

## การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในน้ำหมักเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์

ณัฐพร จันทรฉาย\* และ จุฑารัตน์ สนธิรอด

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่ 54140

### บทคัดย่อ

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในสูตรอาหารน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ซึ่งเป็นอาหารต้นทุนต่ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) โดยศึกษาสูตรน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (เปลือก ต้น ชัง และฝุ่นข้าวโพด) ที่ 20% ร่วมกับสูตรอาหารทางเคมี การศึกษาพบว่า สูตรน้ำหมักจากต้นข้าวโพดเหมาะสมที่สุดที่จะใช้เป็นอาหารต้นทุนต่ำในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาโดยให้ค่าอัตราความหนาแน่นของเซลล์ (OD) เฉลี่ยเท่ากับ  $0.450 \pm 0.006$  cell/ml จำนวนเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ  $81.440 \pm 0.497$  cell/ml อัตราการเจริญจำเพาะ ( $\mu$ ) เฉลี่ยเท่ากับ  $2.079 \pm 0.001$  เซลล์/วัน และปริมาณรงควัตถุแคโรทีนอยด์เฉลี่ยเท่ากับ  $79.943 \pm 0.043$   $\mu\text{g/g}$  น้ำหนักเซลล์แห้ง ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) จากนั้นทำการศึกษาปริมาณน้ำหมักจากต้นข้าวโพดที่ปริมาณต่าง ๆ คือ 10, 15, 20 และ 25% โดยปริมาตร จากการศึกษาพบว่าน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ปริมาณ 20% เป็นสูตรที่ดีที่สุดเนื่องจากมีอัตราความหนาแน่นของเซลล์ (OD) เฉลี่ยเท่ากับ  $0.434 \pm 0.020$  cell/ml จำนวนเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ  $82.594 \pm 0.056$  cell/ml อัตราการเจริญจำเพาะ ( $\mu$ ) เฉลี่ยเท่ากับ  $2.015 \pm 0.016$  เซลล์/วัน ปริมาณรงควัตถุแคโรทีนอยด์เฉลี่ยเท่ากับ  $75.026 \pm 0.006$   $\mu\text{g/g}$  น้ำหนักเซลล์แห้ง และปริมาณโปรตีนเฉลี่ยเท่ากับ  $137.288 \pm 0.037\%$  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  $0.450 \pm 0.006$  cells/ml., average number of cells was  $81.440 \pm 0.497$  cells/ml., specific growth rate ( $\mu$ ) was  $2.079 \pm 0.001$  cells/day and average carotenoid content was  $79.943 \pm 0.043$  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  $0.434 \pm 0.020$  cells/ml., the average cell number was  $82.594 \pm 0.056$  cells/ml., the average specific growth rate ( $\mu$ ) was  $2.015 \pm 0.016$  cells/day., the average carotenoid content was  $75.026 \pm 0.006$  micrograms/g.dry cell weight and the average protein content was  $137.288 \pm 0.037\%$  had significant differences ( $P < 0.05$ ).

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

---

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

ในประเทศไทย สาหร่ายสีโปรลูนาหรือสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina platensis*) นิยมนำมาใช้เป็นสารเสริมอาหารสำหรับผู้รักสุขภาพ สาหร่ายดังกล่าวเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบมากในน้ำจืด ที่มีคลอโรฟิลล์ช่วยในการสังเคราะห์แสง มีลักษณะเป็นเส้นเกลียวเจริญเติบโตได้ดีทั้งในน้ำสะอาดและน้ำเสีย (Wongrat, 1996) เป็นสาหร่ายเซลล์เดียวที่มีโปรตีนสูงมากจึงได้รับความสนใจสูงในด้านของการนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารเสริมโดยผสมในอาหารสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Chanchay, 2004; Tongsir et al., 2012) หรือเพื่อทดแทนแหล่งโปรตีนที่ได้จากแหล่งอื่น ๆ (Boonsom, 1992) เนื่องจากมีความโดดเด่นในเรื่องของโปรตีนที่มีอยู่ปริมาณสูงถึง 50-70% ของน้ำหนักเซลล์แห้ง และสารสำคัญอื่น ๆ ได้แก่ Phycocyanin, Allophycocyanin, Beta-carotene, Chlorophyll-a และกรดไขมันจำเป็นชนิดไม่อิ่มตัว (Vekatarman, 1983) เนื่องจากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีโปรลูนามีต้นทุนการเพาะเลี้ยงสูงจากการใช้อาหารทางเคมี ดังนั้นเพื่อเป็นทางเลือกในการนำไปใช้เป็นสารเสริมในอาหารสัตว์น้ำสำเร็จรูปที่มีกำลังการผลิตสูงกว่าอาหารสัตว์น้ำอื่น ๆ ซึ่งการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไม่มีความยุ่งยากในการเพาะเลี้ยง ไม่ต้องมีการจัดการหรือดูแลมากนัก และที่สำคัญการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีโปรลูนานั้นสามารถลดต้นทุนการเลี้ยงให้ต่ำลงได้โดยการคิดค้นแหล่งอาหารจากธรรมชาติ เช่น น้ำหมักจากมูลสัตว์หรือน้ำหมักจากพืชต่าง ๆ นำมาประยุกต์และปรับปรุงเพื่อเป็นสูตรอาหารต้นทุนต่ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีโปรลูนา

ข้าวโพดเป็นธัญพืชเศรษฐกิจที่สำคัญที่ใช้เป็นอาหารของมนุษย์ และสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวโพดอาหารสัตว์เป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ (Maneesawang, 2011; Pongpiachan, 1999) ปัจจุบันความต้องการของข้าวโพดอาหารสัตว์ทั้งตลาดในประเทศและตลาดต่างประเทศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องก่อให้เกิดของเสียจากการเพาะปลูกทั้งซัง เปลือก และฝู่นข้าวโพด การเผาทำลายเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดอาหารสัตว์ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพอากาศ และมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของสิ่งมีชีวิต ทั้งนี้เพื่อชี้ให้เห็นแนวทางการ

นำเศษเหลือจากข้าวโพดอาหารสัตว์มาประยุกต์ใช้โดยนำเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (เปลือก ซัง ต้น และฝู่นข้าวโพด) มาหมักที่อัตราส่วนต่าง ๆ ร่วมกับสูตรอาหารทางเคมีเพื่อปรับปรุงเป็นสูตรอาหารต้นทุนต่ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีโปรลูนา (*Spirulina platensis*)

ในการศึกษานี้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และจำนวนเซลล์ของสาหร่ายสีโปรลูนาที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารน้ำหมักจากเศษข้าวโพดอาหารสัตว์กับสูตรอาหารทางเคมี ซึ่งเป็นสูตรอาหารที่มีการใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสีโปรลูนาทั้งหมด และสูตรอาหารจากน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ชนิดใดมีประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโต ปริมาณแคโรทีนอยด์ จำนวนเซลล์ และการผลิตโปรตีนของสาหร่ายสีโปรลูนาใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับสูตรอาหารทางเคมี ทั้งนี้ เพื่อชี้ให้เห็นถึงแนวทางและความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำหมักจากวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรมาประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีโปรลูนาในการลดต้นทุนการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไปในอนาคต

### วิธีดำเนินการวิจัย

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีโปรลูนา *Spirulina platensis* ในสูตรอาหารน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (เปลือก ซัง ลำต้น และฝู่นข้าวโพด) แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีโปรลูนาในสูตรน้ำหมักข้าวโพดอาหารสัตว์แต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 20% โดยปริมาตร เป็นเวลา 10 วัน โดยให้แสงสว่างตลอด 24 ชั่วโมง (Wongrat, 1996) ทำการวัดประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสาหร่าย ศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์ (Foss et al., 1984) ค่าความหนาแน่น (OD) จำนวนเซลล์ ( $\times 10^7$  cell/ml) แล้วจึงเลือกชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ดีที่สุดเพื่อศึกษาปริมาณของน้ำหมักที่ใช้จากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ในปริมาณแตกต่างกันในการศึกษาต่อไป
2. ศึกษาปริมาณชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยเจือจางน้ำหมักที่อัตราส่วน 10, 15, 20 และ 25% โดยปริมาตรเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีโปรลูนาและวัดการเจริญเติบโตของ

สำหรับย ศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์ (Foss *et al.*, 1984) ค่าความหนาแน่น (OD) จำนวนเซลล์ ( $\times 10^7$  cell/ml) และ ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี 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 นำข้อมูลที่ได้มา วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (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 ชัง ต้น และฟ่อนข้าวโพด) แบ่งการทดลองออกเป็น 6 สูตรๆ ละ 3 ซ้ำ คือ สูตรที่ 1 สูตรควบคุมทางเคมี (ชุดควบคุม) สูตรที่ 2 คือ น้ำหมักจากฟ่อนข้าวโพด 20% โดยปริมาตร สูตรที่ 3 น้ำหมักจากต้นข้าวโพด 20% โดยปริมาตร สูตรที่ 4 น้ำหมักจากชังข้าวโพด 20% โดยปริมาตร สูตรที่ 5 น้ำหมักจากเปลือกข้าวโพด 20% โดยปริมาตร และสูตรที่ 6 น้ำหมักจากฟ่อนข้าวโพด+ต้น+ชัง+เปลือกที่อัตราส่วน 1:1:1 20% โดยปริมาตร โดยแต่ละสูตรนำเศษข้าวโพดอาหารสัตว์มาหมักกับน้ำประปาที่ใส่ออกซิเจนออกแล้วที่อัตราส่วน 1:10 ในถังขนาด 20 ลิตร เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ระหว่างทำการหมักทำการคนน้ำหมักเป็นครั้งคราวหมักเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นกรองผ่านผ้าขาวบางแล้วนำไปต้ม เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ (Choocherd *et al.*, 2010) ก่อนใช้เป็นส่วนประกอบของสูตรอาหารเลี้ยงสาหร่ายในสูตรต่อไป

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

4. ศึกษาปริมาณชนิดของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์จากผลการทดลองข้อที่ 3 ที่ปริมาณที่แตกต่างกันโดยทำการเจือจางน้ำหมักที่อัตราส่วน 10, 15, 20 และ 25% โดยปริมาตร (ของปริมาณอาหารทางเคมี) เติมหิวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินาที่ได้จากข้อที่ 1 ในแต่ละสูตร สูตรละ 10% ของปริมาณอาหาร เลี้ยงสาหร่ายเป็นเวลา 10 วัน โดยให้แสงสว่างตลอด 24 ชั่วโมง ทำการวัดประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Foss *et al.*, 1984) ความหนาแน่น (OD) จำนวนเซลล์ ( $\times 10^7$  cell/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 ( $\text{NaHCO}_3$ ) 6.0 g/L.

ไดโทแทสเซียมไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟต ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) 0.5 g/L.

โซเดียมไนเตรท ( $\text{NaNO}_3$ ) 1.5 g/L.

ปุ๋ย N:P:K (16:16:16) 0.6 g/L.

**สูตรที่ 2** ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตร + น้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ (น้ำหมักจากฟ่อนข้าวโพด) 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 (น้ำหมักจากฟ่อน+ซัง+ต้น+เปลือก) ที่อัตราส่วน 1:1:1 20% โดยปริมาตร

**2. การทดลองที่ 2 การศึกษาปริมาณของน้ำหมักจากเศษข้าวโพดอาหารสัตว์ที่เหมาะสมร่วมกับอาหารสังเคราะห์**

**สูตรที่ 1** ชุดควบคุม + หัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา 10% โดยปริมาตรสูตรอาหารทางเคมี คือ

โซเดียมไบคาร์บอเนตหรือผงฟู (NaHCO<sub>3</sub>) 6.0 g/L.

ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) 0.5 g/L.

โซเดียมไนเตรท (NaNO<sub>3</sub>) 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 ทำการสูบลมเรียงขวดพลาสติกใสแต่ละทรีตเมนต์ให้แสงสว่างจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ตลอด 24 ชั่วโมง และให้ระบบลมอย่างทั่วถึงเพื่อให้เกิดการ

หมนเวียนน้ำและป้องกันการตกตะกอน เพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 วัน หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 วัน ตรวจวัดการเจริญและนับจำนวนเซลล์สาหร่ายสไปรูลินา โดยใช้ Haemocytometer และวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ (OD) โดยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 560 นาโนเมตร หาค่าปริมาณแคโรทีนอยด์โดยวิธีของ Foss *et al.* (1984) และปริมาณโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl method (เฉพาะชุดการทดลองที่ 2) คำนวณอัตราการเจริญของสาหร่ายสไปรูลินา ดังนี้

อัตราการเจริญจำเพาะ (Specific growth rate;  $\mu$ ) คำนวณได้จาก

$$\mu = \frac{\ln x_2 - \ln x_1}{t_2 - t_1}$$

เมื่อ x คือ จำนวนเซลล์ และ t คือ หน่วยเวลา

วิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ ค่าความหนาแน่นของเซลล์ อัตราการเจริญ ปริมาณแคโรทีนอยด์ และโปรตีนที่ได้ในแต่ละสูตร ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (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 ( $\times 10^7$  cel/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 <sup>a</sup> ±0.015	0.406 <sup>f</sup> ±0.001	0.450 <sup>b</sup> ±0.006	0.446 <sup>c</sup> ±0.015	0.429 <sup>d</sup> ±0.006	0.422 <sup>e</sup> ±0.010
Cell number (x10 <sup>7</sup> cell/ml)	105.350 <sup>a</sup> ±0.010	46.830 <sup>f</sup> ±0.010	81.440 <sup>b</sup> ±0.497	71.083 <sup>c</sup> ±0.401	62.630 <sup>d</sup> ±0.010	51.000 <sup>e</sup> ±0.010
Growth rate (μ; cells/day)	7.900 <sup>a</sup> ±0.001	0.279 <sup>f</sup> ±0.002	2.079 <sup>b</sup> ±0.001	1.779 <sup>c</sup> ±0.001	1.263 <sup>d</sup> ±0.002	1.023 <sup>e</sup> ±0.004
Carotenoids (μg/g cell dry weight)	109.432 <sup>a</sup> ±0.001	62.854 <sup>f</sup> ±0.012	79.943 <sup>b</sup> ±0.043	74.456 <sup>c</sup> ±0.005	71.574 <sup>d</sup> ±0.010	68.124 <sup>e</sup> ±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) ด้วยสูตรอาหารต้นตุน้ำหมักของเศษข้าวโพดอาหารสัตว์ 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

การศึกษาจำนวนเซลล์ที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารต้นตุน้ำหมักจากน้ำหมักของเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ พบว่า แต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยสูตรควบคุมมีจำนวนเซลล์สูงสุดเท่ากับ 105.350±0.010 cell/ml. รองลงมา คือ น้ำหมักต้นตุน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ 20% มีจำนวนเซลล์ เท่ากับ 81.440±0.497 cell/ml. และสูตรอาหารต้นตุน้ำหมักจากน้ำหมักของซังข้าวโพดที่ 20% มีจำนวนเซลล์เท่ากับ 71.083±0.401 cell/ml. โดยสูตรที่ 2 คือ น้ำหมักจากฝุ่นข้าวโพดมีปริมาณจำนวนเซลล์ของสาหร่ายต่ำที่สุดเท่ากับ 46.830±0.010 cell/ml. ทั้งนี้เนื่องจากสูตรควบคุมเป็น

สูตรอาหารทางเคมีได้มีการเติมธาตุอาหารพื้นฐานที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่าย ที่ประกอบด้วย NaHCO<sub>3</sub>, NaNO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> และมีปุ๋ยเคมี (N:P:K ที่ 16:16:16) โดยองค์ประกอบเหล่านี้ช่วยให้สาหร่ายมีการเพิ่มจำนวนเซลล์ได้มากขึ้นและเป็นสูตรอาหารที่นิยมใช้ในการเลี้ยงสาหร่าย (Choocherd *et al.*, 2010; Seesooksomwong and Peerapornphisarn, 2007) อีกทั้งในฝุ่นข้าวโพด อาจจะมีปริมาณสารอาหารที่น้อยต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย แต่เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ต้องการศึกษาถึงสูตรอาหารต้นตุน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์จึงพบว่าอาหารต้นตุน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ 20% (ของปริมาณอาหาร) มีจำนวนเซลล์เฉลี่ยที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอาหารต้นตุน้ำหมักอื่น ๆ จากน้ำหมักเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ เนื่องจากในลำต้นข้าวโพดมีท่อลำเลียงอาหารทำให้มีธาตุอาหารต่าง ๆ สะสมอยู่ในบริเวณลำต้นมากกว่าส่วน เปลือก ซัง และฝุ่นข้าวโพด (Chairinkum and Mikled, 2013) สอดคล้องกับ Chuenkramon (1987) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำหมักมูลสุกร เช่นเดียวกับ Choocherd *et al.* (2010) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำหมักต้นตุน้ำหมักจากน้ำมูลสัตว์ต่าง ๆ และหญ้า โดยน้ำหมักจากมูลสัตว์ได้จากธาตุอาหารจากพืชที่สัตว์กินเข้าไปถูกหมักและย่อยสลายเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่าย โดยเฉพาะ

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

ผลการศึกษาอัตราการเจริญจำเพาะ ( $\mu$ ) ของอาหารต้นทุนต่ำจากการหมักของเศษข้าวโพดอาหารสัตว์ พบว่าแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) โดยสูตรควบคุมมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดเท่ากับ  $7.900\pm 0.001$  รองลงมา คือ น้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ 20% มีอัตราการเจริญเท่ากับ  $2.079\pm 0.001$  และพบว่าน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ 20% มีอัตราการเจริญต่ำสุดเท่ากับ  $0.279\pm 0.002$  โดยอัตราการเจริญคำนวณจากจำนวนเซลล์ ซึ่งสูตรน้ำหมักต้นจากต้นข้าวโพดหมักมีจำนวนเซลล์สูงสุด และจึงทำให้มีค่าอัตราการเจริญสูงไปด้วย

การศึกษาค่าปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารจากน้ำหมักเศษข้าวโพดอาหารสัตว์ พบว่าแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) โดยสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ  $79.043\pm 0.043$   $\mu\text{g/g}$  น้ำหนักเซลล์แห้ง รองลงมา คือ น้ำหมักจากซังข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ 20% มีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ  $74.456\pm 0.005$   $\mu\text{g/g}$  น้ำหนักเซลล์แห้ง และสูตรน้ำหมักจากเปลือกข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ 20% มีปริมาณ แคโรทีนอยด์

เท่ากับ  $71.574\pm 0.010$   $\mu\text{g/g}$  น้ำหนักเซลล์แห้ง ทั้งนี้สูตรควบคุมซึ่งเป็นสูตรอาหารทางเคมีได้มีการเติมธาตุอาหารพื้นฐานที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่ายในการเพาะเลี้ยงได้มีการให้แสงสว่างตลอด 24 ชั่วโมง ในการเพาะเลี้ยงส่งผลให้สาหร่ายมีปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เพิ่มขึ้น และเนื่องจากจำนวนเซลล์ที่เพิ่มขึ้นมากจึงทำให้มีการสร้างแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับจำนวนเซลล์ที่สูงขึ้นด้วย ถึงแม้ว่าสูตรควบคุมจะมีแคโรทีนอยด์ถึง  $109.432$   $\mu\text{g/g}$  น้ำหนักเซลล์แห้ง แต่การศึกษานี้ต้องการศึกษาอาหารจากน้ำหมักต้นทุนต่ำดังนั้นเพื่อเป็นการศึกษาปริมาณน้ำหมักที่เหมาะสมในสูตรอาหารต้นทุนต่ำจึงเลือกสูตรน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์หมักมาใช้ในการทดลองที่ 2 ต่อไป

**2. การทดลองที่ 2 การศึกษาปริมาณของน้ำหมักจากเศษข้าวโพดอาหารสัตว์ที่เหมาะสมร่วมกับอาหารสังเคราะห์**

การศึกษาปริมาณของน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ปริมาณที่แตกต่างกัน โดยทำการเจือจางน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่อัตราส่วน 10, 15, 20 และ 25% โดยปริมาตร (ของปริมาณอาหารทางเคมี) และทำการวัดประสิทธิภาพการเจริญของสาหร่าย ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Foss *et al.*, 1984) ค่าความหนาแน่น (OD) จำนวนเซลล์ ( $\times 10^7$  cell/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)	$0.506^a \pm 0.004$	$0.444^b \pm 0.138$	$0.341^d \pm 0.185$	$0.434^{bc} \pm 0.020$	$0.504^a \pm 0.003$
Cell number ( $\times 10^7$ cell/ml)	$105.332^a \pm 0.012$	$80.026^c \pm 0.023$	$81.365^{bc} \pm 0.061$	$82.594^b \pm 0.056$	$64.030^e \pm 0.028$
Growth rate ( $\mu$ ; cells/day)	$8.510^a \pm 0.023$	$0.527^d \pm 0.006$	$1.770^c \pm 0.034$	$2.015^b \pm 0.016$	$0.270^e \pm 0.015$
Carotenoids ( $\mu\text{g/g}$ cell dry weight)	$113.964^b \pm 0.002$	$122.021^a \pm 0.003$	$3.486^d \pm 0.005$	$75.026^c \pm 0.006$	$4.178^d \pm 0.007$
Protein (%)	$140.075^a \pm 0.037$	$11.053^d \pm 0.026$	$26.077^c \pm 0.020$	$137.288^b \pm 0.037$	$4.294^e \pm 0.071$

**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 และน้ำหมักต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 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) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำหมักต้นทุ่นดำจากมูลสัตว์และพืชทำให้ได้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่ายเช่นกัน

การศึกษาอัตราการเจริญจำเพาะ ( $\mu$ ) ด้วยอาหารต้นทุ่นดำของน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์พบว่า แต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) โดยสูตรควบคุมมีอัตราการเจริญสูงสุดเท่ากับ 8.510±0.023 รองลงมา คือ น้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 20% โดยปริมาตร มีอัตราการเจริญเท่ากับ 2.015±0.016 สอดคล้องกับ Seenuansom (2007) ซึ่งพบว่า อาหารสูตรชาร์รूपปรับปรุง (อาหารทางเคมี) มีอัตราการเจริญของสาหร่ายสไปรูลินามากที่สุดและเนื่องจากลำต้นเป็นส่วนสะสมอาหารเพื่อลำเลียงอาหารและกระจายไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของต้นจึงมีอาหารสะสมมากที่สุด ซึ่งบริเวณลำต้นมีการสะสมฟอสฟอรัสสูงสอดคล้องกับงานศึกษาของ Promya *et al.* (2009) กล่าวว่าสาหร่ายดูดซับฟอสฟอรัส

ในรูปของออร์โธฟอสเฟต ได้ดีที่สุด ซึ่งฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟตที่สามารถละลายน้ำได้ดี และสาหร่ายนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ  $PO_3$ ,  $HPO_3^{-4}$  และ  $H_2PO_4$  สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะมีความต้องการฟอสฟอรัสมากกว่าสาหร่ายกลุ่มอื่น ถ้าสาหร่ายขาดฟอสฟอรัสจะมีผลเสียต่อการเจริญเติบโต ทำให้ปริมาณสารสีชนิด Chlorophyll-a, RNA และ DNA ลดลง มีผลทำให้รูปร่างของเซลล์เปลี่ยนไปจากเดิม

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

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



## สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการใช้ประโยชน์จากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ในส่วน เปลือก ต้น ชัง และฝุ่นข้าวโพดเป็นสูตรอาหารในการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา การทดลองที่ 1 การศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมโดยเติมน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์เมื่อพิจารณาการศึกษาที่ได้จะเห็นได้ว่าน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์เป็นสูตรที่ดีที่สุดเนื่องจากมีอัตราการความหนาแน่นของเซลล์ (OD) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.450 \pm 0.006$  cell/ml. จำนวนเซลล์เฉลี่ยสูงสุด  $81.440 \pm 0.497$  cell/ml. อัตราการเจริญจำเพาะ ( $\mu$ ) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $2.079 \pm 0.001$  เซลล์/วัน ปริมาณรงควัตถุแคโรทีนอยด์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $79.943 \pm 0.043$   $\mu\text{g/g}$  น้ำหนักเซลล์แห้ง

การทดลองที่ 2 การศึกษาปริมาณของน้ำหมักจากเศษข้าวโพดอาหารสัตว์ที่เหมาะสมร่วมกับอาหารสังเคราะห์พบว่า น้ำหมักจากต้นข้าวโพดที่ความเข้มข้น 25% โดยปริมาตร เป็นสูตรที่ดีที่สุดเนื่องจากมีอัตราการความหนาแน่นของเซลล์ (OD) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.504 \pm 0.003$  cell/ml. สูตรน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ปริมาณ 20% มีจำนวนเซลล์เฉลี่ยสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ  $82.594 \pm 0.056$  cell/ml. และมีอัตราการเจริญจำเพาะ ( $\mu$ ) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ

$2.015 \pm 0.016$  เซลล์/วัน พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสูตรน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 10% โดยปริมาตร สูงที่สุดเท่ากับ  $112.021 \pm 0.003$   $\mu\text{g/g}$  น้ำหนักเซลล์แห้ง และค่าปริมาณโปรตีนของสูตรน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ความเข้มข้น 20% โดยปริมาตร สูงที่สุดเท่ากับ  $137.288 \pm 0.037\%$  จากการศึกษาก็สามารถสรุปได้ว่าการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาครั้งนี้ควรใช้สูตรอาหารเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาจากน้ำหมักข้าวโพดอาหารสัตว์ในส่วนลำต้นที่ความเข้มข้น 20% โดยปริมาตร ของอาหารสูตรทางเคมีในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* เป็นอาหารต้นทุนต่ำจะดีที่สุด

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาชี้ให้เห็นถึงแนวทางและความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำหมักจากเศษเหลือข้าวโพดอาหารสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำหมักจากต้นข้าวโพด มาประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ดังนั้นจะเห็นได้ว่าน้ำหมักจากต้นข้าวโพดอาหารสัตว์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยลดต้นทุนในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย เพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้สารเคมีซึ่งมีต้นทุนสูงในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย สามารถลดปริมาณของเสียทางการเกษตร และลดปัญหามลพิษทางอากาศจากการเผาเศษเหลือจากการปลูกข้าวโพดอาหารสัตว์ของเกษตรกรซึ่งอาจเป็นการเพิ่มมูลค่าของเศษเหลือทางการเกษตรได้อีกด้วย

## References

- AOAC. 2000. Official methods of analysis. 17<sup>th</sup> 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 leucocephala* 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 3<sup>rd</sup> 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 3<sup>rd</sup> 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)