

คุณค่าทางโภชนาการและปริมาณรงควัตถุของ *Spirulina platensis*
ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมมูลสุกร

Nutritional value and pigment content of *Spirulina platensis*
grown in diluted pig waste

สุนีรัตน์ เรืองสมบุญรณ์ ศักดิ์ชัย ชูโชติปวีณา ทวีกิจการ

Suneerat Ruangsomboon, Sakchai Choochote, Paveena Taveekijakarn

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

Department of Fisheries Science, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok 10520, Thailand

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการใช้มูลสุกรผสมในปุ๋ยสำหรับเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย *Spirulina platensis* ต่อคุณค่าทางโภชนาการและการสร้างรงควัตถุ โดยการเลี้ยง *S. platensis* ในอาหารผสมมูลสุกร 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 2 และ 7.5 กรัมต่อลิตร ภายใต้การได้รับแสงธรรมชาติประมาณ 12 ชั่วโมง พบว่า *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.5 กรัมต่อลิตร มีการสร้างโปรตีนสูงที่สุดคือ 69.73 ± 0.14 เปอร์เซ็นต์ ไขมันพบมากที่สุดในอาหารสูตรปุ๋ยผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้น 7.5 กรัมต่อลิตร คือ 1.86 ± 0.02 เปอร์เซ็นต์ และพบปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสสูงที่สุดเมื่อเลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 7.5 กรัมต่อลิตร ส่วนแคโรทีนอยด์พบสูงเมื่อเลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.5 กรัมต่อลิตร คือมีปริมาณ 3.14 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ไฟโคไซยานินพบสูงที่สุด 3.52 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเลี้ยง *S. platensis* ในอาหารผสมมูลสุกร 7.5 กรัมต่อลิตร

คำสำคัญ : สไปรูลินา, คุณค่าทางโภชนาการ, รงควัตถุ, มูลสุกร

Abstract

Nutrient of and pigment containing in *Spirulina platensis* were studied. *S. platensis* was cultured in media with a pig waste concentration of 0 (control), 0.5, 2 and 7.5 g/L under natural light condition. Protein in the *S. platensis* was found to be highest (69.73 ± 0.14 %) when it was cultured in the pig waste concentration of 0.5 g/L, while the highest lipid (1.86 ± 0.02 %) was found under the pig waste concentration of 7.5 g/L. Calcium and phosphorus in *S. platensis* reached the highest level when culturing in the pig waste concentration of 7.5 g/L. The highest carotenoid (3.14 ± 0.03 mg/L) and phycocyanin (3.52 ± 0.08 mg/L) in *S. platensis* were found when it was cultured in the media containing 0.5 and 7.5 g/L of pig waste respectively.

Keywords: *Spirulina platensis*, nutritional value, pigment, pig waste

คำนำ

แหล่งอาหารโปรตีนที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันคือแหล่งโปรตีนจากพืช โดยเฉพาะจากสาหร่ายขนาดเล็ก ข้อได้เปรียบของสาหร่ายขนาดเล็กคือเพาะเลี้ยงได้ง่าย ใช้พื้นที่น้อย ใช้ระยะเวลาสั้น และให้คุณค่าทางโภชนาการสูง สาหร่ายกลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) หรือกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae) เป็นกลุ่มหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจนำมาใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน โดยสาหร่ายสามารถมีคุณค่าทางโภชนาการสูง และยังมีปล่อยสารบางชนิดออกมานอกเซลล์ เช่น กรดอะมิโน โปรตีน เอไมด์ โพลีแซคคาไรด์ วิตามิน หรือสารควบคุมการเจริญเติบโตต่าง ๆ (Desikachary 1959)

ไซยาโนแบคทีเรียที่นิยมนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนได้แก่ สาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina*) ซึ่งเป็นที่ยอมรับ และรู้จักกันแพร่หลายทั่วโลก โดย *Spirulina* นอกจากเป็นอาหารมนุษย์แล้วยังสามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ เพื่อเพิ่มสีให้สวยงาม เร่งการเจริญเติบโตและเพิ่มอัตราการรอดได้อีกด้วย เนื่องจากมีสารสีพวกคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) แคโรทีนอยด์ (carotenoid) และไฟโคไซยานิน (phycocyanin) เป็นองค์ประกอบอยู่

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียว ซึ่งเป็นตัวสำคัญในการสังเคราะห์แสง (Lips and Avissar, 1986) ปริมาณคลอโรฟิลล์จะผันแปรได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มแสง ปริมาณไนโตรเจนในอาหาร อายุเซลล์สาหร่าย และปัจจัยทางฟิสิกส์อื่น ๆ (Koopman *et al.*, 1980) คลอโรฟิลล์มีประโยชน์ในด้านการกระตุ้นการทำงานของตับให้ดีขึ้น ส่งเสริมการงอกใหม่ของเซลล์ ช่วยให้การขับถ่ายดีขึ้น เพราะคลอโรฟิลล์จะช่วยกระตุ้นการบีบรัดตัวของลำไส้ (Herrera *et al.*, 1989) และมีการใช้คลอโรฟิลล์เติมในนมสำหรับเด็กทารก และเด็กขาดสารอาหาร (เจียมจิตต์, 2535) และน้ำคลอโรฟิลล์เป็นที่นิยมมาก เพราะคลอโรฟิลล์มีรูปแบบเหมือนกับฮีโมโกลบิน แตกต่างกันที่สารฮีโมโกลบินมีธาตุเหล็กเป็นศูนย์กลาง ส่วนคลอโรฟิลล์มีธาตุแมกนีเซียมเป็นศูนย์กลาง สารนี้ให้พลังงานแก่เซลล์ คลอโรฟิลล์เป็นสารที่กำจัดพิษในร่างกายได้ดี ทำให้การดูดซึมธาตุเหล็กดีขึ้น เพิ่มจำนวนเม็ดเลือดแดง ต่อต้านสารพิษ (<http://www.bloggang.com>)

แคโรทีนอยด์เป็นสารสีเหลือง ส้ม แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ carotene และ xanthophyll โดยสมาชิกที่มีความสำคัญของแคโรทีนอยด์คือ astaxanthin (Donkin, 1976) ซึ่งนิยมใช้ astaxanthin เติมลงในอาหารสัตว์ทั้งสัตว์บกและสัตว์น้ำ เพื่อที่จะทำให้สัตว์น้ำหรือผลผลิตจากสัตว์บกเช่นสีไข่แดง สีเนื้อหมู มีสีส้มสวยงามและขายได้ในราคาสูง (Johnson and Schroeder, 1995) และใช้ astaxanthin ทาที่ผิวของปูอัดทำให้ปูอัดมีสีแดงน่ารับประทาน (เจียมจิตต์, 2535) นอกจากนี้ astaxanthin จากสาหร่ายมีคุณสมบัติในการเป็น antioxidant ที่สูง (Kobayashi and Sakamoto, 1999) สามารถป้องกันการเกิดโรคมะเร็งและเนื้องอกได้ (Palozza and Krinsky, 1992)

ไฟโคไซยานินเป็นสารสีน้ำเงิน เป็นรงควัตถุพิเศษที่พบในสาหร่ายเพียงบางกลุ่มเท่านั้น และสารสีเหล่านี้ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมเครื่องสำอางอย่างกว้างขวางจึงทำให้เป็นสารสีที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการผลิตขึ้นเพื่อการค้า ไฟโคไซยานินยังเป็นแหล่งสะสมไนโตรเจนซึ่งจะให้ธาตุไนโตรเจนแก่เซลล์สาหร่ายในยามที่ขาดแคลนธาตุอาหารไนโตรเจน (Kaplan *et al.*, 1986) ไฟโคไซยานินได้รับการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย เช่นใช้ไฟโคไซยานินซึ่งมีโปรตีนสูงเป็นอาหารของสัตว์น้ำ (Herrera *et al.*, 1989) ใช้ในการกระตุ้นภูมิคุ้มกันของลูกกุ้ง ใช้เป็นสีผสมอาหารในไอศกรีม ในเครื่องสำอางค์ (เจียมจิตต์, 2535) มีการนำ

ไฟโคไซยานินมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ เป็นตัวสืบค้นทางชีวเคมีในเรื่องการตรวจสอบภูมิคุ้มกันโรค (Herrera et al., 1989) ไฟโคไซยานินที่มีความบริสุทธิ์สูง มีคุณสมบัติเป็นสารเรืองแสง ใช้เป็นสารติดตามในการวิเคราะห์ทางภูมิคุ้มกันวิทยา ทางด้านเนื้อเยื่อและจุลทรรศน์วิทยา (Herrera et al., 1989)

ซึ่งเนื่องจาก *Spirulina* มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีสารสีที่มีประโยชน์มาก จึงได้รับความนิยมในการเพาะเลี้ยงเพื่อการค้า โดยนอกจากผลิตเป็นอาหารมนุษย์แล้ว การผลิตเพื่อเป็นอาหารสัตว์ก็ได้รับความนิยมมากเช่นกัน โดยการผลิตสาหร่าย *Spirulina* เพื่อเป็นอาหารสัตว์นั้นนิยมผลิตด้วยวิธีที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำเช่น เลี้ยงในแหล่งน้ำที่ประเภทต่าง ๆ เช่น น้ำเสียจากการผลิตกระดาษ น้ำทิ้งโรงงานยางพารา โรงงานแปงมันสำปะหลัง โรงงานปูนเส้น โรงงานฆ่าไก่ โรงงานขนมจีน โรงงานผลิตเส้นหมี่ก้วยเดียว โรงงานน้ำอัดลม ปอเลี้ยงสัตว์น้ำ หรือวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตนมถั่วเหลือง

การนำมุลสุกรมาใช้เป็นแหล่งสารอาหารในการเพาะเลี้ยง *Spirulina* เป็นกรณีศึกษาที่น่าสนใจเพราะมุลสุกร ประกอบด้วย ไนโตรเจน 1.95 เปอร์เซ็นต์, ฟอสฟอรัส 1.76 เปอร์เซ็นต์, โพแทสเซียม 0.43 เปอร์เซ็นต์, แคลเซียม 1.817 เปอร์เซ็นต์, แมกนีเซียม 0.556 เปอร์เซ็นต์, กำมะถัน 0.07 เปอร์เซ็นต์, เหล็ก 4,630 มิลลิกรัมต่อลิตร, แมงกานีส 670 มิลลิกรัมต่อลิตร, สังกะสี 190 มิลลิกรัมต่อลิตร, ทองแดง 32 มิลลิกรัมต่อลิตร, โบรอน 54 มิลลิกรัมต่อลิตร, คลอรีน 9,740 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกเหนือจากนั้นยังให้ฮอร์โมนและสารควบคุมการเจริญเติบโต ชนิดต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับพืชอีกมากมายอีกด้วย (<http://www2.doae.go.th>) ได้มีรายงานผลการทดลองเพาะเลี้ยง *Spirulina maxima* ในอาหารที่มีส่วนผสมของมุลสุกร และศึกษาคุณค่าทางโภชนาการเทียบกับอาหาร Zarrouk พบว่า *S. maxima* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารผสมมุลสุกรมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าอาหารสูตร Zarrouk แต่มีปริมาณไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเยื่อใยสูงกว่า (Villanueva-Canizares et al, 1995) แต่ไม่ได้มีการศึกษาการสังเคราะห์รงควัตถุต่าง ๆ ของ *S. maxima* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน

ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงคุณค่าทางโภชนาการ การสร้างสารสี คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และไฟโคไซยานินของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงโดยใช้ปุ๋ยผสมมุลสุกร เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมที่ทำให้สาหร่ายยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการและรงควัตถุในปริมาณสูง

อุปกรณ์และวิธีการ

การเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis*

เตรียมอาหารสำหรับเลี้ยงสาหร่ายโดยนำมุลสุกรมาผึ่งลมให้แห้ง บดให้เป็นชิ้นเล็ก จากนั้นนำมุลสุกรมาหมักในน้ำที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 2, 5 และ 7.5 กรัมต่อลิตร โดยหมักทิ้งไว้ 3 วัน จากนั้นกรองเฉพาะน้ำมาใช้ โดยผสมสารเคมีคุณภาพระดับการค้า (commercial grade) คือ NaHCO_3 1 กรัมต่อลิตร NaNO_3 0.15 กรัมต่อลิตร K_2HPO_4 0.03 กรัมต่อลิตร โดยเตรียมในโหลแก้วขนาดความจุ 12 ลิตร จากนั้นใส่หัวเชื้อ *S. platensis* ลงในบ่อ ใช้หัวทรายให้อากาศ โหลแก้วตั้งอยู่บริเวณชายคา ได้รับแสงจากธรรมชาติ ประมาณ 12 ชั่วโมง

มุลสุกรที่นำมาใช้เป็นมุลของสุกรอายุ 3 เดือน เลี้ยงโดยอาหารสำเร็จรูป ซึ่งระบุคุณค่าทางโภชนาการคือ โปรตีนไม่ต่ำกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ กากไม่เกิน 6 เปอร์เซ็นต์ ไขมันไม่ต่ำกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นไม่เกิน 17 เปอร์เซ็นต์ และวัตถุดิบของอาหารสุกรประกอบด้วย ปลาป่นหรือเนื้อและกระดูกป่น กากถั่วเหลืองหรือถั่วลิสง

หรือถั่วดำ มันสำปะหลัง กากมะพร้าว ข้าวโพดป่นหรือปลายข้าว รำสกัดน้ำมันหรือรำละเอียดหรือรำหยาบ กากน้ำตาล ไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืช แคลเซียมคาร์บอเนต เกลือ วิตามิน แร่ธาตุ กรดอะมิโน สารถนอมคุณภาพอาหารสัตว์ สารปรุงแต่งอาหารสัตว์ และสารเร่งการเจริญเติบโต

การวิเคราะห์องค์คุณและคุณค่าทางโภชนาการ

วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ ไฟโคไซยานิน ทุก 2 วัน เป็นเวลา 30 วัน เก็บเกี่ยวผลผลิตส่วนหนึ่งที่ระยะเวลาการเลี้ยง 15 วัน และวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ส่วนที่เหลือทำการเลี้ยงต่อไปจนครบ 30 วัน โดยยังคงวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุจนถึงสิ้นสุดการทดลอง โดยส่วนของสาหร่ายที่เก็บเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการนั้น จะนำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนสาหร่ายแห้งและวิเคราะห์ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ฟอสฟอรัส แคลเซียม เยื่อใย และเถ้า (AOAC, 1995) ทุกชุดทดลองเลี้ยง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการวิจัย

คุณค่าทางโภชนาการของ *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในมูลสุกร

เมื่อเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในอาหารที่ผสมมูลสุกร 0, 0.5, 2.0 และ 7.5 กรัมต่อลิตร และวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ พบว่า *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกรทุกระดับมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม โดย *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.5 กรัมต่อลิตร มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดเท่ากับ 69.73 ± 0.14 เปอร์เซ็นต์ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 2.0 และ 7.5 กรัมต่อลิตร ด้วย (ตารางที่ 1)

S. platensis ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกรทุกระดับ มีปริมาณไขมันสูงกว่าและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม โดยใน *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 7.5 กรัมต่อลิตร มีปริมาณไขมันสูงที่สุดเท่ากับ 1.86 ± 0.22 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตพบสูงที่สุดใน *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารที่ไม่ผสมมูลสุกร โดยมีค่าเท่ากับ 46.26 ± 0.45 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร ปริมาณฟอสฟอรัสแคลเซียมและเยื่อใยของ *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารไม่ผสมและผสมมูลสุกร 7.5 กรัมต่อลิตร มีค่าใกล้เคียงกัน และสูงกว่า *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.5 และ 2 กรัมต่อลิตร

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของ *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกรที่ระดับแตกต่างกัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)

คุณค่าทางโภชนาการ	มูลสุกร (กรัมต่อลิตร)			
	0	0.5	2.0	7.5
โปรตีน (%)	42.70±0.27 ^a	69.73±0.14 ^d	67.74±0.41 ^c	63.19±0.40 ^b
ไขมัน (%)	0.87±0.17 ^c	1.51±0.03 ^{ab}	1.77±0.29 ^b	1.86±0.22 ^b
คาร์โบไฮเดรต (%)	46.26±0.45 ^b	23.56±0.49 ^a	22.22±0.83 ^a	22.33±0.95 ^a
ฟอสฟอรัส (%)	0.04±0.00 ^b	0.02±0.00 ^a	0.02±0.00 ^a	0.04±0.00 ^b
แคลเซียม (%)	2.93±0.04 ^{ab}	2.76±0.00 ^a	2.81±0.09 ^{ab}	2.93±0.03 ^b
เยื่อใย (fiber) (%)	7.56±0.61 ^{bc}	3.63±0.35 ^a	5.66±1.12 ^{ab}	9.31±0.56 ^c
เถ้า (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%

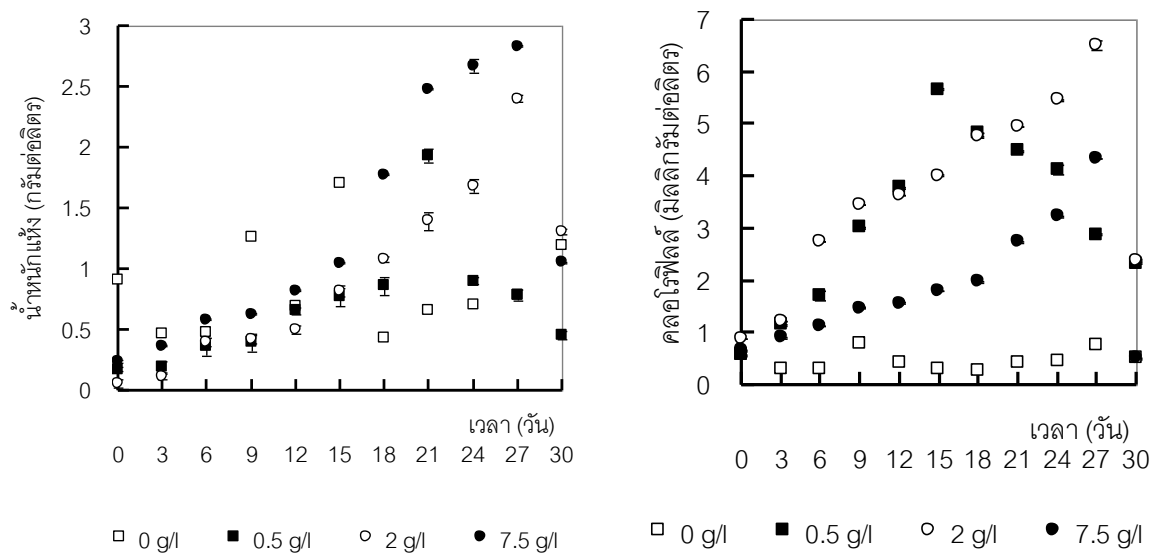
ผลผลิตของ *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร

การพิจารณาผลผลิตของ *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกรที่ระดับแตกต่างกัน จะพิจารณาจากน้ำหนักแห้งของ *S. platensis* ที่ได้ ซึ่งพบว่า *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกรในระดับที่ต่างกัน จะมีช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตและผลผลิตที่ต่างกัน (ภาพที่ 1) โดยในอาหารที่ไม่ผสมมูลสุกรจะมีช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตที่สั้นและให้ผลผลิตที่ต่ำที่สุด โดยจะเข้าสู่ปลายระยะการเจริญเติบโตสูงสุดเมื่อเลี้ยงได้ 15 วัน และให้ผลผลิตสูงสุด 1.70 ±0.01 กรัมต่อลิตร ส่วน *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกรจะมีช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตที่นานกว่า และให้ผลผลิตสูงกว่า โดย *S. platensis* เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.5, 2 และ 7.5 กรัมต่อลิตร นั้นเข้าสู่ปลายระยะการเจริญเติบโตสูงสุดเมื่อเลี้ยงได้ 21, 27 และ 27 วัน และได้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 1.93±0.00, 2.40±0.03 และ 2.83±0.04 กรัมต่อลิตร โดย *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 7.5 กรัมต่อลิตร ให้ปริมาณน้ำหนักแห้งสูงสุดและมีความแตกต่างทางสถิติกับสาขาย่อยที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.5 และ 2 กรัมต่อลิตร

ปริมาณรงควัตถุของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร

ปริมาณคลอโรฟิลล์ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกรทุกระดับ มีปริมาณสูงกว่าและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารไม่ผสมมูลสุกร โดย *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 2 กรัมต่อลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุดและมีความแตกต่างทางสถิติกับทุกชุดการทดลอง โดยปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุดของ *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0, 0.5, 2 และ 7.5

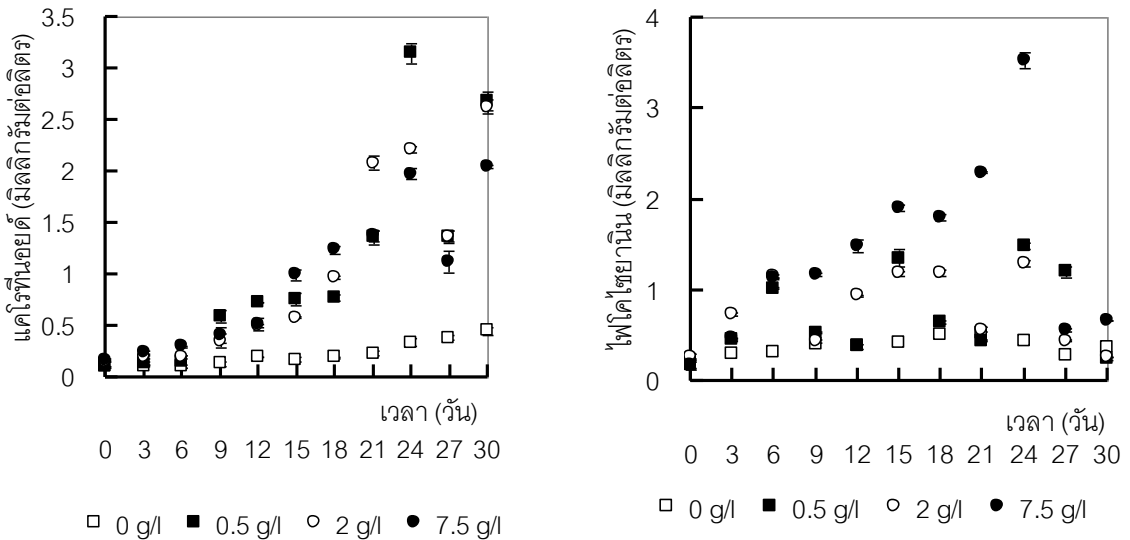
กรัมต่อลิตร คือ 0.80 ± 0.00 , 5.66 ± 0.01 , 6.52 ± 0.09 และ 4.34 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยระยะเวลาที่มีการสร้างคลอโรฟิลล์สูงสุดคือ 9, 15, 27 และ 27 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 น้ำหนักแห้งและคลอโรฟิลล์ของ *S. platensis* ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมมูลสุกรความเข้มข้นแตกต่างกัน

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกรทุกระดับ มีปริมาณสูงกว่า และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารไม่ผสมมูลสุกร และแคโรทีนอยด์สูงที่สุดพบใน *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.5 กรัมต่อลิตร โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกชุดการทดลอง ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกรมีการเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดหลังการเพาะเลี้ยงได้ 9 วัน โดยปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดของ *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0, 0.5, 2 และ 7.5 กรัมต่อลิตร คือ 0.45 ± 0.03 , 3.15 ± 0.10 , 2.62 ± 0.07 และ 2.04 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยระยะเวลาที่มีการสร้างแคโรทีนอยด์สูงที่สุดคือ 30, 24, 30 และ 30 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 2)

ปริมาณไฟโคไซยานินใน *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกรมีค่าสูงกว่าที่เลี้ยงในอาหารไม่ผสมมูลสุกร โดย *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 7.5 กรัมต่อลิตร มีปริมาณไฟโคไซยานินเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงเพิ่มขึ้นและมีไฟโคไซยานินมากที่สุด โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองอื่น ๆ ซึ่งมีปริมาณไฟโคไซยานินต่ำตลอดการทดลอง (ภาพที่ 2) โดยปริมาณไฟโคไซยานินสูงสุดของ *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0, 0.5, 2 และ 7.5 กรัมต่อลิตร คือ 0.53 ± 0.00 , 1.49 ± 0.03 , 1.29 ± 0.03 และ 3.52 ± 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยระยะเวลาที่มีการสร้างไฟโคไซยานินสูงที่สุดคือ 21, 24, 24 และ 24 วัน ตามลำดับ



ภาพที่ 2 ปริมาณแควโรทีนอยด์และไฟโคไซยานินใน *S. platensis* ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมมูลสุกรความเข้มข้นแตกต่างกัน

วิจารณ์ผล

ในการเลี้ยงสาหร่ายโดยทั่วไปแล้ว อาหารที่ใช้ในการเลี้ยงนั้นมีผลต่อผลผลิต ปริมาณโปรตีน และรงควัตถุในสาหร่าย โดยจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารอาหารในการเพาะเลี้ยงว่ามีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายหรือไม่ ในอาหารแต่ละชนิดนั้นจะทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตและคุณค่าทางโภชนาการที่ต่างกัน

การทดลองนี้ใช้อาหารพื้นฐานซึ่งเป็นชุดควบคุมประกอบด้วย NaHCO_3 , NaNO_3 และ K_2HPO_4 ส่วนอาหารที่ผสมมูลสุกรจะมีแร่ธาตุอาหารมากกว่า มีรายงานว่าในมูลสุกรประกอบด้วยแร่ธาตุหลายชนิด ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยในมูลสุกรมีแร่ธาตุพวกเหล็ก (Fe), แคลเซียม (Ca), ซัลเฟอร์ (S), คลอรีน (Cl_2), แมกนีเซียม (Mg), โบรอน (Bo), แมงกานีส (Mn), สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) จึงทำให้อาหารผสมมูลสุกรมีแร่ธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายมากกว่าอาหารชุดควบคุม

โดยแร่ธาตุที่พบในมูลสุกรนี้จะทำหน้าที่ช่วยในการเจริญเติบโตของสาหร่ายคือ เหล็กมีหน้าที่ช่วยในการดูดซึมไนโตรเจน ช่วยในขบวนการสังเคราะห์แสง ช่วยสร้างคลอโรฟิลล์-เอ และ phycocyanin, ซัลเฟอร์มีความจำเป็นต่อสาหร่ายทุกชนิด ซัลเฟอร์ในสาหร่ายจะอยู่ใน amino acid และ vitamin-B เป็นต้น, แคลเซียมมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายมีผลต่อโครงสร้างของเซลล์สาหร่าย, แมกนีเซียมมีผลเกี่ยวกับขบวนการ metabolism ของเซลล์สาหร่าย, โบรอนพบว่าเมื่อใส่ลงไปในการเลี้ยงสาหร่ายแล้วสาหร่ายบางชนิดเจริญเติบโตได้ดีกว่าอาหารที่ไม่ได้ใส่โบรอนมาก โดยใช้โบรอนในสาหร่ายบางกลุ่มเท่านั้นเช่น สาหร่ายพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ไดอะตอม, ส่วนแมงกานีส, ทองแดง และสังกะสีเป็นองค์ประกอบสำคัญของการสังเคราะห์แสง, องค์ประกอบเอนไซม์ ถ้าขาดสารอาหารพวกนี้จะทำให้มีการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายลดลง อาหารที่สร้างขึ้นของสาหร่ายจะลดลง สาหร่ายไม่สามารถเจริญเติบโตหรือขยายพันธุ์ได้ (ลัดดา, 2539)

ซึ่งเมื่อพิจารณาองค์ประกอบของมูลสุกรแล้วพบว่ามูลสุกรมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งธาตุอาหารหลักเช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ธาตุอาหารรองเช่น แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และธาตุอาหารเสริมเช่น เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน และคลอรีน ดังนั้นการผสมมูลสุกรลงในอาหารเลี้ยง *S. platensis* จึงทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตและคุณค่าทางโภชนาการที่ดีขึ้น

ปริมาณโปรตีนใน *S. platensis* เป็นปัจจัยที่ได้รับความสนใจมากที่สุดในการทดลองครั้งนี้ เพราะเมื่อมีปริมาณโปรตีนสูงจะทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยเฉพาะในด้านการเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนในอาหารสัตว์ได้อย่างเหมาะสมและคุ้มค่า ซึ่งจากการทดลองพบว่า *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกรทุกระดับมีโปรตีนอยู่ในช่วง 63.19-69.73 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าชุดควบคุมซึ่งมีโปรตีนเพียง 42.70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณโปรตีนในสาหร่ายนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่นปัจจัยในด้านสารอาหารโดยพบว่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ มีส่วนในการช่วยสร้างโปรตีนของสาหร่าย (ลัดดา, 2539) โดยเฉพาะไนโตรเจนซึ่งมีส่วนสำคัญในการสังเคราะห์กรดอะมิโนขึ้นในเซลล์สาหร่าย (Fowden, 1962)

นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนยังขึ้นกับปัจจัยจากอายุของสาหร่ายที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้มีขอบเขตและกิจกรรมต่าง ๆ ในเซลล์ของสาหร่ายแตกต่างกัน จึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเอนไซม์ที่มีหน้าที่สังเคราะห์โปรตีนภายในเซลล์ (Fowden, 1962) และยังพบว่าการสังเคราะห์โปรตีนในสาหร่ายขึ้นกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเช่นกัน โดยสาหร่ายจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นโครงสร้างส่วนหนึ่งในโปรตีน และการสังเคราะห์โปรตีนจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 4 ชั่วโมงหลังการได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ (Fowden, 1962) จากการทดลองนี้การที่ *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกรทุกระดับมีโปรตีนสูงน่าจะมีสาเหตุมาจากการที่มีปริมาณธาตุอาหาร เช่นไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ที่เหมาะสมสูงกว่า ซึ่งธาตุอาหารนั้นมาจากมูลสุกร

ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตพบสูงสุดใน *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารไม่ผสมมูลสุกร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำ เพราะไม่ได้รับเพิ่มเติมจากการผสมมูลสุกร ซึ่งโดยปกติแล้วสาหร่ายที่มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัสต่ำ จะมีการสังเคราะห์โปรตีนได้ต่ำ แต่จะสร้างสารประกอบคาร์บอนขึ้นมาทดแทน เช่นสร้างขึ้นมาในรูปของน้ำมัน หรือแป้งเพื่อมาทดแทน และพบว่าหากสาหร่ายขาดขาดธาตุอาหารไม่ว่าบางชนิดหรือหลายชนิดจะทำให้สาหร่ายสะสมอาหาร เช่นสะสมแป้ง ไขมัน มากกว่าปกติ สังเคราะห์ nucleic acid ลดลง โปรตีนจะลดลง ซึ่งการทดลองนี้การที่เลี้ยง *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารไม่ผสมมูลสุกรแล้วมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุดและโปรตีนต่ำที่สุด น่าจะมาจากการขาดสารอาหารบางชนิดที่สำคัญ

การเลี้ยง *S. platensis* ในอาหารผสมมูลสุกร ทำให้มีปริมาณผลผลิต คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และไฟโคไซยานิน สูงกว่าอาหารไม่ผสมมูลสุกร ทั้งนี้เป็นเพราะแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในมูลสุกรเช่น เหล็ก แมงกานีส คอปเปอร์ และสังกะสี มีส่วนช่วยทำให้รงควัตถุใน *S. platensis* นั้นสูงขึ้น และปัจจัยหลักที่มีผลต่อผลผลิตคือปริมาณไนโตรเจน เพราะมีหน้าที่หลักคือช่วยในการสังเคราะห์แสง สร้างรงควัตถุ ช่วยในกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์

ปริมาณคลอโรฟิลล์ของ *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารไม่ผสมมูลสุกรมีค่าต่ำมาก ซึ่งปกติแล้วสาหร่ายที่ขาดธาตุอาหาร จะมีสีซีดจางลง มีการสะสมแป้งและไขมันมากขึ้น สังเคราะห์ nucleic acid ลดลง โปรตีนลดลง (ลัดดา, 2539) ซึ่งลักษณะเหล่านี้เกิดขึ้นใน *S. platensis* ที่เลี้ยงในอาหารไม่ผสมมูลสุกร จึงสามารถระบุได้ว่าการเลี้ยงในอาหารนี้สาหร่ายได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการ

จากการทดลองนี้พบว่า *S. platensis* ในอาหารชุดควบคุมที่ไม่ผสมมูลสุกรมีค่าโปรตีน ผลผลิต และรงควัตถุ ต่ำกว่าอาหารผสมมูลสุกร ซึ่งเป็นเพราะอาหารชุดควบคุมขาดแร่ธาตุอีกหลายชนิดที่มีในมูลสุกร โดยเฉพาะแร่ธาตุที่มีผลต่อกลไกการใช้สารอาหาร กลไกการทำงานของเอนไซม์เพื่อการเจริญเติบโต และสร้างรงควัตถุของสาหร่าย ซึ่งเห็นได้ว่าการนำสาหร่ายมาเพาะเลี้ยงโดยให้ธาตุอาหารที่จำเป็นในระดับที่เหมาะสม จะสามารถทำให้สาหร่ายมีปริมาณผลผลิต โปรตีน และรงควัตถุเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีสารประกอบที่จำเป็นต่อการสร้างอย่างเพียงพอ (Lewin,1962)

จากการทดลองพบว่า *S. platensis* ที่เลี้ยงในระดับมูลสุกรที่แตกต่างกันนั้นส่งผลต่อโปรตีน ผลผลิต และรงควัตถุที่ต่างกัน โดยมูลสุกร 0.5 กรัมต่อลิตร จะให้ค่าโปรตีนและแคโรทีนอยด์สูงที่สุด มูลสุกร 2 กรัมต่อลิตร ให้ปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุด มูลสุกร 7.5 กรัมต่อลิตร ให้ผลผลิตและไฟโคไซยานินสูงที่สุด ดังนั้นการพิจารณาเลือกใช้ระดับมูลสุกรเพื่อผสมในอาหารควรพิจารณาถึงสิ่งที่ต้องการจาก *S. platensis* และจากการพิจารณาด้านทุนในการผลิต พบว่ามีต้นทุนค่าสารเคมีเท่ากับ 0.37 บาทต่อลิตร ส่วนมูลสุกรไม่เสียค่าใช้จ่าย

สรุปผล

S. platensis ที่เลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกรทุกระดับมีปริมาณโปรตีน ไขมัน น้ำหนักแห้ง คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และไฟโคไซยานิน สูงกว่าที่เลี้ยงในอาหารไม่ผสมมูลสุกร โดยการเลี้ยงในอาหารผสมมูลสุกร 0.5 กรัมต่อลิตร ทำให้มีปริมาณโปรตีนและแคโรทีนอยด์สูงที่สุด ส่วนอาหารผสมมูลสุกร 2 กรัมต่อลิตร ทำให้มีคลอโรฟิลล์สูงที่สุด และอาหารผสมมูลสุกร 7.5 กรัมต่อลิตรให้น้ำหนักแห้งและไฟโคไซยานินสูงที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- เจียมจิตต์ บุญสม. 2535. ความลับของสาหร่ายเกลียวทอง.สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ. 186 น.
- ลัดดา วงศ์รัตน์. 2539. คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน. ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 131 น.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th Edition. AOAC International. U.S.A.
- Desikachary T.V. 1959. Cyanophyta. Indian Council of Agricultural Research. New Delhi. 686 p.
- Donkin P. 1976. Ketocarotenoid biosynthesis by *Haematococcus lacustis*. Phytochemistry.15:711-715.
- Fowden L. 1962. Amino acids and protein *In* Physiology and Biochemistry of Algae. London: Academic Press. pp. 189-210.

- Herrera A., Boussiba S., Napoleone V. and Hohlberg A. 1989. Recovery of c-phyocococyanin from cyanobacterium *Spirulina maxima*. J. Appl. Phycol. 1:325-331.
<http://www.bloggang.com/viewdiary.php>
<http://www2.doae.go.th/www/work/web/kannika/page1.htm>
- Johnson E.A. and Schroeder W.A. 1995. Microbial carotenoids. *In* Advances biochemical engineering and biotechnology. Springer-Verlag, Heidelberg. pp. 119-178.
- Kaplan D., Richmond A. E., Dubinsky Z. and Aaronson S. 1986. Algal nutrition. *In* Handbook of microalgae mass culture. CRC Press, Inc., Florida. pp.147-198.
- Kobayashi M. and Sakamoto Y. 1999. Singlet oxygen quenching ability of astaxanthin esters from the green algae *Haematococcus pluvialis*. Biotechnol. Lett. 21:265-269.
- Koopman B. L., Benemann J.R. and Oswald W.J. 1980. Pond isolation and phase isolation for control of suspended solids concentration in sewage oxidation pond effluents. *In* Algae Biomass. Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam. pp. 135-161.
- Lewin R.A. 1962. Physiology and biochemistry of algae. Academic Press, New York. 929 p.
- Lips S. H. and Avissar Y. J. 1986. Photosynthesis and ultrastructure in microalgae. *In* Handbook of microalgae mass culture. CRC Pres, Inc., Florida. pp. 43-67.
- Palozza P. and Krinsky N.I. 1992. Antioxidant effects of carotenoids *in vivo* and *in vitro*: an overview. Method Enzymol. 213:403-420.
- Villanueva-Canizares R.O., Dominguez A.R., Cruz M.S. and Rios-Leal E. 1995. Chemical composition of cyanobacteria growth in diluted, aerated swine wastewater. Bioresource Technology. 51:111-116 .