

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การศึกษาผลของสูตรอาหารผสมระหว่างสูตรอาหารเคมีกับน้ำหมักเคยต่อปริมาณโปรตีนและไฟโคไซยานิน ประกอบด้วยส่วนผสมของอาหารเคมีกับน้ำหมักเคย จำนวน 13 ทริตเมนต์ ได้แก่ อาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 100% ผสมน้ำหมักเคย 0.5%, 0.3% และ 0.1% (mZM 100% + KF 0.5%, mZM 100% + KF 0.3% และ mZM 100% + KF 0.1%) อาหาร Zarrouk ดัดแปลง 75% ผสมน้ำหมักเคย 0.5%, 0.3% และ 0.1% (mZM 75% + KF 0.5%, mZM 75% + KF 0.3% และ mZM 75% + KF 0.1%) อาหาร Zarrouk ดัดแปลง 50% ผสมน้ำหมักเคย 0.5%, 0.3% และ 0.1% (mZM 50% + KF 0.5%, mZM 50% + KF 0.3% และ mZM 50% + KF 0.1%) และ อาหาร Zarrouk ดัดแปลง 25% ผสมน้ำหมักเคย 0.5%, 0.3% และ 0.1% (mZM 25% + KF 0.5%, mZM 25% + KF 0.3% และ mZM 25% + KF 0.1%) โดยมีอาหารสูตร Zarrouk ปกติ เป็นชุดควบคุม ทำเก็บการรวบรวมข้อมูลการเจริญเติบโต ปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และไฟโคไซยานิน และปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้ผลดังนี้

การเจริญเติบโตของสไปรูลิน่า

การศึกษาการเจริญเติบโตของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารทดลอง เมื่อทำการวิเคราะห์ความหนาแน่นของเซลล์จากการตรวจวัดค่า OD (560 nm) โดยมี OD เริ่มต้น 0.55 พบว่าระยะเวลาที่สไปรูลิน่ามีความหนาแน่นเซลล์สูงสุด เท่ากับ 18-20 วัน สไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วย mZM 50% + KF 0.1%, mZM 25% + KF 0.5% และ mZM 25% + KF 0.1% มีความหนาแน่นเซลล์สูงสุด (OD_{max}) ในวันที่ 18 ของการทดลอง สไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วย mZM 100% + KF 0.1%, mZM 75% + KF 0.5% และ mZM 50% + KF 0.5% มีความหนาแน่นเซลล์สูงสุด (OD_{max}) ในวันที่ 19 สไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่น ๆ มีความหนาแน่นเซลล์สูงสุด (OD_{max}) ในวันที่ 20 ส่วนสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วย mZM 100% + KF 0.3% มีความหนาแน่นเซลล์เฉลี่ยสูงสุด (OD_{max}) ในวันที่ 24 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.1 ภาพที่ 4.1)

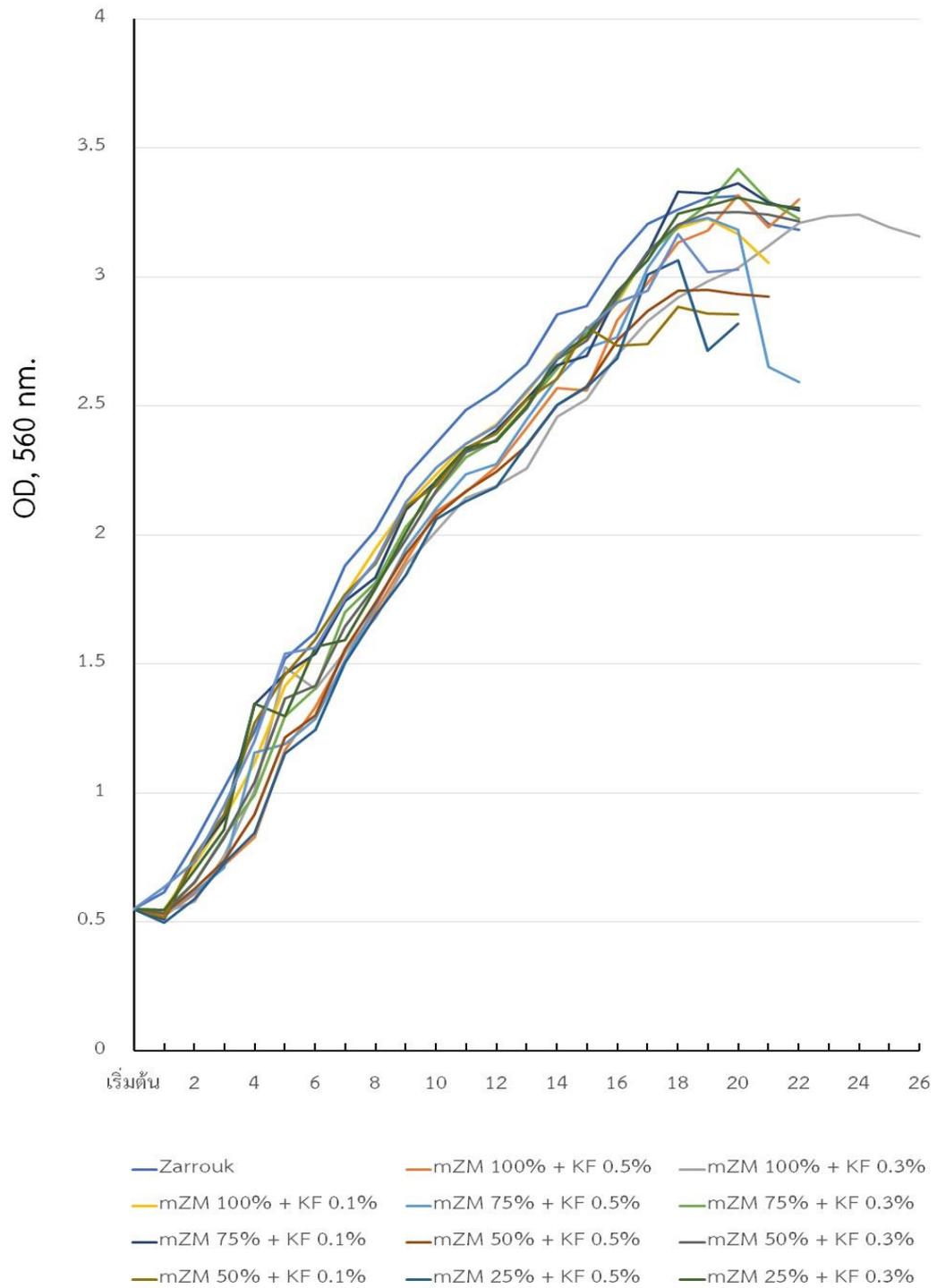
ความหนาแน่นเซลล์เฉลี่ยสูงสุด (OD_{max}) มีค่าเท่ากับ 2.886 - 3.420 สไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วย mZM 75% + KF 0.3% มีค่า OD_{max} สูงที่สุด เท่ากับ 3.420 สูงกว่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ซึ่งมีค่า OD_{max} เท่ากับ 3.314 และสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร mZM 50% + KF 0.1% มี OD_{max} ต่ำที่สุด เท่ากับ 2.886 พบว่า OD_{max} ของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตาราง 4.1 ภาพที่ 4.1)

น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรต่าง ๆ มีค่าอยู่ในช่วง 1.70 - 2.64 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร mZM 100% + KF 0.5% มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยสูงสุด 2.64 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งไม่แตกต่างจากน้ำหนักแห้งของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ แต่แตกต่างจากที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร mZM 50% + KF 0.3%, mZM 25% + KF 0.5% และ mZM 25% + KF 0.1% ซึ่งทั้ง 3 สูตร ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของสไปรูลิน่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.2)

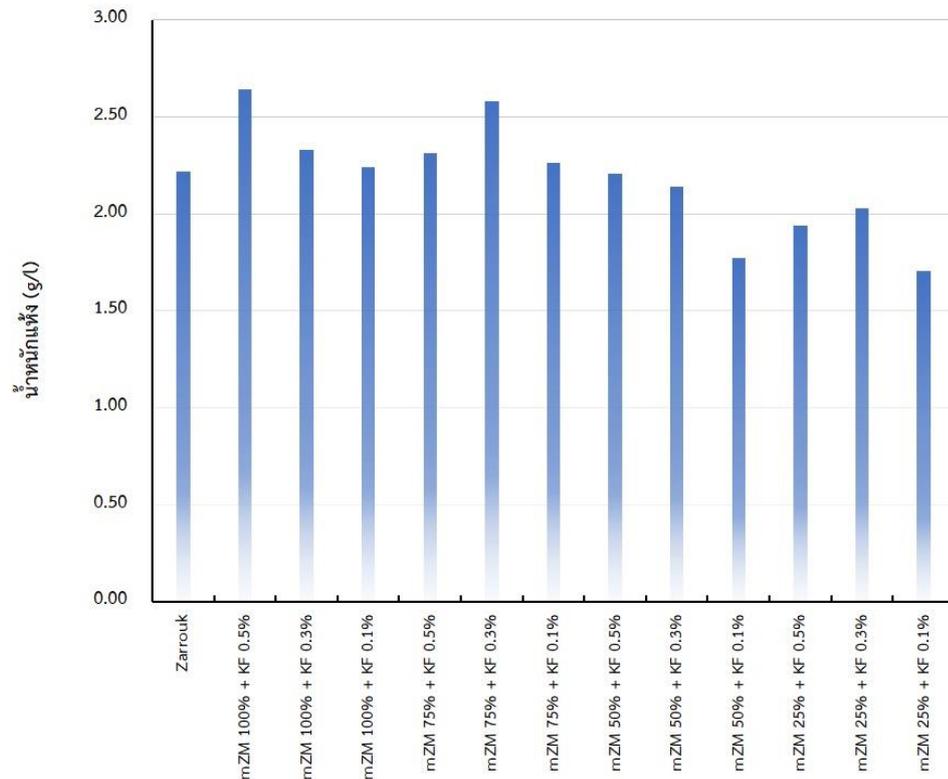
ตารางที่ 4.1 ความหนาแน่น น้ำหนักแห้ง และระยะเวลาที่ความหนาแน่นเซลล์สูงสุด (เฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของสไปรูลิน่าที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ และ Zarrouk ดัดแปลงผสมน้ำหมักเคยในสัดส่วนต่างกัน

ชุดการทดลอง	ความหนาแน่น (OD _{max})	น้ำหนักแห้ง (g/l)	ระยะเวลา (วัน)
Zarrouk	3.314 \pm 0.125	2.22 \pm 0.51 ^{ab}	20
mZM 100% + KF 0.5%	3.319 \pm 0.107	2.64 \pm 0.43 ^a	20
mZM 100% + KF 0.3%	3.242 \pm 0.054	2.33 \pm 0.29 ^{ab}	24
mZM 100% + KF 0.1%	3.227 \pm 0.163	2.24 \pm 0.37 ^{ab}	19
mZM 75% + KF 0.5%	3.228 \pm 0.451	2.31 \pm 0.14 ^{ab}	19
mZM 75% + KF 0.3%	3.420 \pm 0.502	2.58 \pm 0.14 ^a	20
mZM 75% + KF 0.1%	3.365 \pm 0.143	2.26 \pm 0.08 ^{ab}	20
mZM 50% + KF 0.5%	2.950 \pm 0.123	2.21 \pm 0.29 ^{ab}	19
mZM 50% + KF 0.3%	3.251 \pm 0.028	2.14 \pm 0.08 ^{ab}	20
mZM 50% + KF 0.1%	2.886 \pm 0.126	1.77 \pm 0.32 ^c	18
mZM 25% + KF 0.5%	3.067 \pm 0.598	1.94 \pm 0.18 ^c	18
mZM 25% + KF 0.3%	3.308 \pm 0.136	2.03 \pm 0.15 ^{ab}	20
mZM 25% + KF 0.1%	3.167 \pm 0.520	1.70 \pm 0.64 ^c	18
	ns	*	

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$), อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4.1 ความหนาแน่นเซลล์ (OD_{560}) ของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ และ Zarrouk ดัดแปลงผสมน้ำหนักร้อยละในสัดส่วนที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.2 น้ำหนักแห้ง (กรัม/ลิตร) ของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ และ Zarrouk ดัดแปลงผสมน้ำหนักเคยในสัดส่วนที่แตกต่างกัน

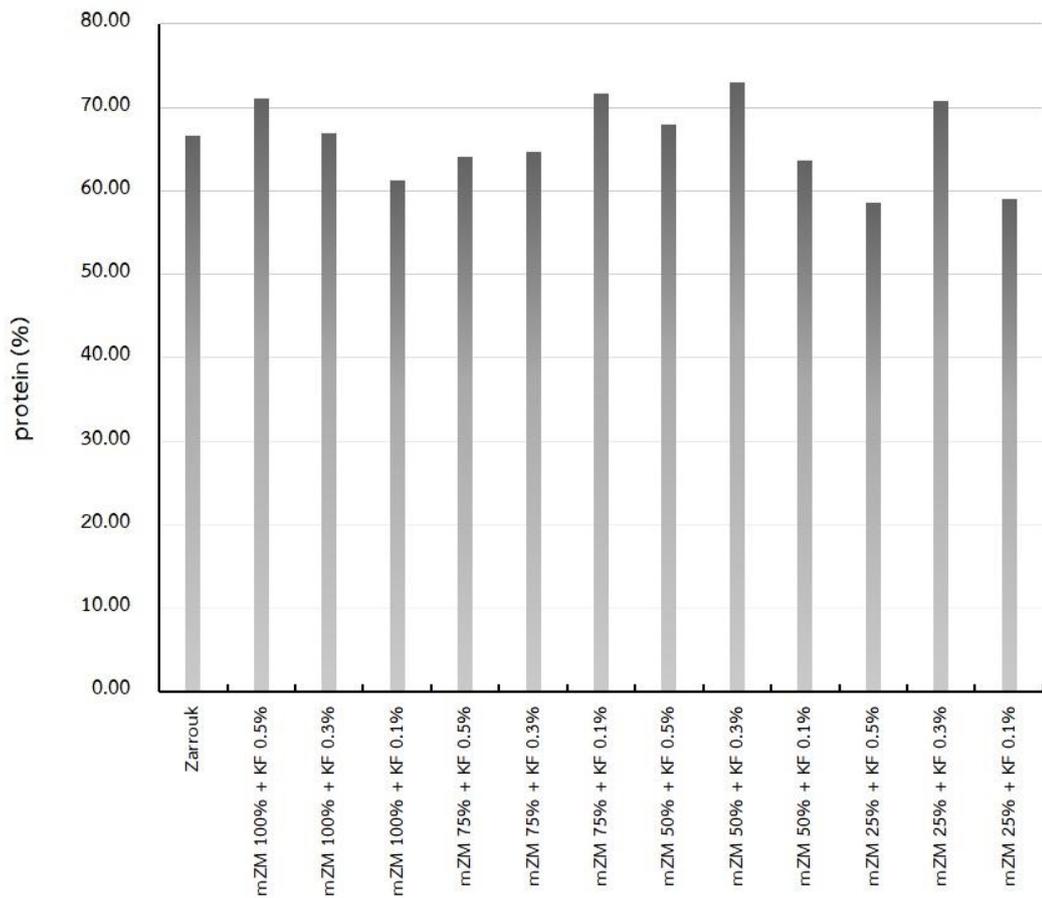
ปริมาณโปรตีนของสไปรูลิน่า

ปริมาณโปรตีนเฉลี่ยของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรต่าง ๆ มีค่าอยู่ในช่วง 58.75 - 73.11% พบว่าปริมาณโปรตีนเฉลี่ยของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยสูตร mZM 50% + KF 0.3% มีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยสูงสุด 73.11% ซึ่งแตกต่างจากปริมาณโปรตีนที่พบในสไปรูลิน่าที่ด้วยสูตร mZM 100% + KF 0.1%, mZM 25% + KF 0.1% และ mZM 25% + KF 0.5% ซึ่งมีค่าเท่ากับ 61.41%, 59.10% และ 58.75% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปริมาณโปรตีนที่พบในสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ คือ 66.73% มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติกับที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่น ๆ (ตารางที่ 4.2 ภาพที่ 4.3)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณโปรตีน (เฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของสไปรูulinaที่เพาะเลี้ยงในสูตร Zarrouk ปกติ และสูตร Zarrouk ดัดแปลงผสมน้ำหมักเคยในสัดส่วนต่างกัน

ชุดการทดลอง	โปรตีน (%)
Zarrouk	66.73 \pm 5.16 ^{abc}
mZM 100% + KF 0.5%	71.20 \pm 1.16 ^a
mZM 100% + KF 0.3%	67.06 \pm 4.85 ^{abc}
mZM 100% + KF 0.1%	61.41 \pm 6.67 ^{bc}
mZM 75% + KF 0.5%	64.27 \pm 7.65 ^{abc}
mZM 75% + KF 0.3%	64.76 \pm 4.67 ^{abc}
mZM 75% + KF 0.1%	71.82 \pm 4.47 ^a
mZM 50% + KF 0.5%	68.07 \pm 4.88 ^{abc}
mZM 50% + KF 0.3%	73.11 \pm 2.08 ^a
mZM 50% + KF 0.1%	63.84 \pm 2.87 ^{abc}
mZM 25% + KF 0.5%	58.75 \pm 1.20 ^c
mZM 25% + KF 0.3%	70.85 \pm 6.50 ^{ab}
mZM 25% + KF 0.1%	59.10 \pm 5.470 ^c

หมายเหตุ อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4.3 ปริมาณโปรตีน (%) ของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk และ Zarrouk ดัดแปลงผสมน้ำหมักเคยในสัดส่วนที่แตกต่างกัน

ปริมาณรงควัตถุ

สไปรูลิน่าที่ได้จากการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ และ Zarrouk ดัดแปลงผสมน้ำหมักเคยในสัดส่วนที่แตกต่างกัน มีปริมาณ Chlorophyll a, Carotenoids และ Phycocyanin แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4.3) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ปริมาณ Chlorophyll a ที่พบในสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 22.64 – 27.35 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าปริมาณ Chlorophyll a ของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร mZM 100% + KF 0.5% มีค่าสูงที่สุด ซึ่งแตกต่างจากที่พบในสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร mZM 25% + KF 0.5%, mZM 50% + KF 0.1% และ mZM 25% + KF 0.1% ซึ่งมีค่าเท่ากับ 23.5, 22.85 และ 22.64 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ สำหรับสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ มีปริมาณ Chlorophyll a เท่ากับ 26.79 มิลลิกรัม/ลิตร ไม่แตกต่างจากที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่น ๆ

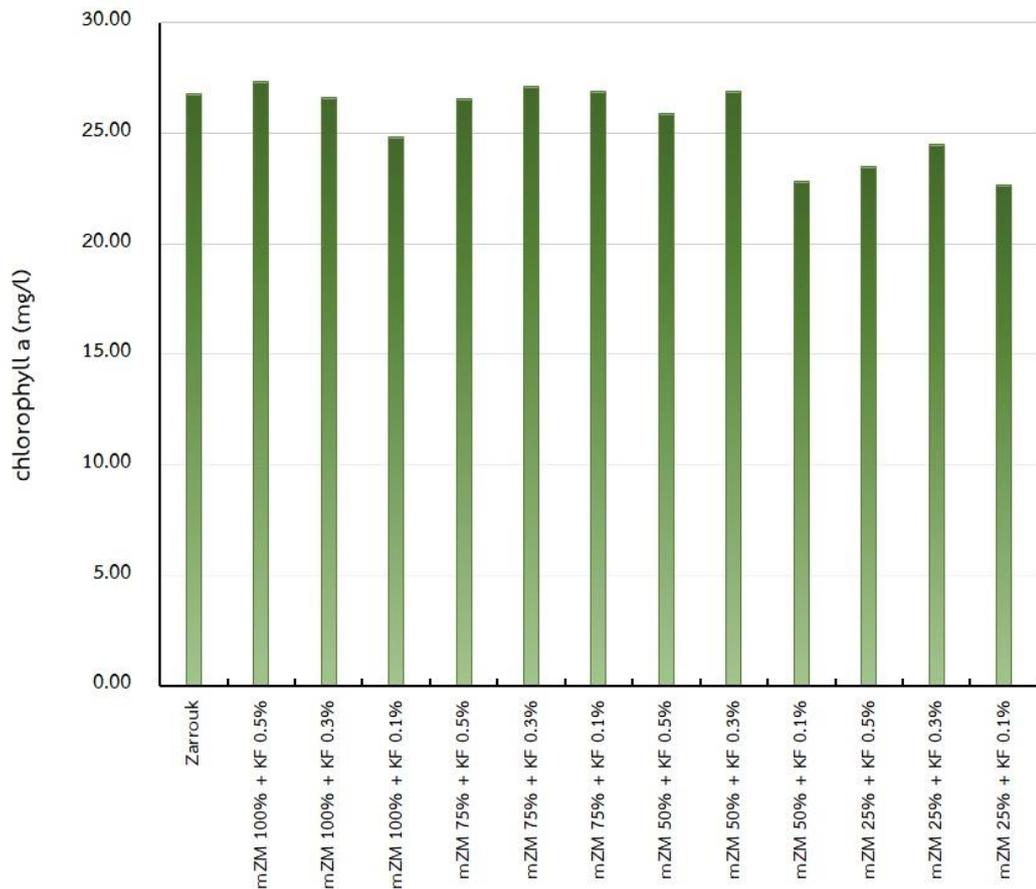
แต่มีค่ามากกว่าที่พบในสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร mZM 50% + KF 0.1% และ mZM 25% + KF 0.1% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3 ภาพที่ 4.4)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณรงควัตถุ (เฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของสไปรูลิน่า ที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ และ Zarrouk ดัดแปลงผสมน้ำหมักเคยในสัดส่วนต่างกัน

ชุดการทดลอง	Chlorophyll a (mg/l)	Carotenoids (mg/l)	Phycocyanin (mg/l)
Zarrouk	26.79 \pm 0.22 ^{ab}	8.12 \pm 0.26 ^{abcd}	22.34 \pm 1.53 ^{bcd}
mZM 100% + KF 0.5%	27.35 \pm 0.29 ^a	8.82 \pm 0.44 ^a	27.24 \pm 4.23 ^{abc}
mZM 100% + KF 0.3%	26.62 \pm 0.67 ^{ab}	9.01 \pm 0.70 ^a	25.81 \pm 5.57 ^{abcd}
mZM 100% + KF 0.1%	24.86 \pm 1.85 ^{abc}	7.17 \pm 0.65 ^{cd}	24.68 \pm 1.24 ^{bcd}
mZM 75% + KF 0.5%	26.55 \pm 1.13 ^{ab}	8.39 \pm 1.43 ^{abc}	32.55 \pm 5.48 ^a
mZM 75% + KF 0.3%	27.14 \pm 0.90 ^a	8.70 \pm 1.15 ^a	25.05 \pm 2.43 ^{bcd}
mZM 75% + KF 0.1%	26.88 \pm 0.56 ^{ab}	8.37 \pm 0.68 ^{abc}	20.09 \pm 1.51 ^d
mZM 50% + KF 0.5%	25.88 \pm 0.70 ^{abc}	7.86 \pm 0.53 ^{abcd}	27.31 \pm 4.49 ^{abc}
mZM 50% + KF 0.3%	26.89 \pm 0.95 ^{ab}	8.55 \pm 0.66 ^{ab}	29.04 \pm 1.56 ^{ab}
mZM 50% + KF 0.1%	22.85 \pm 1.88 ^c	6.89 \pm 0.76 ^d	22.81 \pm 1.84 ^{bcd}
mZM 25% + KF 0.5%	23.50 \pm 2.04 ^{bc}	7.25 \pm 1.21 ^{bcd}	23.54 \pm 4.45 ^{bcd}
mZM 25% + KF 0.3%	24.50 \pm 3.53 ^{abc}	8.38 \pm 0.52 ^{abc}	26.95 \pm 3.26 ^{abcd}
mZM 25% + KF 0.1%	22.64 \pm 3.64 ^c	6.87 \pm 1.03 ^d	21.15 \pm 5.38 ^{cd}

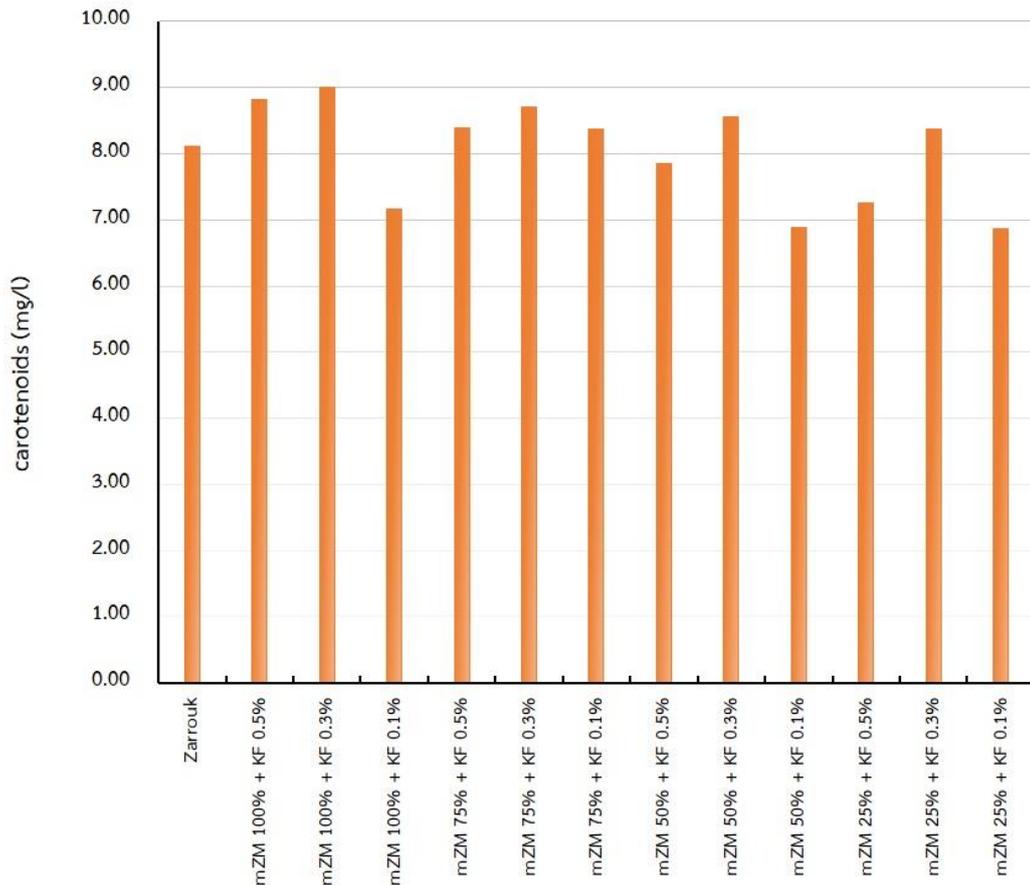
หมายเหตุ อักษรกำกับค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแนวสทมภ์เดียว หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



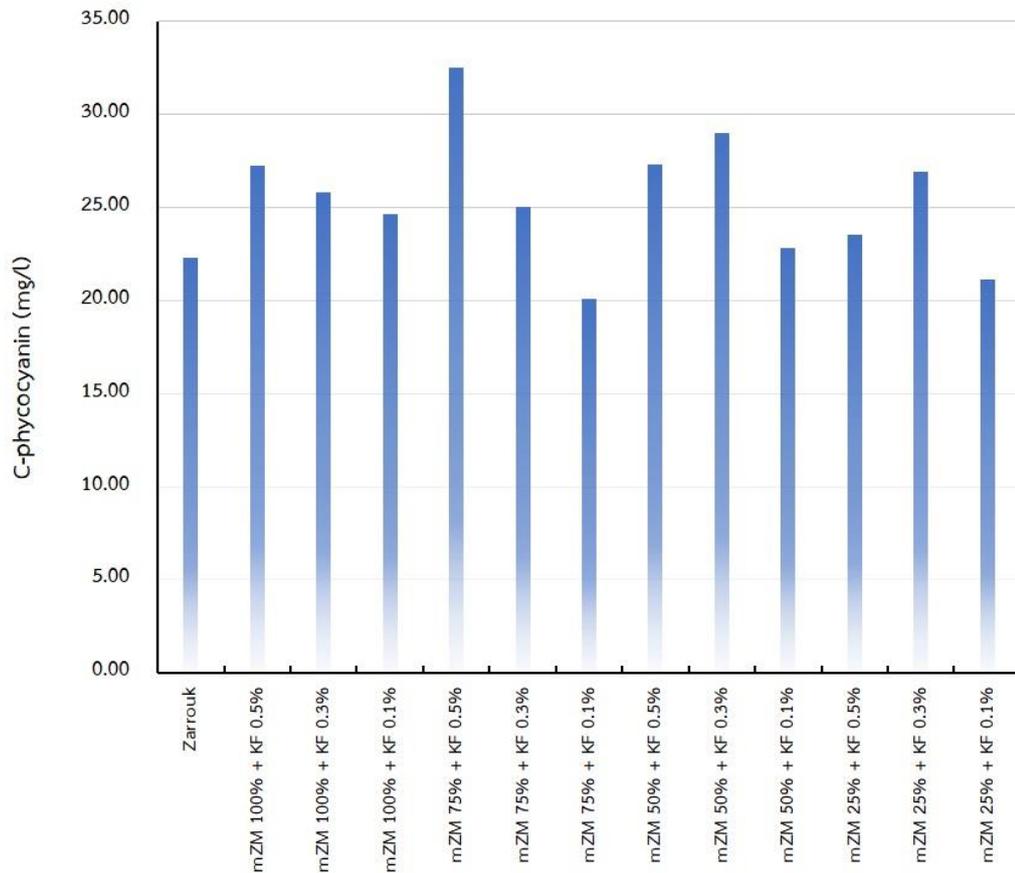
ภาพที่ 4.4 ปริมาณ Chlorophyll a (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่พบในสไปรูไลน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ และ Zarrouk ดัดแปลงผสมน้ำหนักร้อยละในสัดส่วนที่แตกต่างกัน

ปริมาณ Carotenoids ที่พบในสไปรูไลน่าที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 6.87 - 9.01 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าปริมาณ Carotenoids ของสไปรูไลน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร mZM 100% + KF 0.3% มีค่าสูงที่สุด รองลงมาได้แก่สไปรูไลน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร mZM 100% + KF 0.5% และ mZM 75% + KF 0.3% ตามลำดับ แตกต่างจากที่พบในสไปรูไลน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร mZM 25% + KF 0.5%, mZM 100% + KF 0.1%, mZM 50% + KF 0.1% และ mZM 25% + KF 0.1% ตามลำดับ โดยปริมาณ Carotenoids ของสไปรูไลน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร mZM 25% + KF 0.1% มีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 6.87 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับสไปรูไลน่าที่เลี้ยงด้วยอาหาร Zarrouk ปกติ พบปริมาณ Carotenoids ไม่แตกต่างจากที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่น ๆ (ตารางที่ 4.3 ภาพที่ 4.5)



ภาพที่ 4.5 ปริมาณ Carotenoids (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่พบในสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk และ Zarrouk ดัดแปลงผสมน้ำหนักเคยในสัดส่วนที่แตกต่างกัน

ปริมาณ Phycocyanin ที่พบในสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 32.55 – 20.09 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าปริมาณ Phycocyanin ของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร mZM 75% + KF 0.5% มีค่าสูงที่สุด แตกต่างจากที่พบในสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร mZM 75% + KF 0.3%, mZM 100% + KF 0.1%, Zarrouk และ mZM 75% + KF 0.1% ตามลำดับ โดยพบว่า Phycocyanin ที่พบในสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร mZM 75% + KF 0.1% มีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 20.09 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ พบปริมาณ Phycocyanin เท่ากับ 22.34 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่พบในสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร mZM 75% + KF 0.5% แต่ไม่แตกต่างจากที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่น ๆ (ตารางที่ 4.3 ภาพที่ 4.6)



ภาพที่ 4.6 ปริมาณ Phycocyanin (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่พบในสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk และ Zarrouk ดัดแปลงผสมน้ำหนักเคยในสัดส่วนที่แตกต่างกัน

ปัจจัยสิ่งแวดล้อม

จากการตรวจสอบอุณหภูมิ และความเป็นกรด-เป็นด่าง (pH) ตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง ภายใต้แสงกึ่งธรรมชาติ ที่มีความเข้มแสง 7,570 ถึง > 50,000 ลักซ์ (lux) พบว่าอุณหภูมิมีค่า 28.8 - 37.5 องศาเซลเซียส และความเป็นกรด-ด่าง 8.96 - 11.20 (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิเฉลี่ย ความเข้มแสง และความเป็นกรด-เป็นด่าง ในการเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่า

ชุดการทดลอง	อุณหภูมิ (°c)	ความเป็นกรด-เป็นด่าง (pH)
Zarrouk	29.6 - 37.0	9.10 - 10.67
mZM 100% + KF 0.5%	29.2 - 37.5	8.96 - 10.54
mZM 100% + KF 0.3%	28.8 - 36.5	9.01 - 10.65
mZM 100% + KF 0.1%	30.2 - 36.9	9.04 - 10.62
mZM 75% + KF 0.5%	29.3 - 36.8	9.06 - 10.51
mZM 75% + KF 0.3%	30.0 - 36.7	9.12 - 10.39
mZM 75% + KF 0.1%	30.0 - 36.8	9.08 - 10.51
mZM 50% + KF 0.5%	29.9 - 36.8	9.26 - 10.82
mZM 50% + KF 0.3%	29.3 - 36.6	9.22 - 10.28
mZM 50% + KF 0.1%	30.0 - 36.7	9.39 - 11.20
mZM 25% + KF 0.5%	29.4 - 36.7	9.46 - 10.78
mZM 25% + KF 0.3%	29.5 - 36.7	9.47 - 10.34
mZM 25% + KF 0.1%	29.8 - 36.5	9.47 - 10.69

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี