

บทที่ 4

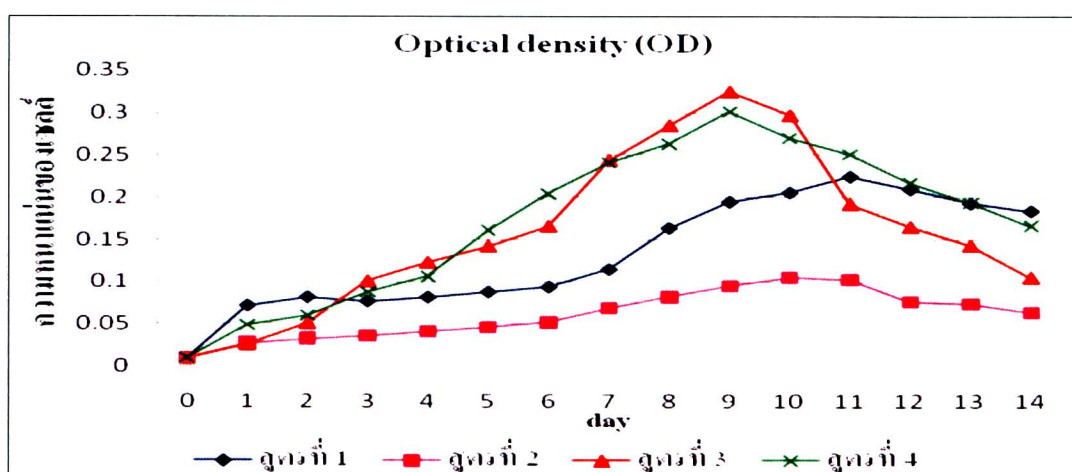
ผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ในห้องปฏิบัติการ

การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ในห้องปฏิบัติการ โดยทำการทดลองในภาชนะโหลแก้วขนาด 10 ลิตร เป็นระยะเวลา 15 วัน ณ ห้องปฏิบัติการ คณะเทคโนโลยี-การประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

1 ผลของการวัดค่าการเจริญเติบโต

1.1 การวัดความหนาแน่นของเซลล์ (OD, optical density) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดความหนาแน่นของเซลล์ทุกๆ วัน เป็นเวลา 15 วัน โดยความหนาแน่นของเซลล์เริ่มต้นวันที่ 0 เท่ากับ 0.01 ± 0.00 พบว่าในอาหารสูตรที่ 3 มีความหนาแน่นของเซลล์สูงที่สุดในวันที่ 9 เท่ากับ 0.325 ± 0.03 และรองลงมาในสูตรอาหารที่ 4, สูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 2 มีความหนาแน่นของเซลล์เท่ากับ 0.301 ± 0.05 , 0.195 ± 0.03 และ 0.095 ± 0.02 ตามลำดับ ในสูตรอาหารที่ 3 และ 4 จะมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) กับสูตรอาหารที่ 1 และ 2 ความหนาแน่นของเซลล์สูงสุดอยู่ในช่วงวันที่ 8 - 10 (ภาพ 13)

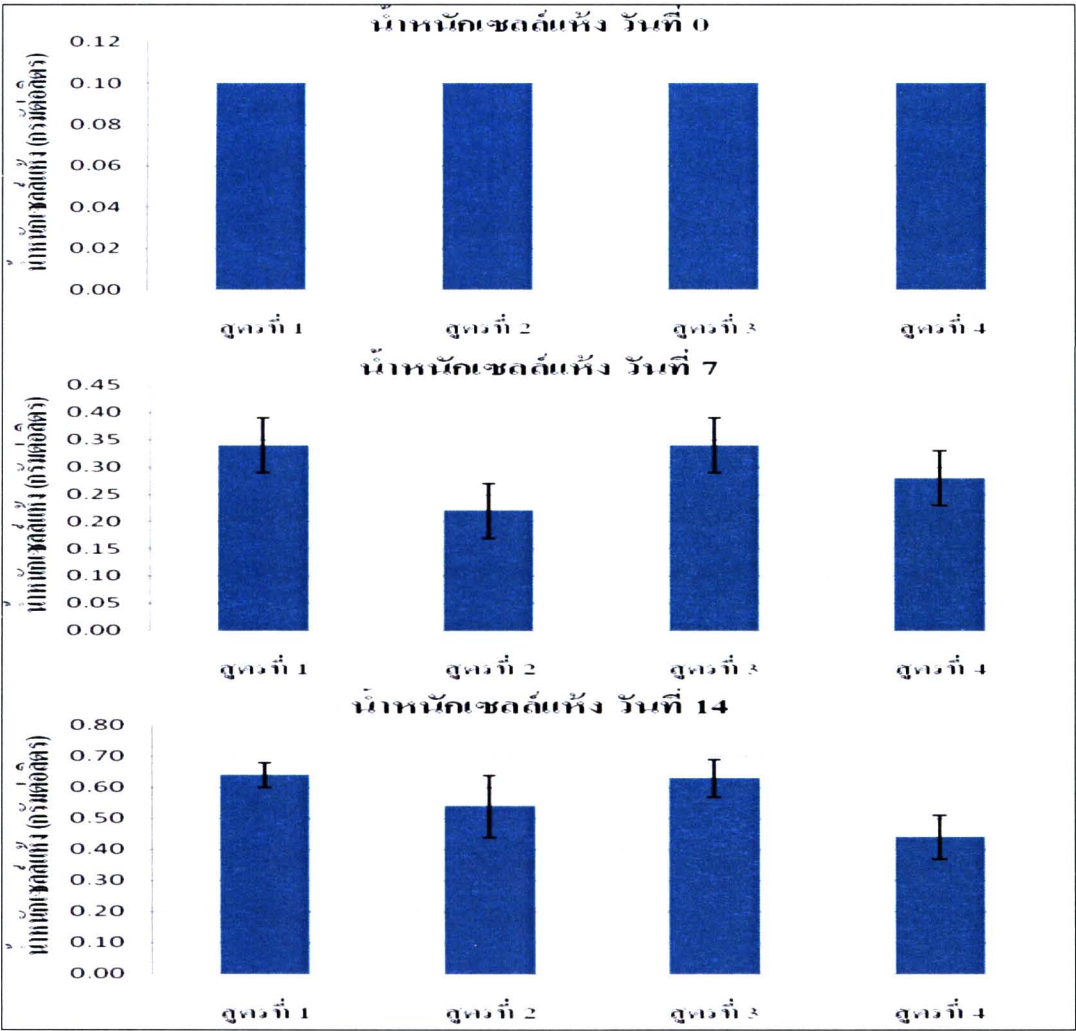


ภาพ 13 ความหนาแน่นของเซลล์ (optical density) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ตลอดระยะเวลา 15 วัน

1.2 การหาน้ำหนักเซลล์แห้ง (cell dry weight) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) ในวันที่ 0 สูตรอาหารทั้ง 4 สูตร มีน้ำหนักเซลล์แห้งเริ่มต้น เท่ากับ 0.10 ± 0.00 กรัมต่อลิตร

ในวันที่ 7 สูตรอาหารทั้ง 4 สูตร มีน้ำหนักเซลล์แห้ง พบสูงในสูตรอาหารที่ 1 กับ 3 เท่ากับ 0.34 ± 0.11 กรัมต่อลิตร และ 0.34 ± 0.12 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.28 ± 0.13 กรัมต่อลิตร แต่จะมีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 0.22 ± 0.03 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$)

ในวันที่ 14 น้ำหนักเซลล์แห้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 3 มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 0.65 ± 0.06 กรัมต่อลิตร และ 0.64 ± 0.04 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 0.54 ± 0.10 กรัมต่อลิตร แต่จะมีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.44 ± 0.07 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ภาพ 14)



ภาพ 14 น้ำหนักเซลล์แห้ง (cell dry weight) ตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (กรัมต่อลิตร)

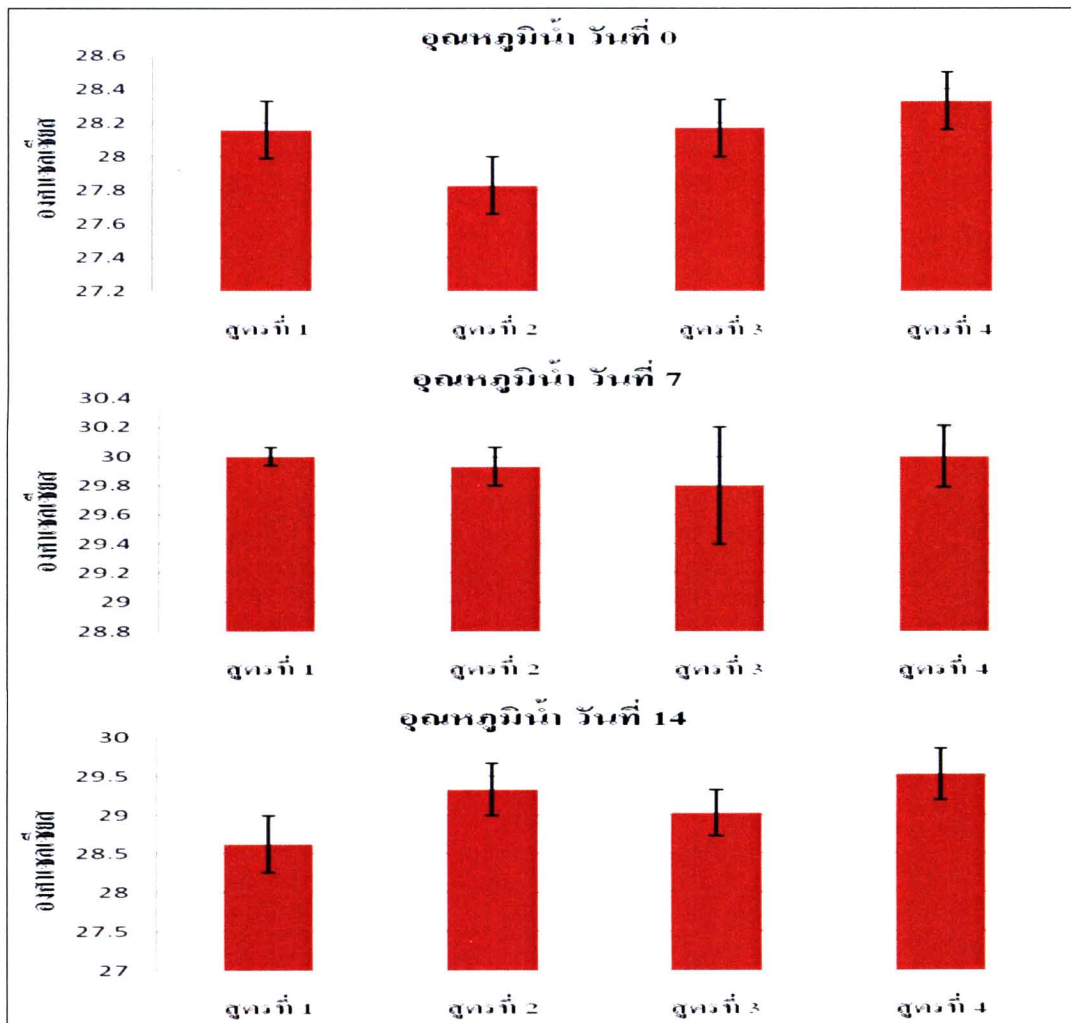
2 ผลของคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี

โดยทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ด้านกายภาพ และเคมี ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ, อุณหภูมิอากาศ, DO, pH, NH₃-N, NO₃-N และ PO₄-P โดยทำการตรวจวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14)

2.1 อุณหภูมิของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) โดยอุณหภูมิใน วันที่ 0 มีอุณหภูมิ พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 4 เท่ากับ 28.33 ± 0.17 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 3 และสูตรอาหารที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 28.17 ± 0.17 องศาเซลเซียส และ 28.16 ± 0.17 องศาเซลเซียส แต่จะมีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 27.83 ± 0.17 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$)

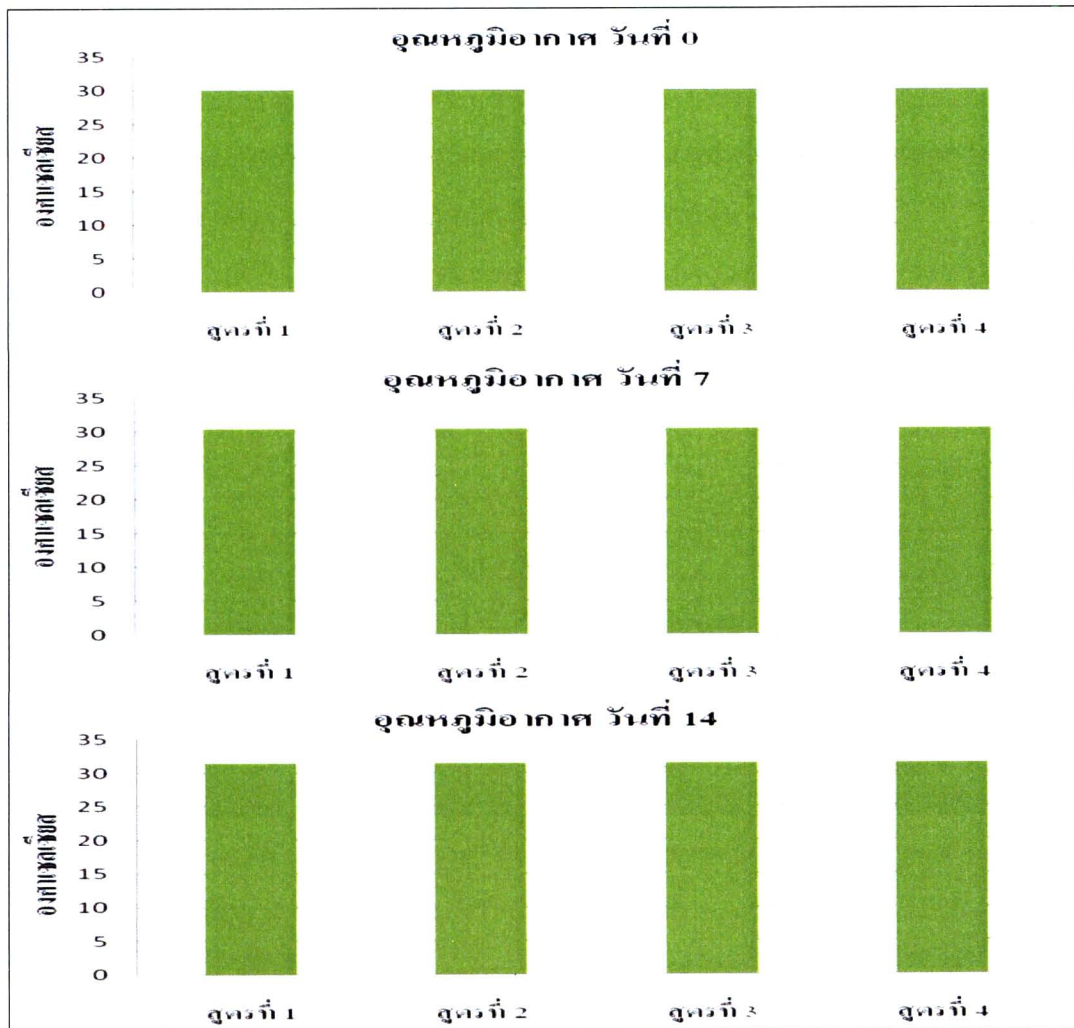
ในวันที่ 7 มีอุณหภูมิ พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 4 เท่ากับ 30.00 ± 0.06 องศาเซลเซียส และ 30.00 ± 0.21 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 2 และสูตรอาหารที่ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 29.93 ± 0.13 องศาเซลเซียส และ 29.80 ± 0.40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ในวันที่ 14 มีอุณหภูมิ พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 4 เท่ากับ 29.53 ± 0.33 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 2 และสูตรอาหารที่ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 29.33 ± 0.34 องศาเซลเซียส และ 29.03 ± 0.30 องศาเซลเซียส แต่จะมีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 28.63 ± 0.37 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ภาพ 15)



ภาพ 15 อุณหภูมิน้ำตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (องศาเซลเซียส)

2.2 อุณหภูมิอากาศของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) โดยอุณหภูมิอากาศในวันที่ 0 มีอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 30 ± 0.00 องศาเซลเซียส ในวันที่ 7 มีอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 30.5 ± 0.00 องศาเซลเซียส และวันที่ 14 มีอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 31.5 ± 0.00 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ตามลำดับ (ภาพ 16)

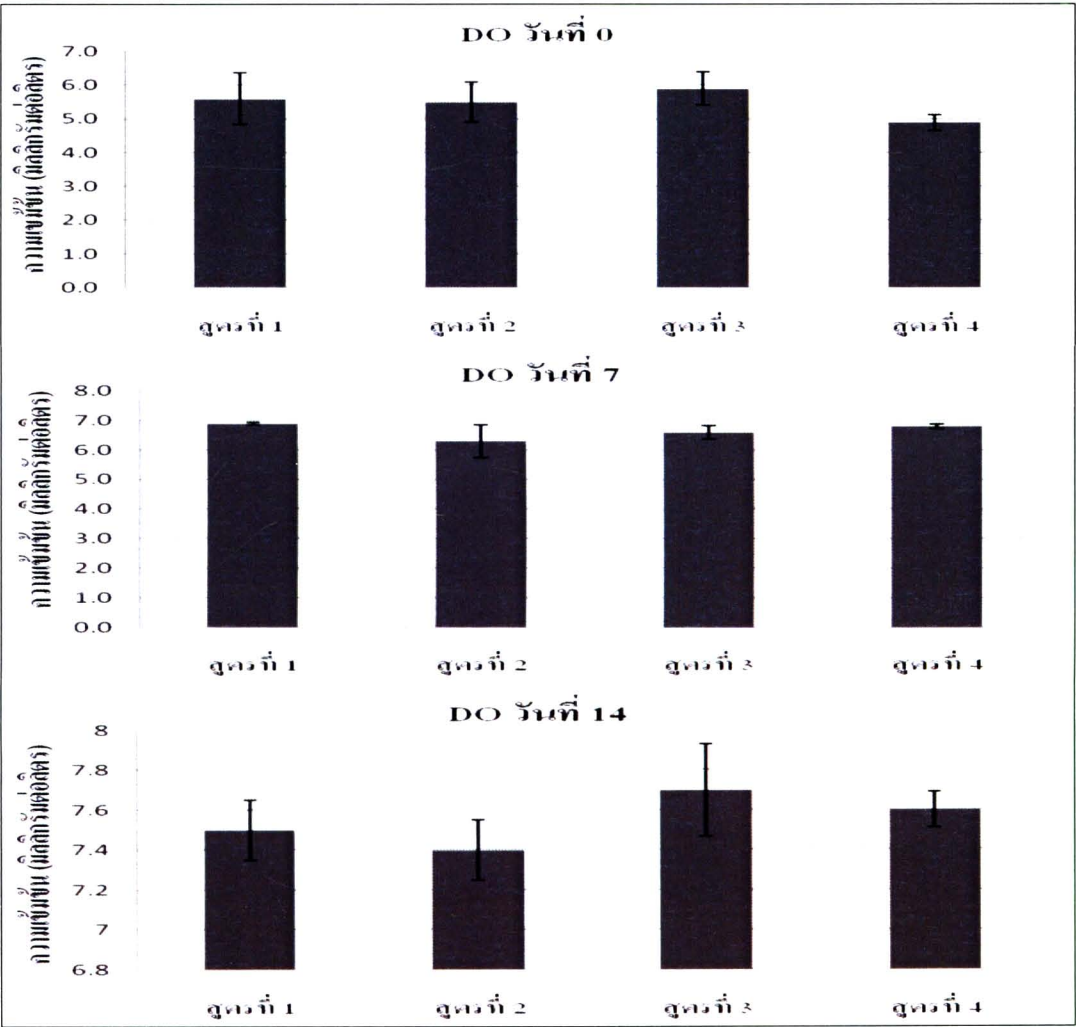


ภาพ 16 อุณหภูมิอากาศตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (องศาเซลเซียส)

2.3 ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) โดยออกซิเจนที่ละลายน้ำ ในวันที่ 0 มีออกซิเจนที่ละลายน้ำ พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 5.9 ± 0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 5.6 ± 0.76 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 5.5 ± 0.59 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่จะมีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 4.9 ± 0.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$)

ในวันที่ 7 มีออกซิเจนที่ละลายน้ำ พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 1 เท่ากับ 6.9 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4, สูตรอาหารที่ 3 และสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 6.8 ± 0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร, 6.6 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 6.3 ± 0.55 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

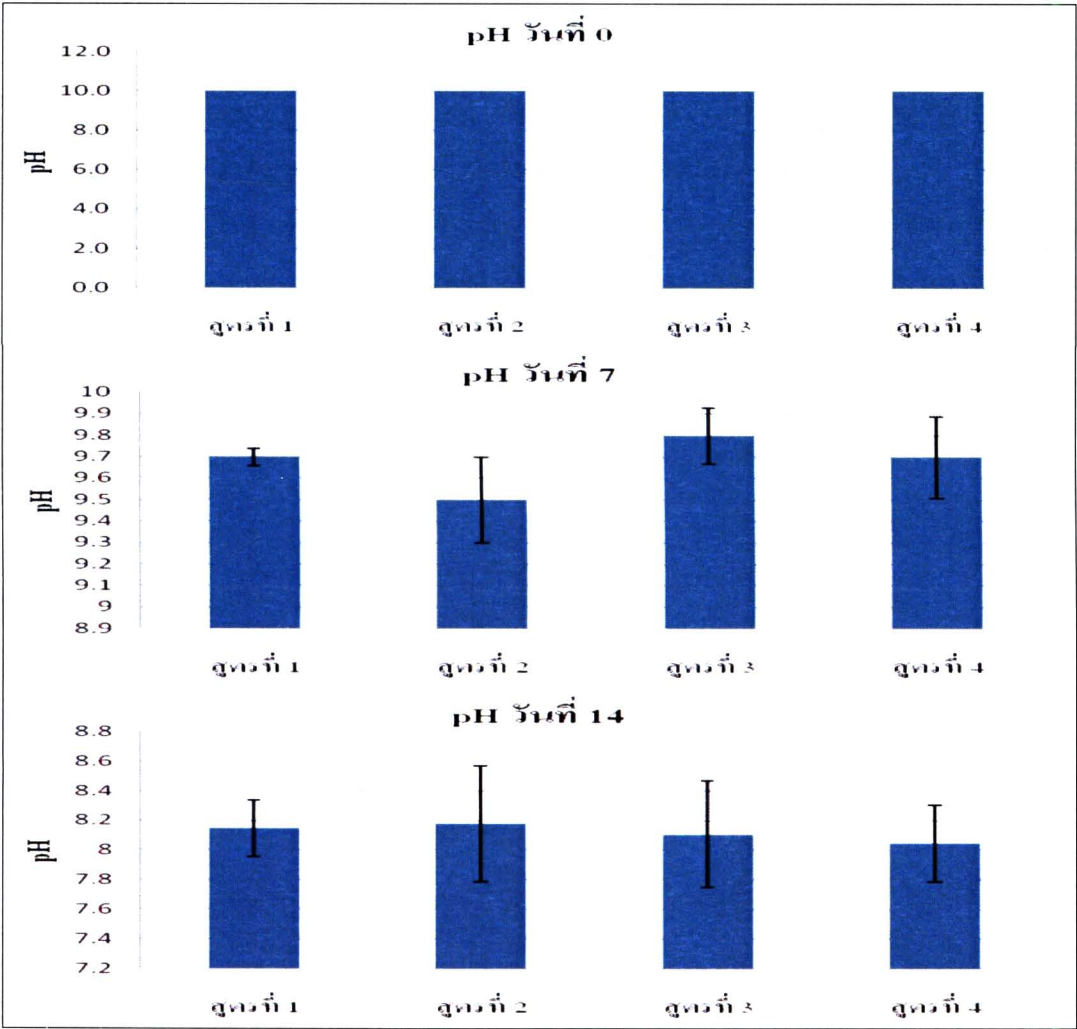
ในวันที่ 14 มีออกซิเจนที่ละลายน้ำ พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 7.7 ± 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4, สูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 7.6 ± 0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร, 7.5 ± 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 7.4 ± 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพ 17)



ภาพ 17 ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

2.4 pH ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) โดย pH ในวันที่ 0 สูตรอาหารทั้ง 4 สูตร มี pH เริ่มต้นวันที่ 0 เท่ากับ 10 ± 0.00 ในวันที่ 7 มี pH พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 9.8 ± 0.19 เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1, สูตรอาหารที่ 4 และสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 9.7 ± 0.04 , 9.7 ± 0.13 และ 9.5 ± 0.20 ตามลำดับ

ในวันที่ 14 มี pH พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 2 เท่ากับ 8.18 ± 0.39 เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1, สูตรอาหารที่ 3 และสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 8.15 ± 0.19 , 8.11 ± 0.26 และ 8.05 ± 0.36 ตามลำดับ (ภาพ 18)

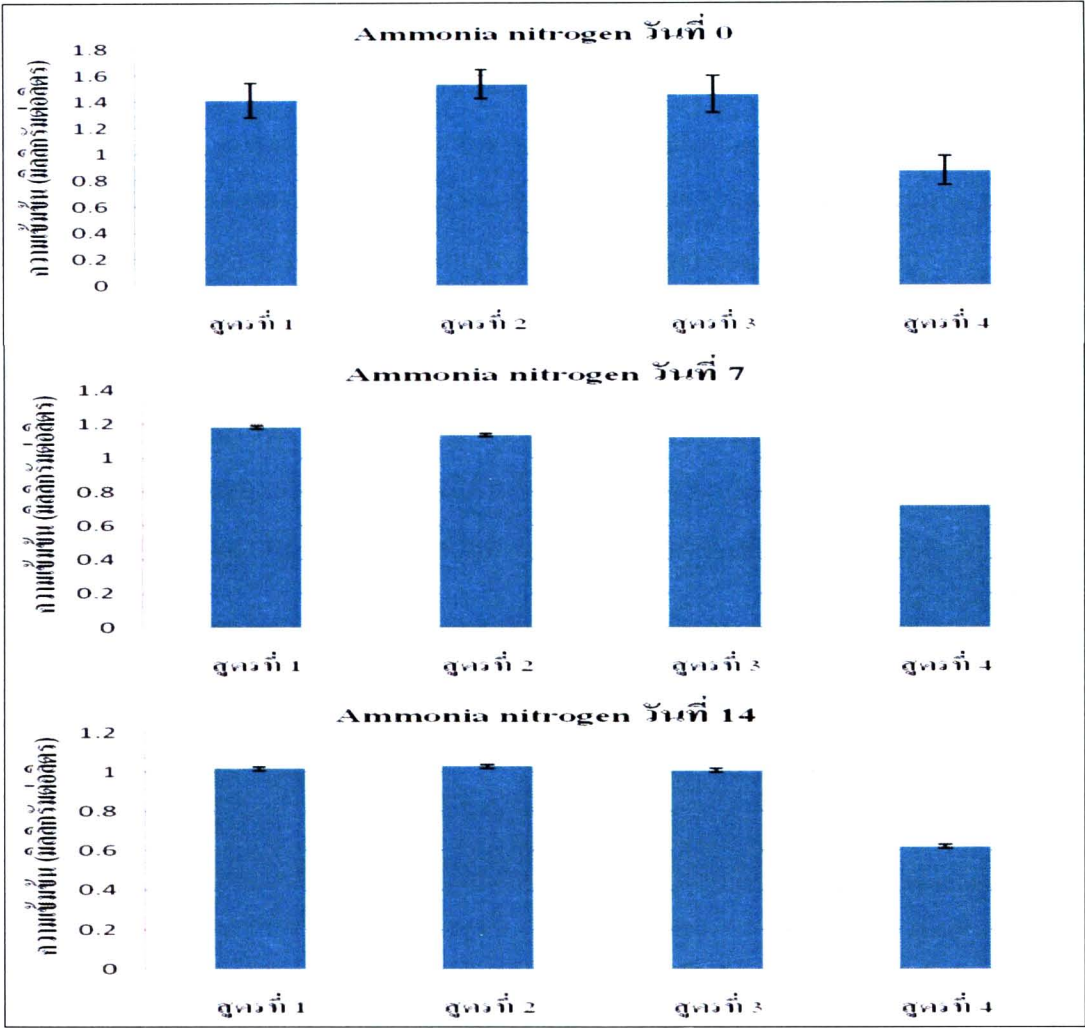


ภาพ 18 pH ตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน

2.5 Ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) ในสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) ในวันที่ 0 มีความเข้มข้นของ ammonia nitrogen พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 2 เท่ากับ 1.535 ± 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 3 และสูตรอาหารที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 1.458 ± 0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1.413 ± 0.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่จะมีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.873 ± 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$)

ในวันที่ 7 มีความเข้มข้นของ Ammonia nitrogen พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 1 เท่ากับ 1.181 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติจากสูตรอาหารที่ 2, สูตรอาหารที่ 3 และสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 1.137 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร, 1.125 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.723 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$)

ในวันที่ 14 มีความเข้มข้นของ Ammonia nitrogen พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 2 เท่ากับ 1.032 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 1.019 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1.010 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.622 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ภาพ 19)

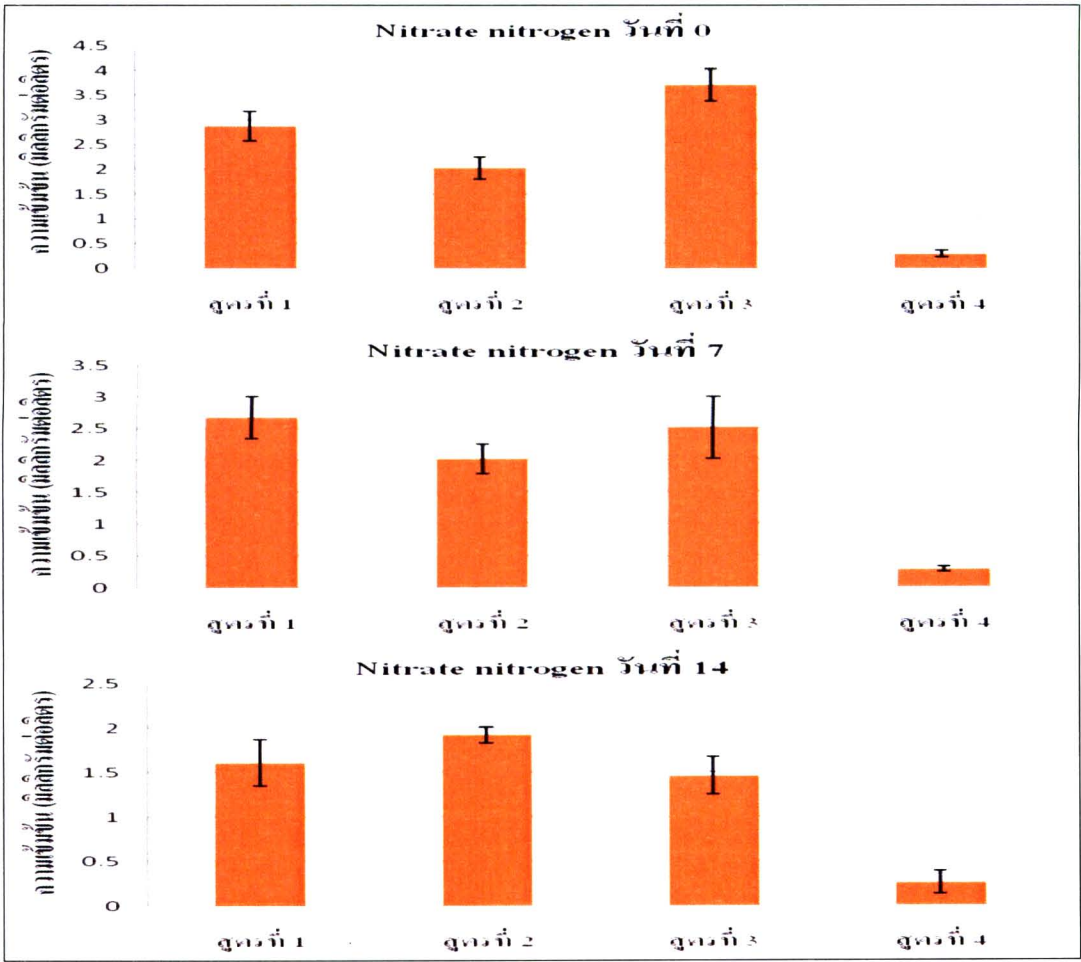


ภาพ 19 ความเข้มข้นของ Ammonia nitrogen (NH₃-N) ตลอดการทดลองของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

2.6 Nitrate nitrogen (NO₃-N) ในสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่ เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) ในวันที่ 0 ความเข้มข้นของ nitrate nitrogen พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 3.710±0.33 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1, สูตรอาหารที่ 2 และสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 2.879±0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร, 2.032±0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.298±0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น (p<0.05)

ในวันที่ 7 มีความเข้มข้นของ Nitrate nitrogen พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 1 เท่ากับ 2.677 ± 0.34 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 2.513 ± 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 2 และสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 2.017 ± 0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.273 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$)

ในวันที่ 14 มีความเข้มข้นของ Nitrate nitrogen พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 2 เท่ากับ 1.920 ± 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 1.613 ± 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 3 และสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 1.459 ± 0.21 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.257 ± 0.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ภาพ 20)

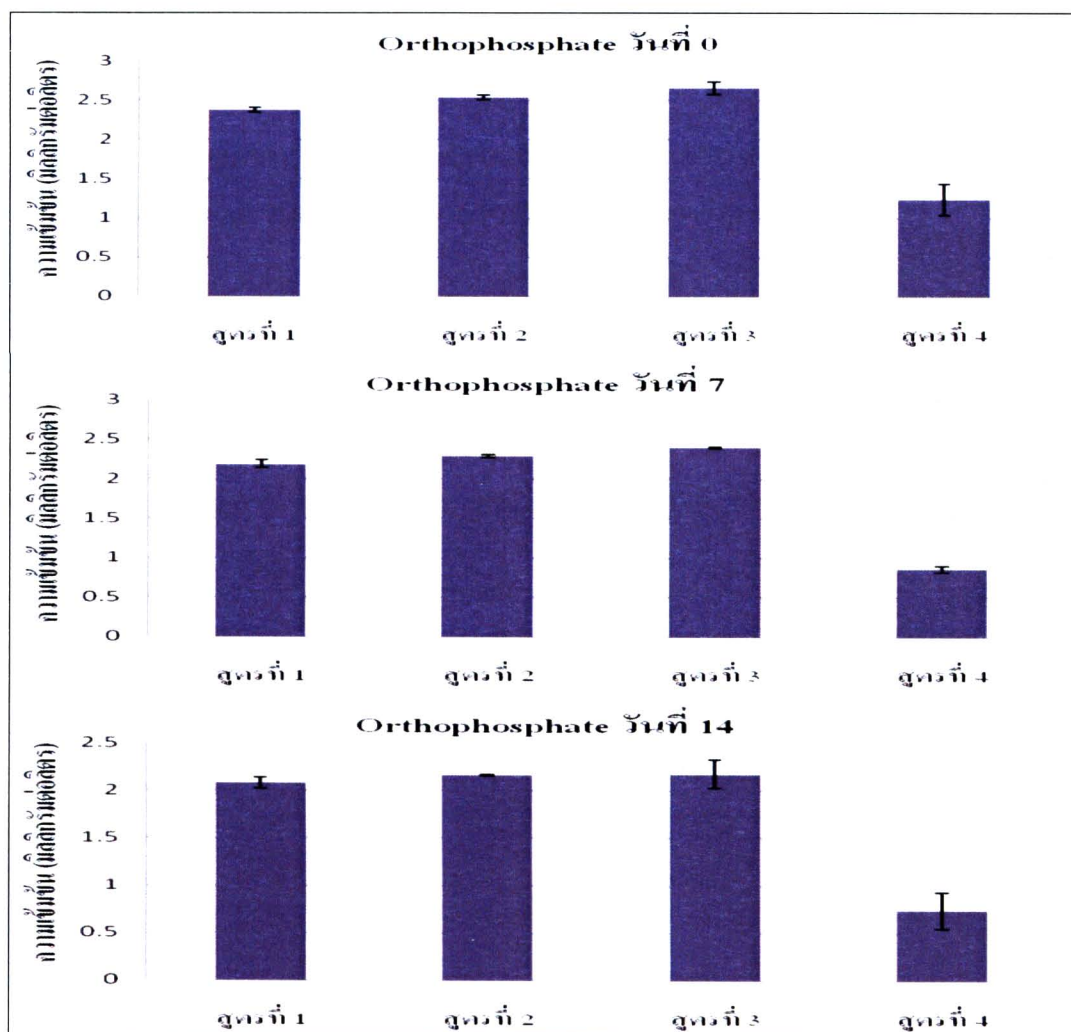


ภาพ 20 ความเข้มข้นของ Nitrate nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) ตลอดการทดลองของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

2.7 Orthophosphate ($\text{PO}_4\text{-P}$) ในสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่ เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) ในวันที่ 0 มีความเข้มข้นของ orthophosphate พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 2.662 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 2.541 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 2.381 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1.243 ± 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$)

ในวันที่ 7 มีความเข้มข้น Orthophosphate พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 2.403 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 2, สูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 2.292 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร, 2.190 ± 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.868 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$)

ในวันที่ 14 มีความเข้มข้น Orthophosphate พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 2.179 ± 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 2 และสูตรอาหารที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 2.166 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร, 2.083 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.741 ± 0.19 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพ 21)

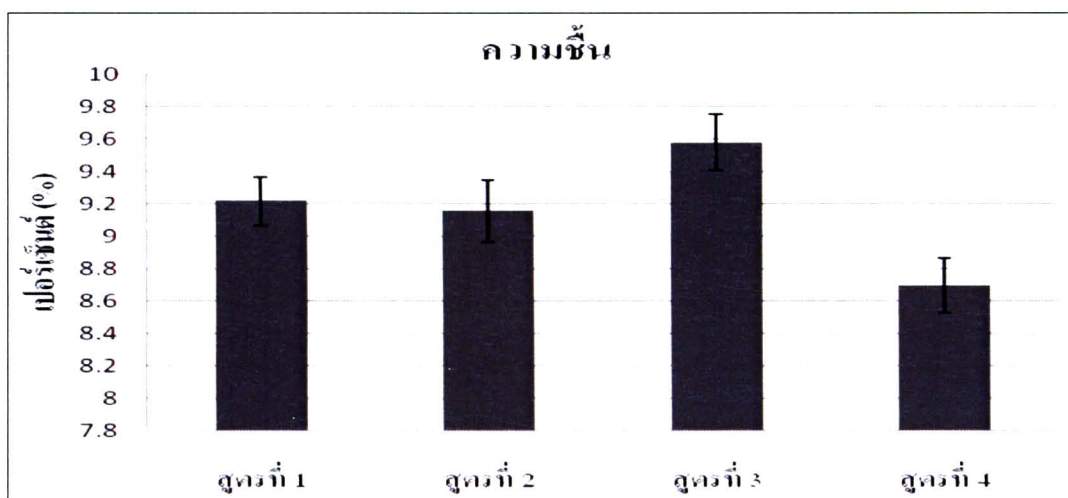


ภาพ 21 ความเข้มข้นของ Orthophosphate ($\text{PO}_4\text{-P}$) ตลอดการทดลองของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

3 ผลของคุณค่าโภชนาการของสาหร่าย *Oscillatoria* sp.

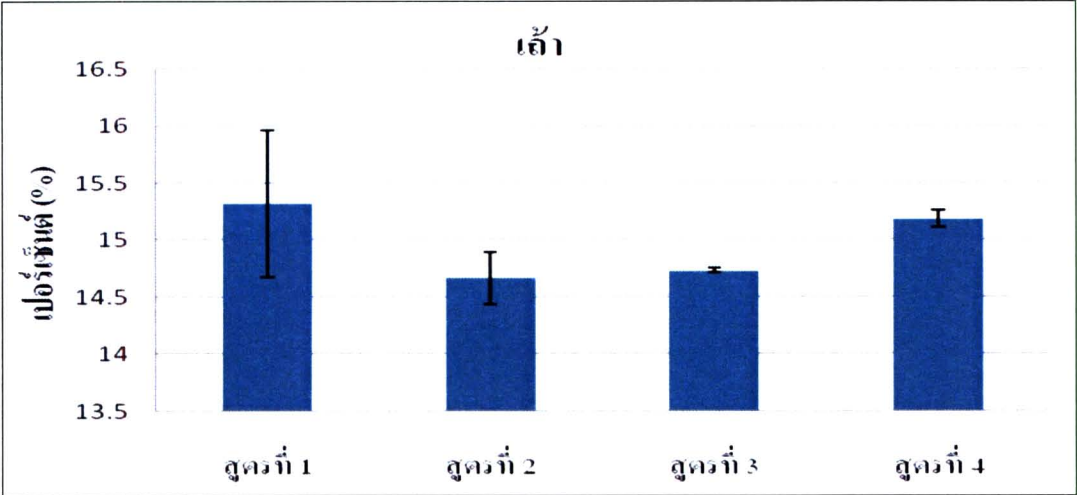
โดยทำการวิเคราะห์คุณค่าโภชนาการ ได้แก่ ความชื้น, เถ้า, โปรตีน, ไขมัน, เยื่อใย, คาร์โบไฮเดรต และกรดไขมัน โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

3.1 ความชื้นของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 มีความชื้น เท่ากับ 9.583 ± 0.17 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1, สูตรอาหารที่ 2 และสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 9.220 ± 0.13 , 9.160 ± 0.71 และ 8.698 ± 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ภาพ 22)



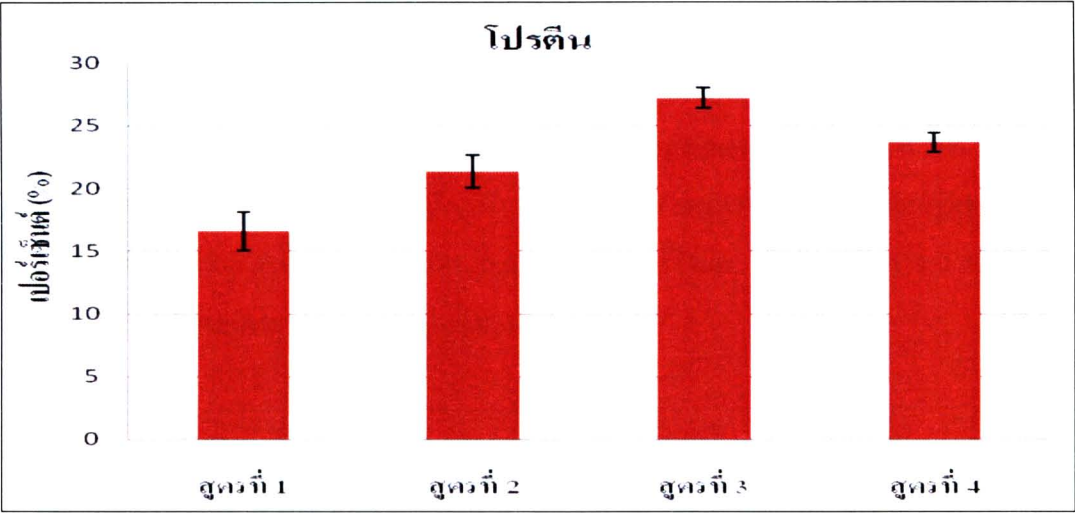
ภาพ 22 ปริมาณความชื้น หลังสิ้นสุดการทดลองของสาหร่าย *Oscillatoria* sp.ระยะเวลา 15 วัน (เปอร์เซ็นต์)

3.2 เถ้าของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์เถ้า เท่ากับ 15.319 ± 0.64 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4, สูตรอาหารที่ 3 และสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 15.185 ± 0.07 , 14.732 ± 0.02 และ 14.666 ± 0.23 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ภาพ 23)



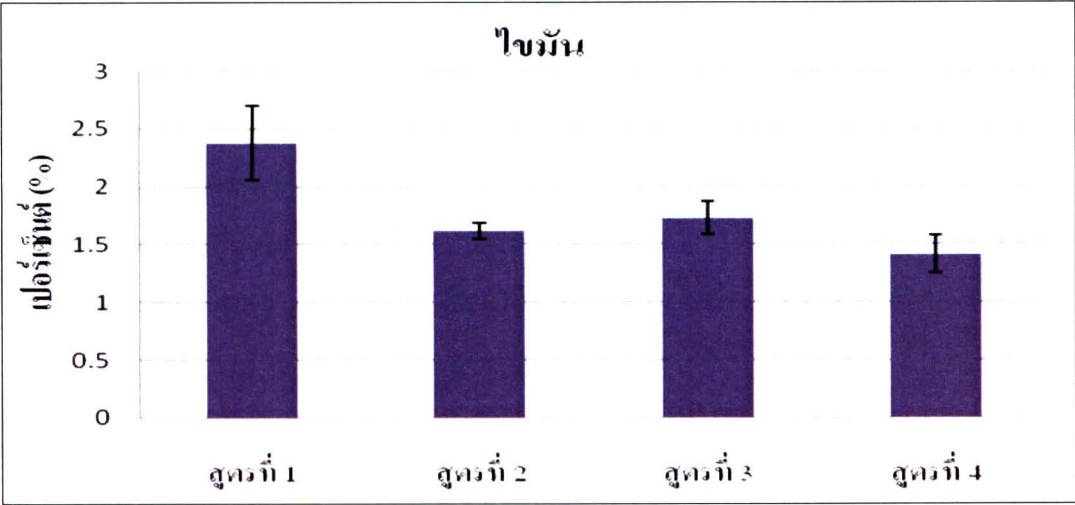
ภาพ 23 ปริมาณความเ้า หลังสิ้นสุดการทดลองของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (เปอร์เซ็นต์)

3.3 โปรตีนของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 มีเปอร์เซ็นต์โปรตีน เท่ากับ 27.190 ± 0.82 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งเมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4, สูตรอาหารที่ 2 และสูตรอาหารที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 23.692 ± 0.77 , 21.338 ± 1.31 และ 16.566 ± 1.56 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ภาพ 24)



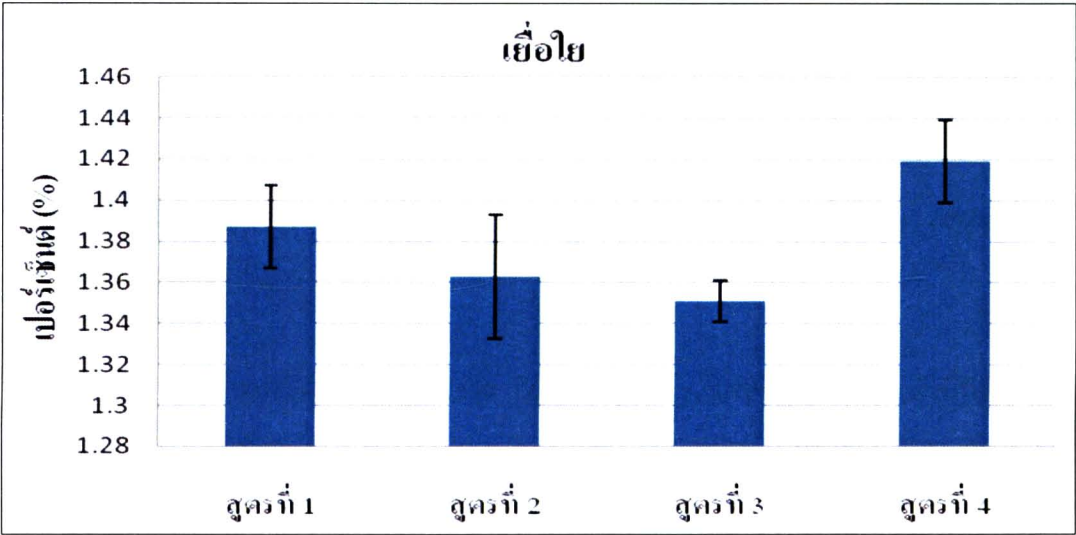
ภาพ 24 ปริมาณโปรตีน หลังสิ้นสุดการทดลองของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (เปอร์เซ็นต์)

3.4 ไขมันของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์ไขมัน เท่ากับ 2.379 ± 0.32 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 3, สูตรอาหารที่ 2 และสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 1.729 ± 0.14 , 1.616 ± 0.07 และ 1.415 ± 0.16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ภาพ 25)



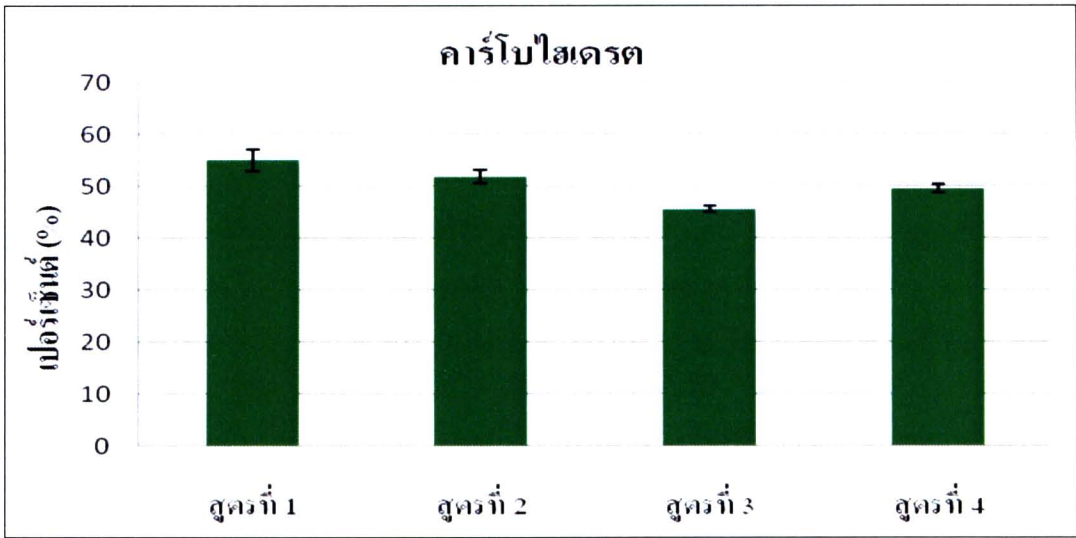
ภาพ 25 ปริมาณไขมัน หลังสิ้นสุดการทดลองของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (เปอร์เซ็นต์)

3.5 เยื่อใยของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 4 มีเปอร์เซ็นต์เยื่อใย เท่ากับ 1.419 ± 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 1.387 ± 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง แต่แตกต่างจากสูตรอาหารที่ 2 และสูตรอาหารที่ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 1.363 ± 0.03 และ 1.351 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ภาพ 26)



ภาพ 26 ปริมาณเยื่อใย หลังสิ้นสุดการทดลองของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (เปอร์เซ็นต์)

3.6 คาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 55.130 ± 2.06 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 51.856 ± 1.24 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง แต่แตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 และสูตรอาหารที่ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 49.591 ± 0.79 และ 45.640 ± 0.64 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ภาพ 27)



ภาพ 27 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตหลังสิ้นสุดการทดลองของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (เปอร์เซ็นต์)

3.7 กรดไขมันของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

3.7.1 กรดไขมันอิ่มตัวรวม (Total saturated fatty acids) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 มีกรดไขมันอิ่มตัวรวมเท่ากับ 1.490 ± 0.09 กรัมต่อ 100 กรัม เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4, สูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 1.043 ± 0.01 , 1.073 ± 0.01 และ 1.000 ± 0.02 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ตาราง 3)

Lauric acid (C12:0) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 มี C12:0 เท่ากับ 0.053 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4, สูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 0.020 ± 0.01 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ตาราง 3)

Myristic acid (C14:0) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 3 มี C14:0 เท่ากับ 0.053 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 และสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 0.050 ± 0.00 และ 0.047 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ (ตาราง 3)



Pentadecanoic acid (C15:0) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าในทุกสูตรอาหารมีค่าเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.017 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม (ตาราง 3)

Palmitic acid (C16:0) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 มี C16:0 เท่ากับ 1.210 ± 0.08 กรัมต่อ 100 กรัม เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1, สูตรอาหารที่ 4 และสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 0.837 ± 0.03 , 0.803 ± 0.00 และ 0.770 ± 0.03 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ตาราง 3)

Heptadecanoic acid (C17:0) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าในทุกสูตรอาหารมีค่าเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.023 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม (ตาราง 3)

Stearic acid (C18:0) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 มี C18:0 เท่ากับ 0.077 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.073 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม ส่วนสูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 2 มีค่าเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.067 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม (ตาราง 3)

Behenic acid (C22:0) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าในทุกสูตรอาหารมีค่าเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.010 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม (ตาราง 3)

Tricosanoic acid (C23:0) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าในทุกสูตรอาหารมีค่าเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.023 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม (ตาราง 3)

Lignoceric acid (C24:0) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าในทุกสูตรอาหารมีค่าเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.023 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม (ตาราง 3)

3.7.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวรวม (Total monounsaturated fatty acids) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวรวมเท่ากับ 1.000 ± 0.01 กรัมต่อ 100 กรัม เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1, สูตรอาหารที่ 4 และสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 0.803 ± 0.00 , 0.800 ± 0.01 และ 0.793 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ตาราง 3)

Palmitoleic acid (C16:1n7) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 มี C16:1n7 เท่ากับ 0.280 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1, สูตรอาหารที่ 2 และสูตรอาหารที่ 4 มีค่าเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.220 ± 0.01 กรัมต่อ 100 กรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ตาราง 3)

Trans-9-Elaidic acid (C18:1n9t) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าในทุกสูตรอาหารมีค่าเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.023 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม (ตาราง 3)

Cis-9-Oleic acid (C18:1n9c) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 มี C18:1n9c เท่ากับ 0.697 ± 0.01 กรัมต่อ 100 กรัม เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1, สูตรอาหารที่ 4 และสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 0.560 ± 0.01 , 0.557 ± 0.01 และ 0.550 ± 0.01 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ตาราง 3)

3.7.3 กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนรวม (Total polyunsaturated fatty acids) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวรวมเท่ากับ 0.607 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1, สูตรอาหารที่ 4 และสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 0.510 ± 0.01 , 0.503 ± 0.01 และ 0.490 ± 0.02 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ตาราง 3)

Cis-9,12-Linoleic acid (C18:2n6) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 มี C18:2n6 เท่ากับ 0.381 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 4 มีค่าเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.317 ± 0.01 กรัมต่อ 100 กรัม ส่วนสูตรอาหารที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.297 ± 0.01 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ตาราง 3)

α -Linolenic acid (C18:3n3) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 มี C18:3n3 เท่ากับ 0.063 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1, สูตรอาหารที่ 2 และสูตรอาหารที่ 4 มีค่าเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.040 ± 0.01 กรัมต่อ 100 กรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ตาราง 3)

Cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid (C18:5n3) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าในทุกสูตรอาหารมีค่าเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.050 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม (ตาราง 3)

Cis-8,11,14-Eicosadienoic acid (C20:3n6) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าในทุกสูตรอาหารมีค่าเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.033 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม (ตาราง 3)

Arachidonic acid (C20:4n6) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 มี C20:4n6 เท่ากับ 0.080 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 2 มีค่าเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.070 ± 0.01 กรัมต่อ 100 กรัม ส่วนสูตรอาหารที่ 4 มีค่าเท่ากับ 0.063 ± 0.00 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ตาราง 3)

ตาราง 3 ผลของกรดไขมัน (fatty acid) ชนิดต่างๆ ที่พบในสาหร่าย *Oscillatoria* sp. เป็นระยะเวลา 15 วัน (กรัมต่อ 100 กรัม)

ชนิดของกรดไขมัน	สูตรอาหาร			
	สูตรอาหารที่ 1	สูตรอาหารที่ 2	สูตรอาหารที่ 3	สูตรอาหารที่ 4
กรดไขมันอิ่มตัวรวม (Total saturated fatty acids)	1.073±0.01 ^b	1.000±0.02 ^b	1.490±0.09 ^a	1.043±0.01 ^b
Lauric acid (C12:0)	0.020±0.01 ^b	0.020±0.01 ^b	0.053±0.00 ^a	0.020±0.01 ^b
Myristic acid (C14:0)	0.053±0.00 ^{ns}	0.047±0.00 ^{ns}	0.053±0.00 ^{ns}	0.050±0.00 ^{ns}
Pentadecanoic acid (C15:0)	0.017±0.00 ^{ns}	0.017±0.00 ^{ns}	0.017±0.00 ^{ns}	0.017±0.00 ^{ns}
Palmitic acid (C16:0)	0.837±0.03 ^b	0.770±0.03 ^b	1.210±0.08 ^a	0.803±0.00 ^b
Heptadecanoic acid (C17:0)	0.023±0.00 ^{ns}	0.023±0.00 ^{ns}	0.023±0.00 ^{ns}	0.023±0.00 ^{ns}
Stearic acid (C18:0)	0.067±0.00 ^{ns}	0.067±0.00 ^{ns}	0.077±0.00 ^{ns}	0.073±0.00 ^{ns}
Behenic acid (C22:0)	0.010±0.00 ^{ns}	0.010±0.00 ^{ns}	0.010±0.00 ^{ns}	0.010±0.00 ^{ns}
Tricosanoic acid (C23:0)	0.023±0.00 ^{ns}	0.023±0.00 ^{ns}	0.023±0.00 ^{ns}	0.023±0.00 ^{ns}
Lignoceric acid (C24:0)	0.023±0.00 ^{ns}	0.023±0.00 ^{ns}	0.023±0.00 ^{ns}	0.023±0.00 ^{ns}
กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวรวม (Total monounsaturated fatty acids)	0.803±0.00 ^b	0.793±0.00 ^b	1.000±0.01 ^a	0.800±0.01 ^b
Palmitoleic acid (C16:1n7)	0.220±0.01 ^b	0.220±0.01 ^b	0.280±0.00 ^a	0.220±0.01 ^b
Trans-9-Elaidic acid (C18:1n9t)	0.023±0.00 ^{ns}	0.023±0.00 ^{ns}	0.023±0.00 ^{ns}	0.023±0.00 ^{ns}
Cis-9-Oleic acid (C18:1n9c)	0.560±0.01 ^b	0.550±0.01 ^b	0.697±0.01 ^a	0.557±0.01 ^b

ตาราง 3 (ต่อ)

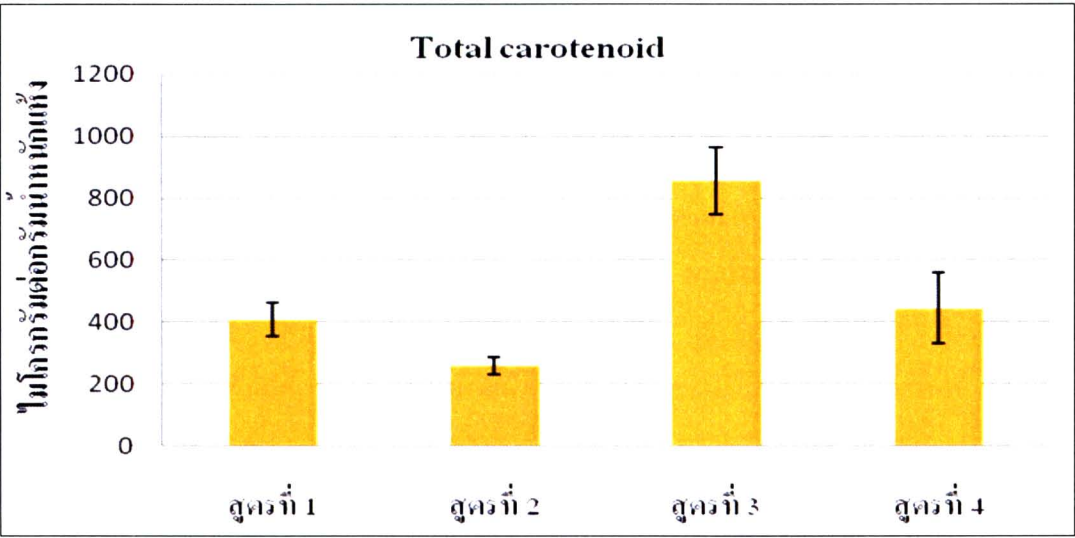
ชนิดของการดัดไขมัน	สูตรอาหาร			
	สูตรอาหารที่ 1	สูตรอาหารที่ 2	สูตรอาหารที่ 3	สูตรอาหารที่ 4
กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนรวม (Total polyunsaturated fatty acids)	0.510±0.01 ^b	0.490±0.02 ^b	0.607±0.00 ^a	0.503±0.01 ^b
cis-9,12-Linoleic acid (C18:2n6)	0.317±0.01 ^b	0.297±0.01 ^b	0.381±0.00 ^a	0.317±0.01 ^b
α-Linolenic acid (C18:3n3)	0.040±0.01 ^b	0.040±0.01 ^b	0.063±0.00 ^a	0.040±0.01 ^b
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid (C18:5n3)	0.050±0.00 ^{ns}	0.050±0.00 ^{ns}	0.050±0.00 ^{ns}	0.050±0.00 ^{ns}
cis-8,11,14-Eicosadienoic acid (C20:3n6)	0.033±0.00 ^{ns}	0.033±0.00 ^{ns}	0.033±0.00 ^{ns}	0.033±0.00 ^{ns}
Arachidonic acid (C20:4n6)	0.070±0.01 ^{ab}	0.070±0.01 ^{ab}	0.080±0.00 ^a	0.063±0.00 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p≤0.05)

4 ผลของรงควัตถุสารสี (pigment) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp.

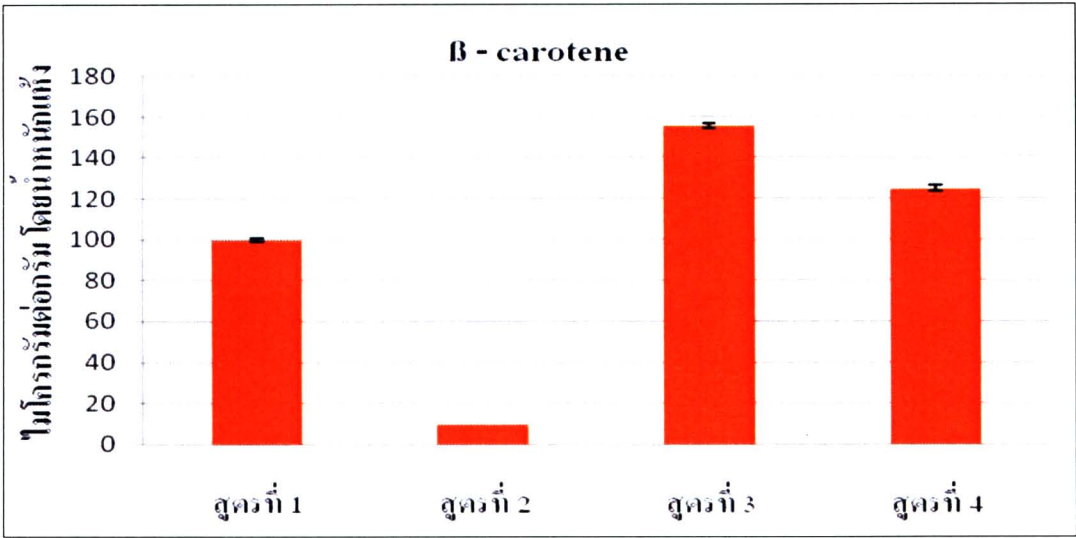
โดยทำการวิเคราะห์รงควัตถุสารสี (pigment) ได้แก่ total carotenoid, β - carotene และ C - phycocyanin โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

4.1 Total carotenoid ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 มี total carotenoid เท่ากับ 855.436 ± 1.11 ไมโครกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4, สูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 445.513 ± 1.26 , 408.654 ± 0.14 และ 258.013 ± 0.04 ไมโครกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ภาพ 28)



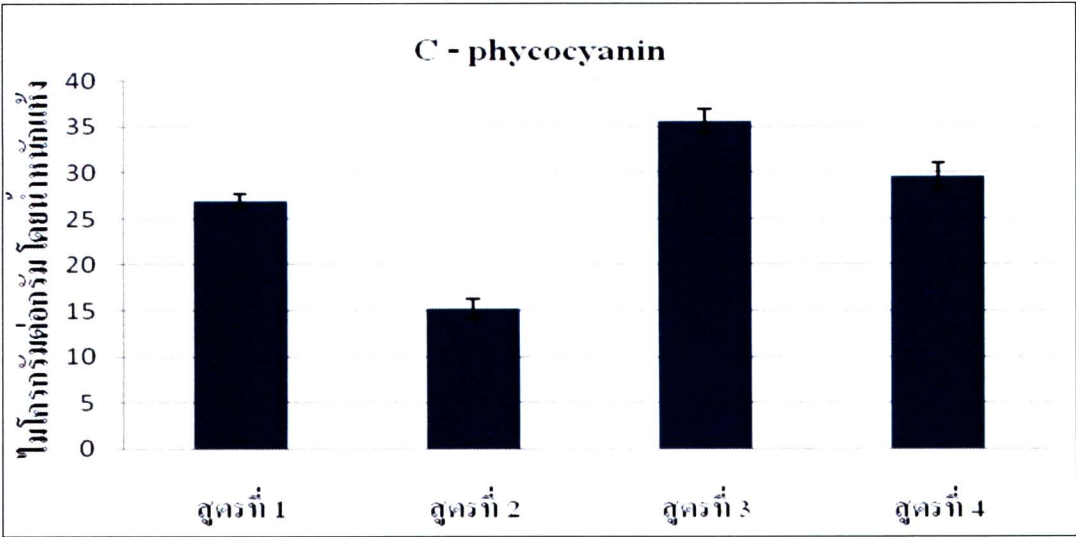
ภาพ 28 ปริมาณ Total carotenoid หลังสิ้นสุดการทดลองของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)

4.2 β - carotene ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 มี β - carotene เท่ากับ 155.418 ± 1.07 ไมโครกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4, สูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 124.820 ± 1.69 , 99.737 ± 1.03 และ 9.439 ± 0.11 ไมโครกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ภาพ 29)



ภาพ 29 ปริมาณ β - carotene หลังสิ้นสุดการทดลองของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)

4.3 C - phycocyanin ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 มี C - phycocyanin เท่ากับ 35.638 ± 1.31 ไมโครกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนัก เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4, สูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 29.622 ± 1.42 , 26.971 ± 0.76 และ 15.213 ± 1.10 ไมโครกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ภาพ 30)

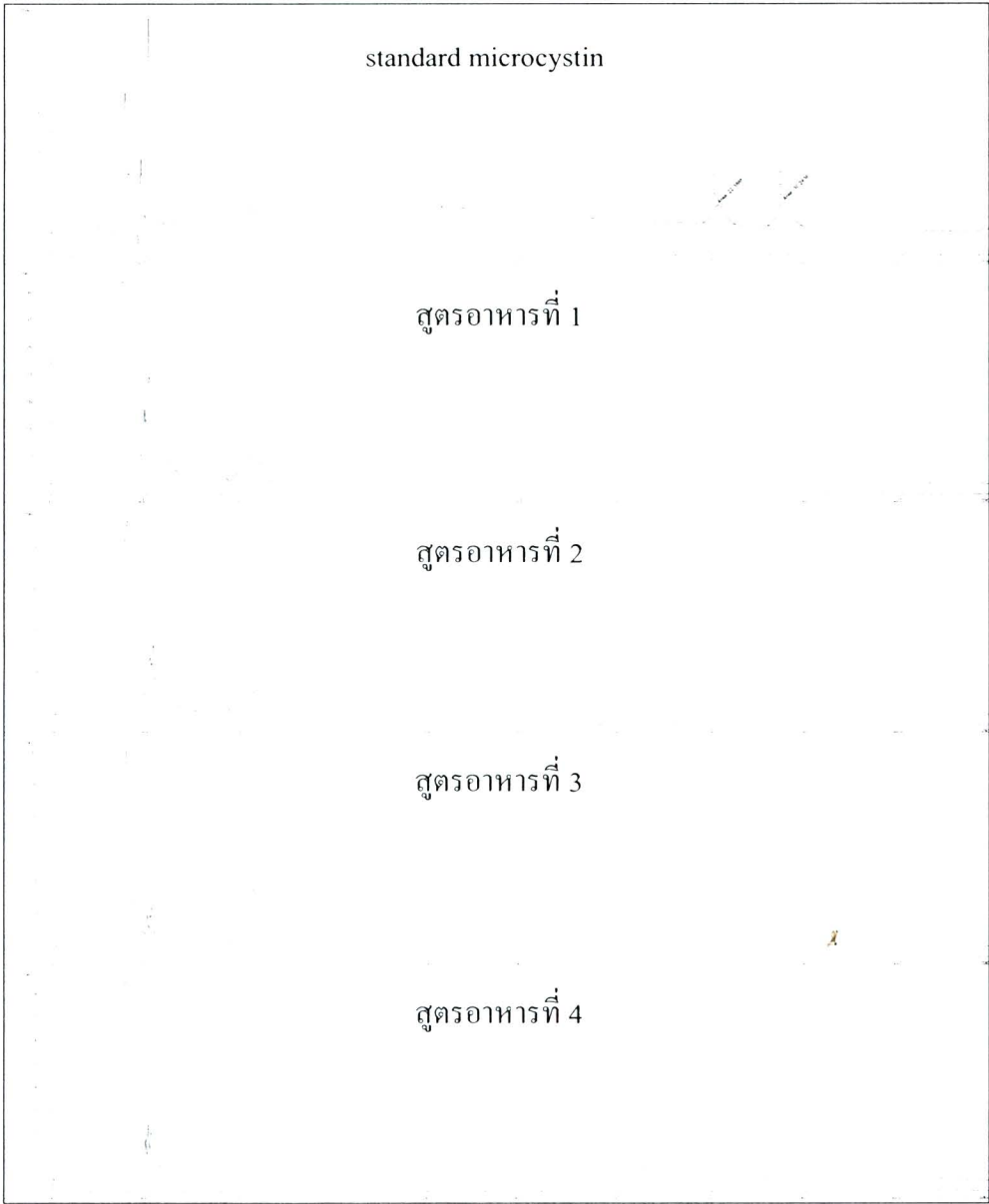


ภาพ 30 ปริมาณ C - phycocyanin หลังสิ้นสุดการทดลองของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)

5 ผลของปริมาณไมโครซิสติน (Microcystin) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp.

 โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณไมโครซิสติน (microcystin) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

 ปริมาณไมโครซิสติน (microcystin) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าอาหารทั้ง 4 สูตร พบว่าไม่มีปริมาณไมโครซิสติน (microcystin) ในสาหร่าย *Oscillatoria* sp. (ภาพ 31)



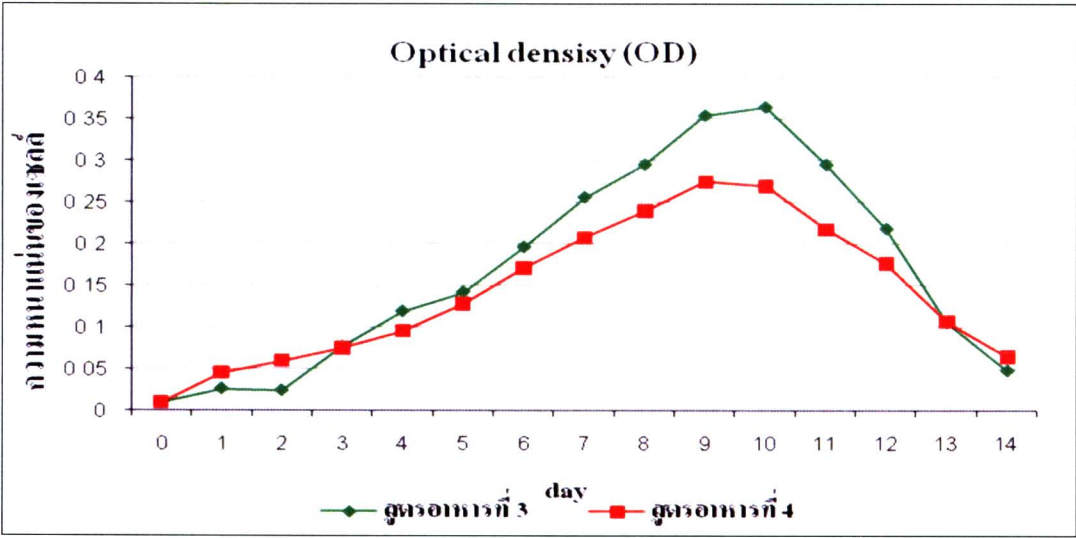
ภาพ 31 การวิเคราะห์สารพิษไมโครซิสติน (microcystin) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ระยะเวลา 15 วัน (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)

การทดลองที่ 2 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ในบ่อกลางแจ้ง

การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ในบ่อกลางแจ้ง โดยคัดเลือกจาก 2 สูตรอาหารที่เหมาะสม จากการทดลองที่ 1 ทำการทดลองในภาชนะถังพลาสติกสีดำขนาด 500 ลิตร เป็นระยะเวลา 15 วัน ณ ฐานเรียนรู้สาหร่ายและแพลงก์ตอน คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

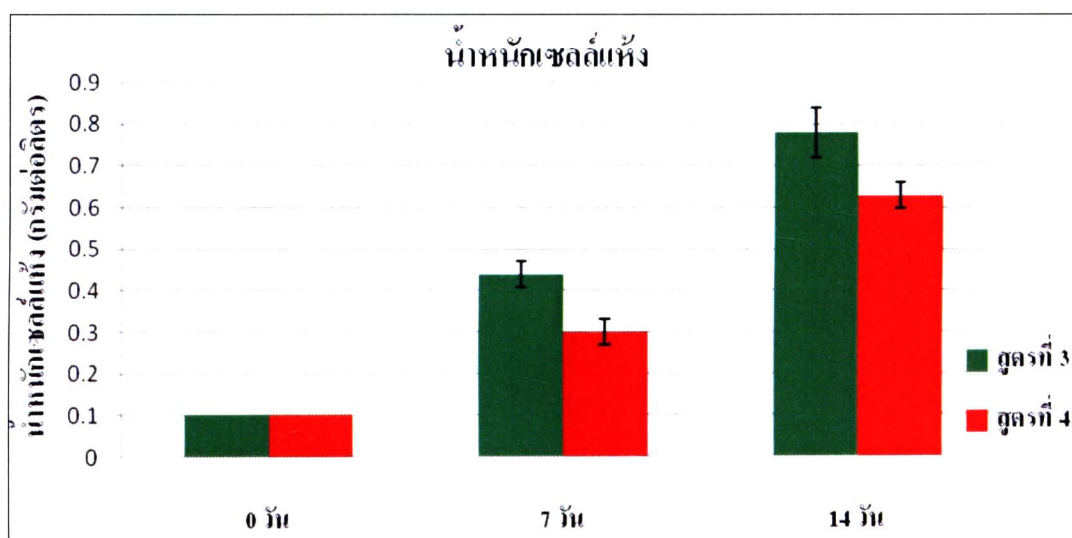
1 ผลของการวัดค่าการเจริญเติบโต

1.1 การวัดหาความหนาแน่นของเซลล์ (OD, optical density) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดความหนาแน่นของเซลล์ทุกๆ วัน เป็นเวลา 15 วัน โดยความหนาแน่นของเซลล์เริ่มต้นวันที่ 0 เท่ากับ 0.01 ± 0.00 พบว่าในสูตรอาหารที่ 3 มีความหนาแน่นของเซลล์ในวันที่ 10 เท่ากับ 0.364 ± 0.01 สูงกว่าในสูตรอาหารที่ 4 มีความหนาแน่นของเซลล์เท่ากับ 0.270 ± 0.03 ซึ่งอาหารทั้ง 2 สูตร มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \geq 0.05$) ความหนาแน่นของเซลล์สูงสุดอยู่ในช่วงวันที่ 8 - 11 (ภาพ 32)



ภาพ 32 ความหนาแน่นของเซลล์ (optical density) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ตลอดระยะเวลา 15 วัน

1.2 การหาน้ำหนักเซลล์แห้ง (cell dry weight) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) ในวันที่ 0 สูตรอาหารทั้ง 2 สูตร มีน้ำหนักเซลล์แห้งเริ่มต้น เท่ากับ 0.10 ± 0.00 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 7 สูตรอาหารทั้ง 2 สูตร มีค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง พบสูงในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 0.44 ± 0.03 กรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.30 ± 0.03 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \geq 0.05$) ในวันที่ 14 สูตรอาหารทั้ง 2 สูตร มีค่าน้ำหนักเซลล์แห้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่ 3 มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 0.78 ± 0.05 กรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.63 ± 0.11 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \geq 0.05$) (ภาพ 33)



ภาพ 33 น้ำหนักเซลล์แห้ง (cell dry weight) ตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (กรัมต่อลิตร)

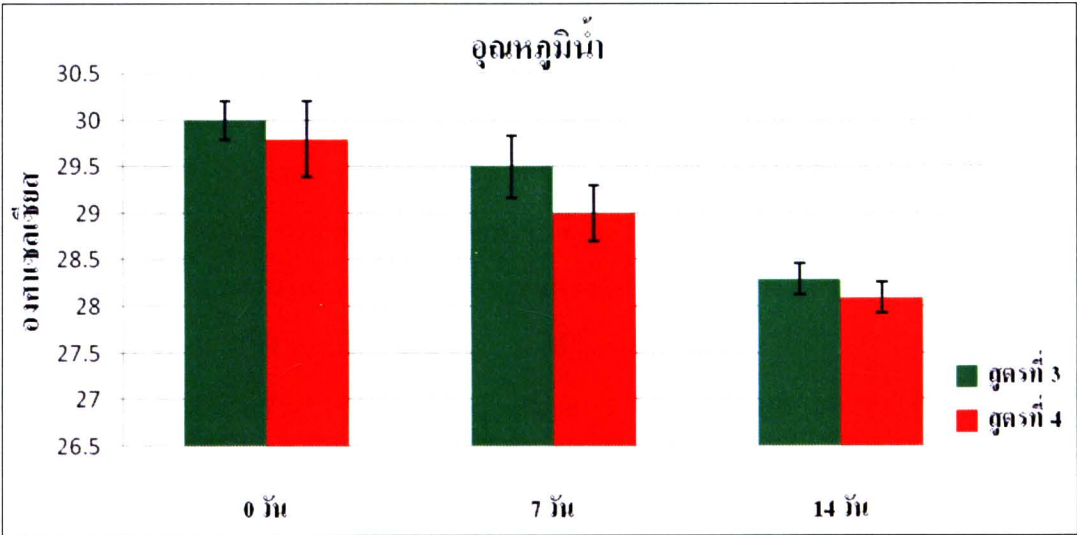
2 ผลของคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี

โดยทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ด้านกายภาพ และเคมี ได้แก่ อุณหภูมิ, อุณหภูมิอากาศ, DO, pH, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ และ $\text{PO}_4\text{-P}$ โดยทำการตรวจวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14)

2.1 อุณหภูมิน้ำของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) โดยอุณหภูมิน้ำในวันที่ 0 มีอุณหภูมิน้ำ พบว่าค่าสูงในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 30.0 ± 0.21 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 29.8 ± 0.40 องศาเซลเซียส

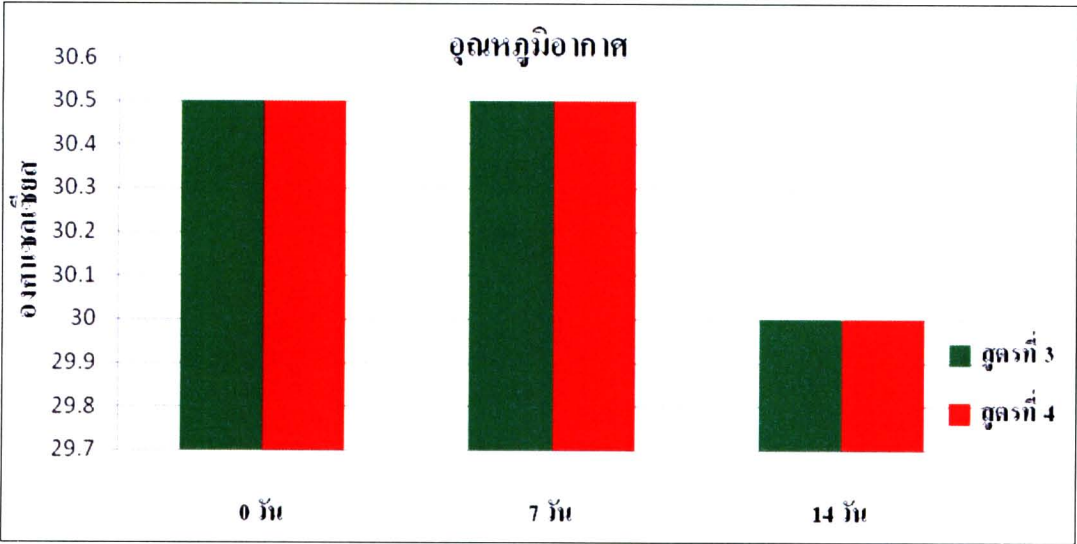
ในวันที่ 7 มีอุณหภูมิน้ำ พบว่าค่าสูงในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 29.5 ± 0.33 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 29.0 ± 0.30 องศาเซลเซียส

ในวันที่ 14 มีอุณหภูมิน้ำ พบว่าค่าสูงในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 28.3 ± 0.17 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 28.2 ± 0.17 องศาเซลเซียส (ภาพ 34)



ภาพ 34 อุณหภูมิน้ำตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (องศาเซลเซียส)

2.2 อุณหภูมิอากาศของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) โดยอุณหภูมิอากาศในวันที่ 0 มีอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 30.5 ± 0.00 องศาเซลเซียส ในวันที่ 7 มีอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 30.5 ± 0.00 องศาเซลเซียส และวันที่ 14 มีอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 30.0 ± 0.00 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ภาพ 35)

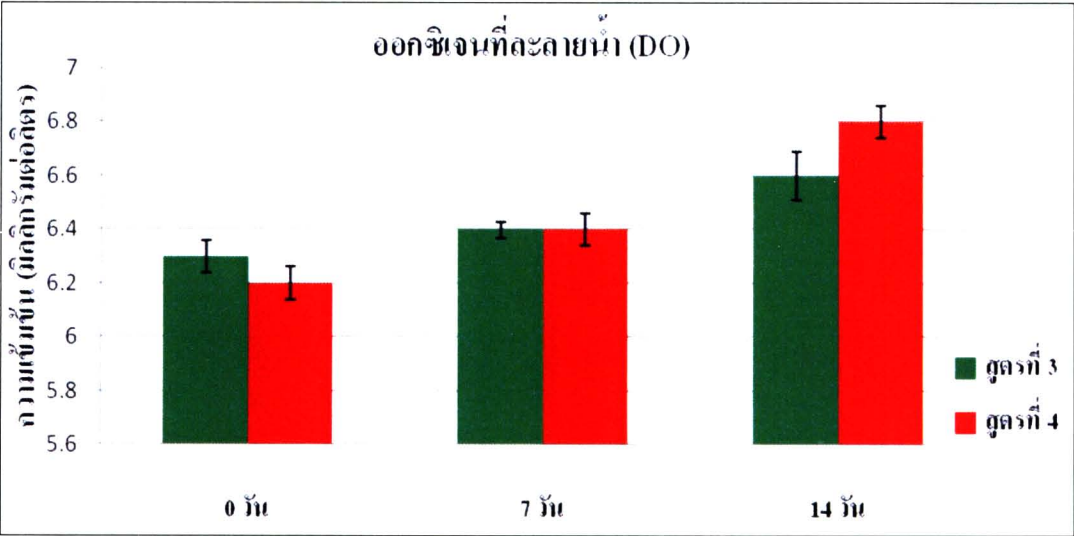


ภาพ 35 อุณหภูมิอากาศตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (องศาเซลเซียส)

2.3 ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) โดยออกซิเจนที่ละลายน้ำ ในวันที่ 0 มีออกซิเจนที่ละลายน้ำ พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 6.3 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 6.2 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในวันที่ 7 มีออกซิเจนที่ละลายน้ำ พบว่าค่าในสูตรอาหารที่ 3 และสูตรอาหารที่ 4 มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเท่ากัน เท่ากับ 6.4 ± 0.03 และ 6.4 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

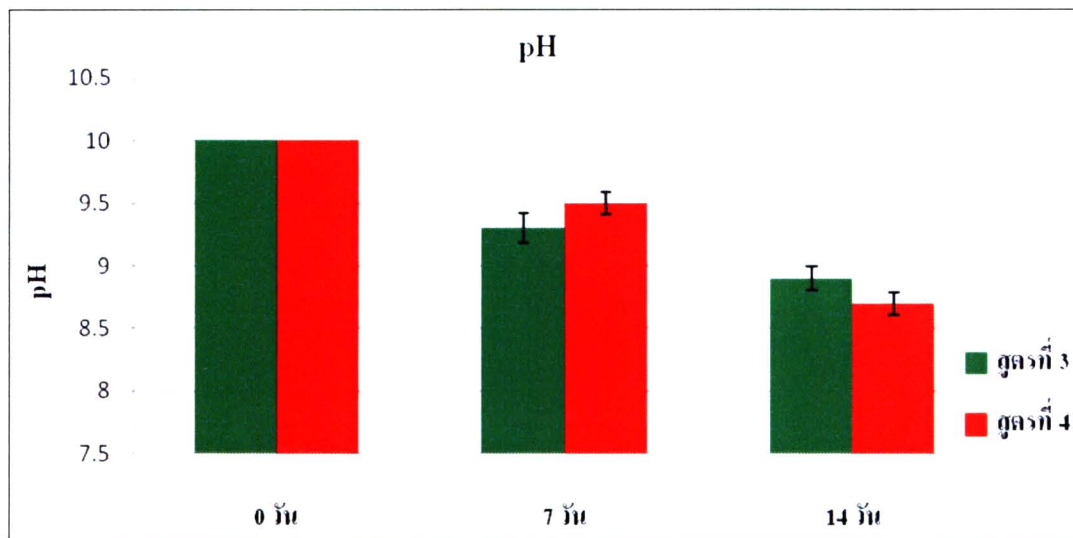
ในวันที่ 14 มีออกซิเจนที่ละลายน้ำ พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 4 เท่ากับ 6.8 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 6.6 ± 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \geq 0.05$) (ภาพ 36)



ภาพ 36 ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

2.4 pH ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) โดย pH ในวันที่ 0 สูตรอาหารทั้ง 2 สูตร มี pH เริ่มต้น เท่ากับ 10 ± 0.00 ในวันที่ 7 มี pH พบว่าค่าสูงในสูตรอาหารที่ 4 เท่ากับ 9.5 ± 0.09 เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 9.3 ± 0.12

ในวันที่ 14 มี pH พบว่าค่าสูงในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 8.9 ± 0.09 เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 8.7 ± 0.09 (ภาพ 37)

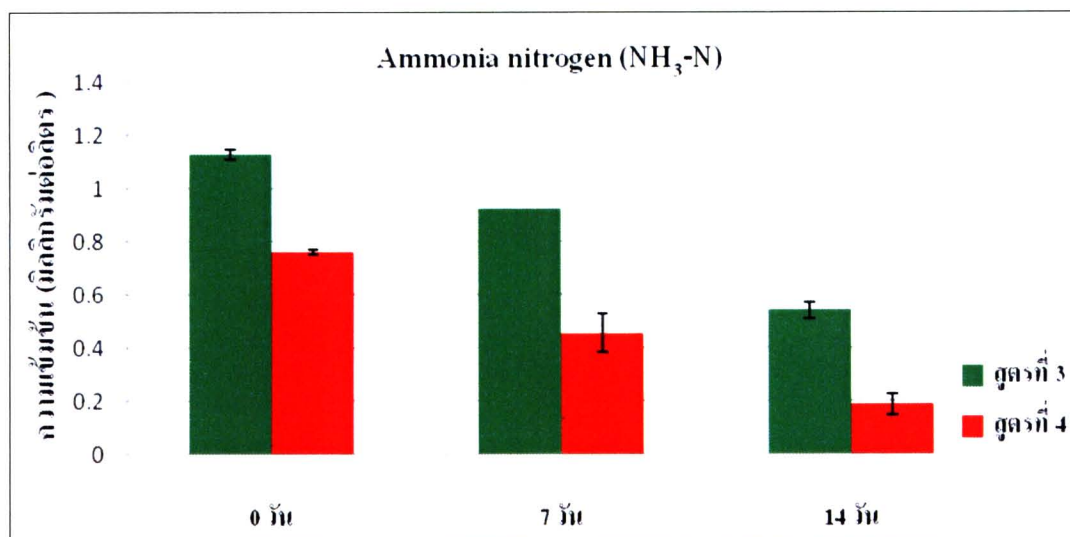


ภาพ 37 pH ตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน

2.5 Ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) ในวันที่ 0 มีความเข้มข้นของ ammonia nitrogen พบว่าค่าสูงสุดสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 1.129 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.761 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \geq 0.05$)

ในวันที่ 7 มีความเข้มข้นของ Ammonia nitrogen พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 0.926 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.457 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \geq 0.05$)

ในวันที่ 14 มีความเข้มข้นของ Ammonia nitrogen พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 0.543 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.189 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \geq 0.05$) (ภาพ 38)

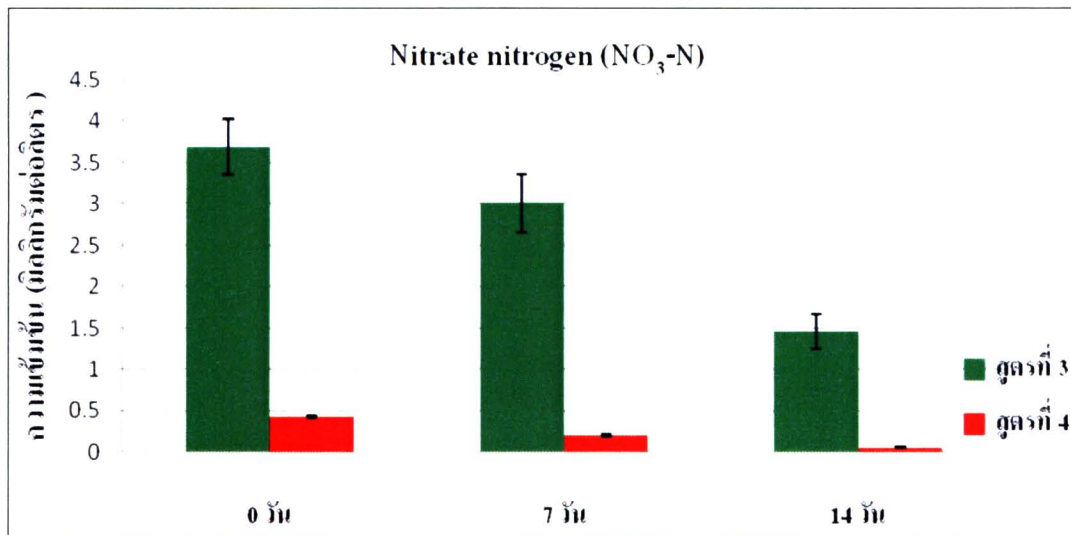


ภาพ 38 ความเข้มข้นของ NH₃-N ตลอดการทดลองของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

2.6 Nitrate nitrogen (NO₃-N) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่ เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) ในวันที่ 0 ความเข้มข้นของ nitrate พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 3.697 ± 0.33 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.432 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \geq 0.05$)

ในวันที่ 7 มีความเข้มข้นของ Nitrate nitrogen พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 3.013 ± 0.35 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.206 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \geq 0.05$)

ในวันที่ 14 มีความเข้มข้นของ Nitrate nitrogen พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 1.459 ± 0.21 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.06 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \geq 0.05$) (ภาพ 39)

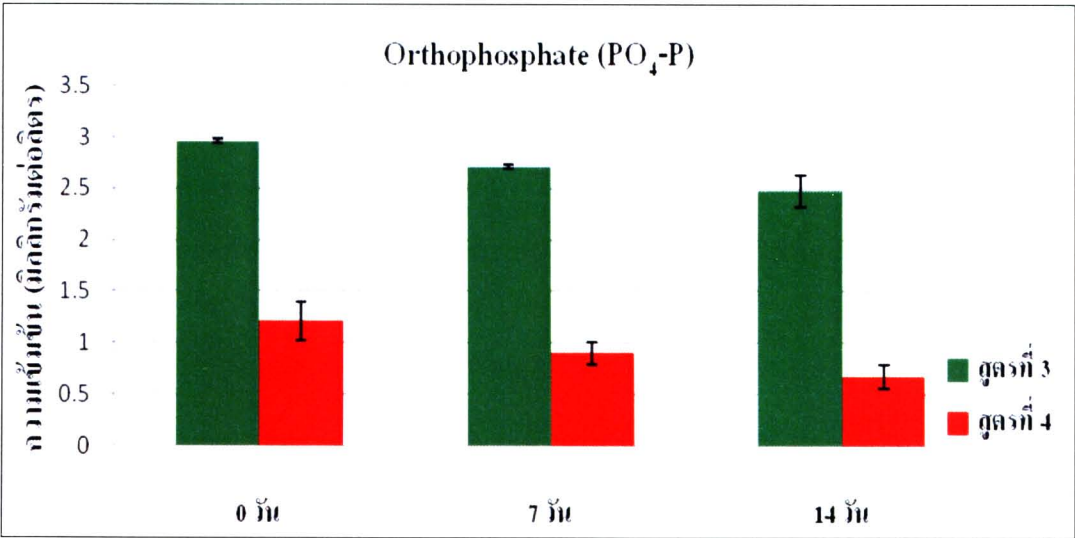


ภาพ 39 ความเข้มข้นของ NO₃-N ตลอดการทดลองของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

2.7 Orthophosphate (PO₄-P) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่ เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) ในวันที่ 0 มีความเข้มข้นของ orthophosphate พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 2.962 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 1.210 ± 0.19 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \geq 0.05$)

ในวันที่ 7 มีความเข้มข้นของ Orthophosphate พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 2.715 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.899 ± 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \geq 0.05$)

ในวันที่ 14 มีความเข้มข้นของ Orthophosphate พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 2.479 ± 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.674 ± 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \geq 0.05$) (ภาพ 40)



ภาพ 40 ความเข้มข้นของ $\text{PO}_4\text{-P}$ ตลอดการทดลองของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระยะเวลา 15 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

การนำสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ไปเพาะเลี้ยงในเชิงพาณิชย์

นำสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยคัดเลือกเลี้ยงในสูตรอาหารที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งพิจารณาพร้อมกับ การเจริญเติบโต คุณภาพน้ำด้านกายภาพ และเคมี พบว่าในสูตรอาหารที่ 3 เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยในครั้งนี้

เมื่อนำไปเพาะเลี้ยงในเชิงพาณิชย์ โดยนำไปเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ receway pond ขนาด $1.6 \times 3.4 \times 0.6$ เมตร พบว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่ 3 เป็นระยะเวลา 12 วัน มีความหนาแน่นของเซลล์ (OD, optical density)เท่ากับ 0.383 ส่วนน้ำหนักมวลชีวภาพทั้งหมด เท่ากับ 853.45 กรัมโดยน้ำหนักเปียก และสามารถเก็บผลผลิตสาหร่าย *Oscillatoria* sp. สดได้ทุกๆ 12 วัน