บทความวิจัย

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในน้ำหมักเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์

ณัฐพร จันทร์ฉาย* และ จุฑารัตน์ สนธิรอด

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่ 54140

บทคัดย่อ

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในสูตรอาหารน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ซึ่งเป็นอาหารต้นทุนต่ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) โดยศึกษาสูตรน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (เปลือก ต้น ซังและฝุ่นข้าวโพด) ที่ 20% ร่วมกับสูตรอาหารทางเคมี การศึกษาพบว่า สูตรน้ำหมักจากต้นข้าวโพดเหมาะสมที่สุดที่จะใช้เป็นอาหารต้นทุนต่ำในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาโดยให้ค่าอัตราความหนาแน่นของเซลล์ (OD) เฉลี่ยเท่ากับ 0.450±0.006 cell/ml จำนวนเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ 81.440±0.497 cell/ml อัตราการเจริญจำเพาะ (μ) เฉลี่ยเท่ากับ 2.079±0.001 เซลล์/วัน และปริมาณรงควัตถุแคโรทีนอยด์เฉลี่ยเท่ากับ 79.943±0.043 μg/g น้ำหนักเซลล์แห้ง ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จากนั้นทำการศึกษาปริมาตรน้ำหมักจากต้นข้าวโพดที่ปริมาณต่าง ๆ คือ 10, 15, 20 และ 25% โดยปริมาตร จากการศึกษาพบว่าน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ปริมาณ 20% เป็นสูตรที่ดีที่สุดเนื่องจากมีอัตราความหนาแน่นของเซลล์ (OD) เฉลี่ยเท่ากับ 0.434±0.020 cell/ml จำนวนเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ 82.594±0.056 cell/ml อัตราการเจริญจำเพาะ (μ) เฉลี่ยเท่ากับ 2.015±0.016 เซลล์/วัน ปริมาณรงควัตถุแคโรทีนอยด์เฉลี่ยเท่ากับ 75.026±0.006 μg/g น้ำหนักเซลล์แห้ง และปริมาณโปรตีนเฉลี่ยเท่ากับ 137.288±0.037% ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

คำสำคัญ: สไปรูลินา ข้าวโพดอาหารสัตว์ แคโรทีนอยด์ โปรตีน และ มลภาวะทางอากาศ

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: nuttapornchanchay@gmail.com

Cultivation of *Spirulina platensis* in Fermented Corn Feed Residues

Nuttaporn Chanchay* **and Jutarat Sontirod**

Program in Biotechnology, Maejo University Phrae Campus, Phrae, 54140, Thailand

Abstract

The cultivation of *Spirulina platensis* in corn feed residue liquid fermentation medium of low cost diet with different ratios was investigated by a completely randomized design; CRD). The study was conducted on fermented water from corn residue (corn husks, corn stalks, and corn dust) at 20% with chemical formula. The study was found that the fermented water from the corn cultivar was the most suitable for use as a low cost medium for culturing Spirulina with an average OD of 0.450±0.006 cells/ml., average number of cells was 81.440±0.497 cells/ml., specific growth rate (μ) was 2.079±0.001 cells/day and average carotenoid content was 79.943±0.043 micrograms/g dry cell weight with significant differences were observed (P<0.05). The amount of fermented water from the corn stalks at 10, 15, 20 and 25% was studied. The results were showed that 20% of corn feed was the best formulation because an average OD was 0.434±0.020 cells/ml., the average cell number was 82.594±0.056 cells/ml., the average specific growth rate (μ) was 2.015±0.016 cells/day., the average carotenoid content was 75.026±0.006 micrograms/g.dry cell weight and the average protein content was 137.288±0.037% had significant differences (P<0.05).

Keywords: *Spirulina platensis*, Corn feed, Carotenoid, Protein and Air pollution

* Corresponding author: E-mail: nuttapornchanchay@gmail.com

บทนำ

ในประเทศไทย สาหร่ายสไปรูลินาหรือสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina platensis*) นิยมนำมาใช้เป็นสารเสริมอาหารสำหรับผู้รักสุขภาพ สาหร่ายดังกล่าวเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบมากในน้ำจืด ที่มีคลอโรฟิลล์ช่วยในการสังเคราะห์แสง มีลักษณะเป็นเส้นเกลียว เจริญเติบโตได้ดีทั้งในน้ำสะอาดและน้ำเสีย (Wongrat, 1996) เป็นสาหร่ายเซลล์เดียวที่มีโปรตีนสูงมากจึงได้รับความสนใจสูงในด้านของการนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารเสริมโดยผสมในอาหารสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Chanchay, 2004; Tongsiri *et al.,* 2012) หรือเพื่อทดแทนแหล่งโปรตีนที่ได้จากแหล่งอื่น ๆ (Boonsom, 1992) เนื่องจากมีความโดดเด่นในเรื่องของโปรตีนที่มีอยู่ปริมาณสูงถึง 50-70% ของน้ำหนักเซลล์แห้ง และสารสำคัญอื่น ๆ ได้แก่ Phycocyanin, Allophycocyanin, Beta-carotene, Chlorophyll-a และกรดไขมันจำเป็นชนิดไม่อิ่มตัว (Vekataraman, 1983) เนื่องจากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินามีต้นทุนการเพาะเลี้ยงสูงจากการใช้อาหารทางเคมี ดังนั้นเพื่อเป็นทางเลือกในการนำไปใช้เป็นสารเสริมในอาหารสัตว์น้ำสำเร็จรูปที่มีกำลังการผลิตสูงกว่าอาหารสัตว์น้ำอื่น ๆ ซึ่งการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไม่มีความยุ่งยากในการเพาะเลี้ยง ไม่ต้องมีการจัดการหรือดูแลมากนัก และที่สำคัญการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินานั้นสามารถลดต้นทุนการเลี้ยงให้ต่ำลงได้โดยการคิดค้นแหล่งอาหารจากธรรมชาติ เช่น น้ำหมักจากมูลสัตว์หรือน้ำหมักจากพืชต่าง ๆ นำมาประยุกต์และปรับปรุงเพื่อเป็นสูตรอาหารต้นทุนต่ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

ข้าวโพดเป็นธัญพืชเศรษฐกิจที่สำคัญที่ใช้เป็นอาหารของมนุษย์ และสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวโพดอาหารสัตว์เป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ (Maneesawang, 2011; Pongpiachan, 1999) ปัจจุบันความต้องการของข้าวโพดอาหารสัตว์ทั้งตลาดในประเทศและตลาดต่างประเทศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ก่อให้เกิดของเสียจากการเพาะปลูกทั้งซัง เปลือก และฝุ่นข้าวโพด การเผาทำลายเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดอาหารสัตว์ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพอากาศ และมีผลต่อระบบทางเดินหายใจของสิ่งมีชีวิต ทั้งนี้เพื่อชี้ให้เห็นแนวทางการนำเศษเหลือจากข้าวโพดอาหารสัตว์มาประยุกต์ใช้โดยนำเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (เปลือก ซัง ต้น และฝุ่นข้าวโพด) มาหมักที่อัตราส่วนต่าง ๆ ร่วมกับสูตรอาหารทางเคมีเพื่อปรับปรุงเป็นสูตรอาหารต้นทุนต่ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*)

ในการศึกษาครั้งนี้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และจำนวนเซลล์ของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารน้ำหมักจากเศษข้าวโพดอาหารสัตว์กับสูตรอาหารทางเคมี ซึ่งเป็นสูตรอาหารที่มีการใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินากันทั่วไป และสูตรอาหารจากน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ชนิดใดมีประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโต ปริมาณแคโรทีนอยด์ จำนวนเซลล์ และการผลิตโปรตีนของสาหร่ายสไปรูลินาใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับสูตรอาหารทางเคมี ทั้งนี้ เพื่อชี้ให้เห็นถึงแนวทางและความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำหมักจากวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรมาประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในการลดต้นทุนการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไปในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา *Spirulina platensis* ในสูตรอาหารน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (เปลือก ซัง ลำต้น และฝุ่นข้าวโพด) แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. ทำการเพาะลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสูตรน้ำหมักข้าวโพดอาหารสัตว์แต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 20% โดยปริมาตร เป็นเวลา 10 วัน โดยให้แสงสว่างตลอด 24 ชั่วโมง (Wongrat, 1996) ทำการวัดประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสาหร่าย ศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์ (Foss *et al.,* 1984) ค่าความหนาแน่น (OD) จำนวนเซลล์ ($x10^7$ cell/ml) แล้วจึงเลือกชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ดีที่สุดเพื่อศึกษาปริมาณของน้ำหมักที่ใช้จากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ในปริมาณแตกต่างกันในการศึกษาต่อไป

2. ศึกษาปริมาณชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยเจือจางน้ำหมักที่อัตราส่วน 10, 15, 20 และ 25% โดยปริมาตร เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาและวัดการเจริญเติบโตของ

สาหร่าย ศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์ (Foss *et al.,* 1984) ค่าความหนาแน่น (OD) จำนวนเซลล์ (x10^7cell/ml) และปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl method (AOAC, 2000)

โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาสูตรน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ แต่ละการทดลองมี 6 สูตร สูตรละ 3 ซ้ำ และการทดลองที่ 2 ศึกษาปริมาณของน้ำหมักที่เหมาะสม แต่ละการทดลองมี 5 สูตร สูตรละ 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป โดยดำเนินการ ดังนี้

1. การเตรียมหัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา โดยทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในห้องปฏิบัติการด้วยสูตรอาหารทางเคมีและขยายปริมาณหัวเชื้อสาหร่ายไปเรื่อย ๆ ให้ได้ปริมาณมากพอที่จะนำไปใช้ในการทดลอง ทั้งนี้เมื่อวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ (Optical Density; OD) ที่ความยาวคลื่นแสง 560 นาโนเมตร แล้วได้ค่าเท่ากับ 0.8 เป็นต้นไปจึงสามารถนำไปใช้เป็นหัวเชื้อตั้งต้นในการศึกษาต่อไป (Choocherd *et al.,* 2010)

2. การเตรียมน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (เปลือก ซัง ต้น และฝุ่นข้าวโพด) แบ่งการทดลองออกเป็น 6 สูตรๆ ละ 3 ซ้ำ คือ สูตรที่ 1 สูตรควบคุมทางเคมี (ชุดควบคุม) สูตรที่ 2 คือ น้ำหมักจากฝุ่นข้าวโพด 20% โดยปริมาตร สูตรที่ 3 น้ำหมักจากต้นข้าวโพด 20% โดยปริมาตร สูตรที่ 4 น้ำหมักจากซังข้าวโพด 20% โดยปริมาตร สูตรที่ 5 น้ำหมักจากเปลือกข้าวโพด 20% โดยปริมาตร และสูตรที่ 6 น้ำหมักจากฝุ่นข้าวโพด+ต้น+ซัง+เปลือกที่อัตราส่วน 1:1:1 20% โดยปริมาตร โดยแต่ละสูตรนำเศษข้าวโพดอาหารสัตว์มาหมักกับน้ำประปาที่ไล่ออกซิเจนออกแล้วที่อัตราส่วน 1:10 ในถังขนาด 20 ลิตร เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ระหว่างทำการหมักทำการคนน้ำหมักเป็นครั้งคราว หมักเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นกรองผ่านผ้าขาวบางแล้วนำไปต้ม เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ (Choocherd *et al.,* 2010) ก่อนใช้เป็นส่วนประกอบของสูตรอาหารเลี้ยงสาหร่ายในสูตรต่อไป

3. เติมหัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินาที่ได้จากข้อที่ 1 ในแต่ละสูตร สูตรละ 10% โดยปริมาตร เลี้ยงสาหร่ายเป็นเวลา 10 วัน โดยให้แสงสว่างตลอด 24 ชั่วโมง ทำการวัดประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Foss *et al.,* 1984) ความหนาแน่น (OD) และนับจำนวนเซลล์ (x10^7cell/ml) และคัดเลือกชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ดีที่สุดเพื่อศึกษาทางด้านปริมาณที่เหมาะสมต่อไป

4. ศึกษาปริมาณชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์จากผลการทดลองข้อที่ 3 ที่ปริมาณที่แตกต่างกันโดยทำการเจือจางน้ำหมักที่อัตราส่วน 10, 15, 20 และ 25% โดยปริมาตร (ของปริมาณอาหารทางเคมี) เติมหัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินาที่ได้จากข้อที่ 1 ในแต่ละสูตร สูตรละ 10% ของปริมาณอาหาร เลี้ยงสาหร่ายเป็นเวลา 10 วัน โดยให้แสงสว่างตลอด 24 ชั่วโมง ทำการวัดประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Foss *et al.,* 1984) ความหนาแน่น (OD) จำนวนเซลล์ (x10^7cell/ml) และปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl method (AOAC, 2000)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design ; CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 มี 6 สูตร และการทดลองที่ 2 มี 5 สูตร แต่ละสูตรแบ่งออกเป็น 3 ซ้ำ ดังนี้

1. การทดลองที่ 1 การศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมโดยเติมน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์

สูตรที่ 1 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร สูตรอาหารทางเคมี คือ

โซเดียมไบคาร์บอเนตหรือผงฟู ($NaHCO_3$) 6.0 g/L.

ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟต (K_2HPO_4) 0.5 g/L.

โซเดียมไนเตรท ($NaNO_4$) 1.5 g/L.

ปุ๋ย N:P:K (16:16:16) 0.6 g/L.

สูตรที่ 2 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + น้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (น้ำหมักจากฝุ่นข้าวโพด) 20% โดยปริมาตร

สูตรที่ 3 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + น้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (น้ำหมักจากต้นข้าวโพด) 20% โดยปริมาตร

สูตรที่ 4 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + น้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (น้ำหมักจากซังข้าวโพด) 20% โดยปริมาตร

สูตรที่ 5 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + น้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (น้ำหมักจากเปลือกข้าวโพด) 20% โดยปริมาตร

สูตรที่ 6 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + น้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (น้ำหมักจากฝุ่น+ซัง+ต้น+เปลือก) ที่อัตราส่วน 1:1:1 20% โดยปริมาตร

2. การทดลองที่ 2 การศึกษาปริมาตรของน้ำหมักจากเศษข้าวโพดอาหารสัตว์ที่เหมาะสมร่วมกับอาหารสังเคราะห์

สูตรที่ 1 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตรสูตรอาหารทางเคมี คือ

โซเดียมไบคาร์บอเนตหรือผงฟู ($NaHCO_3$) 6.0 g/L.

ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟต (K_2HPO_4) 0.5 g/L.

โซเดียมไนเตรท ($NaNO_4$) 1.5 g/L.

ปุ๋ย N:P:K (16:16:16) 0.6 g/L.

สูตรที่ 2 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + ชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ 10% โดยปริมาตร

สูตรที่ 3 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + ชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ 15% โดยปริมาตร

สูตรที่ 4 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + ชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ 20% โดยปริมาตร

สูตรที่ 5 ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + ชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ 25% โดยปริมาตร

นำหัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินาที่มีความหนาแน่นของเซลล์ (OD) ตั้งแต่ 0.8 ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร เพาะเลี้ยงในขวดพลาสติกใสขนาด 10 ลิตร โดยใช้หัวเชื้อสาหร่ายต่อสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายอัตราส่วน 1:5 ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 10.0±0.1 ทำการสุ่มเรียงขวดพลาสติกใสแต่ละทรีตเมนต์ให้แสงสว่างจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนส์ตลอด 24 ชั่วโมง และให้ระบบลมอย่างทั่วถึงเพื่อให้เกิดการหมุนเวียนน้ำและป้องกันการตกตะกอน เพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 วัน หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 วัน ตรวจวัดการเจริญและนับจำนวนเซลล์สาหร่ายสไปรูลินาโดยใช้ Haemacytometer และวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ (OD) โดยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 560 นาโนเมตร หาค่าปริมาณแคโรทีนอยด์โดยวิธีของ Foss *et al.* (1984) และปริมาณโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl method (เฉพาะชุดการทดลองที่ 2) คำนวณอัตราการเจริญของสาหร่ายสไปรูลินา ดังนี้

อัตราการเจริญจำเพาะ (Specific growth rate; μ) คำนวณได้จาก

$$\mu = \frac{Ln_{x2} - Ln_{x1}}{t_2 - t_1}$$

เมื่อ x คือ จำนวนเซลล์ และ t คือ หน่วยเวลา

วิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ ค่าความหนาแน่นของเซลล์ อัตราการเจริญ ปริมาณแคโรทีนอยด์ และโปรตีนที่ได้ในแต่ละสูตรด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance ; ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS/PC

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. การทดลองที่ 1 การศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมโดยเติมน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์

การศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมของการเพาะเลี้ยง *Spirulina platensis* โดยการเติมน้ำหมักเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ปริมาตรแตกต่างกันร่วมกับสูตรอาหารทางเคมี โดยผลการศึกษาชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ดีที่สุดหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายเป็นเวลา 10 วัน โดยให้แสงสว่างตลอด 24 ชั่วโมง แล้วจึงทำการวัดประสิทธิภาพการเจริญของสาหร่าย วัดปริมาณแคโรทีนอยด์ (Foss *et al.*, 1984) วัดค่าความหนาแน่น (OD) และนับจำนวนเซลล์ ($x10^7$ cell/ml) ซึ่งผลการทดลองแสดง ดัง Table 1

Table 1 Mean cell numbers, optical density (OD), specific growth rate and carotenoid content of *Spirulina platensis* in liquid fermentation from corn feed residues

Educational factors	Chemical formula	Formula 2	Formula 3	Formula 4	Formula 5	Formula 6
Density(OD)	0.514^{a} ± 0.015	0.406^{f} ±0.001	0.450^{b} ± 0.006	0.446^{c} ±0.015	0.429^{d} ±0.006	0.422^{e} ±0.010
Cell number ($x10^{7}$cell/ml)	105.350^{a} ±0.010	46.830^{f} ±0.010	81.440^{b} ±0.497	71.083^{c} ±0.401	62.630^{d} ±0.010	51.000^{e} ±0.010
Growth rate (μ; cells/day)	7.900^{a} ±0.001	0.279^{f} ± 0.002	2.079^{b} ±0.001	1.779^{c} ±0.001	1.263^{d} ±0.002	1.023^{e} ±0.004
Carotenoids (μg/g cell dry weight)	109.432^{a} ± 0.001	62.854^{f} ±0.012	79.943^{b} ±0.043	74.456^{c} ±0.005	71.574^{d} ±0.010	68.124^{e} ±0.004

Note: Similarly, the horizontal alphabet showed no statistically significant difference ($P<0.05$) at 95% confidence level by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) : Supplemented with 20% of fermented corn extracted in the control medium (chemical formula)

Table 1 แสดงค่าความหนาแน่นของเซลล์ (OD) ด้วยสูตรอาหารต้นทุนต่ำจากน้ำหมักของเศษข้าวโพดอาหารสัตว์ พบว่าแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งสูตรควบคุมให้ค่าความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 0.514±0.015 รองลงมา คือ น้ำหมักจากต้นข้าวโพด 20% มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.450±0.006 และน้ำหมักจากซังข้าวโพด 20% มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.446±0.015 ทั้งนี้สูตรควบคุมซึ่งเป็นสูตรอาหารทางเคมี โดย Promya *et al.* (2009) กล่าวว่าได้มีการเติมธาตุอาหารพื้นฐานที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่ายและเป็นสูตรที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจึงทำให้สูตรควบคุมมีปริมาณความหนาแน่นสูงกว่าสูตรอาหารอื่น ๆ

การศึกษาจำนวนเซลล์ที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารต้นทุนต่ำจากน้ำหมักของเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ พบว่า แต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสูตรควบคุมมีจำนวนเซลล์สูงสุดเท่ากับ 105.350±0.010 cell/ml. รองลงมา คือ น้ำหมักต้นทุนต่ำจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ 20% มีจำนวนเซลล์ เท่ากับ 81.440±0.497 cell/ml. และสูตรอาหารต้นทุนต่ำจากน้ำหมักของซังข้าวโพดที่ 20% มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 71.083±0.401 cell/ml. โดยสูตรที่ 2 คือ น้ำหมักจากฝุ่นข้าวโพดมีปริมาณจำนวนเซลล์ของสาหร่ายต่ำที่สุดเท่ากับ 46.830±0.010 cell/ml. ทั้งนี้เนื่องจากสูตรควบคุมเป็นสูตรอาหารทางเคมีได้มีการเติมธาตุอาหารพื้นฐานที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่าย ที่ประกอบด้วย $NaHCO_3$, $NaNO_3$, K_2HPO_4 และมีปุ๋ยเคมี (N:P:K ที่ 16:16:16) โดยองค์ประกอบเหล่านี้ช่วยทำให้สาหร่ายมีการเพิ่มจำนวนเซลล์ได้มากขึ้นและเป็นสูตรอาหารที่นิยมใช้ในการเลี้ยงสาหร่าย (Choocherd *et al*., 2010; Seesooksomwong and Peerapornphisarn, 2007) อีกทั้งในฝุ่นข้าวโพดอาจจะมีปริมาณสารอาหารที่น้อยต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย แต่เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ต้องการศึกษาถึงสูตรอาหารต้นทุนต่ำของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์จึงพบว่าอาหารต้นทุนต่ำของน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ 20% (ของปริมาณอาหาร) มีจำนวนเซลล์เฉลี่ยที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอาหารต้นทุนต่ำสูตรอื่น ๆ จากน้ำหมักเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ เนื่องจากในลำต้นข้าวโพดมีท่อลำเลียงอาหารทำให้มีธาตุอาหารต่าง ๆ สะสมอยู่ในบริเวณลำต้นมากกว่าส่วน เปลือก ซัง และฝุ่นข้าวโพด (Chairinkum and Mikled, 2013) สอดคล้องกับ Chuenkramon (1987) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำหมักมูลสุกร เช่นเดียวกับ Choocherd *et al.* (2010) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำหมักต้นทุนต่ำจากน้ำมูลสัตว์ต่าง ๆ และหญ้า โดยน้ำหมักจากมูลสัตว์ได้จากธาตุอาหารจากพืชที่สัตว์กินเข้าไปถูกหมักและย่อยสลายเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่าย โดยเฉพาะ

มูลไก่ อีกทั้งยังสอดคล้องกับ Seephanomyom *et al.* (2007) เลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*S. platensis*) ในน้ำทิ้งจากโรงงานปลาแล่เนื่องจากน้ำทิ้งดังกล่าวยังมีคุณค่าทางอาหารที่สำคัญต่อการเจริญของสาหร่าย

ผลการศึกษาอัตราการเจริญจำเพาะ (μ) ของอาหารต้นทุนต่ำจากการหมักของเศษข้าวโพดอาหารสัตว์ พบว่าแต่ละสูตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยสูตรควบคุมมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดเท่ากับ 7.900±0.001 รองลงมา คือ น้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ 20% มีอัตราการเจริญเท่ากับ 2.079±0.001 และพบว่าน้ำหมักจากฝุ่นข้าวโพดอาหารสัตว์ 20% มีอัตราการเจริญต่ำสุดเท่ากับ 0.279±0.002 โดยอัตราการเจริญคำนวณจากจำนวนเซลล์ ซึ่งสูตรน้ำหมักต้นจากต้นข้าวโพดหมักมีจำนวนเซลล์สูงสุด และจึงทำให้มีค่าอัตราการเจริญสูงไปด้วย

การศึกษาค่าปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารจากน้ำหมักเศษข้าวโพดอาหารสัตว์ พบว่าแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 79.043±0.043 μg/g น้ำหนักเซลล์แห้ง รองลงมา คือ น้ำหมักจากซังข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ 20% มีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 74.456±0.005 μg/gน้ำหนักเซลล์แห้ง และสูตรน้ำหมักจากเปลือกข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ 20% มีปริมาณ แคโรทีนอยด์เท่ากับ 71.574±0.010 μg/gน้ำหนักเซลล์แห้ง ทั้งนี้สูตรควบคุมซึ่งเป็นสูตรอาหารทางเคมีได้มีการเติมธาตุอาหารพื้นฐานที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่ายในการเพาะเลี้ยงได้มีการให้แสงสว่างตลอด 24 ชั่วโมง ในการเพาะเลี้ยงส่งผลให้สาหร่ายมีปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เพิ่มขึ้น และเนื่องจากจำนวนเซลล์ที่เพิ่มขึ้นมากจึงทำให้มีการสร้างแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับจำนวนเซลล์ที่สูงขึ้นด้วย ถึงแม้ว่าสูตรควบคุมจะมีแคโรทีนอยด์ถึง 109.432 μg/g น้ำหนักเซลล์แห้ง แต่การศึกษานี้ต้องการศึกษาอาหารจากน้ำหมักต้นทุนต่ำดังนั้นเพื่อเป็นการศึกษาปริมาณน้ำหมักที่เหมาะสมในสูตรอาหารต้นทุนต่ำจึงเลือกสูตรน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์หมักมาใช้ในการทดลองที่ 2 ต่อไป

2. การทดลองที่ 2 การศึกษาปริมาตรของน้ำหมักจากเศษข้าวโพดอาหารสัตว์ที่เหมาะสมร่วมกับอาหารสังเคราะห์

การศึกษาปริมาตรของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ปริมาตรที่แตกต่างกัน โดยทำการเจือจางน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่อัตราส่วน 10, 15, 20 และ25% โดยปริมาตร (ของปริมาณอาหารทางเคมี) และทำการวัดประสิทธิภาพการเจริญของสาหร่าย ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Foss *et al.*,1984) ค่าความหนาแน่น (OD) จำนวนเซลล์ (x10^7cell/ml) และปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000) ซึ่งผลการศึกษาแสดงใน Table 2

Table 2 Mean cell numbers, optical density (OD), specific growth rate, carotenoid content and protein content of *Spirulina platensis* in liquid fermentation from corn feed residues

Educational factors	Chemical formula	Fermented water at 10%	Fermented water at 15%	Fermented water at 20%	Fermented water at 25%
Density (OD)	0.506^{a}±0.004	0.444^{b}±0.138	0.341^{d}±0.185	0.434^{bc}±0.020	0.504^{a}± 0.003
Cell number (x10^7cell/ml)	105.332^{a}±0.012	80.026^{c}±0.023	81.365^{bc}±0.061	82.594^{b}±0.056	64.030^{e}±0.028
Growth rate (μ ; cells/day)	8.510^{a}±0.023	0.527^{d}±0.006	1.770^{c}±0.034	2.015^{b}±0.016	0.270^{e}±0.015
Carotenoids (μg/gcell dry weight)	113.964^{b}±0.002	122.021^{a}±0.003	3.486^{d}±0.005	75.026^{c}± 0.006	4.178^{d}±0.007
Protein (%)	140.075^{a}±0.037	11.053^{d}±0.026	26.077^{c}± 0.020	137.288^{b}±0.037	4.294^{e}±0.071

Note: Similarly, the horizontal alphabet showed no statistically significant difference (P<0.05) at 95% confidence level by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) : Dilution rate of fermented water from 10%, 15%, 20% and 25%

จาก Table 2 การศึกษาค่าความหนาแน่นของเซลล์ (OD) ด้วยสูตรอาหารน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ พบว่าแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยสูตรควบคุมมีความหนาแน่นสูงสุด เท่ากับ

0.506±0.004 รองลงมา คือ น้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 25% โดยปริมาตร มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.504±0.003 และน้ำหมักต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้ม 10% โดยปริมาตร มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.444±0.138 ทั้งนี้ Seenuansom (2007) กล่าวว่าสูตรควบคุมซึ่งเป็นสูตรอาหารทางเคมี ได้มีการเติมธาตุอาหารพื้นฐานที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่ายและเป็นสูตรที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายซึ่งเหมาะแก่การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในสภาวะที่เหมาะสม Promya *et al.* (2009) กล่าวว่าสาหร่าย *S. platensis* เมื่อเพาะเลี้ยงประมาณ 7 วัน จะมีค่า OD เท่ากับ 0.8-1.00

การศึกษาจำนวนเซลล์ที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารของน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ปริมาตรต่าง ๆ พบว่าแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสูตรควบคุมมีจำนวนเซลล์สูงสุดเท่ากับ 105.332±0.012 cell/ml รองลงมา คือ น้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 20% โดยปริมาตร มีจำนวนเซลล์ เท่ากับ 82.594±0.056 cell/ml และสูตรอาหารน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 15% โดยปริมาตร มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 81.365±0.061 cell/ml Chuenkramon (1987) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในอาหารสูตรต่าง ๆ เช่นเดียวกับ Choocherd *et al.* (2010) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำหมักต้นทุนต่ำจากมูลสัตว์และพืชทำให้ได้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่ายเช่นกัน

การศึกษาอัตราการเจริญจำเพาะ (μ) ด้วยอาหารต้นทุนต่ำของน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์พบว่า แต่ละสูตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสูตรควบคุมมีอัตราการเจริญสูงสุดเท่ากับ 8.510±0.023 รองลงมา คือน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 20% โดยปริมาตร มีอัตราการเจริญเท่ากับ 2.015±0.016 สอดคล้องกับ Seenuansom (2007) ซึ่งพบว่า อาหารสูตรชาร์รุคปรับปรุง (อาหารทางเคมี) มีอัตราการเจริญของสาหร่ายสไปรูลินามากที่สุดและเนื่องจากลำต้นเป็นส่วนสะสมอาหารเพื่อลำเลียงอาหารและกระจายไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของต้นจึงมีอาหารสะสมมากที่สุด ซึ่งบริเวณลำต้นมีการสะสมฟอสฟอรัสสูงสอดคล้องกับงานศึกษาของ Promya *et al.* (2009) กล่าวว่าสาหร่ายดูดซับฟอสฟอรัสในรูปของอิออน Orthophosphate ได้ดีที่สุด ซึ่งฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของไอออนที่สามารถละลายน้ำได้ดี และสาหร่ายนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ PO_3, HPO_3^{-4} และ H_2PO_4 สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะมีความต้องการฟอสฟอรัสมากกว่าสาหร่ายกลุ่มอื่น ถ้าสาหร่ายขาดฟอสฟอรัสจะมีผลเสียต่อการเจริญเติบโต ทำให้ปริมาณสารสีชนิด Chlorophyll-a, RNA และ DNA ลดลง มีผลทำให้รูปร่างของเซลล์เปลี่ยนไปจากเดิม

การศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารต้นทุนต่ำของน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์พบว่า แต่ละชุดสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสูตรน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 10% โดยปริมาตร มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 122.021±0.003 μg/g น้ำหนักเซลล์แห้ง รองลงมา คือ น้ำหมักสูตรควบคุมมีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 113.964±0.002 μg/g น้ำหนักเซลล์แห้ง และสูตรอาหารน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 20% โดยปริมาตรมีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 75.026±0.006 μg/g น้ำหนักเซลล์แห้ง ซึ่ง Issa (1999) กล่าวว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *Oscillatoria* sp. MOF-06 เท่ากับ 604±0.44 μg /ml. Promya *et al.* (2009) วิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *S. platensis* พบว่ามีปริมาณแคโรทีนอยด์ 187.89 μg/g น้ำหนักเซลล์แห้ง เนื่องจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีการสะสมรงควัตถุภายในเซลล์อยู่สูง

การศึกษาปริมาณโปรตีนที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ พบว่าแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยสูตรควบคุมมีปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 140.075±0.037% รองลงมา คือ น้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 20% โดยปริมาตร มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 137.288±0.037% และสูตรอาหารน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 15% โดยปริมาตรมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 26.077±0.020% ซึ่ง Seenuansom (2007) ได้วิเคราะห์คุณค่าโภชนาการของสาหร่าย *S. platensis* พบว่ามีโปรตีน 31.94-55.44% เนื่องจากความแตกต่างทางด้านสูตรอาหาร โดยการทดลองนี้ใช้สูตรอาหารชนิดต้นทุนต่ำในการเพาะเลี้ยง

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการใช้ประโยชน์จากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ในส่วน เปลือก ต้น ซัง และฝุ่นข้าวโพดเป็นสูตรอาหารในการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา การทดลองที่ 1 การศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมโดยเติมน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์เมื่อพิจารณาการศึกษาที่ได้จะเห็นได้ว่าน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์เป็นสูตรที่ดีที่สุดเนื่องจากมีอัตราความหนาแน่นของเซลล์ (OD) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.450±0.006 cell/ml.จำนวนเซลล์เฉลี่ยสูงสุด 81.440±0.497 cell/ml.อัตราการเจริญจำเพาะ (μ) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.079±0.001 เซลล์/วัน ปริมาณรงควัตถุแคโรทีนอยด์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 79.943±0.043 μg/g น้ำหนักเซลล์แห้ง

การทดลองที่ 2 การศึกษาปริมาตรของน้ำหมักจากเศษข้าวโพดอาหารสัตว์ที่เหมาะสมร่วมกับอาหารสังเคราะห์ พบว่า น้ำหมักจากต้นข้าวโพดที่ความเข้มข้น 25% โดยปริมาตร เป็นสูตรที่ดีที่สุดเนื่องจากมีอัตราความหนาแน่นของเซลล์ (OD) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.504±0.003 cell/ml. สูตรน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ปริมาณ 20% มีจำนวนเซลล์เฉลี่ยสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 82.594±0.056 cell/ml. และมีอัตราการเจริญจำเพาะ (μ) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.015±0.016 เซลล์/วัน พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสูตรน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 10% โดยปริมาตร สูงที่สุดเท่ากับ 112.021±0.003 μg/g น้ำหนักเซลล์แห้ง และค่าปริมาณโปรตีนของสูตรน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 20% โดยปริมาตร สูงที่สุดเท่ากับ 137.288±0.037% จากการศึกษาจึงสามารถสรุปได้ว่าในการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาครั้งนี้ควรใช้สูตรอาหารเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาจากน้ำหมักข้าวโพดอาหารสัตว์ในส่วนลำต้นที่ความเข้มข้น 20% โดยปริมาตร ของอาหารสูตรทางเคมีในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* เป็นอาหารต้นทุนต่ำจะดีที่สุด

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาชี้ให้เห็นถึงแนวทางและความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำหมักจากต้นข้าวโพด มาประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ดังนั้นจะเห็นได้ว่าน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยลดต้นทุนในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย เพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้สารเคมีซึ่งมีต้นทุนสูงในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย สามารถลดปริมาณของเสียทางการเกษตร และลดปัญหามลพิษทางอากาศจากการเผาเศษเหลือจากการปลูกข้าวโพดอาหารสัตว์ของเกษตรกรซึ่งอาจเป็นการเพิ่มมูลค่าของเศษเหลือทางการเกษตรได้อีกด้วย

References

AOAC. 2000. Official methods of analysis. 17th edition. The Association of Official Analytical Chemists: Washington D.C.

Boonsom, J. 1992. Secrets of spirulina. National Research Council of Thailand: Bangkok. 186 pp.

Chairinkum, S. and Mikled, C. 2013. Nutritive value and optimum level of corn dust from seed milling process in beef cattle feed. Journal of Agriculture. 29(2): 117-125.

Chanchay, N. 2004. Effect of carotenoid pigments from *Rhodotorula rubra* and *Leucaena leucocepala* on colour change of fancy carp. M.Sc. Thesis, Chiang Mai University.

Choocherd, S., Seenuansom, K., Patthanakeatcheewin, S., Promya, J., Montean-as, B. and Trichaiyaporn, S. 2010. Cultivation of *Spirulina platensis* in liquid fermentation medium of low cost diet. J. Fish. Tech. Res. 4(2): 26-33.

Chuenkramon, C. 1987. Comparison of *Spirulina platensis* yield in various formulations. M.Sc. Thesis,

Srinakharinwirot University. (in Thai).

Foss, P. Storebakken, T., Schiedt, K., Liaaen, J., Austreg, E. and Steriff, K. 1984. Carotenoids in diets for salmonids: pigmentation of rainbow trout with the individual optical isomers of astaxanthin in comparison with canthaxanthin. Aquaculture. 41: 213-226.

Issa, A.A. 1999. Antibiotic production by the cyanobacteria *Oscillatoria angustissima* and *Calothrix parietina*. Environmental Toxicology and Pharmacology. 8: 33-37.

Maneesawang, N. 2011. Digestion and appearance of corn kernels and feed supplementation on goat production. M.Sc. Thesis, Department of Animal Science, Chiang Mai University. (in Thai)

Pongpiachan, P. 1999. Examination of feed ingredients by microscope and feed microscopy and quality control. Animal Nutrition Division, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University: Chiangmai. 160 pp. (in Thai)

Promya, J., Seenuansom, K. and Wanakanaphol, A. 2009. *Spirulina platensis* culture in cinder wastewater as a food for kindergarten and fancy carp farming sustainable. Faculty of Fisheries Technology and Water Resources, Maejo University: Chiangmai. 39 pp. (in Thai)

Seenuansom, K. 2007. Spirulina culture in low cost recipes for aquaculture feeds. Training program on transfer of spirulina algae culture technology in low-cost recipes for ready-to-feed aquatic animals. June 15 and July 17, 2007. 53 pp. (in Thai)

Seephanomyom, J., Kongsra, A. and Deechoom, V. 2007. *Spirulina platensis* in fish pond effluent. Proceeding of the 3rd National Conference on Algae and Plankton, Faculty of Science, Chulalongkorn University. Bangkok. p 106. (in Thai)

Seesooksomwong, P. and Peerapornphisarn. 2007. *Spirulina platensis* culture with sludge water in a vortex culture system. Proceeding of the 3rd National Conference on Algae and Plankton, Faculty of Science, Chulalongkorn University. Bangkok. p 56. (in Thai)

Tongsiri, S., Mengampan, K. and Peerapornphisarn, Y. 2012. A study on the growth and carotenoid content in the flesh of mekong giant catfish fed with spirulina. KKU Sci. J. 40(1): 198-207. (in Thai)

Vekataraman, L.V. 1983. A monograph on *Spirulina platensis*. Central Food Technological Research Institute: Mysore. 100 pp.

Wongrat, L. 1996. Plankton guide. Department of Fish Biology, Faculty of Fisheries, Kasetsart University: Bangkok. 131 pp. (in Thai)