตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ carotenoid ของสาหร่ายที่เลี้ยงในธาตุอาหารที่มีโพแทสเซียมไนเตรท ซึ่งมีปริมาณของ carotenoid คือ 0.88 ± 0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 6)

phycobiliprotein : สาหร่าย *N. commune* สามารถสร้าง phycocyanin และ phycoerythrin ได้ดี และมีปริมาณที่มากในสูตรอาหาร BG-11(NaNO_3) ปริมาณของ phycocyanin และ phycoerythrin คือ 5.60 ± 0.28 และ 4.55 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงใน ธาตุอาหารที่มีโพแทสเซียมไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน (ตารางผนวกที่ 6)

จากผลการทดลอง สาหร่าย *N. commune* สามารถเจริญเติบโตได้ดี และมีปริมาณน้ำหนักรวมมากที่สุด ในการเลี้ยงสาหร่ายโดยใช้โซเดียมไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญ สำหรับการสร้างชีวมวล สัดส่วนของไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 7-10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักรวม ดังนั้นในการผลิตเซลล์ 1 กรัม ในอาหาร 1 ลิตร ปริมาณโซเดียมไนเตรท ต่ำสุดที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต้องการคือ 500-600 มิลลิกรัม/ลิตร (Vohnshak, 1986) ธาตุไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ กรดอะมิโน โปรตีน โคเอนไซม์ กรดนิวคลีอิก และ คลอโรฟิลล์ ธาตุไนโตรเจนจึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่ง ของน้ำหนักรวมของเซลล์สาหร่าย ซึ่งจากการทดลองนี้โซเดียมไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ดีที่สุดสำหรับสาหร่าย *N. commune* และจากการศึกษาของ สมบูรณ์และคณะ (2539) ได้ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *D. salina* 1197 ด้วยเกลือไนโตรเจนชนิดต่างๆพบว่าปริมาณเซลล์ที่ได้ใกล้เคียงกัน สูตรอาหารที่มียูเรียเป็นส่วนประกอบ จะให้ปริมาณเซลล์สูงสุด 4.25×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ส่วนสูตรอาหาร ที่มีโพแทสเซียมไนเตรท และ โซเดียมไนเตรท เป็นส่วนประกอบนั้นให้ปริมาณเซลล์ 3.687×10^6 และ 3.79×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ จากการศึกษาของ Grant พบว่า *D. salina*, *D. viridis* และ *D. tertiolecta* สามารถใช้เกลือโซเดียมไนเตรทได้ดีที่สุด สาหร่ายจะนำไนเตรทไปใช้โดยการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออนก่อน แล้วจึงนำไปสร้างเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเซลล์สาหร่าย (Kaplan และคณะ, 1986)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในธาตุอาหารโซเดียมไนเตรทจะสามารถสร้างคลอโรฟิลล์ได้ดีที่สุด คลอโรฟิลล์เป็นดัชนีอย่างหนึ่งในการแสดงมวลสาหร่าย โดยมีความสัมพันธ์โดยตรงกับเซลล์สาหร่าย การที่สาหร่ายมีการเจริญเติบโตที่ดีเนื่องจากมีคลอโรฟิลล์ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวสำคัญในการสังเคราะห์แสง สร้างอาหารให้แก่สาหร่าย คลอโรฟิลล์มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของโครงสร้าง (สัมพันธ์, 2529) จากสูตรโมเลกุลของ คลอโรฟิลล์เอ คำนวณได้ว่า คลอโรฟิลล์มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ อยู่ในปริมาณ 8.22 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักโมเลกุล ซึ่งจากการทดลองสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในธาตุอาหารที่ใช้โซเดียมไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน มีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด ซึ่งแสดงว่า โซเดียมไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสาหร่าย *N. commune*

การสร้าง carotenoid ในสาหร่าย *N. commune* สร้างได้มากที่สุด ในอาหารที่ใช้โซเดียมไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน ซึ่งได้มีการศึกษาของ Borowitzka และคณะ (1991) ได้ทำการศึกษาแหล่งของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับการสร้าง astaxanthin ของ *H. pluvialis* MUR-1 และ MUR-64 โดยใช้แหล่งไนโตรเจนต่างๆดังนี้ โปแทสเซียมไนเตรท แอมโมเนียมคลอไรด์ แอมโมเนียมไนเตรท และ ยูเรีย โดยให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนเท่ากันในทุกสูตรอาหาร พบว่าการเจริญในอาหารที่มียูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนจะดีที่สุด แต่การใช้แอมโมเนียมไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจนไม่เหมาะสมต่อการเจริญ โดยจะมีปริมาณเซลล์น้อยที่สุด ส่วนแหล่งไนโตรเจนอื่นๆ จะทำให้จำนวนเซลล์ใกล้เคียงกัน ในระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 21 วัน สำหรับการสร้าง aplanospores สีแดงในอาหารที่มีโปแทสเซียมไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจนจะกระตุ้นให้มีการสร้างดีที่สุด และอาหารที่มียูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนสาหร่ายจะสร้าง aplanospores รองลงมา ส่วนการใช้แอมโมเนียมคลอไรด์เป็นแหล่งไนโตรเจนจะยับยั้งการสร้าง aplanospores

จากการศึกษา ของ Boussiba และ Vonshak (1991) ได้ทำการเพาะเลี้ยง *H. pluvialis* ในอาหารที่มีโซเดียมไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน คือ 1.5 กรัมต่อลิตร และ 0.15 กรัมต่อลิตร พบว่าหากอาหารที่ใช้สำหรับเพาะเลี้ยงมีความเข้มข้นของไนโตรเจนน้อย คือ 0.15 กรัมต่อลิตร การสร้าง astaxanthin จะสูงในช่วงแรก จากนั้นเมื่อแหล่งไนโตรเจนหมดการสร้าง astaxanthin จะหยุดลง แต่หากมีแหล่งไนโตรเจนที่มากพอ (1.5 กรัมต่อลิตร) การสร้าง astaxanthin จะมากขึ้น โดยมีปริมาณที่สูงถึง 65 พิโคกรัมต่อเซลล์ ส่วนในอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนต่ำสาหร่ายจะมีการสร้าง astaxanthin 52 พิโคกรัมต่อเซลล์เท่านั้น และจะลดลงอีกเมื่อเวลาผ่านไป

ดังนั้นการใช้โซเดียมไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการเลี้ยงสาหร่าย *N. commune* จึงเหมาะสมกว่าการใช้โปแทสเซียมไนเตรท เนื่องจากสาหร่าย *N. commune* สามารถสร้าง carotenoid ได้ปริมาณมากในการใช้โซเดียมไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน และถ้าหากต้องการให้มีปริมาณของ carotenoid เพิ่มมากขึ้น ก็สามารถใช้วิธีการจำกัดความเข้มข้นของแหล่งไนโตรเจนได้ จากการศึกษาก่อนหน้านี้ของ Harker และคณะ (1996) ได้ทดลองเพาะเลี้ยง *H. pluvialis* CCAP 34/7 ในอาหาร BBM modified ที่มีความเข้มข้นของโซเดียมไนเตรทเข้มข้นต่างๆกัน ดังนี้ 0, 0.75, 1.5, 3.0 และ 6.0 มิลลิโมลาร์ พบว่าในอาหารที่มีความเข้มข้นของโซเดียมไนเตรทเข้มข้นต่ำจะกระตุ้นให้ *H. pluvialis* CCAP 34/7 มีการสะสม astaxanthin สูงขึ้น แต่ถ้าในอาหารที่มีความเข้มข้นของไนเตรทสูงขึ้นการสะสม astaxanthin ภายในเซลล์จะน้อยลง

แหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับการสร้าง phycocyanin และ phycoerythrin ของสาหร่าย *N. commune* จากการทดลองนี้คือ โซเดียมไนเตรท ซึ่งส่งผลให้สาหร่ายสามารถสร้าง phycocyanin และ phycoerythrin ได้มากที่สุด โดยมีปริมาณมากกว่าการใช้โปแทสเซียมไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน การที่สาหร่ายสามารถนำไนโตรเจนจากโซเดียมไนเตรทมาใช้ได้ดี มีการสะสมไนโตรเจนในเซลล์มาก จึงส่งผลให้สาหร่าย *N. commune* มีปริมาณของ phycocyanin และ phycoerythrin สูงด้วย เนื่องจากว่า phycocyanin เป็นแหล่งสะสมไนโตรเจน ซึ่งจะช่วยให้ธาตุไนโตรเจนแก่สาหร่ายในยามที่ขาดแคลนธาตุอาหารไนโตรเจน (Kalan และคณะ, 1986) ดังนั้นยามที่สาหร่ายขาดแคลนธาตุอาหารไนโตรเจน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

phycocyanin จะมีปริมาณลดลงทันที ในสาหร่ายเกลียวทอง (*S. platensis*) phycocyanin จะมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเลี้ยงสาหร่ายในอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนมากเกินไป (Boussiba และ Richmond, 1980) และจากการที่ไซโตเคมเป็นธาตุที่ช่วยในการเปลี่ยนโมเลกุลไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียมในการตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้ จึงส่งผลให้สาหร่าย *N. commune* ใช้แหล่งไนโตรเจนจากไซโตเคมในเตรทได้ดี มีปริมาณ phycocyanin และ phycoerythrin มาก

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *N. commune* ในสภาวะการเลี้ยงที่แตกต่างกัน สารสีแต่ละชนิดที่ได้จากการทดลองนี้จะมีปริมาณแตกต่างกัน และสาหร่าย *N. commune* สามารถสร้างสารสี phycocyanin ได้ปริมาณมากที่สุดในสภาวะที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 1680 ลักซ์ ที่ความเข้มข้นเซลล์ 2395.07 ± 1.81 มิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อลิตร โดยมีปริมาณ phycocyanin 5.05 ± 0.33 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะฉะนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงพบว่า สาหร่าย *N. commune* เป็นสาหร่าย อีกชนิดหนึ่ง ที่สามารถผลิต phycocyanin ได้ดี นอกเหนือจาก *Spirulina platensis* ที่เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ที่สามารถสร้าง phycocyanin ได้ดีเช่นกัน โดยสาหร่าย *Spirulina platensis* จะสามารถสร้างสารสี phycocyanin ได้ ประมาณ 10.2 ± 2.36 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสภาวะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 1499 ไมโครอิเล็กตรอนต่อตารางเมตรต่อวินาที และที่ความเข้มข้นของเซลล์ 10 มิลลิกรัมคลอโรฟิลล์ต่อลิตร (รัชนก, 2539) ถึงแม้ว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* จะสามารถสร้าง phycocyanin ได้มากกว่า แต่เมื่อพิจารณาในด้านการเก็บเกี่ยวเซลล์ แล้ว สาหร่าย *N. commune* สามารถเก็บเกี่ยวเซลล์ได้ง่ายกว่า เนื่องจากสาหร่าย *N. commune* เป็นสาหร่ายที่มีขนาด เส้นสายและมีขนาดเซลล์ที่ใหญ่กว่าเซลล์ของ *Spirulina platensis* จึงทำให้การเก็บเกี่ยวเซลล์สามารถทำได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว และโดยทั่วไป สาหร่าย *N. commune* เป็นสาหร่ายที่ชาวบ้านนิยมนำมาใช้ทำเป็นอาหารรับประทานอยู่แล้ว หากมีการนำสาหร่าย *N. commune* ไปใช้ประโยชน์ในด้าน เป็นแหล่งสร้างสารสี phycocyanin ที่ได้จากรธรรมชาติ ก็จะเป็นการ ช่วยเพิ่มมูลค่า ให้กับสาหร่าย *N. commune* และในด้านสารสี carotenoid ที่ได้จากสาหร่าย *N. commune* พบว่าสาหร่าย *N. commune* จะสร้าง carotenoid ได้ในปริมาณที่น้อย โดยมีปริมาณ 0.79 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสภาวะที่ความเข้มแสง 1680 ลักซ์ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่าย *Haematococcus pluvialis* ซึ่งเป็นสาหร่ายที่นิยม นำมาใช้ในการสกัด carotenoid โดยสาหร่าย *Haematococcus pluvialis* จะสร้าง carotenoid ได้ในปริมาณ 22.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสภาวะที่ ความเข้มแสง 2 กิโลลักซ์ อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส (Tjahjono, 1994) ด้วยผลผลิตของปริมาณสารสี carotenoid ของสาหร่าย *N. commune* ที่น้อยกว่ามากนี้ จึงทำให้สาหร่าย *N. commune* นั้นเป็นสาหร่าย ที่ไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการสกัดสารสี carotenoid

3. คุณค่าทางโภชนาการและการสร้างสารสีของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำนมดิบ และมูลสุกร

3.1 คุณค่าทางโภชนาการและการสร้างสารสีของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำนมดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 คุณค่าทางโภชนาการของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำนมดิบ

ที่ *N. commune* ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้น 0.3% มีปริมาณ โปรตีนเฉลี่ยสูงสุดคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง คือ 48.90% โดยมีความแตกต่างทางสถิติกับชุดการทดลองอื่น ส่วนไขมันพบว่า *N. commune* ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมนม 0.1% มีปริมาณมากที่สุด คือ 1.83% ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มข้นอื่น ๆ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและแคลเซียมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกชุดการทดลอง ฟอสฟอรัสมีพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ของทุกความเข้มข้น โดยพบมากที่สุดในชุดควบคุม คือ 4.16% (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมนม

คุณค่าโภชนาการ (ร้อยละ)	นม 0.1%	นม 0.2%	นม 0.3 %	ชุดควบคุม
protein	33.83±0.01 ^c	44.01±0.72 ^b	48.90±0.05 ^a	32.56±0.22 ^d
Lipid	1.83±0.31 ^a	1.07±0.18 ^b	0.91±0.12 ^b	0.49±0.17 ^b
Carbohydrate	20.23±3.13 ^a	19.10±0.45 ^a	15.75±0.53 ^a	16.46±0.53 ^a
Calcium	0.24±0.18 ^a	0.23±0.18 ^a	0.20±0.18 ^a	0.34±0.16 ^a
Phosphorus	3.55±0.07 ^b	3.01±0.05 ^c	2.71±0.04 ^d	4.15±0.02 ^a
Ash	21.57±0.15 ^a	16.75±0.024 ^{ab}	14.61±0.22 ^b	21.17±3.04 ^a
fiber	22.52±3.50 ^{ab}	19.04±1.08 ^b	19.81±0.59 ^b	29.30±2.67 ^a

ตัวอักษร (a, b, c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการทดลองครั้งนี้ พบว่าที่ความเข้มข้นของปุ๋ยผสมนม 0.3% พบปริมาณ โปรตีนสูงสุด ซึ่งเป็นได้ว่าที่ความเข้มข้นของนมมากขึ้นจะทำให้มีปริมาณ โปรตีนสูงขึ้น (จากการศึกษาครั้งนี้ความเข้มข้นมากที่สุดคือ นม 0.3%) ยงยุทธ (2541) และคณะ กล่าวว่าหากมีระดับของไนโตรเจนสูงหรือมีอยู่อย่างเหลือเพื่อการผลิตโปรตีนและสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบก็จะเป็นไปอย่างรวดเร็ว

3.1.2 การเจริญเติบโตของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำนมดิบ

น้ำหนักแห้งของ *N. commune* ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมนมที่มีความเข้มข้น 0.3% มีปริมาณสูงสุด 0.78±0.08 กรัมต่อลิตร และมีความแตกต่างทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่ผสมนม 0.01% และอาหารที่ไม่ผสมนม แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับอาหารที่ผสมนม 0.2% (ตารางที่ 9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

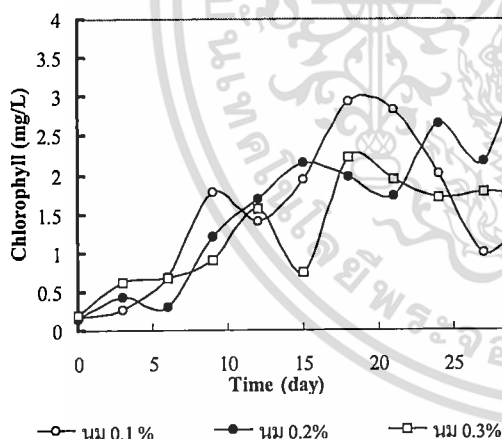
ตารางที่ 9 ผลผลิตของสาหร่าย *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นนม (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำหนักแห้ง (กรัมต่อลิตร)
นม 0.1	0.56±0.03 ^b
นม 0.2	0.63±0.03 ^{ab}
นม 0.3	0.78±0.08 ^a
ปุ๋ย	0.48±0.01 ^b

ตัวอักษร (a, b) ในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.1.3 ปริมาณรงควัตถุของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำนมดิบ

คลอโรฟิลล์: ปริมาณคลอโรฟิลล์ของ *N. commune* ที่วันสุดท้ายของการทดลองในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้น 0.2% มีค่าสูงที่สุดคือ 3.72 มิลลิกรัมต่อลิตร สาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่ผสมนม 0.1% มีช่วงวงจรชีวิตสั้นที่สุด ส่วนในอาหารที่ผสมนม 0.3 % สาหร่ายมีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำที่สุด พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ได้ที่สิ้นสุดการทดลองในการเพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมนมความเข้มข้น 0.1%, และ 0.3% ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในอาหารผสมนมที่ความเข้มข้นต่างกัน

carotenoid : ปริมาณ carotenoid ของสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมนม 0.2 % มีปริมาณสูงที่สุดที่สิ้นสุดการทดลอง คือ 0.68 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมนม 0.1 และ 0.3 % ตามลำดับ โดยพบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมนม 0.1% พบว่ามีปริมาณ carotenoid สูงในช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรก แต่หลังจากวันที่ 21 ปริมาณ carotenoid กลับลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนในอาหารที่ผสมนม 0.3% มีปริมาณ carotenoid ต่ำที่สุดตลอดการทดลอง (ตารางผนวกที่ 7)

phycoerythrin - phycoerythrin :สาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมนม 0.2% ให้ปริมาณ phycoerythrin และ phycoerythrin สูงที่สุด เมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยมีปริมาณ phycoerythrin 2.31 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติกับอาหารที่ผสมนมอีกสองระดับ แต่พบว่าในช่วงระหว่างวันที่ 12-15 ของการทดลองปริมาณ phycoerythrin ของสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมนม 0.3% มีปริมาณสูงที่สุด ส่วนปริมาณ phycoerythrin ที่สิ้นสุดการทดลองในอาหารที่ผสมนม 0.2 % มีปริมาณ 2.69 มิลลิกรัมต่อกรัม แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับอาหารที่ผสมนม 0.3 % ซึ่งในอาหารสูตรนี้มีปริมาณ phycoerythrin สูงในช่วงวันที่ 12-15 ของการทดลอง (ตารางผนวกที่ 7)

3.2 คุณค่าทางโภชนาการและการสร้างสารสีของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในมูลสุกร

3.2.1 คุณค่าทางโภชนาการของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในมูลสุกร

N. commune ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกรทุกระดับนั้น มีปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และแคลเซียม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนปริมาณแร่ธาตุฟอสฟอรัส พบมากที่สุดที่สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในมูลสุกรความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร (ร้อยละ 1.49 ± 0.06) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดทดลองอื่น (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมมูลสุกร

คุณค่าทางโภชนาการ (ร้อยละ)	มูลสุกร 0.5 g/L	มูลสุกร 2 g/L	มูลสุกร 5 g/L
Protein	41.15±0.35 ^a	43.89±0.57 ^a	44.00±0.67 ^a
Carbohydrate	28.89±1.21 ^a	27.78±2.10 ^a	26.82±2.21 ^a
Lipid	0.98±0.14 ^a	0.99±0.02 ^a	0.96±0.14 ^a
Calcium	0.52±0.01 ^a	0.58±0.03 ^a	0.58±0.01 ^a
Phosphorus	0.92±0.01 ^a	1.17±0.03 ^b	1.49±0.06 ^c
Ash	7.16±0.07 ^a	8.43±0.04 ^a	10.36±0.07 ^a
Fiber	21.78±0.93 ^{ab}	18.88±2.68 ^b	17.82±2.92 ^b

ตัวอักษร (a,b,c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.2.2 การเจริญเติบโตของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในมูลสุกร

น้ำหนักแห้งของสาหร่ายในวันสุดท้ายที่เพาะเลี้ยงพบว่า น้ำหนักแห้งของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมมูลสุกรความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 0.40 กรัมต่อลิตร ในปุ๋ยผสมมูลสุกร ความเข้มข้นอีกสามเป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้น 2 กรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 0.47 กรัมต่อลิตร ปุ๋ยผสมมูลสุกรความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 0.48 กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 11)

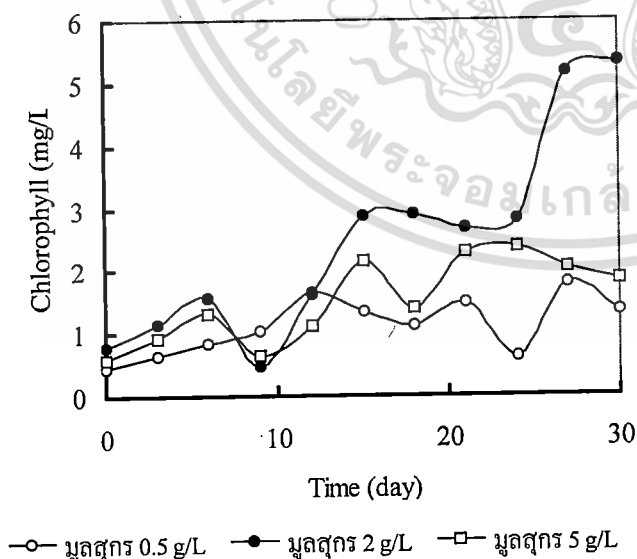
ตารางที่ 11 ผลผลิตที่สิ้นสุดการทดลอง (21 วัน) ของสาหร่าย *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ย ผสมมูลสุกร

ความเข้มข้นของปุ๋ยผสมมูลสุกร (%)	ปริมาณน้ำหนักแห้ง (กรัมต่อลิตร)
0.5	0.40±0.17 ^a
2	0.47±0.02 ^a
5	0.48±0.03 ^a

ตัวอักษร (a) ในแถวแนวตั้งเดียวกันคือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.2.3 ปริมาณรงควัตถุของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในมูลสุกร

คลอโรฟิลล์: จากการทดลองพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์พบมากที่สุดในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมมูลสุกรความเข้มข้น 2% (5.34 มิลลิกรัมต่อลิตร) และมีความแตกต่างทางสถิติกับความเข้มข้นที่เหลือ (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของ *N. commune* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

carotenoid : ปริมาณ carotenoid ในสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 2 กรัมต่อลิตร มีปริมาณสูงที่สุด คือ 1.82 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพบปริมาณสูงสุดในวันที่ 21 ของการทดลอง ส่วนสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.5 กรัมต่อลิตร มีปริมาณ carotenoid สูงสุดในวันที่ 24 คือ 1.54 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยในทั้งสองความเข้มข้นนี้ปริมาณ carotenoid จะลดลงหลังจากวันที่ 21 และ 24 ของการทดลอง ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าช่วงเวลาที่ปริมาณ carotenoid สะสมมากที่สุดคือระยะเวลาประมาณ 20 วัน ส่วนสาหร่ายที่เลี้ยงในมูลสุกร 3 กรัมต่อลิตร มีปริมาณ carotenoid ต่ำมากตลอดการทดลอง (ตารางผนวกที่ 8)

phycobiliprotein : ปริมาณ phycocyanin ในสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 5 กรัมต่อลิตร จะมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 6 ของการทดลอง หลังจากนั้นปริมาณ phycocyanin ลดลงตลอดการทดลอง ส่วนในอาหารที่ผสมมูลสุกร 2 กรัมต่อลิตร ปริมาณ phycocyanin สูงที่สุดวันที่ 24 ของการทดลองคือ 5.65 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนอาหารที่ผสมมูลสุกร 0.5 กรัมต่อลิตร มีปริมาณ phycocyanin ต่ำที่สุดตลอดการทดลอง ส่วนปริมาณ phycoerythrin นั้นมีการผันแปรตลอดการทดลอง โดยพบว่าในช่วง 20 วันแรก ปริมาณ phycoerythrin ในสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 5 กรัมต่อลิตร มีแนวโน้มสูงที่สุด หลังจากนั้นสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.5 และ 2 กรัมต่อลิตร มีปริมาณ phycoerythrin เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ (ตารางผนวกที่ 8)

3.3 คุณค่าทางโภชนาการและการสร้างสารสีของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำนมดิบผสมมูลสุกร

3.3.1 คุณค่าทางโภชนาการของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำนมดิบผสมมูลสุกร

สาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในอาหารมูลสุกร 0.05 % ผสมนม 0.3 % (ตารางที่ 12) มีโปรตีน ($42.65 \pm 0.41\%$) และไขมัน (1.73 ± 0.11) สูงสุด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดทดลองอื่น ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกชุดการทดลอง ปริมาณแร่ธาตุแคลเซียม ($0.96 \pm 0.02\%$) และฟอสฟอรัส ($2.49 \pm 0.04\%$) ที่ได้จากสาหร่ายที่เลี้ยงในมูลสุกร 0.05 % ผสมนม 0.1 % พบปริมาณมากที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติกับความเข้มข้นอื่น ๆ

ตารางที่ 12 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมมูลสุกรผสมนม

คุณค่าทาง	มูลสุกร-นม	มูลสุกร-นม	มูลสุกร-นม
โภชนาการ(ร้อยละ)	0.05%-0.1%	0.05%-0.2%	0.05%-0.3%
Protein	36.41±0.30 ^c	39.05±0.42 ^b	42.65±0.41 ^a
Lipid	0.80±0.12 ^b	0.50±0.08 ^b	1.73±0.11 ^a
Carbohydrate	28.47±2.56 ^a	31.83±1.79 ^a	31.61±4.25 ^a
Calcium	0.96±0.02 ^a	0.80±0.01 ^b	0.71±0.03 ^c
Phosphorus	2.49±0.04 ^a	1.75±0.01 ^b	1.71±0.02 ^b
Ash	16.95±0.05 ^a	11.85±0.02 ^b	11.20±0.03 ^b
Fiber	17.34±2.45 ^a	16.74±1.43 ^a	12.79±4.55 ^a

ตัวอักษร (a,b,c,) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในอาหารมูลสุกร 0.2 % และผันแปรปริมาณนมที่ผสมเป็น 3 ระดับคือ 0.1, 0.2 และ 0.3 % พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมนม 0.3 % มีโปรตีนสูงที่สุด (41.10±1.19%) และแตกต่างทางสถิติกับอาหารที่ผสมนม 0.1 % ปริมาณไขมันพบมากที่สุด ในสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมนม 0.3 % ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและแคลเซียมของสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมมูลสุกรผสมนม (0.2%-0.1%,0.2%-0.2%,0.2%-0.3%)

คุณค่าทาง	มูลสุกร-นม	มูลสุกร-นม	มูลสุกร-นม
โภชนาการ(ร้อยละ)	0.2%-0.1%	0.2%-0.2%	0.2%-0.3%
Protein	36.86±1.30 ^b	38.38±0.63 ^{ab}	41.10±1.19 ^a
Lipid	1.28±0.12 ^a	0.69±0.06 ^b	1.13±0.02 ^a
Carbohydrate	29.22±3.11 ^a	26.31±1.24 ^a	32.47±1.34 ^a
Calcium	0.89±0.03 ^a	0.80±0.01 ^a	0.87±0.09 ^a
Phosphorus	2.45±0.01 ^a	1.99±0.05 ^b	2.20±0.00 ^c
Ash	14.93±0.10 ^a	12.09±0.05 ^a	13.47±0.08 ^a
Fiber	17.69±4.35 ^{bc}	22.50±1.58 ^{ab}	11.79±0.24 ^c

ตัวอักษร (a,b,c,) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยผสมมูลสุกรผสมนม (0.5%-0.1%)

คุณค่าทางโภชนาการ (ร้อยละ)	มูลสุกร-นม 0.05%-0.01%
Protein	34.99 ± 0.35
Carbohydrate	26.02 ± 0.32
Lipid	0.22 ± 0.05
Calcium	0.88 ± 0.03
Phosphorus	2.24 ± 0.02
Ash	15.27 ± 0.10
Fiber	23.48 ± 0.52

ถึงแม้ว่าจากการทดลองพบว่า *N. commune* มีปริมาณโปรตีนมากที่สุดคือ 44.00% แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีนกับ *Spirulina spp.* พบว่า *Spirulina spp.* มีปริมาณโปรตีนมากกว่า สุมาลี (2535) รายงานว่าสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina sp.*) มีคุณค่าทางโภชนาการสูงประกอบด้วยโปรตีนสูงถึง 50-70% ของน้ำหนักแห้ง

3.3.2 การเจริญเติบโตของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำนมดิบผสมมูลสุกร

น้ำหนักแห้งของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในความเข้มข้น 0.05%-0.1% มีค่าเท่ากับ 0.43 กรัมต่อลิตรแห้งของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในความเข้มข้น 0.05%-0.2% มีค่าเท่ากับ 0.42 กรัมต่อลิตรแห้งของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในความเข้มข้น 0.05%-0.3% มีค่าเท่ากับ 0.51 กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 ผลผลิตที่สิ้นสุดการทดลอง ของสาหร่าย *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในมูลสุกรผสมนม

ความเข้มข้นมูลสุกรผสมนม	ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณน้ำหนักแห้ง (กรัมต่อลิตร)
0.05%-0.01%	1.61±0.10 ^b	0.43±0.05 ^a
0.05%-0.02%	1.7±0.17 ^b	0.42±0.03 ^a
0.05%-0.03%	2.18±0.05 ^a	0.51±0.06 ^a
0.2%-0.01%	1.41±0.20 ^c	0.41±0.02 ^a
0.2%-0.02%	1.62±0.11 ^b	0.45±0.01 ^a
0.2%-0.03%	2.13±0.07 ^a	0.48±0.04 ^a

ตัวอักษร (a, b) ในแถวแนวตั้งเดียวกันคือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ปริมาณรงควัตถุของ *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำนมดิบผสมมูลสุกร

คลอโรฟิลล์: ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่าย *N. commune* ในมูลสุกรผสมนมความเข้มข้น 0.05%-0.03% มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.18 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากตารางที่ 15 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในมูลสุกรผสมนมความเข้มข้น 0.05%-0.3% และความเข้มข้น 0.05%-0.2% พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในมูลสุกรผสมนมความเข้มข้น 0.05%-0.2% และ 0.05%-0.1% พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนปริมาณน้ำหนักรวมพบว่ามีไม่มีความแตกต่างกันทั้งสามความเข้มข้น

สาหร่าย *N. commune* ที่เพาะเลี้ยงในมูลสุกรผสมนมความเข้มข้น 0.5%-0.1% ให้ปริมาณน้ำหนักรวมในวันสุดท้ายเท่ากับ 0.48 กรัมต่อลิตร ส่วนในการเลี้ยงมูลสุกรผสมนมความเข้มข้น 0.5%-0.2% และ 0.5%-0.3% พบว่าสาหร่ายไม่เจริญเติบโต

carotenoid :ปริมาณ carotenoid ในสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.2% และนม 0.3% มีปริมาณ carotenoid สูงที่สุด ในช่วง 15 วันแรก โดยพบมีปริมาณ 1.28 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นปริมาณลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง และพบปริมาณ carotenoid รองลงมาในอาหารที่ผสมนม 0.2% และผสมมูลสุกร 0.05% และ 0.5% ตามลำดับ

phycobiliprotein :ปริมาณ phycocyanin ในสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสม มูลสุกร 0.05% และนม 0.1% ในช่วง 15 วันแรกมีปริมาณ phycocyanin สูงที่สุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นอย่างเห็นได้ชัด แต่หลังจากวันที่ 15 ของการทดลองพบว่าปริมาณ phycocyanin ในสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.05% และนม 0.2% (4.69 มิลลิกรัมต่อลิตร), มูลสุกร 0.5% และนม 0.2% และ มูลสุกร 0.05% และนม 0.3% มีปริมาณ phycocyanin สูงมากกว่าชุดการทดลองอื่น ปริมาณ phycoerythrin ในสาหร่ายทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นได้สูงที่สุดในวันที่ 9 ของการทดลอง โดยในอาหารที่ผสมมูลสุกร 0.5% และนม 0.1% มีปริมาณ phycoerythrin สูงที่สุดคือ 7.07 มิลลิกรัมต่อกรัม และสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.5% และนม 0.2% มีปริมาณ phycoerythrin รองลงมาคือ 5.44 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อเปรียบเทียบโปรตีนของ *N. commune* กับสาหร่ายชนิดอื่น พบว่าจากการรายงานของ Hasni และคณะ (1986) พบว่ามีสาหร่ายสีเขียว *Caulerpa taxifolia* ประกอบด้วยโปรตีน 5.8% คาร์โบไฮเดรต 65.8 เถ้า 14.8% ไขมัน 0% และสาหร่ายสีแดง *Hypnea musciformis* ประกอบด้วยโปรตีน 12.5% คาร์โบไฮเดรต 25.0% เถ้า 35.5% ไขมัน 3.7% จากการศึกษาของสมบัติ (2528) พบว่าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว *Spirulina* มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 71% สุมาลี (2535) รายงานว่าสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina sp.*) มีคุณค่าทางโภชนาการสูงประกอบด้วยโปรตีนสูงถึง 50-70% ของน้ำหนักแห้ง จากการศึกษาของ รวีวรรณ (2531) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเส้นด้าย *Najas Graminea* Deelile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าประกอบด้วยโปรตีน 10.4% ไขมัน 3.6% จากการทดลองครั้งนี้ พบโปรตีนปริมาณสูงสุด คือ 48.90% และเมื่อเปรียบเทียบโปรตีนของ *N. commune* กับพืชชนิดอื่น (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของ *N. commune* กับอาหารโปรตีนอื่น ๆ

อาหารส่วนที่กินได้ 100 กรัม	โปรตีน, กรัม	ใยอาหาร, กรัม
<i>N. commune</i> (เพาะเลี้ยงในนม)*	33.8-48.9	22.52-29.30
<i>N. commune</i> (เพาะเลี้ยงในมูลสุกร)*	41.15-44.0	17.82-21.78
<i>N. commune</i> (เพาะเลี้ยงในนมผสมมูลสุกร)*	34.9-42.6	11.79-23.48
มะเขือเทศ	0.90	2.74
ชะอม	9.5	5.7
ลูกเดือย	13.5	0.6
หน่อไม้ไผ่ตง	2.6	0.7
แปะก๊วย	4.3	0.5
ผักกาดขาว	1.2	0.6
กวาดสูง	1.5	0.6
แอปเปิ้ล	0.2	0.77
ชิงอ่อน	1.7	1.03
หน่อไม้ฝรั่ง	3.1	0.83
กะหล่ำปลี	1.2	0.8
มะม่วง	0.5	0.84
ข้าวโพดอ่อน	3.3	0.2
ผักกาดหอม	1.6	0.7
ผักสลัด	1.3	1.9
หน่อไม้หลวง	3.8	1.7
ผักกาดแก้ว	1	1.4
ผักกระเฉด	4.1	1.6
กะหล่ำดอก	2	0.85
ถั่วงอก	3	0.81
ลำไย	1.3	0.4
ถั่วแขก	1.9	1
บร็อคโคลี่	3	1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 16 (ต่อ)

อาหารส่วนที่กินได้ 100 กรัม	โปรตีน, กรัม	ใยอาหาร, กรัม
ลูกชิ้นปลา	12.9	0
แคโรท	1	1.04
ปลากระบอก	19.4	0
เบคอน	8.7	0
หอยแมลงภู่	11.9	0
หอยแครง	25.6	0
หอยนางรม	18.9	0
หอยเชลล์	16.8	0
ปลาหมึกกล้วยหลากหลายชนิด	15.6	0
ปลาหมึกกระดองหลากหลายชนิด	16.2	0
เนื้อปู	20.2	0
กุ้งรวมชนิด	20.3	0
กุ้งแห้ง	46.4	1.9
โยเกิร์ต ธรรมดา	3.5	3.2
โยเกิร์ต พร่องไขมัน	5.7	0
ไข่ไก่	12.1	0
เนื้อหมูล้วน	20.20	3.29
เนื้อไก่ล้วน	21.40	3.28
เนื้อเป็ดล้วน	18.30	3.20
เนื้อปู	20.20	3.13

*จากการศึกษาครั้งนี้ที่มา : <http://thailiverclub.org/topics/cihhro2.htm>

จากการทดลองในครั้งนี้ พบว่า *N. commune* มีปริมาณโปรตีนมากที่สุด คือ 48.92% ซึ่งเมื่อเทียบปริมาณโปรตีนกับ *Spirulina spp.* จากการศึกษานี้ของสมบัติ (2528) พบว่าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว *Spirulina* มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 71% เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนกับไข่ไก่ซึ่งมีปริมาณโปรตีน 12.1% เนื้อหมูล้วน เนื้อไก่ล้วน เนื้อเป็ดล้วน และเนื้อปู ซึ่งมีปริมาณโปรตีน 20.20, 21.40, 18.30 และ 20.20% ตามลำดับ ซึ่งพบว่า *N. commune* ที่ได้จากการทดลองมีปริมาณโปรตีนมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คุณค่าทางโภชนาการและการสร้างสารสีของ *Spirulina* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำนํมดืบ และมูลสุกร

4.1 คุณค่าทางโภชนาการและการสร้างสารสีของ *Spirulina* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำนํมดืบ

4.1.1 คุณค่าทางโภชนาการของ *Spirulina* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำนํมดืบ

สาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในอาหารผสมนม 0.5 % ให้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุดและมีความแตกต่างทางสถิติกับชุดที่ไม่ผสมนม (ชุดควบคุม) และชุดที่ผสมนม 0.1 % ส่วนปริมาณไขมันพบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตและแคลเซียมพบได้สูงที่สุดในชุดควบคุม โดยมีความแตกต่างทางสถิติกับทุกชุดการทดลองอื่น ปริมาณฟอสฟอรัสพบได้สูงที่สุดในอาหารผสมนม 0.5 % โดยมีความแตกต่างทางสถิติกับอาหารในชุดอื่น ๆ (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 17 ตารางแสดงคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Spirulina* sp. (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรปุ๋ยและปุ๋ยผสมนม

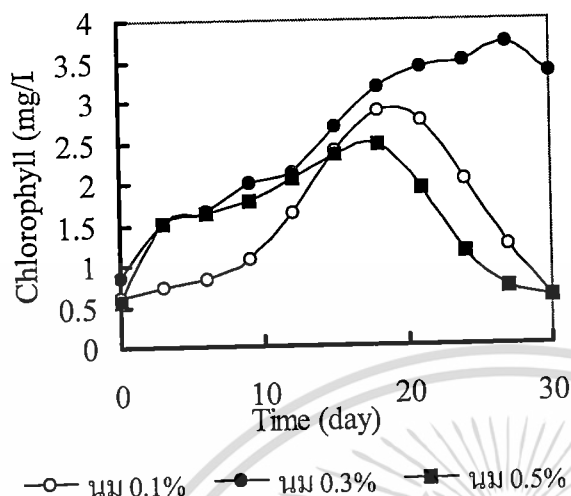
คุณค่าทางโภชนาการ	ชุดควบคุม	ปุ๋ยผสมนม 0.1 %	ปุ๋ยผสมนม 0.3 %	ปุ๋ยผสมนม 0.5 %
Protein	41.70±0.27 ^a	45.38±2.65 ^a	54.04±1.35 ^b	56.73±3.06 ^b
Lipid	0.87±0.17 ^a	0.4±0.15 ^a	0.54±0.09 ^a	0.41±0.15 ^a
Carbohydrate	46.26±0.45 ^a	24.22±0.51 ^b	19.19±0.62 ^c	14.86±0.90 ^d
Phosphorous	0.04±0.00 ^a	0.90±0.02 ^b	0.99±0.01 ^c	1.08±0.02 ^d
Calcium	2.93±0.04 ^a	1.11±0.09 ^b	1.11±0.08 ^b	0.94±0.08 ^b
Fiber	7.56±0.61 ^{ab}	8.55±1.91 ^{ab}	12.06±2.12 ^b	4.45±2.57 ^a
Ash	8.70±0.06 ^a	21.44±1.12 ^c	14.15±2.85 ^b	23.54±0.11 ^c

ตัวอักษร (a,b,c,d) ในแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.1.2 การเจริญเติบโตของ *Spirulina* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำนํมดืบ

สำหรับน้ำนํมดืบที่มีปริมาณมากที่สุดที่ความเข้มข้น 0.3 % ในวันที่ 27 คือมีปริมาณ 2.37 กรัมต่อลิตร ส่วนสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมนม 0.1 และ 0.5 % มีปริมาณสาหร่าย 0.33 และ 0.27 กรัมต่อลิตรตามลำดับ

4.1.3 ปริมาณรงควัตถุของ *Spirulina* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำนมดิบ



ภาพที่ 10 ปริมาณคลอโรฟิลล์ใน *Spirulina* ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมนมความเข้มข้นต่าง ๆ

คลอโรฟิลล์: สำหรับอาหารสูตรปุ๋ยผสมนมมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุดที่นมความเข้มข้น 0.3 % โดยพบว่ามีปริมาณสูงสุดในวันที่ 27 ของการเลี้ยง โดยมีคลอโรฟิลล์ 3.71 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มข้น 0.1 % และ 0.5 % (ภาพที่ 10) นอกจากนี้ยังพบว่าระยะเวลาในการเข้าสู่ death phase ของ *Spirulina* ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมนม 0.3 % จะช้ากว่าอาหารที่ผสมนมอีกสองความเข้มข้น

carotenoid : ปริมาณ carotenoid ในสาหร่ายที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมนม 0.1 % นั้นสูงที่สุด โดยจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากวันที่เริ่มเลี้ยง จนสูงสุดในวันที่ 9 โดยมีปริมาณ 2.25 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นปริมาณลดลงจนต่ำมากในวันที่ 12 และมีการเพิ่มขึ้นจนสูงอีกครั้งในวันที่ 24 ซึ่งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณ carotenoid คล้ายกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมนม 0.3%

phycobiliprotein : ปริมาณ phycoerythrin ในสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมนม 0.1 และ 0.5 % จะมีปริมาณลดลงจากวันแรกที่เริ่มทดลอง แต่สาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมนม 0.3 % มีปริมาณ phycoerythrin เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงวันที่ 15 นั้นมีปริมาณสูงสุดคือ 0.88 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณ phycocyanin มีการผันแปรสูงมากในทุกชุดการทดลอง โดยพบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมนม 0.3% มีปริมาณมากที่สุด โดยในวันที่ 12 มีปริมาณ 1.51 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นปริมาณลดลงจนถึงสิ้นสุดการทดลอง

4.2 คุณค่าทางโภชนาการและการสร้างสารสีของ *Spirulina* ที่เพาะเลี้ยงในมูลสุกร

4.2.1 คุณค่าทางโภชนาการของ *Spirulina* ที่เพาะเลี้ยงในมูลสุกร

ตารางที่ 18 แสดงคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในอาหารป้อนและป้อนผสมมูลสุกร

คุณค่าทางโภชนาการ	ป้อน	ป้อนผสมมูลสุกร 0.5 g/L	ป้อนผสมมูลสุกร 2.0 g/L	ป้อนผสมมูลสุกร 7.5 g/L
Protein	42.70±0.27 ^a	69.73±0.14 ^d	67.74±0.41 ^c	63.19±0.40 ^b
Lipid	0.87±0.17 ^c	1.51±0.03 ^{ab}	1.77±0.29 ^b	1.86±0.22 ^b
Carbohydrate	46.26±0.45 ^b	23.56±0.49 ^a	22.22±0.83 ^a	22.33±0.95 ^a
phosphorous	0.04±0.00 ^b	0.02±0.00 ^a	0.02±0.00 ^a	0.04±0.00 ^b
calcium	2.93±0.04 ^{ab}	2.76±0.00 ^a	2.81±0.09 ^{ab}	2.93±0.03 ^b
Fiber	7.56±0.61 ^{bc}	3.63±0.35 ^a	5.66±1.12 ^{ab}	9.31±0.56 ^c
ash	8.70±0.06 ^a	6.63±0.03 ^a	6.82±1.57 ^a	6.82±0.40 ^a

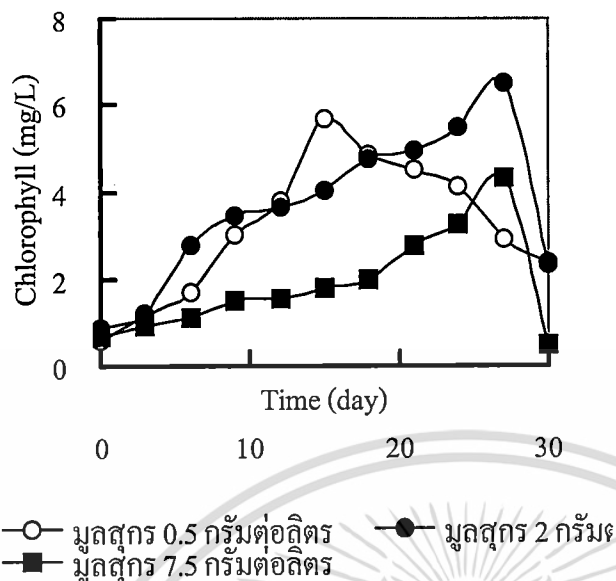
ตัวอักษร (a,b,c,d) ในแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.2 การเจริญเติบโตของ *Spirulina* ที่เพาะเลี้ยงในมูลสุกร

Spirulina ที่เพาะเลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 7.5 กรัมต่อลิตร ให้ปริมาณน้ำหนักรวมสูงสุด (2.83 กรัมต่อลิตร) และมีความแตกต่างทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.5 และ 2 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีน้ำหนักแห้ง 2.4 และ 0.78 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยอาหารที่ผสมมูลสุกร 0.5 และ 2 กรัมต่อลิตร นั้นปริมาณน้ำหนักรวมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

4.2.3 ปริมาณรงควัตถุของ *Spirulina* ที่เพาะเลี้ยงในมูลสุกร

คลอโรฟิลล์ : *Spirulina* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 2 กรัมต่อลิตร ให้ปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุดในวันที่ 27 คือ 6.52 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีความแตกต่างทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 2 และ 7.5 กรัมต่อลิตร และพบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.5 กรัมต่อลิตร นั้นสาหร่ายเข้าสู่ระยะ death phase เร็วที่สุด คือหลังการเลี้ยงเป็นเวลา 15 วัน ส่วนสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 2 และ 7.5 กรัมต่อลิตร นั้นเข้าสู่ระยะ death phase หลังวันที่ 27 (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 ปริมาณคลอโรฟิลล์ใน *Spirulina* ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมนมความเข้มข้นต่าง ๆ

carotenoid : ปริมาณ carotenoid พบมากที่สุดในสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.5 กรัมต่อลิตร โดยสูงสุดในวันที่ 24 มีปริมาณ 3.14 กรัมต่อลิตร โดยมีความแตกต่างทางสถิติกับอีกสองชุดการทดลอง

phycobiliprotein : phycoerythrin ในสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 2 กรัมต่อลิตร มีปริมาณมากที่สุด โดยเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากวันแรกที่เริ่มเลี้ยงและเพิ่มสูงสุดในวันที่ 18 โดยมีปริมาณ 3.58 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีความแตกต่างทางสถิติกับอีกสองชุดการทดลอง และจากนั้นปริมาณ phycoerythrin ค่อย ๆ ลดลงจนถึงสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณ phycocyanin ในสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 7.5 กรัมต่อลิตร มีปริมาณสูงที่สุด โดยพบว่าปริมาณ phycocyanin เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หลังจกวันแรกและเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 24 มีปริมาณ 3.52 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีความแตกต่างทางสถิติกับอีกสองความเข้มข้น ซึ่งมีปริมาณ phycocyanin ต่ำตลอดการทดลอง

ถึงแม้ว่าสาหร่าย *Spirulina* จะมีปริมาณโปรตีนที่สูงแต่อาหารในการเลี้ยงนั้นก็ยังมีผลต่อปริมาณโปรตีน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและปริมาณของสารอาหารในการเพาะเลี้ยงว่ามีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายหรือไม่ ในอาหารแต่ละชนิดนั้นจะให้คุณค่าทางโภชนาการไม่เหมือนกัน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *Spirulina* กับปริมาณโปรตีนที่ได้จากเนื้อสัตว์พบว่ามีความกว่าถึง 2-3 เท่า และเมื่อเปรียบกับสาหร่ายชนิดต่างและพืชที่ให้ปริมาณโปรตีนมากพบว่าส่วนมากให้ปริมาณโปรตีนน้อยกว่าสาหร่าย *Spirulina*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

Nostoc commune ที่เลี้ยงในอาหารสูตร Chlorella medium มีปริมาณโปรตีนและผลผลิตสูงที่สุดคือ 42.8 % และ 2.63 กรัมต่อลิตร และมีความแตกต่างทางสถิติกับที่เลี้ยงในอาหารสูตร N-free medium และ BG-11 ส่วนการสร้างสารสี carotenoid และ phycocyanin พบมากที่สุดเมื่อเลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 และเมื่อทดลองผันแปรระดับอุณหภูมิในช่วง 20-35 องศาเซลเซียส พบว่า สาหร่ายที่เลี้ยงที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สามารถสร้างสารสีได้มากที่สุด นอกจากนี้ปริมาณความเข้มแสงที่สูงยังส่งผลให้มีการสร้างสารสีได้มากกว่าที่ความเข้มแสงต่ำ ส่วนการได้รับแสงยูวีมีผลทำให้การสร้างสารสีของสาหร่ายลดลงทุกประเภทและพบว่า NaNO_3 เป็นแหล่งไนโตรเจนที่ดีกว่า KNO_3 เพราะทำให้สาหร่ายมีการสร้างสารสีได้มากกว่า

การเลี้ยง *N. commune* นอกห้องปฏิบัติการโดยเลี้ยงในอาหารผสมน้ำนมดิบ 0.3%, อาหารผสมมูลสุกร 5 กรัมต่อลิตร และอาหารผสมนมดิบ 0.3% ผสมมูลสุกร 0.05 % พบว่าสาหร่ายมีปริมาณโปรตีน 48.9, 44.0 และ 42.6 % ตามลำดับ ส่วนปริมาณสารสีพบว่าการเลี้ยงในอาหารผสมนมดิบ 0.2% , เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 2 กรัมต่อลิตร จะให้ปริมาณสารสีที่ดีที่สุด ส่วนการเลี้ยงสาหร่ายในสูตรอาหารที่ผสมนมและมูลสุกรพบว่าสาหร่ายสามารถสร้างแคโรทีนอยด์ได้สูงที่สุดเมื่อเลี้ยงในอาหารผสมนม 0.3 % และ มูลสุกร 0.05 % และสร้างไฟโคไซยานินได้สูงที่สุดเมื่อเลี้ยงในอาหารผสมนม 0.2 % และมูลสุกร 0.05 %

Spirulina ที่เลี้ยงในอาหารผสมนม 0.5 % และอาหารผสมมูลสุกร 0.5 กรัมต่อลิตร มีการสร้างโปรตีนสูงที่สุดคือ 56.73 % และ 69.73 % ตามลำดับ ส่วนการสร้างแคโรทีนอยด์จะพบสูงเมื่อเลี้ยงในอาหารผสมนม 0.1 % และ อาหารผสมมูลสุกร 0.5 กรัมต่อลิตร คือมีปริมาณ 2.25 และ 3.14 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณไฟโคไซยานินจะพบสูงที่สุดเมื่อเลี้ยงสาหร่ายในอาหารผสมนม 0.3 % และอาหารผสมมูลสุกร 7.5 กรัมต่อลิตร

เอกสารอ้างอิง

- กาญจนาภานันท์ ลีวมโนมนต์. 2527. สาหร่าย. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 343 หน้า.
- จารุวรรณ สมศิริ, มุกดา อุตระพงศ์. 2533. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมาใช้เลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง. รายงานการสัมมนาวิชาการประจำปี 2533. กรมประมง, หน้า 253-256.
- จิระพรรณ สุขศรีงาม . 2536. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในของเสียจากอุตสาหกรรมพื้นบ้าน. รายงานการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 165 หน้า.
- จิระพรรณ สุขศรีงาม, สนอง จอมเกาะ และเสมนิจิต กิตตินานนท์. 2540. แนวทางการเพิ่มผลผลิตสาหร่ายเกลียวทองที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน. รายงานการวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 68 หน้า.
- เจษฎา ทิพยะสุขศรี, อุษา กลิ่นหอม, มยุรี ตั้งชนานูวัฒน์ และอาภารัตน์ มหาจันทร์. 2546. การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของสาหร่ายเห็ดถาบ (*Nostoc commune*). ใน รายงานการประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ ครั้งที่ 1 หน้า 15.
- นฤมล ศุภจรรยา, บุษยา บุญนาค และ พิสมัย ภูวิสินสิทธิ์. 2528. การสำรวจสาหร่ายเกลียวทอง (สไปรูลินา) ในบ่อน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง วารสารวิจัยและพัฒนา สจ.ช. 8(2): 20-32.
- พงษ์เทพ ฟองสมุทร และ อติเรก เต็มกันทา. 2539. การศึกษาวิธีการกวนที่เหมาะสมในบ่อสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่ใช้น้ำเสียจากการผลิตกระดาษสา รายงานการวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 44 หน้า.
- พิมพ์พรรณ ต้นสกุล และ อารักษ์ จันทศิลป์. 2531. การเพาะเลี้ยง *Spirulina* sp. ในบ่อน้ำทิ้งจากโรงงานยางพารา วารสารสงขลานครินทร์ 10(2):149-155; เมษายน- มิถุนายน 2531.
- เพ็ญจันทร์ วงศ์วิสุข, มรกต ตันติเจริญ, อนุรัถย์ ปิติรัถย์สกุล, ศักรินทร์ ภูมิรัตน์, โสฬส สุวรรณสิน, บุษยา บุญนาค และนฤมล จิยโชค. 2534. การใช้น้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลังเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในระดับอุตสาหกรรม วทท. 17, บทความที่ F-28, หน้า 716-717.
- สุขใจ ชูจันทร์, ปฎิมา ไทยเจริญ และสุรัตน์ วิบูลย์สุขสันต์. 2535. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งโรงงานเส้นเส้น วทท. 18, บทความที่ B-012, หน้า 310-311.
- สุขใจ โสมะฐิติ, นवलพรรณ ณ ระนอง. 2530. การผลิตและการใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อการกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าไก่ วทท. 13, บทความที่ B-127, หน้า 606-607.
- สุวิมล จิระอำไพรัตน์. 2536. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในน้ำทิ้งโรงงานขนมจีน ปริญญา นิพนธ์ กศ.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม

หยกแก้ว ยามาตี, สมบูรณ์ ผู้พัฒนา, ไพลิน ผู้พัฒนา และอรุณวรรณ บุญก่อสร้าง. 2534. การเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* จากน้ำทิ้งแหล่งชุมชนเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ รายงานค้นคว้าวิจัยประจำปี 2531-2534. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 206-215.

อาภารัตน์ มหาจันทร์, อุษา กลิ่นหอม, มยุรี ตั้งชนานวัฒน์, เจษฎา ทิพยะสุขศรี และ วังรี กัลยาตั้ง. 2546. วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากสาหร่ายเห็ดคลาบ (*Nostoc commune*). ใน รายงานการประชุมวิชาการประจำปีโครงการ BRT ประจำปี 2546

Boonme, S., Kaewroonkurn, S., Yongmanitchai, P. 1991. Cultivation of *Spirulina* sp. 5 in carbonated beverage industrial waste. Proceedings: Research Seminar and Workshop on Mass Culture of Microalgae, November 18-23, 1991. Faculty of Science, Silpakorn University, nakorn Pathom, Thailand, UNESCO, p. PT1-PT6.

Chatterjee S., Asthana R.K. Tripathi A.K. and Singh S.P. 1995. Metal removal by selected sorbents. Process Biochemistry. 31(5); 457-462.

Gastafson, K.R., Sowder, R.C., Henderson, L.E., Cardellina, J.H., McMahon, J.B., Rajamani, U., Pannell, L.K. and Boyd, M.R. 1997. Isolation, Primary Sequence Determination, and Disulfide Bond Structure of Cyanovirin-N, and Anti-HIV (Human Immunodeficiency Virus) Protein from the Cyanobacterium *Nostoc ellipsosporum*. Biochemical and Biophysical research. 238:223-228.

Kajiyama S., Kanzaki H., Kawazu K., and Kobayashi A. 1998. Nostofungicide, an antifungal lipopeptide from the field-grown terrestrial blue-green alga *Nostoc commune*. Tetrahedron Letter 39(1998):3737-3740.

Kirk R.G., Raymond C.S., Louis E.H., John H.C., James B. M., Umamaheswari R., Lewis K.P. and Michael R.B. 1997. Isolation, Primary sequence determination and disulfide bond structure of Cyanovirin-N, and Anti-HIV (Human Immunodeficiency Virus) Protein from the Cyanobacterium *Nostoc ellipsosporum*. Biochemical and Biophysical research 238(1997);223-228.

Latcha, T. 1990. Carotenoid in animal nutrition. F. Hoffmann-La Roche Ltd., Seitzerland, 110 P.

Patricia A., Austin I., Stuart R. and John D.M. 1996. Regulation of pigment content and enzyme activity in the cyanobacterium *Nostoc* sp. Mac grown in continuous light , a light-dark photoperiod, or darkness. Biochimica et Biophysica Acta 1277:141-149.

Reis A., Mendes A., Lobo-Fernandes H., Empis J.A. and Maggiolly N.J. 1998. Production, extraction and purification of phycobiliproteins from *Nostoc* sp. Bioresource Technology. 66 (1998):181-187.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Svircev Z., Tamas I., Nenin P. and Drobac A. 1997. Co-cultivation of N-fixing cyanobacteria and some agriculturally important plants in liquid and sand cultures. *Applied Soil Ecology* 6(1997); 301-308.

Takenaka H., Yamaguchi Y., sakaki S., Watarai K., Tanaka N., Hori M., Seki H., Tsuchida M., Yamada A., Nishimori T., and Morinaga T. 1998. Safety evaluation of *Nostoc flagelliforme* (nostcales, Cyanophyceae) as a potential food. *Food and Chemical Toxicology* 36(1998); 1073-1077.

Tansakul, P. and antasilp, A. 1991. Cultivation of *Spirulina* sp. In effluent from natural rubber- processing factory Proceedings: Research Seminar and workshop on Mass Culture of Microalgae, Novemer 18-23, 1991, Faculty of Science, Silpakorn iversity, Bangkok, Thailand

Tantichareon, M., Bunnag, B. and Vonshak, A. 1993. Cultivation of *Spirulina* using secondary treated starch wastewater. *Australasia Biotechnology* 3:223-226.

Tchernov A.A., Minkova K.M., Houbavenska N.B. and Kovacheva N.G. 1999. Purification of phycobiliproteins from *Nostoc* sp. by aminohexyl-sepharose chromatography. *Journal of Biotechnology* 69(1999); 69-73.

Venkataraman, L.V. 1986. Blue-green algae as biofertilizer. Pp. 455-472. In : *CRC Handbook of microalgal mass culture*. Richmond, A. (ed.). CRC Press, Inc., Florida.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณสารสี carotenoid (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *N. commune* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

วันที่	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
0	0.04±0.05 ^a	0.13±0.14 ^b	0.04±0.02 ^c	0.07±0.03 ^a
3	0.04±0.04 ^a	0.15±0.08 ^b	0.09±0.07 ^a	0.09±0.03 ^a
6	0.04±0.03 ^a	0.15±0.08 ^a	0.04±0.08 ^b	0.05±0.07 ^b
9	0.04±0.03 ^a	0.24±0.18 ^b	0.04±0.03 ^c	0.05±0.07 ^{ab}
12	0.05±0.03 ^a	0.30±0.44 ^b	0.05±0.13 ^a	0.06±0.04 ^a
15	0.08±0.01 ^a	0.63±0.21 ^b	0.21±0.34 ^a	0.15±0.05 ^a
18	0.17±0.03 ^a	0.63±0.21 ^b	0.30±0.05 ^a	0.18±0.07 ^c
21	0.18±0.02 ^a	0.79±0.03 ^a	0.46±0.06 ^a	0.20±0.07 ^a
24	0.18±0.02 ^a	0.71±0.29 ^b	0.19±0.04 ^c	0.11±0.05 ^d
27	0.17±0.04 ^a	0.66±0.06 ^b	0.33±0.07 ^a	0.15±0.03 ^c
30	0.15±0.03 ^a	0.62±0.04 ^a	0.25±0.06 ^a	0.09±0.06 ^a

ตัวอักษร (a,b,c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณสารสี phycoerythrin (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *Nostoc commune* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

วันที่	20°C	25°C	30°C	35°C
0	0.38±0.02 ^a	0.23±0.00 ^a	0.23±0.01 ^a	0.33±0.00 ^a
3	0.57±0.01 ^a	1.85±0.01 ^b	0.57±0.04 ^a	2.31±0.01 ^b
6	2.64±0.09 ^a	3.76±0.02 ^b	0.79±0.02 ^c	0.47±0.04 ^c
9	1.30±0.04 ^a	1.21±0.02 ^a	0.26±0.01 ^b	0.70±0.01 ^{ab}
12	0.87±0.01 ^a	1.74±0.02 ^b	0.24±0.01 ^c	0.60±0.02 ^{ac}
15	0.39±0.02 ^a	3.85±0.03 ^b	0.72±0.01 ^c	0.16±0.06 ^a
18	1.26±0.01 ^a	1.38±0.06 ^a	0.38±0.05 ^b	0.16±0.05 ^b
21	0.50±0.01 ^{ac}	1.35±0.02 ^b	0.25±0.01 ^c	0.60±0.02 ^a
24	0.26±0.00 ^a	5.05±0.03 ^b	1.96±0.03 ^c	1.30±0.01 ^c
27	0.38±0.01 ^a	0.43±0.02 ^a	0.46±0.01 ^a	0.80±0.01 ^a
30	0.35±0.00 ^a	0.54±0.03 ^a	0.35±0.03 ^a	0.30±0.01 ^a

ตัวอักษร (a,b,c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณสารสี phycocyanin (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *Nostoc commune* ที่เลี้ยงในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

วันที่	20°C	25°C	30°C	35°C
0	0.21±0.01 ^a	0.58±0.00 ^b	0.37±0.01 ^{ab}	0.29±0.06 ^{ab}
3	0.53±0.01 ^a	1.05±0.00 ^a	0.57±0.01 ^a	2.27±0.01 ^b
6	0.43±0.00 ^a	3.25±0.00 ^b	0.24±0.01 ^a	0.53±0.03 ^a
9	0.50±0.02 ^a	1.09±0.01 ^b	0.37±0.00 ^a	0.90±0.01 ^{ab}
12	0.47±0.02 ^{ab}	0.60±0.01 ^{ab}	0.23±0.00 ^a	0.74±0.00 ^b
15	0.34±0.00 ^a	0.67±0.03 ^a	0.57±0.03 ^a	0.57±0.03 ^a
18	0.98±0.01 ^a	2.53±0.02 ^b	0.83±0.03 ^a	0.08±0.09 ^c
21	0.34±0.02 ^a	1.15±0.00 ^a	1.20±1.03 ^a	0.47±0.08 ^a
24	0.28±0.00 ^a	1.93±0.01 ^b	0.59±0.02 ^a	0.41±0.02 ^a
27	0.32±0.00 ^a	2.20±0.03 ^b	0.72±0.08 ^a	0.36±0.02 ^a
30	0.21±0.02 ^a	0.50±0.01 ^a	0.69±0.01 ^a	0.39±0.01 ^a

ตัวอักษร (a,b,c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณ phycoerythrin (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *Nostoc commune* ที่เลี้ยงที่ความเข้มแสงต่างกัน

วันที่	637 LUX	1680 LUX
0	1.60 ± 0.00 ^a	0.23 ± 0.02 ^c
3	0.76 ± 0.01 ^a	1.85 ± 0.01 ^b
6	0.21 ± 0.01 ^a	3.76 ± 0.02 ^b
9	0.31 ± 0.02 ^a	1.21 ± 0.01 ^b
12	0.81 ± 0.01 ^a	1.74 ± 0.02 ^b
15	1.17 ± 0.03 ^a	3.85 ± 0.01 ^b
18	1.09 ± 0.01 ^a	1.38 ± 0.02 ^b
21	0.75 ± 0.02 ^a	1.35 ± 0.02 ^b
24	1.81 ± 0.01 ^a	5.05 ± 0.03 ^b
27	1.30 ± 0.02 ^a	0.43 ± 0.02 ^b
30	1.37 ± 0.01 ^a	0.54 ± 0.03 ^a

ตัวอักษร (a,b,c) ในแถวอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 ปริมาณ phycocyanin (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *Nostoc commune* ที่เลี้ยงที่ความเข้มแสงต่างกัน

วันที่	637 LUX	1680 LUX
0	0.32 ± 0.00 ^a	0.58 ± 0.01 ^b
3	0.48 ± 0.00 ^a	1.05 ± 0.03 ^b
6	0.27 ± 0.01 ^a	3.25 ± 0.02 ^c
9	0.36 ± 0.03 ^a	1.09 ± 0.03 ^b
12	0.23 ± 0.00 ^a	0.60 ± 0.05 ^a
15	0.47 ± 0.01 ^a	0.67 ± 0.02 ^a
18	0.43 ± 0.01 ^a	2.53 ± 0.02 ^b
21	0.43 ± 0.00 ^a	1.15 ± 0.00 ^b
24	1.65 ± 0.01 ^a	1.93 ± 0.02 ^a
27	0.22 ± 0.01 ^a	2.20 ± 0.03 ^b
30	2.28 ± 0.10 ^a	0.50 ± 0.00 ^c

ตัวอักษร (a,b,c) ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณสารสีที่สร้าง (มีผลิตภัณฑ์ต่อลิตร) โดย *N. commune* ที่เลี้ยงในอาหารที่มีแหล่งไนโตรเจนแตกต่างกัน

Time (day)	phycoerythrin		phycocyanin		chlorophyll		carotenoid	
	KNO ₃	NaNO ₃	KNO ₃	NaNO ₃	KNO ₃	NaNO ₃	KNO ₃	NaNO ₃
0	0.09	0.86	0.11	0.86	0.32	0.08	0.01	0.03
3	0.49	0.70	0.54	0.87	0.28	0.30	0.00	0.17
6	0.38	0.31	0.40	1.25	0.86	0.54	0.01	0.02
9	0.32	0.38	0.30	1.00	1.21	0.18	0.02	0.11
12	0.64	0.38	0.29	0.42	1.10	0.77	0.01	0.34
15	1.08	0.79	1.06	0.55	1.32	0.99	0.04	0.43
18	0.74	2.19	1.43	1.32	1.79	0.83	0.02	1.33
21	0.86	4.55	0.94	5.60	2.57	1.24	0.02	1.71
24	0.74	1.95	0.80	1.97	2.40	0.68	0.03	0.15
27	0.76	4.46	1.43	0.56	3.44	1.26	0.08	1.79
30	0.91	0.38	0.85	0.56	5.01	1.22	0.16	3.52

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณสารสี (เม็ดสีกรีนต่อติตร) ที่สร้างโดย *N. commune* ที่เลี้ยงในอาหารที่ผสมนมที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

Time (day)	carotenoid			phycocyanin			phycoerythrin		
	นม 0.1%	นม 0.2%	นม 0.3%	นม 0.1%	นม 0.2%	นม 0.3%	นม 0.1%	นม 0.2%	นม 0.3%
	0	0.03	0.05	0.07	0.60	0.64	0.80	0.43	0.38
3	0.05	0.15	0.17	0.42	3.61	2.58	0.71	1.13	0.31
6	0.07	0.15	0.09	0.48	0.85	0.65	1.46	1.09	1.46
9	0.22	0.18	0.08	0.98	1.64	0.40	2.16	0.48	0.77
12	0.23	0.28	0.17	1.25	1.25	1.64	0.82	0.34	0.50
15	0.49	0.20	0.16	0.60	0.93	4.18	0.60	0.51	3.97
18	0.41	0.29	0.19	0.86	1.00	1.46	0.89	2.90	2.42
21	0.54	0.23	0.15	0.33	2.04	3.19	0.39	2.72	1.21
24	0.51	0.52	0.29	0.71	2.11	2.27	0.56	1.90	1.84
27	0.25	0.46	0.43	0.28	0.62	0.86	0.40	0.93	1.47
30	0.22	0.68	0.36	0.51	2.32	0.93	0.39	2.69	2.19

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณสารสี (เม็ดสีที่รับต่อลิตร) ที่สร้างโดย *N. commune* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

Time (day)	carotenoid			phycocyanin			phycoerythrin		
	มุลสุกร 0.5 g/L	มุลสุกร 2 g/L	มุลสุกร 5 g/L	มุลสุกร 0.5 g/L	มุลสุกร 2 g/L	มุลสุกร 5 g/L	มุลสุกร 0.5 g/L	มุลสุกร 2 g/L	มุลสุกร 5 g/L
0	0.05	0.05	0.06	0.69	1.18	2.11	0.80	1.18	2.19
3	0.08	0.12	0.10	0.49	2.84	0.96	1.74	0.57	0.52
6	0.16	0.17	0.15	0.57	0.88	6.11	0.32	0.24	0.63
9	0.19	0.21	0.15	0.36	0.64	0.63	1.57	0.17	1.53
12	0.24	0.30	0.18	1.54	1.83	1.51	0.34	0.85	0.84
15	1.23	0.46	0.33	2.07	2.66	0.46	2.74	1.66	3.23
18	0.48	0.29	0.27	1.42	1.50	2.51	0.57	1.94	1.51
21	0.94	1.82	0.28	0.87	1.44	0.64	4.72	1.86	0.97
24	1.54	1.07	0.46	1.37	5.65	1.21	0.41	0.67	2.59
27	0.17	0.58	0.43	2.51	3.22	0.98	5.02	4.31	1.87
30	0.41	0.58	0.39	0.64	2.30	0.59	2.24	0.73	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้