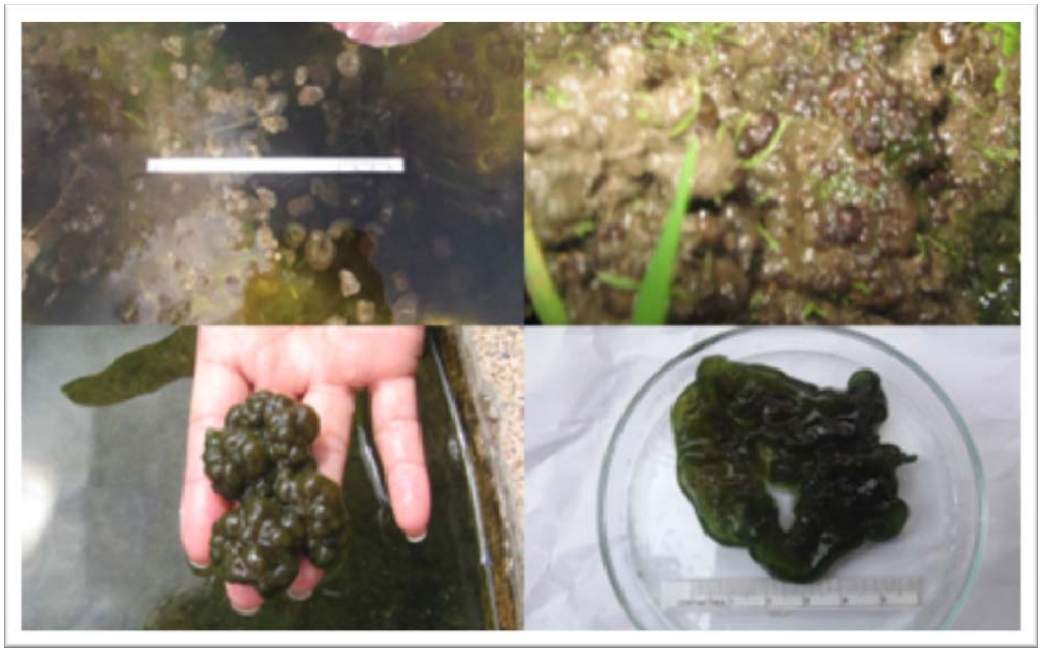
บทที่ 4
ผลการวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สาหร่าย *Nostoc* (ไข่หิน) และสาหร่าย *Nostochopsis* (ลอน) ในการเป็นอาหารสัตว์น้ำ โดยทำการเก็บรวบรวม คัดแยก และคัดเลือกสายพันธุ์จากธรรมชาติมาเพาะเลี้ยงระดับห้องปฏิบัติการ

การรวบรวม คัดแยก และคัดเลือกสายพันธุ์ *Nostoc* และ *Nostochopsis*

การเก็บรวบรวมและคัดแยกสายพันธุ์

ทำการเก็บตัวอย่างสาหร่ายจากแหล่งที่อยู่ต่างๆ จำนวน 5 แหล่งในบริเวณภาคเหนือ ในเขตจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน และพะเยา (ภาพ 2) สามารถคัดแยกสาหร่ายได้ทั้งหมด 19 ไอโซเลท แบ่งเป็นสาหร่าย *Nostoc* 16 ไอโซเลท และสาหร่าย *Nostochopsis* 3 ไอโซเลท นำมาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ



ภาพ 2 การเก็บตัวอย่างสาหร่ายจากองค์การสวนพฤกษศาสตร์ “สวนพฤกษศาสตร์สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติต์” อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่

การทดสอบการสร้างสารพิษ

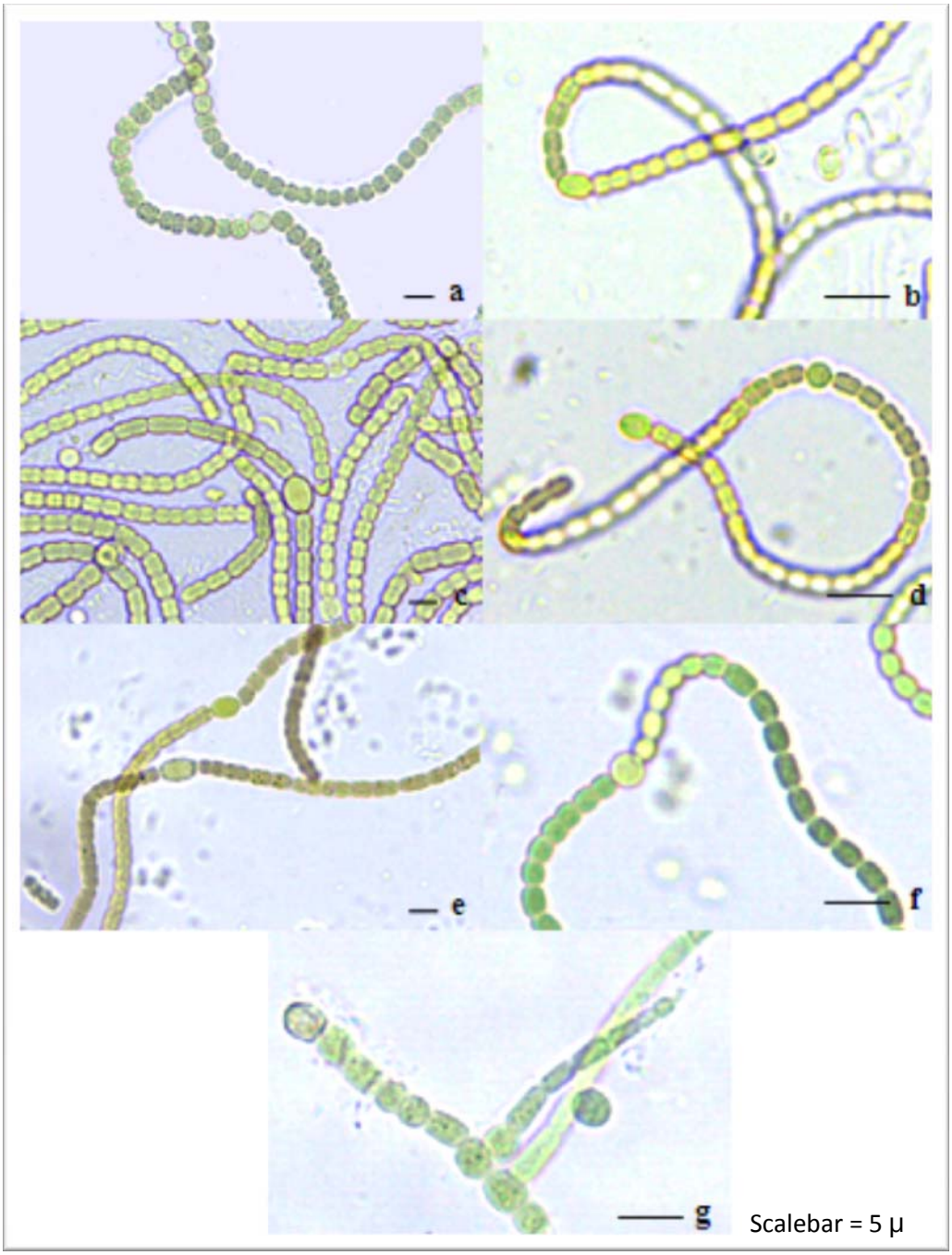
คัดเลือกสาหร่าย *Nostoc* 6 ไอโซเลท *และ Nostochopsis* 3 ไอโซเลท นำไปตรวจวิเคราะห์สารพิษไมโครซีสทิน ด้วยชุด The QuantiPlate TM Microcystin Kit (EP 022) พบว่า ตรวจไม่พบปริมาณสารพิษไมโครซีสทิน ในสาหร่าย *Nostoc* ทุกไอโซเลท และ *Nostochopsis* 1 ไอโซเลท (ตาราง 1)

ตาราง 1 ค่าความเข้มข้นของไมโครซีสทินในสาหร่าย

ชนิดของสาหร่าย	ความเข้มข้นของสารพิษไมโครซีสทิน (ppb)
Nostoc sp. FT1002 (*N*02)	N.D.
Nostoc sp. FT1004 (*N*04)	N.D.
Nostoc sp. FT1011 (*N*11)	N.D.
Nostoc sp. FT1012 (*N*12)	N.D.
Nostoc sp. FT1014 (*N*14)	N.D.
Nostoc sp. FT1019 (*N*19)	N.D.
Nostochopsis sp. FT1018 (*N*C18)	N.D.
Nostochopsis sp. FT1020 (*N*C20)	>2.5
Nostochopsis sp. FT1021 (*N*C21)	>2.5

หมายเหตุ: N.D. หมายถึง ตรวจไม่พบสารพิษไมโครซีสทิน

คัดเลือกสาหร่ายที่ตรวจไม่พบสารพิษไมโครซีสทินที่มีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดของสาหร่าย *Nostoc* ที่มีปริมาณเมือกมาก เมือกปานกลาง และเมือกน้อยอย่างละ 2 ไอโซเลท และคัดเลือกสาหร่าย *Nostochopsis* ที่มีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด 1 ไอโซเลท (ภาพ 3 ตาราง 2) เพื่อคัดเลือกสาหร่ายที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุดไปหาสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตต่อไป โดยนำสาหร่ายทั้ง 7 ไอโซเลท ไปเลี้ยงบนอาหารวุ้น BG-11 สูตรปรับปรุง ที่ความเข้มข้นของ agar 0.5, 1.0 และ 1.5% ทั้งหมด 21 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ บันทึกการเจริญเติบโตของสาหร่ายในวันที่ 14 โดยชั่งน้ำหนักแห้งตามวิธีการของ Oris (2003) นำน้ำหนักแห้งที่ได้มาคำนวณค่า μ และ t_d ได้ผลการทดลอง ดังนี้



ภาพ 3 เซลล์สาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารวุ้น BG-11 สูตรปรับปรุง agar 1.5%

a; *N*02, b; *N*04, c; *N*11, d; *N*12, e; *N*14, f; *N*19, g; *N*18

ตาราง 2 ลักษณะของสาหร่ายไข่หินและสาหร่ายลอน

ชนิดของสาหร่าย	ลักษณะภายนอก	ลักษณะเซลล์ภายใต้กล้อง
*N*02	เป็นวุ้นบางสีน้ำตาลเข้มเกาะตัวแบบหลวมอยู่ในน้ำ	เซลล์มีลักษณะทรงกลม เรียงต่อกันเป็นเส้นสาย เซลล์มีขนาด 2.84 µm ขนาดเฮทเทอโรซีสต์ 3.45 µm
*N*04	เป็นวุ้นสีน้ำตาล เกาะตัวอยู่อย่างหนาแน่นบนขอบอ่าง	เซลล์มีลักษณะทรงรี เรียงต่อกันเป็นเส้นสาย เซลล์มีขนาด 1.97x1.51 µm ขนาดเฮทเทอโรซีสต์ 2.79x2.00 µm
*N*11	เป็นวุ้นบางสีน้ำตาลเกาะตัวแบบหลวมอยู่ในน้ำ	เซลล์มีลักษณะทรงรี เรียงต่อกันเป็นเส้นสาย เซลล์มีขนาด 4.12x2.70 µm ขนาดเฮทเทอโรซีสต์ 6.75x4.62 µm
*N*12	เป็นเมือกบางสีเขียว	เซลล์มีลักษณะทรงรี เรียงต่อกันเป็นเส้นสาย เซลล์มีขนาด 1.79x1.50 µm ขนาดเฮทเทอโรซีสต์ 2.68x2.05 µm
*N*14	เป็นวุ้นสีน้ำตาลบางเกาะตัวอย่างหนาแน่น	เซลล์มีลักษณะทรงรี เรียงต่อกันเป็นเส้นสาย เซลล์มีขนาด 2.24x2.06 µm ขนาดเฮทเทอโรซีสต์ 4.64x3.57 µm
*N*19	เป็นวุ้นสีเขียวบางๆ เกาะตัวแบบหลวมอยู่บนสนามหญ้าที่มีน้ำขัง	เซลล์มีลักษณะทรงรี เรียงต่อกันเป็นเส้นสาย เซลล์มีขนาด 2.26x1.99 µm ขนาดเฮทเทอโรซีสต์ 2.98x2.68 µm
*N*18	เป็นเมือกบางสีเขียว	เซลล์มีลักษณะทรงรี เรียงต่อกันเป็นเส้นสาย เซลล์มีขนาด 2.15x-3.06 µm มีการแตกแขนงแบบแม้จริง ขนาดเฮทเทอโรซีสต์ 3.56x2.66 µm อยู่กลางเส้นสาย

การคัดเลือกพันธุ์สาหร่ายโดยเพาะเลี้ยงในอาหารวุ้น BG-11 สูตรปรับปรุงผสม agar 0.5, 1 และ 1.5 %

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของ *Nostoc* และ *Nostochopsis* ในอาหารวุ้น BG-11 สูตรปรับปรุง ผสม agar 0.5, 1.0 และ 1.5% เป็นระยะเวลา 14 วัน พบว่า สาหร่ายที่มีค่า μ สูงที่สุดและค่า t_d น้อยที่สุด คือ *N*19 ในอาหารวุ้น BG-11 ผสม agar 0.5, 1.0 และ 1.5% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วน *NC*18 ไม่สามารถศึกษาการเจริญเติบโตบนอาหารแข็งได้ เนื่องจากเกิดการปนเปื้อนของแบคทีเรีย ทำให้สาหร่ายตาย (ตาราง 3 ภาพ 4)

ตาราง 3 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) และระยะเวลาที่เซลล์เจริญเติบโตเป็นสองเท่า (t_d) ของสาหร่าย *Nostoc* ในอาหารวุ้น BG 11 สูตรปรับปรุงความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 1.5% เป็นระยะเวลา 14 วัน (Mean±SE)

ชนิดสาหร่าย	μ			t_d		
	0.5%	**1.0%**	**1.5%**	**0.5%**	**1.0%**	**1.5%**
*N*02	0.13 ± 0.03^{aA}	0.28 ± 0.03^{aB}	0.49 ± 0.01^{aC}	6.17 ± 1.81^{bB}	2.48 ± 0.22^{dA}	1.42 ± 0.03^{eA}
*N*04	0.81 ± 0.04^{c}	0.70 ± 0.04^{c}	0.84 ± 0.06^{c}	0.87 ± 0.04^{a}	1.0 ± 0.06^{bc}	0.84 ± 0.06^{bc}
*N*11	0.36 ± 0.02^{bA}	0.55 ± 0.04^{bB}	0.61 ± 0.07^{abB}	1.92 ± 0.13^{aB}	1.28 ± 0.10^{cA}	1.17 ± 0.16^{dA}
*N*12	0.90 ± 0.04^{cA}	0.10 ± 0.01^{dB}	1.01 ± 0.02^{dB}	0.77 ± 0.03^{a}	0.70 ± 0.01^{ab}	0.69 ± 0.01^{ab}
*N*14	0.40 ± 0.10^{bA}	0.60 ± 0.02^{bcAB}	0.73 ± 0.00^{bcB}	1.93 ± 0.47^{a}	1.15 ± 0.03^{c}	0.96 ± 0.00^{cd}
*N*19	1.06 ± 0.02^{dA}	1.17 ± 0.05^{eA}	1.20 ± 0.03^{eA}	0.66 ± 0.01^{a}	0.59 ± 0.03^{a}	0.58 ± 0.02^{a}

หมายเหตุ: พยัญชนะยกกำลังพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในแต่ละชนิดของสาหร่าย (แนวตั้ง)
พยัญชนะยกกำลังพิมพ์ใหญ่ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในแต่ละ% agar (แนวนอน)

ภาพ 4 สาหร่ายแห้งในอาหารวุ้น BG-11 สูตรปรับปรุง ผสม agar 0.5, 1.0 และ 1.5 %

*N*02 (a-c); a) 0.5%, b) 1.0%, c) 1.5% *N*04 (d-f); d) 0.5%, e) 1.0%, f) 1.5%

*N*11 (g-i); g) 0.5%, h) 1.0%, i) 1.5% *N*12 (j-l); j) 0.5%, k) 1.0%, l) 1.5%

*N*14 (m-o); m) 0.5%, n) 1.0%, o) 1.5% *N*19 (p-r); p) 0.5%, q) 1.0%, r) 1.5%

ทำการคัดเลือกสาหร่าย *Nostoc* จำนวน 4 ไอโซเลท ได้แก่ *N*02, *N*12, *N*14 และ *N*19 และ *Nostochopsis* 1 ไอโซเลท คือ *NC*18 นำไปเลี้ยงในอาหาร BG-11 สูตรปรับปรุงผสม sodium alginate ความเข้มข้น 0, 0.25 และ 0.5% เพื่อหาสาหร่ายที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด ได้ผลการทดลอง ดังนี้

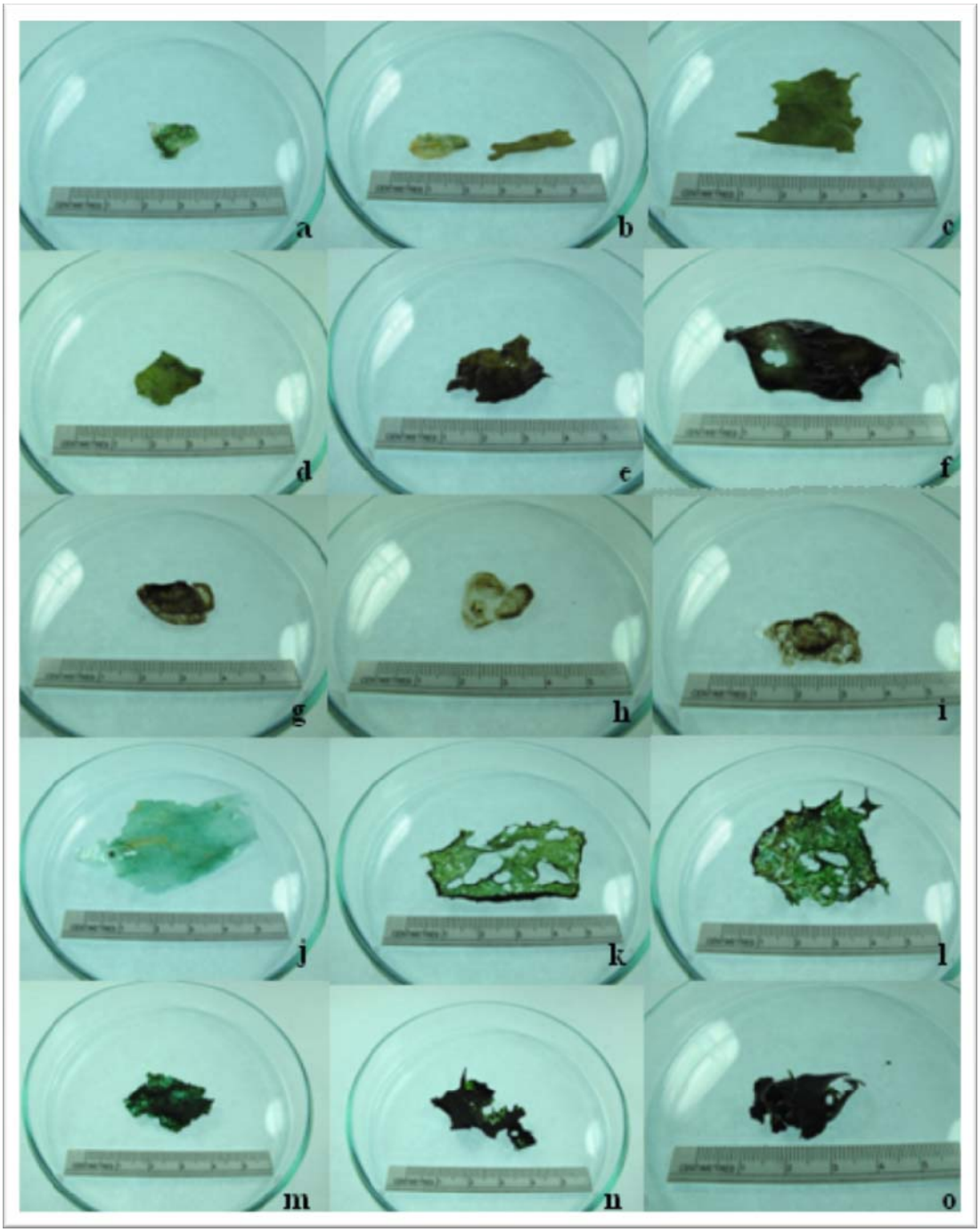
การเจริญเติบโตของสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารเหลว BG-11 สูตรปรับปรุงผสม Sodium alginate ความเข้มข้น 0, 0.25 และ 0.25%

นำสาหร่าย *Nostoc* และ *Nostochopsis* ที่ผ่านการคัดเลือก ทั้ง 5 ไอโซเลท มาเลี้ยงในอาหารเหลวผสม sodium alginate ความเข้มข้น 0, 0.25 และ 0.5% ตามลำดับ ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ บันทึกการเจริญเติบโตของสาหร่ายใน 16 วัน โดยชั่งน้ำหนักแห้งตามวิธีการของ Oris (2003) นำน้ำหนักแห้งที่ได้มาคำนวณค่า μ และ t_d พบว่า *Nostoc* มีค่า μ สูงที่สุด และ t_d น้อยที่สุด คือ *N*12 ที่ sodium alginate 0.25 และ 0.5% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตาราง 4)

ตาราง 4 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และระยะเวลาที่เซลล์เจริญเติบโตเป็นสองเท่าของสาหร่าย *Nostoc* และ *Nostochopsis* ในอาหารเหลวผสม sodium alginate ความเข้มข้น 0, 0.25 และ 0.5% ระยะเวลา 16 วัน (Mean±SE)

ชนิดสาหร่าย	μ			t_d		
	0%	**0.25%**	**0.5%**	**0%**	**0.25%**	**0.5%**
*N*02	1.21 ± 0.06^{bA}	1.89 ± 0.10^{cdB}	1.77 ± 0.04^{cB}	0.57 ± 0.03^{aB}	0.37 ± 0.02^{aA}	0.39 ± 0.01^{aA}
*N*12	1.16 ± 0.03^{bA}	1.96 ± 0.05^{dB}	1.93 ± 0.02^{dB}	0.60 ± 0.02^{aB}	0.35 ± 0.01^{aA}	0.36 ± 0.00^{aA}
*N*14	0.28 ± 0.03^{aA}	0.40 ± 0.02^{aB}	0.51 ± 0.01^{aC}	2.52 ± 0.23^{bB}	1.73 ± 0.07^{bA}	1.37 ± 0.04^{cA}
*N*19	1.28 ± 0.02^{bA}	1.76 ± 0.01^{cB}	1.75 ± 0.07^{cB}	0.54 ± 0.01^{aB}	0.39 ± 0.00^{aA}	0.40 ± 0.01^{aA}
*NC*18	1.29 ± 0.05^{b}	1.34 ± 0.06^{b}	1.41 ± 0.04^{b}	0.54 ± 0.02^{a}	0.52 ± 0.03^{a}	0.49 ± 0.01^{b}

หมายเหตุ: พยัญชนะยกกำลังพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในแต่ละชนิดของสาหร่าย (แนวตั้ง)
พยัญชนะยกกำลังพิมพ์ใหญ่ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในแต่ละความเข้มข้นของอาหารเหลว (แนวนอน)



ภาพ 5 สาหร่ายแห้งในอาหารเหลว BG-11 สูตรปรับปรุงผสม sodium alginate 0, 0.25 และ 0.5 %
*N*02 (a-c); a) 0%, b) 0.25%, c) 0.5% *N*12 (d-f); d) 0%, e) 0.25%, f) 0.5%
*N*14 (g-i); g) 0%, h) 0.25%, i) 0.5% *N*19 (j-l); j) 0%, k) 0.25%, l) 0.5%
*NC*18 (m-o); m) 0%, n) 0.25%, o) 0.5%

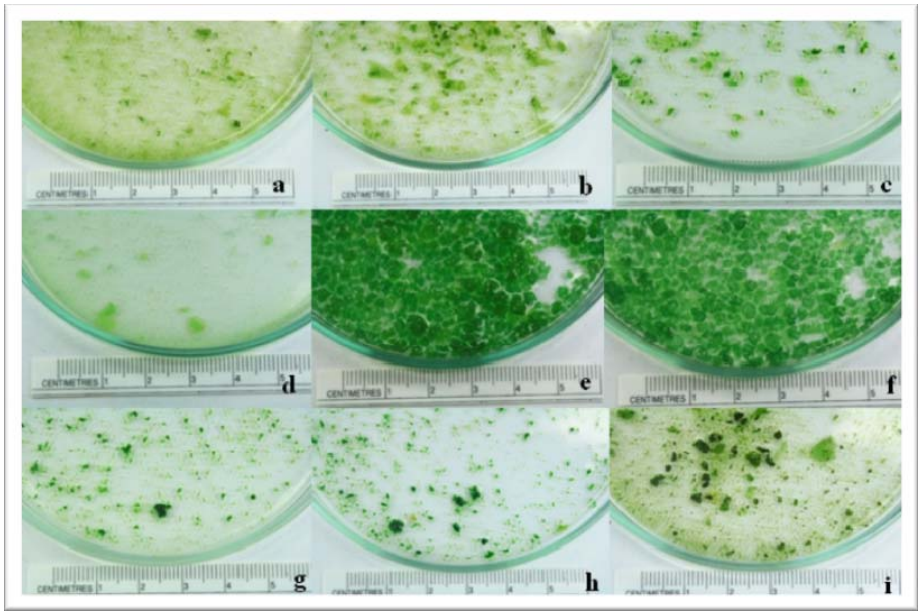
ทำการคัดเลือกสาหร่าย *Nostoc* 2 ไอโซเลท (*N*12 และ *N*19) และ *Nostochopsis* 1 ไอโซเลท (*NC*18) (สาหร่าย *N*02 และ *N*14 เนื่องจากเซลล์มีขนาดเล็กไม่สามารถทำการเก็บผลผลิตได้ด้วยการกรอง) ที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด มาทำเพิ่มปริมาณการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว BG-11 สูตรปรับปรุง และอาหารเหลว BG-11 สูตรปรับปรุงผสม sodium alginate ความเข้มข้น 0.5% และทดสอบในขั้นตอนต่อไป

การเพาะเลี้ยงระดับห้องปฏิบัติการ การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ และปริมาณรงควัตถุของสาหร่าย *Nostoc* และ *Nostochopsis*

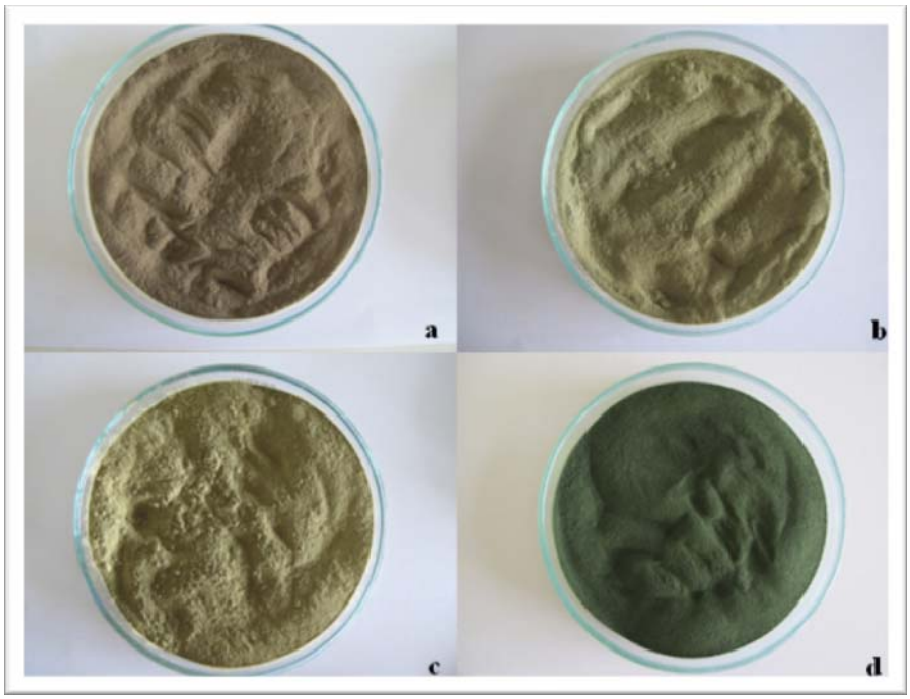
นำสาหร่ายทั้งสามไอโซเลทมาเพิ่มปริมาณการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว BG-11 สูตรปรับปรุง และอาหารเหลว BG-11 สูตรปรับปรุงผสม sodium alginate ความเข้มข้น 0.5% ระยะเวลา 21 วัน ในขวดพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร บรรจุอาหารเหลว 1 ลิตร (ปริมาณสาหร่ายสดเริ่มต้นมีค่าเทียบเท่าน้ำหนักแห้ง 100 มิลลิกรัม) เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อสาหร่ายอายุครบ 21 วัน นำสาหร่ายสดที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุ และนำสาหร่ายที่เหลือไปอบในตู้บ่มเชื้อ ที่อุณหภูมิ 55 ^{0}C เป็นเวลา 3 วัน ทำการชั่งน้ำหนักแห้ง นำน้ำหนักแห้งที่ได้มาคำนวณค่า μ และt_d ของสาหร่าย นำสาหร่ายที่เหลือไปปั่นด้วยเครื่องปั่นให้ละเอียดแล้วนำมาล่อนผ่านตระแกรง ขนาด 150 ไมครอน (ภาพ 7) แล้วนำไปวิเคราะห์ คุณค่าทางโภชนาการและปริมาณรงควัตถุของสาหร่ายแห้ง

การเจริญเติบโตของสาหร่ายในอาหาร BG-11 สูตรปรับปรุงผสม sodium alginate 0.5%

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของ *Nostoc* และ *Nostochopsis* ในอาหารเหลว BG-11 สูตรปรับปรุงผสม sodium alginate ความเข้มข้น 0.5% เพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 21 วัน พบว่าสาหร่าย *N*12 และ *N*19 มีค่า μ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) แต่มีค่า μ สูงกว่า *NC*18 เช่นเดียวกับสาหร่าย *N*12 และ *N*19 มีค่า t_d ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) แต่มีค่าต่ำกว่า *NC*18 (ตาราง 5 ภาพ 5)



ภาพ 6 สาหร่ายสดในอาหารเหลว BG-11 สูตรปรับปรุงผสม sodium alginate 0, 0.25 และ 0.5 % *N*12 (a-c); a) 0%, b) 0.25%, c) 0.5% *N*19 (d-f); d) 0%, e) 0.25%, f) 0.5% *NC*18 (g-i); g) 0%, h) 0.25%, i) 0.5%



ภาพ 7 สาหร่ายแห้งเลี้ยง; a) *N*12, b) *N*19, c) *N*18, d) 0.25%, c) *Spirulina*

ตาราง 5 ค่าอัตราการเจริญเติบโต และระยะเวลาที่เซลล์เพิ่มจำนวนเป็นสองเท่าของสาหร่ายในอาหารเหลว BG-11สูตรปรับปรุงผสม sodium alginate 0.5% ระยะเวลา 21วัน (Mean±SE)

ชนิดสาหร่าย	μ	t_d
*N*12	0.97±0.02[b]	0.72±0.02[a]
*N*19	0.95±0.01[b]	0.73±0.01[a]
*NC*18	0.77±0.02[a]	0.90±0.02[b]

หมายเหตุ: พยัญชนะยกกำลังพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในสาหร่ายแต่ละชนิด (แนวตั้ง)

ปริมาณรงควัตถุและคุณค่าทางโภชนาการในสาหร่ายสดและแห้งในสูตรอาหารแต่ละชนิด

ปริมาณรงควัตถุในสาหร่ายสดและแห้ง

นำสาหร่ายสดและแห้งมาวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ ไฟโคเออริธริน และไฟโคไซยานิน ปรับปรุงตามวิธีการของ KMUTT (2001) และ Lawrenz et al. (2011) พบว่า ปริมาณรงควัตถุของสาหร่ายสดในอาหารเหลว BG-11 สูตรปรับปรุงเปรียบเทียบกับในอาหารเหลว BG-11 สูตรปรับปรุงผสม sodium alginate 0.5% ระยะเวลา 21 วัน พบว่า

สาหร่ายสดมีปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *N*12 ใน BG-11 สูตรปรับปรุงผสม sodium alginate 0.5% ให้ค่าสูงกว่าใน BG-11 สูตรปรับปรุง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ส่วนใน *N*19 และ *NC*18 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ค่าไฟโคเออริธรินและค่าไฟโคไซยานินของสาหร่ายทั้งสามไอโซเลทมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ในอาหารทั้งสองสูตร (ตาราง 6)

สาหร่ายแห้งมีปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *N*12 และ *NC*18 มีค่าสูงกว่า *N*19 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ค่าไฟโคไซยานิน *N*12 มีค่าสูงกว่า *N*19 และ *NC*18 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ส่วนค่าไฟโคเออริธรินไม่แตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น (P>0.05) (ตาราง 6)

ตาราง 6 ปริมาณรงควัตถุของสาหร่ายสดและแห้งในอาหารเหลว BG-11 สูตรปรับปรุงและอาหารเหลว BG-11 สูตรปรับปรุงผสม sodium alginate 0.5% เป็นระยะเวลา 21 วัน (Mean±SE)

ปริมาณรงควัตถุ	Carotenoid (µg/g dryweight)		Phycoerythrin (µg/l)		Phycocyanin (µg/l)	
	สาหร่ายสด	สาหร่ายแห้ง	สาหร่ายสด	สาหร่ายแห้ง	สาหร่ายสด	สาหร่ายแห้ง
*N*12 BG-11	98.70±0.80^{b}	68.40±1.50^{b}	4215.77±567.26	1261.41±295.04^{a}	1713.68±719.01^{a}	2223.16±212.25^{b}
*N*12 BG-11 Sodium alginate 0.5%	122.30±5.10^{c}	203.50±7.00^{d}	6771.78±1216.95	3419.09±661.40^{b}	3010.53±865.25^{a}	2501.05±367.62^{b}
*N*19BG-11	28.70±1.80^{a}	13.60±0.90^{a}	5643.15±661.40	597.51±99.59^{a}	5835.79±1211.32^{ab}	787.37±245.08^{a}
*N*19 BG-11 Sodium alginate 0.5%	36.20±1.80^{a}	131.40±11.20^{c}	2854.77±201.92	597.51±57.50^{a}	2362.11±240.66^{a}	555.79±138.95^{a}
*NC*18 BG-11	152.70±4.30^{d}	63.70±3.80^{b}	6240.66±1265.33	962.65±165.97^{a}	7642.11±1485.72^{b}	833.68±160.44^{a}
*NC*18 BG-11 Sodium alginate0.5%	141.20±9.10^{d}	185.80±19.50^{d}	7136.93±1827.54	1526.97±87.83^{a}	8058.95±2309.76^{b}	1204.21±46.32^{a}

หมายเหตุ: พยัญชนะยกกำลังพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในสาหร่ายแต่ละชนิด (แนวตั้ง)

คุณค่าทางโภชนาการในสาหร่ายแห้ง

ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายแห้งในอาหารเหลว BG-11 สูตรปรับปรุงเปรียบเทียบกับในอาหารเหลว BG-11 สูตรปรับปรุงผสม Sodium alginate 0.5% ระยะเวลา 21 วัน

โปรตีน (%) ของ *Nostoc* ทั้งสองไอโซเลทที่เลี้ยงในอาหาร BG-11 สูตรปรับปรุง มีค่าสูงกว่าใน BG-11 สูตรปรับปรุงผสม sodium alginate 0.5% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ใน *Nostochopsis* ใน BG-11 สูตรปรับปรุงผสม sodium alginate 0.5% มีค่าโปรตีนสูงกว่าในอาหาร BG-11 สูตรปรับปรุง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่าไขมันของ *N*12 ใน BG-11 สูตรปรับปรุงผสม sodium alginate 0.5% ให้ค่าไขมันสูงกว่าที่เลี้ยงในอาหาร BG11 สูตรปรับปรุง ส่วน *N*19 และ *NC*18 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ค่าเยื่อใยของ *N*12 และ *NC*18 ใน BG-11 สูตรปรับปรุงผสม sodium alginate 0.5% มีค่าสูงกว่าในอาหาร BG-11 สูตรปรับปรุง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ใน *N*19 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ค่าความชื้นของสาหร่ายทั้งสามไอโซเลทที่เลี้ยงใน BG-11 สูตรปรับปรุงผสม sodium alginate 0.5% ให้ค่าสูงกว่าที่เลี้ยงใน BG-11 สูตรปรับปรุง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่าเถ้าของ *N*12 และ *N*19 ใน BG-11 สูตรปรับปรุงผสม sodium alginate 0.5% มีค่าสูงกว่าที่เลี้ยงใน BG-11 สูตรปรับปรุง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วน *N*C18 ไม่แตกต่างในอาหารทั้งสองสูตร ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายทั้งสามไอโซเลทที่เลี้ยงใน BG11 สูตรปรับปรุง ที่ผสม sodium Alginate 0.5% ให้ค่าสูงกว่าที่เลี้ยงใน BG11 สูตรปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตาราง7)

ตาราง 7 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายแห้งในอาหารเหลว BG-11 สูตรปรับปรุงและอาหารเหลว BG-11 สูตรปรับปรุงผสม sodium alginate 0.5% ระยะเวลา 21 วัน (Mean±SE)

คุณค่าทางโภชนาการ	Protein (%)	Lipid (%)	Crude fiber (%)	Moisture (%)	Ash (%)	Carbohydrate (%)
*N*12 BG11	28.42±0.98[a]	2.09±0.24[a]	3.11±0.16[a]	4.64±0.26[a]	5.82±0.72[a]	55.91±1.23[b]
*N*12 BG11 Sodium alginate 0.5%	21.19±1.07[b]	4.31±0.65[b]	23.14±1.21[c]	9.20±0.24[b]	9.75±0.28[b]	32.40±1.21[a]
*N*19BG11	25.62±2.41[a]	2.06±0.09[a]	2.83±0.14[a]	5.06±0.19[a]	5.61±0.41[a]	58.82±2.54[b]
*N*19 BG11 Sodium alginate 0.5%	21.24±1.04[b]	3.57±0.73[ab]	2.10±0.48[a]	10.39±.50[b]	29.92±1.25[c]	32.78±0.68[a]
*NC*18 BG11	16.81±0.53[c]	2.11±0.33[a]	3.23±0.17[a]	4.96±0.60[a]	7.34±0.25[a]	65.55±1.47[c]
*NC*18 BG11 Sodium alginate 0.5%	26.05±0.16[a]	3.51±0.49[ab]	20.34±1.03[b]	9.23±0.56[b]	6.01±0.24[a]	36.92±2.63[a]

หมายเหตุ: พยัญชนะยกกำลังพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในสาหร่ายแต่ละชนิด (แนวตั้ง)

นำสาหร่ายแห้ง *N*12, *N*19 และ *NC*18 ไปปั่นเป็นผงละเอียดนำไปเคลือบอาหารปลาแล้วนำมาเลี้ยงปลาทองออรันดา เพื่อทำการศึกษาการเจริญเติบโต สีสันและภูมิคุ้มกันเบื้องต้นของปลาที่กินอาหารเคลือบสาหร่าย

การเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุในเนื้อและหนังปลา สี และภูมิคุ้มกันเบื้องต้นของปลาทองที่เลี้ยงโดยใช้สาหร่ายแต่ละชนิด

ปริมาณรงควัตถุและคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Nostoc*, *Nostochopsis* และ *Spirulina*

ทำการเปรียบเทียบปริมาณรงควัตถุและคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *N*12, *N*19, *NC*18 และ *Spirulina* (positive control) พบว่า

ปริมาณแคโรทีนอยด์ ของสาหร่าย *Spirulina* ไม่แตกต่างกับ *N*12 และ *NC*18 แต่มีค่าสูงกว่า *N*19 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ไฟโคเอริธริน และไฟโคไซยานิน ของ *Spirulina* สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตาราง 8)

ค่าโปรตีนของ *Spirulina* มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่าเยื่อใย *N*12 มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่าเถ้า *N*19 มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ไขมัน ความชื้น และคาร์โบไฮเดรตมีค่าไม่ต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ในสาหร่ายทั้งสี่ไอโซเลท (ตาราง 8)

ตาราง 8 ปริมาณรงควัตถุและคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายแห้ง *Nostoc*, *Nostochopsis* และ *Spirulina* (S) ที่ใช้เคลือบอาหารปลา (Mean±SE)

รงควัตถุ	ชนิดสาหร่าย			
	***N*12**	***N*19**	***NC*18**	**Spirulina (S)**
Carotenoid (µg/g dryweight)	203.50±69.00^{B}	131.40±11.20^{A}	185.70±19.50^{B}	197.10±3.10^{B}
Phycoerythrin (µ/l)	3419.09±661.40^{B}	597.51±57.50^{A}	1526.97±87.83^{A}	19053.90±603.93^{C}
Phycocyanin (µ/l)	2501.05±367.62^{B}	555.79±138.95^{A}	1204.21±46.32^{AB}	33393.68±1043.91^{C}

ตาราง 8 (ต่อ)

รงควัตถุ	ชนิดสาหร่าย			
	***N*12**	***N*19**	***NC*18**	**Spirulina (S)**
คุณค่าทางโภชนาการ				
Protein (%)	21.19±1.07^{A}	21.24±1.042^{A}	26.05±0.15^{B}	44.95±0.80^{C}
Lipid (%)	4.31±0.65	3.57±0.73	3.51±0.49	2.60±0.34
Crude fiber (%)	23.14±1.21^{C}	2.10±0.48^{A}	20.34±1.03^{B}	1.55±0.14^{A}
Moisture (%)	9.20±0.24	10.39±.50	9.23±0.56	10.34±0.69
Ash (%)	9.75±0.28^{B}	29.92±1.25^{C}	6.01±0.24^{A}	7.99±0.30^{AB}
Carbohydrate (%)	32.40±1.21	32.78±0.68	36.92±2.63	32.56±1.36

หมายเหตุ: พยัญชนะยกกำลังพิมพ์ใหญ่ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในสาหร่ายแต่ละชนิด (แนวนอน)

ปริมาณรงควัตถุและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารปลาเคลือบสาหร่าย *Nostoc*, *Nostochopsis* และ *Spirulina* ความเข้มข้นต่างกัน

นำสาหร่ายแห้งผงไปเคลือบอาหารปลาสำเร็จรูปความเข้มข้นต่างกัน แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 11 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารปลาเคลือบไข่ขาว (negative control) (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2-4 อาหารเคลือบสาหร่าย *N*12 5, 7.5, 10 %

ชุดการทดลองที่ 5-7 อาหารเคลือบสาหร่าย *N*19 5, 7.5, 10 %

ชุดการทดลองที่ 8-10 อาหารเคลือบสาหร่าย *NC*18 5, 7.5, 10 %

ชุดการทดลองที่ 11 อาหารเคลือบสาหร่าย *S* 5% (positive control) (*S* 5%)

โดยชุดการทดลอง 2-10 ใช้สาหร่ายแห้งของแต่ละไอโซเลท อัตราส่วน 5, 7.5 และ 10% ของน้ำหนักอาหาร ทำการวิเคราะห์ปริมาณ และคุณค่าทางโภชนาการ ได้ผลการทดลองดังนี้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุของอาหารปลาเคลือบสาหร่าย พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ไฟโคเอออริธริน ชุดควบคุมมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) กับชุดอาหารเคลือบสาหร่ายเกือบทุกไอโซเลท ยกเว้นมีค่าน้อยกว่าใน *N*12 10%,

*N*18 10% และ *S* 5%ค่าไฟโคไซยานิน สูงสุดใน *S.* 5% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตาราง 9)

ผลวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารปลาเคลือบสาหร่าย พบว่า ค่าโปรตีนชุดควบคุมมีค่ามากกว่าอาหารปลาเคลือบสาหร่ายเกือบทุกชนิด ยกเว้นใน *N*12 5% มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ส่วน *S* 5% มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ (P<0.05) กับอาหารเคลือบสาหร่ายไอโซเลทที่เหลือเกือบทุกชนิดยกเว้นมีค่ามากกว่าใน *N*12 5% และ 10% ค่าไขมันในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) ค่าเยื่อใย ชุดควบคุมมีค่าสูงกว่าอาหารเคลือบสาหร่ายเกือบทุกไอโซเลทที่เหลือ ยกเว้นมีค่าเท่ากัน *N*12 5%, *NC*18 5, 7.5% และ *S* 5% ความชื้น อาหารเคลือบสาหร่ายเกือบทุกไอโซเลทมีค่าความชื้นสูงกว่าชุดควบคุม ยกเว้นใน *N*12 5% มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) เถ้าทุกชุดการทดลอง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) คาร์โบไฮเดรต ชุดควบคุมมีค่าต่ำกว่าทางสถิติ (P<0.05) กับชุดอาหารเคลือบสาหร่ายเกือบทุกไอโซเลท ยกเว้นมีค่าไม่แตกต่างกันในอาหารปลาเคลือบสาหร่าย *N*12 5 , 10%, *NC*18 5% และ *S* 5% (ตาราง 10)

ตาราง 9 ปริมาณรงควัตถุของอาหารปลาเคลือบสาหร่ายแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นต่างกันเมื่อเลี้ยงในอาหาร BG–11 ผสม sodium alginate 0.5% (Mean±SE)

อาหารเม็ดสำเร็จรูปเคลือบสาหร่าย	ปริมาณรงควัตถุในอาหารปลาเคลือบสาหร่าย		
	Carotenoid (µg/g dryweight)	Phycoerythrin (µg/l)	Phycocyanin (µg/l)
อาหารปลาเคลือบไข่ขาว (ชุดควบคุม)	3.40±0.60	398.34±0.00^{a}	370.52±46.32^{a}
อาหารปลาเคลือบ *N*12 5%	5.50±0.20	663.90±152.11^{ab}	555.79±80.22^{ab}
อาหารปลาเคลือบ *N*12 7.5%	5.90±0.60	995.85±298.75^{ab}	880.00±46.32^{cd}
อาหารปลาเคลือบ *N*12 10%	6.60±0.40	1195.02±263.47^{bc}	1111.58±80.22^{d}
อาหารปลาเคลือบ *N*19 5%	4.30±0.30	497.92±172.48^{ab}	416.84±0.00^{a}
อาหารปลาเคลือบ *N*19 7.5%	4.80±0.30	730.28±152.11^{ab}	694.74±0.00^{bc}
อาหารปลาเคลือบ *N*19 10%	5.30±0.30	962.65±377.02^{ab}	926.32±122.54^{cd}
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 5%	5.00±0.20	597.50±263.47^{ab}	555.79±80.22^{ab}

ตาราง 9 (ต่อ)

อาหารเม็ดสำเร็จรูปเคลือบสาหร่าย	ปริมาณรงควัตถุในอาหารปลาเคลือบสาหร่าย		
	Carotenoid (µg/g dryweight)	**Phycoerythrin (µg/l)**	**Phycocyanin (µg/l)**
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 7.5%	5.80±0.30	829.87±152.12^{ab}	741.05±46.31^{bc}
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 10%	6.30±1.00	1128.62±835.16^{bc}	1018.95±46.31^{d}
อาหารปลาเคลือบ *S* 5%	8.60±3.90	1760.00±487.96^{c}	1825.71±132.78^{e}

หมายเหตุ: พยัญชนะยกกำลังพิมพ์เล็ก แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในสาหร่ายแต่ละชนิดของอาหารเคลือบสาหร่าย (แนวตั้ง)

ตาราง 10 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารปลาเคลือบสาหร่าย (Mean±SE)

อาหารเม็ดสำเร็จรูปเคลือบสาหร่าย	คุณค่าทางโภชนาการ					
	Protein (%)	**Lipid (%)**	**Crude fiber (%)**	**Moisture (%)**	**Ash (%)**	**Carbohydrate (%)**
ชุดควบคุม	44.86±1.61^{e}	2.60±0.11	3.39±0.17^{cd}	4.08±0.13^{a}	9.87±0.31	35.19±1.56^{a}
อาหารปลาเคลือบ *N*12 5%	41.64±0.72^{de}	2.92±0.35	2.98±0.19^{bc}	4.93±0.23^{ab}	9.93±0.32	37.60±1.04^{a}
อาหารปลาเคลือบ *N* 12 7.5%	38.78±1.13^{ab}	2.40±0.21	2.51±0.25^{ab}	5.14±0.17^{b}	9.36±0.31	41.80±0.84^{bc}
อาหารปลาเคลือบ *N*12 10%	40.97±0.50^{cd}	2.97±0.22	2.74±0.27^{ab}	5.11±0.04^{b}	9.77±0.31	38.44±0.89^{ab}
อาหารปลาเคลือบ *N* 19 5%	37.40±1.24^{ab}	2.56±0.09	2.16±0.10^{a}	5.03±0.30^{b}	9.59±0.30	43.25±0.77^{c}
อาหารปลาเคลือบ *N* 19 7.5%	37.62±0.67^{ab}	2.59±0.16	2.70±0.14^{ab}	5.48±0.40^{bc}	9.55±0.32	42.06±0.14^{bc}
อาหารปลาเคลือบ*N*19 10%	37.58±1.44^{ab}	2.48±0.09	2.09±0.27^{a}	6.22±0.36^{c}	9.61±0.30	42.02±2.03^{bc}
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 5%	34.98±1.74^{a}	2.58±0.11	3.67±0.12^{d}	5.84±0.41^{bc}	9.40±0.36	43.53±1.68^{a}
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 7.5%	36.81±1.47^{ab}	2.28±0.11	3.01±0.13^{bc}	6.29±0.29^{c}	9.19±0.33	42.42±1.45^{bc}
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 10%	36.25±1.02^{a}	2.59±0.08	3.52±0.27^{cd}	6.09±0.31^{c}	9.20±0.29	42.35±1.33^{bc}
อาหารปลาเคลือบ *S* 5%	40.53±0.92^{bc}	2.55±0.26	3.52±0.18^{cd}	6.15±0.31^{c}	9.62±0.30	37.63±1.09^{a}

หมายเหตุ: พยัญชนะยกกำลังพิมพ์เล็ก แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในแต่ละชนิดของอาหารเคลือบสาหร่าย (แนวตั้ง)

การศึกษาการเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุในเนื้อและหนังปลา สีสัน และภูมิคุ้มกันเบื้องต้น

นำอาหารปลาสำเร็จรูปเคลือบสาหร่ายแต่ละชุดการทดลองไปเลี้ยงปลาทองออรันดา น้ำหนักเริ่มต้น 1.99±0.17 กรัม ความยาวมาตรฐาน (standard length) 2.83±0.15 เซนติเมตร โดยให้กินจนอิ่มวันละ 2 มื้อ เป็นเวลา 42 วัน ผลการทดลองดังนี้

การเจริญเติบโตของปลาทอง

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ค่า FCR, BWG และSGR ในทุกชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) (ตาราง 11)

ตาราง 11 การเจริญเติบโตของปลาทองที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เคลือบด้วยสาหร่ายแต่ละชนิด (Mean±SE)

อาหารเม็ดสำเร็จรูป เคลือบสาหร่าย	ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต		
	FCR (g/d)	**BWG (%)**	**ค่า SGR (%)**
ชุดควบคุม	2.17±0.01	121.94±0.73	1.90±0.01
อาหารปลาเคลือบ *N*12 5%	2.46±0.10	112.06±5.13	1.79±0.06
อาหารปลาเคลือบ *N*12 7.5%	2.68±0.35	100.67±8.64	1.65±0.11
อาหารปลาเคลือบ *N*12 10%	2.74±0.16	100.84±8.63	1.66±0.10
อาหารปลาเคลือบ *N*19 5%	2.42±0.13	115.91±5.39	1.83±0.06
อาหารปลาเคลือบ *N*19 7.5%	2.37±0.26	103.35±1.31	1.69±0.02
อาหารปลาเคลือบ *N*19 10%	2.51±0.25	109.05±9.39	1.75±0.11
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 5%	2.33±0.09	114.58±1.62	1.82±0.02
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 7.5%	2.43±0.14	111.39±9.14	1.78±0.10
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 10%	2.77±0.37	94.14±7.23	1.58±0.09
อาหารปลาเคลือบ *S* 5%	2.37±0.14	112.23±8.46	1.79±0.09

หมายเหตุ: พยัญชนะยกกำลังพิมพ์เล็ก แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในอาหารปลาเคลือบสาหร่ายแต่ละชนิดและความเข้มข้น (แนวตั้ง)

ปริมาณรงควัตถุในเนื้อและหนังปลา

ผลการวิเคราะห์รงควัตถุในเนื้อปลาทองที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เคลือบด้วยสาหร่าย พบว่า แคโรทีนอยด์ในเนื้อปลาทอง มีค่าสูงสุดใน *S* 5% สูงกว่าในอาหารเคลือบสาหร่ายอื่นๆ ทุกชนิดและสูงกว่าชุดควบคุม แต่ใน *NC*18 7.5 และ 10% สูงกว่าในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ไฟโคเออริธริน มีค่าสูงสุดใน *S* 5% และ *NC*18 10% สูงกว่าในอาหารเคลือบสาหร่ายอื่นๆ ทุกชนิดและสูงกว่าชุดควบคุม แต่ใน *N*12 7.5, 10%, *N*19 7.5, 10% และ *NC*18 7.5% สูงกว่าในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ไฟโคไซยานิน มีค่าสูงสุดใน *S* 5%, *NC*18 10% สูงกว่าในอาหารเคลือบสาหร่ายอื่นๆ ทุกชนิดและสูงกว่าชุดควบคุม แต่ใน *N*19 10% และ *NC* 7.5% สูงกว่าในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตาราง12)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุในหนังปลาทองที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เคลือบด้วยสาหร่าย พบว่า แคโรทีนอยด์ มีค่าสูงที่สุดในอาหารปลาเคลือบสาหร่ายเกือบทุกชนิดมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม ยกเว้นใน *N*19 7.5 และ 10% และในอาหารปลาเคลือบสาหร่ายเกือบทุกชนิดมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ *S* 5% ยกเว้นใน *N*12 10% ที่มีค่าสูงกว่า และ *N*19 5% ที่มีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ไฟโคเออริธริน มีค่าสูงที่สุดในอาหารปลาเคลือบสาหร่ายเกือบทุกชนิดมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม แต่มีค่าน้อยกว่า *S* 5% ยกเว้นใน *N*19 7.5, 10% และ *NC*18 10% ที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 18) ค่าไฟโคไซยานิน ในทุกชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 12)

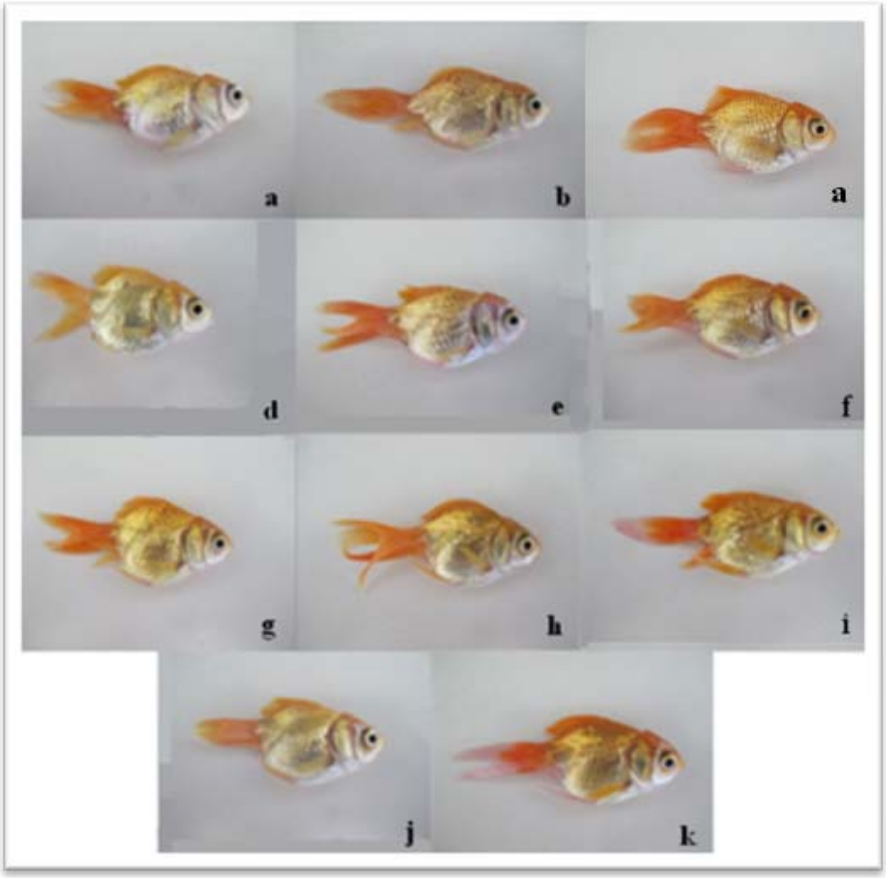
ตาราง 12 ปริมาณรงควัตถุในเนื้อและหนังของปลาทองที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เคลือบแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นต่างกันเมื่อเลี้ยงในอาหาร BG–11 ผสม sodium alginate 0.5% (Mean±SE)

อาหารเม็ดสำเร็จรูป เคลือบสาหร่าย	ปริมาณรงควัตถุในเนื้อปลาทอง			ปริมาณรงควัตถุในหนังปลาทอง		
	Carotenoid (µg/g dryweight)	Phycoerythrin (µg/l)	Phycocyanin (µg/l)	Carotenoid (µg/g dryweight)	Phycoerythrin (µg/l)	Phycocyanin (µg/l)
ชุดควบคุม	0.30±0.30^{a}	331.95±66.39^{a}	324.20±46.32^{a}	16.50±1.50^{ab}	464.73±119.68^{a}	416.84±0.00
อาหารปลาเคลือบ *N*12 5%	0.80±0.20^{a}	464.73±33.20^{ab}	416.84±80.22^{ab}	18.60±3.20^{cd}	763.49±119.69^{bc}	694.74±80.22
อาหารปลาเคลือบ *N*12 7.5%	1.00±0.30^{a}	730.29±119.69^{bc}	509.47±46.32^{ab}	20.40±1.20^{cd}	929.46±66.39^{bc}	833.69±138.95
อาหารปลาเคลือบ *N*12 10%	1.40±0.30^{ab}	796.68±199.17^{bc}	555.78±138.95^{ab}	21.50±2.40^{d}	833.69±138.95^{bc}	1204.21±92.63
อาหารปลาเคลือบ *N*19 5%	0.70±0.20^{a}	630.70±201.92^{ab}	463.15±122.54^{ab}	11.40±2.70^{a}	866.88±54.08^{bc}	602.11±46.32
อาหารปลาเคลือบ *N*19 7.5%	0.80±0.20^{a}	795.68±114.99^{bc}	602.10±122.54^{ab}	12.00±0.70^{ab}	1029.04±66.39^{cd}	787.37±167.00
อาหารปลาเคลือบ *N*19 10%	1.10±0.10^{a}	829.87±33.19^{bc}	787.36±122.54^{bc}	17.80±1.40^{bc}	1128.63±66.39^{e}	1157.90±245.08
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 5%	1.50±0.50^{ab}	564.31±33.20^{ab}	463.16±166.99^{ab}	17.80±1.60^{bc}	730.29±66.39^{b}	648.42±303.72
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 7.5%	2.90±0.50^{b}	962.65±87.82^{cd}	787.36±122.54^{bc}	19.20±0.60^{cd}	896.26±57.50^{bc}	787.37±201.89
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 10%	9.50±0.40^{c}	1128.62±33.19^{e}	972.63±240.66^{cd}	20.50±2.20^{cd}	1062.23±33.20^{de}	1065.26±122.54
อาหารปลาเคลือบ *S* 5%	21.30±1.30^{d}	1095.42±152.12^{de}	1018.95±166.99^{d}	14.60±2.20^{bc}	1111.58±80.22^{de}	1095.43±199.17

หมายเหตุ: พยัญชนะยกกำลังพิมพ์เล็ก แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในสาหร่ายแต่ละชนิดของอาหารเคลือบสาหร่าย (แนวตั้ง)

ค่าสีของปลาทอง

จากผลการทดลองวิเคราะห์ค่าสีของปลาทองที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เคลือบด้วยสาหร่ายแต่ละชนิด พบว่า ค่าของสีแดง (A) มีค่าสูงสุดใน *S* 5% สูงกว่าอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เคลือบด้วยสาหร่ายชนิดอื่นๆ และชุดควบคุม และค่าสีแดงในอาหารเคลือบสาหร่ายเกือบทุกชนิดมีค่าสูงกว่าในชุดควบคุมยกเว้นใน *N*19 5% และ *NC*18 5% มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ค่าของสีเหลือง (B) และ ค่าความสว่าง (L) ในทุกชุดการทดลอง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) (ตาราง 13 ภาพ 8)



ภาพ 8 สีของปลาทองที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เคลือบด้วยสาหร่ายแต่ละชุดการทดลอง;
สีของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเคลือบ *N*12 (a-c); a) 5%, b) 7.5%, c) 10%
สีของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเคลือบ *N*19 (d-f); d) 5%, e) 7.5%, f) 10 %
สีของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเคลือบ *NC*18 (g-i); g) 5%, h) 7.5%, I) 10%
สีของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาเคลือบ; j)ไข่ขาว (ชุดควบคุม), k) *S* 5%

ตาราง 13 ค่าสีของปลาทองที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เคลือบด้วยสาหร่ายแต่ละชนิด (Mean±SE)

อาหารเม็ดสำเร็จรูป เคลือบสาหร่าย	ระดับความแตกต่างของสี		
	สีแดง (A)	สีเหลือง (B)	ความสว่าง (L)
อาหารปลาเคลือบไข่ขาว (ชุดควบคุม)	4.6±0.5[a]	31.7±0.6	70.4±1.0
อาหารปลาเคลือบ *N*12 5%	8.7±0.7[b]	39.8±1.1	70.8±0.1
อาหารปลาเคลือบ *N*12 7.5%	9.5±1.6[b]	39.3±3.3	71.1±0.9
อาหารปลาเคลือบ *N*12 10%	10.2±1.1[b]	42.9±1.5	70.2±0.8
อาหารปลาเคลือบ *N*19 5%	7.1±0.8[ab]	38.7±0.2	70.6±0.3
อาหารปลาเคลือบ *N*19 7.5%	8.6±1.7[b]	43.0±1.1	71.7±1.4
อาหารปลาเคลือบ *N*19 10%	9.3±1.3[b]	45.0±3.3	71.2±0.3
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 5%	7.6±0.2[ab]	39.1±3.5	70.5±0.2
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 7.5%	10.0±1.2[b]	40.8±4.2	69.7±1.3
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 10%	9.3±0.6[b]	40.4±3.2	72.2±0.9
อาหารปลาเคลือบ *S* 5%	14.3±1.8[c]	42.4±3.9	71.5±1.4

หมายเหตุ: พยัญชนะยกกำลังพิมพ์เล็ก แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในสาหร่ายแต่ละชนิดของอาหารเคลือบสาหร่าย (แนวตั้ง)

ภูมิคุ้มกันเบื้องต้น

จากการวิเคราะห์ค่าภูมิคุ้มกันของปลาทองที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เคลือบด้วยสาหร่ายแต่ละชนิด พบว่า กิจกรรม Lysozyme activity ในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

กิจกรรมการจับกินสิ่งแปลกปลอมของเซลล์เม็ดเลือดขาว (Phagocytic activity) ในปลาทองที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เคลือบด้วยสาหร่ายทุกชนิดมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม และในปลาทองที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เคลือบด้วยสาหร่าย *S* 5% มีค่าสูงกว่าในอาหารเคลือบ

สาหร่ายเกือบทุกชนิดยกเว้นใน *N*12 7.5, 10% และ *NC*18 10% มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตาราง14)

ตาราง 14 ค่าภูมิคุ้มกันของปลาทองที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เคลือบด้วยสาหร่ายแต่ละชนิด (Mean±SE)

อาหารเม็ดสำเร็จรูป เคลือบสาหร่าย	ค่ากิจกรรมการทำงาน	
	Lysozyme activity (× 10^3 **unit/ml serum)**	**Phagocytic activity (ug/ml)**
อาหารปลาเคลือบไข่ขาว(ชุดควบคุม)	38.33±26.10	30.93±0.32^{a}
อาหารปลาเคลือบ *N*12 5%	21.83±14.21	33.74±0.23^{cd}
อาหารปลาเคลือบ *N*12 7.5%	56.17±15.88	34.81±0.48^{e}
อาหารปลาเคลือบ *N*12 10%	195.00±18.38	34.29±76de
อาหารปลาเคลือบ *N*19 5%	4.33±12.55	32.79±0.28^{bc}
อาหารปลาเคลือบ *N*19 7.5%	27.33±13.57	33.28±0.30^{bc}
อาหารปลาเคลือบ *N*19 10%	68.33±23.57	32.57±0.37^{bc}
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 5%	-1.23±8.65	32.87±0.12^{bc}
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 7.5%	4.00±27.40	32.24±0.52^{b}
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 10%	63.50±26.02	34.82±0.34^{e}
อาหารปลาเคลือบ *S* 5%	73.50±12.00	34.32±0.36^{de}

หมายเหตุ: พยัญชนะยกกำลังพิมพ์เล็ก แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในสาหร่ายแต่ละชนิดของอาหารเคลือบสาหร่าย (แนวตั้ง)

ผลจากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณเม็ดเลือดขาวของปลาทองที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เคลือบด้วยสาหร่ายแต่ละชนิด พบว่า ปริมาณ monocyte, lymphocyte, basophil, eosinophil, neutrophil, และปริมาณเม็ดเลือดขาวทั้งหมด ในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) (ตาราง 15)

ตาราง 15 ค่าเม็ดเลือดขาวของปลาทองที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่เคลือบด้วยสาหร่ายแต่ละชนิด (Mean±SE)

อาหารเม็ดสำเร็จรูป เคลือบสาหร่าย	ชนิดของเม็ดเลือดขาว					
	Monocyte (%)	**Lymphocyte (%)**	**Basophil (%)**	**Eosinophil (%)**	**Neutrophil (%)**	**Total white blood cells**
อาหารปลาเคลือบไข่ขาว (ชุดควบคุม)	6.82±0.91	-	0.22±0.22	0.20±0.20	-	7.25±0.80
อาหารปลาเคลือบ *N*12 5%	8.60±1.51	0.09±0.09	-	0.22±0.11	-	8.91±1.40
อาหารปลาเคลือบ *N*12 7.5%	4.96±0.36	-	-	0.09±0.09	-	5.05±0.31
อาหารปลาเคลือบ *N*12 10%	6.60±0.31	-	-	0.18±0.18	-	6.78±0.14
อาหารปลาเคลือบ *N*19 5%	8.18±1.56	0.60±0.60	-	0.11±0.11	-	8.89±2.20
อาหารปลาเคลือบ *N*19 7.5%	6.71±2.39	-	-	0.07±0.07	-	6.78±2.34
อาหารปลาเคลือบ *N*19 10%	7.82±1.76	0.22±0.22	-	-	-	8.04±1.98
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 5%	7.07±0.97	0.18±0.18	-	0.16±0.16	0.11±0.11	7.51±1.27
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 7.5%	5.98±1.05	0.11±0.11	0.22±0.22	0.35±0.10	0.40±0.20	7.06±1.03
อาหารปลาเคลือบ *NC*18 10%	6.07±2.39	0.07±0.07	-	-	0.29±0.29	6.42±2.36
อาหารปลาเคลือบ *S* 5%	5.36±0.85	-	-	-	-	5.36±0.85

หมายเหตุ: พยัญชนะยกกำลังพิมพ์เล็ก แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในสาหร่ายแต่ละชนิดของอาหารเคลือบสาหร่าย (แนวตั้ง)

ต้นทุนการผลิต

เมื่อคำนวณต้นทุนการผลิตแล้ว พบว่า สาหร่าย *N*12 มีต้นทุนการผลิตต่อสาหร่ายแห้ง 1 กรัม น้อยที่สุด และ *NC*18 มีต้นทุนการผลิต ต่อสาหร่ายแห้ง 1 กรัม มากที่สุด เป็นสองเท่าของ *N*12 ทำให้ต้นทุนการผลิตอาหารเคลือบสาหร่ายทั้งสามไอโซเลทในการทดลองนี้ มีค่าสูงกว่าชุดควบคุม 4.74-14.35 เท่า และสูงกว่าชุดอาหารเคลือบสาหร่าย *Spirulina* 5% 4.12-12.48 เท่า (ตาราง 16)

ตาราง 16 ต้นทุนการผลิตสาหร่ายและอาหารเคลือบสาหร่าย

รายการ	ปริมาณ	ต้นทุน
อาหาร BG-11 สูตรปรับปรุงที่ผสม sodium alginate 0.5 %	1000 ml	13.72 บาท
Nostoc sp. FT 1012 แห้ง	1 g	7.58 บาท
Nostoc sp. FT 1019 แห้ง	1 g	7.89 บาท
Nostochopsis sp. FT 1018 แห้ง	1 g	13.45 บาท
อาหารปลา	1000 g	100.00 บาท

หมายเหตุ: คิดเฉพาะค่าอาหาร BG-11 ต่อปริมาณสาหร่ายแห้ง