

ผลการวิจัย

ทำการทดลองเสริมและไม่เสริมแร่ธาตุในน้ำเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) โดยการพิจารณาความเข้มข้นที่เหมาะสมทางสรีระเคมี และคำนึงถึงอัตราส่วนของ Na:K, Mg:Ca, Na:Mg, Ca:P, Cl:Na และ Cl:K ที่ความเค็ม 10, 20 และ 30 ppt โดยชุดควบคุมเชิงลบ (ไม่มีการเสริมแร่ธาตุทุกความเค็ม, negative control) และชุดเสริม NaCl (เพื่อปรับความเค็มให้ใกล้เคียงกับชุดที่เสริมแร่ธาตุ, positive control) และชุดทดลอง (มีการเสริมแร่ธาตุ) ซึ่งพิจารณาความเข้มข้นของ Na, K, Mg, Ca และ Cl ในพลาสมาและเปลือกที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแร่ธาตุที่สูงสุดที่กุ้งสามารถควบคุมได้ ก่อนที่จะลดระดับความเข้มข้นลง ยกเว้น Ca ในพลาสมาจะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของช่วงความเค็มทั้งหมด และ Cl ในพลาสมาจะพิจารณาจากจุด iso-ionic point ส่วนการพิจารณาความเข้มข้นของแร่ธาตุแต่ละชนิดในตับ จะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแร่ธาตุในช่วงความเค็มที่มีค่าคงที่ตลอดหรือมีการเปลี่ยนแปลงต่ำ โดยการเติม NaCl, $MgCl_2$, $CaCl_2$ และ KCl มีผลต่อสรีระเคมีของกุ้งขาว (*L. vannamei*) ดังต่อไปนี้

ความเข้มข้นและอัตราส่วนของแร่ธาตุในน้ำ

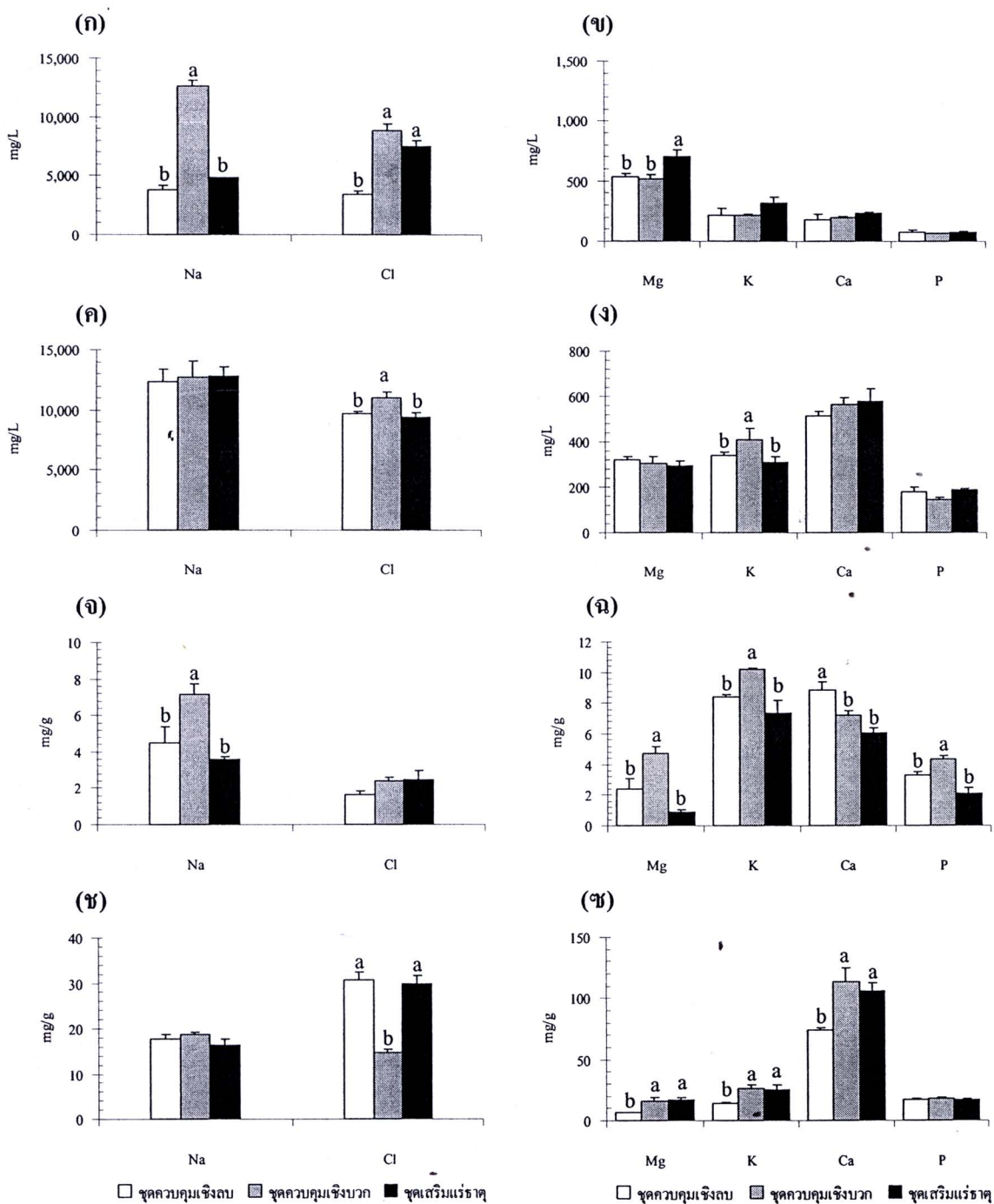
ความเข้มข้นของ Na, K, Mg, Ca, Cl และ P เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มภายในน้ำทั้ง 3 ระดับความเค็ม (ภาพที่ 1ก-ข 2ก-ข 3ก-ข) พบว่า ส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ยกเว้น Na ในชุดควบคุมเชิงบวกมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมเชิงลบและชุดเสริมแร่ธาตุ และความเข้มข้น Cl ในชุดควบคุมเชิงลบมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมเชิงบวกและชุดเสริมแร่ธาตุ และ Mg ที่ความเค็ม 10 ppt กับ Mg และ Cl ที่ความเค็ม 20 ppt ชุดเสริมแร่ธาตุมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมเชิงลบและชุดควบคุมเชิงบวก ขณะที่อัตราส่วนของ Na:Mg, Na:K และ Cl:K ในชุดควบคุมเชิงบวกมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมเชิงลบและชุดเสริมแร่ธาตุ และ Cl:Na ในชุดเสริมแร่ธาตุมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมเชิงลบและชุดควบคุมเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยกเว้น Mg:Ca และ Ca:P ในชุดควบคุมเชิงลบ ชุดควบคุมเชิงบวกและชุดเสริมแร่ธาตุมีค่าไม่แตกต่างกันที่ความเค็ม 10 ppt และพบว่า ทุกชุดการทดลองภายในความเค็ม 20 และ 30 ppt มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 7)

ความเข้มข้นและอัตราส่วนของแร่ธาตุในพลาสมา ตับ และเปลือก

ความเข้มข้นของ Na, K, Mg, Ca, Cl และ P ในพลาสมาที่เลี้ยงในน้ำความเค็ม 10, 20 และ 30 ppt (ภาพที่ 1ค-ง 2ค-ง และ 3ค-ง) พบว่า ความเข้มข้นดังกล่าวทั้ง 3 ชุดการทดลองในแต่

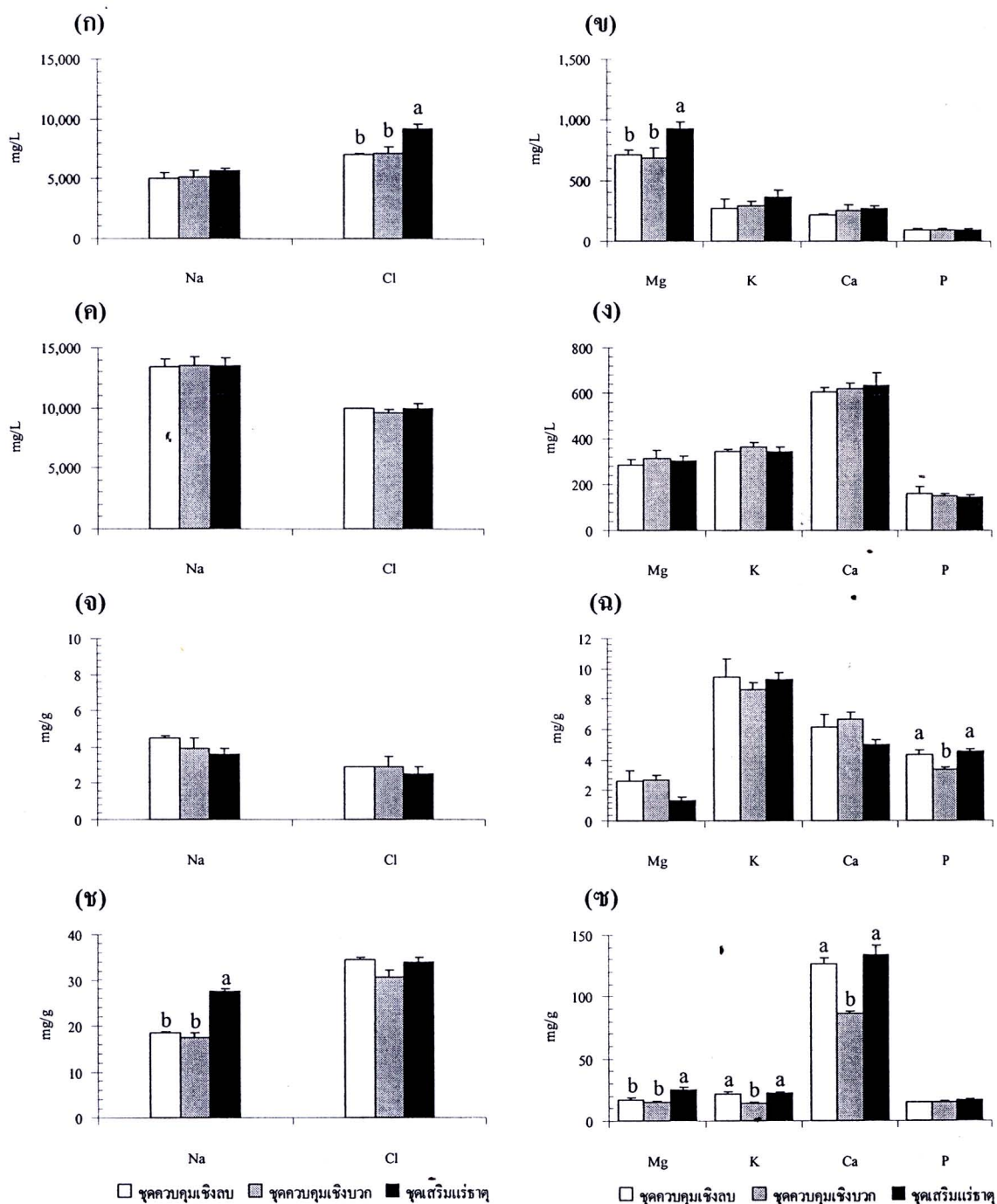
ละความเค็มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ยกเว้นความเข้มข้นของ K และ Cl ในชุดควบคุมเชิงบวกมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมเชิงลบและชุดเสริมแร่ธาตุที่ความเค็ม 10 ppt ขณะที่ในระดับ (ภาพที่ 1จ-ค, 2จ-ค และ 3จ-ค) พบว่า ความเข้มข้นของ Na, K, Mg และ P ในชุดควบคุมเชิงบวกมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมเชิงลบและชุดเสริมแร่ธาตุ ในทางกลับกัน Ca ในชุดควบคุมเชิงลบมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมเชิงบวกและชุดเสริมแร่ธาตุที่ความเค็ม 10 ppt และ P ชุดควบคุมเชิงบวกมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมเชิงลบและชุดเสริมแร่ธาตุที่ความเค็ม 20 ppt ส่วนในเปลือก (ภาพที่ 1ข-ค, 2ข-ค และ 3ข-ค) พบว่า K, Mg และ Ca ในชุดควบคุมเชิงลบมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมเชิงบวกและชุดเสริมแร่ธาตุ และ Cl ในชุดควบคุมเชิงบวกมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมเชิงลบและชุดเสริมแร่ธาตุที่ความเค็ม 10 ppt ขณะที่ Na และ Mg ในชุดเสริมแร่ธาตุมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมเชิงลบและชุดควบคุมเชิงบวก และในทางตรงกันข้าม ความเข้มข้นของ K และ Ca ในชุดควบคุมเชิงบวกมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมเชิงลบและชุดเสริมแร่ธาตุที่ความเค็ม 20 ppt ขณะที่ความเค็ม 30 ppt พบว่า Mg, Ca และ Cl ในชุดเสริมแร่ธาตุมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

อัตราส่วนของ Na:K, Mg:Ca, Na:Mg, Ca:P, Cl:Na และ Cl:K ในพลาสมาและตับที่ความเค็ม 10, 20 และ 30 ppt พบว่า อัตราส่วนดังกล่าวทั้ง 3 ชุดการทดลองแต่ละความเค็มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ยกเว้น Na:Mg ในตับชุดเสริมแร่ธาตุมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมเชิงลบและชุดควบคุมเชิงบวก และ Mg:Ca ในชุดควบคุมเชิงบวกมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมเชิงลบและชุดเสริมแร่ธาตุ ขณะที่ Ca:P ชุดควบคุมเชิงลบมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมเชิงบวกและชุดเสริมแร่ธาตุที่ความเค็ม 10 ppt และ Ca:P ในชุดควบคุมเชิงบวกมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมเชิงลบและชุดเสริมแร่ธาตุที่ความเค็ม 20 ppt ส่วนในเปลือก พบ Na:Mg, Cl:K และ Na:K ในชุดควบคุมเชิงลบมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมเชิงบวกและชุดเสริมแร่ธาตุ และ Cl:Na ในชุดควบคุมเชิงบวกมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมเชิงลบและชุดเสริมแร่ธาตุ ส่วนที่อัตราส่วนของ Mg:Ca ในชุดควบคุมเชิงลบมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมเชิงบวกและชุดเสริมแร่ธาตุที่ความเค็ม 10 ppt ขณะที่อัตราส่วนของ Na:K ในชุดควบคุมเชิงลบมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมเชิงบวกและชุดเสริมแร่ธาตุ และ Cl:Na ในชุดเสริมแร่ธาตุมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมเชิงลบและชุดควบคุมเชิงบวก และ Ca:P ในชุดควบคุมเชิงบวกมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมเชิงลบและชุดเสริมแร่ธาตุ ในทางตรงข้าม Cl:K ในชุดควบคุมเชิงบวกมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมเชิงลบและชุดเสริมแร่ธาตุ ที่ความเค็ม 20 ppt ขณะที่อัตราส่วนของ Cl:K, Ca:P และ Cl:Na ในชุดควบคุมมีค่าสูงกว่าชุดเสริมแร่ธาตุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ความเค็ม 30 ppt (ตารางที่ 8)

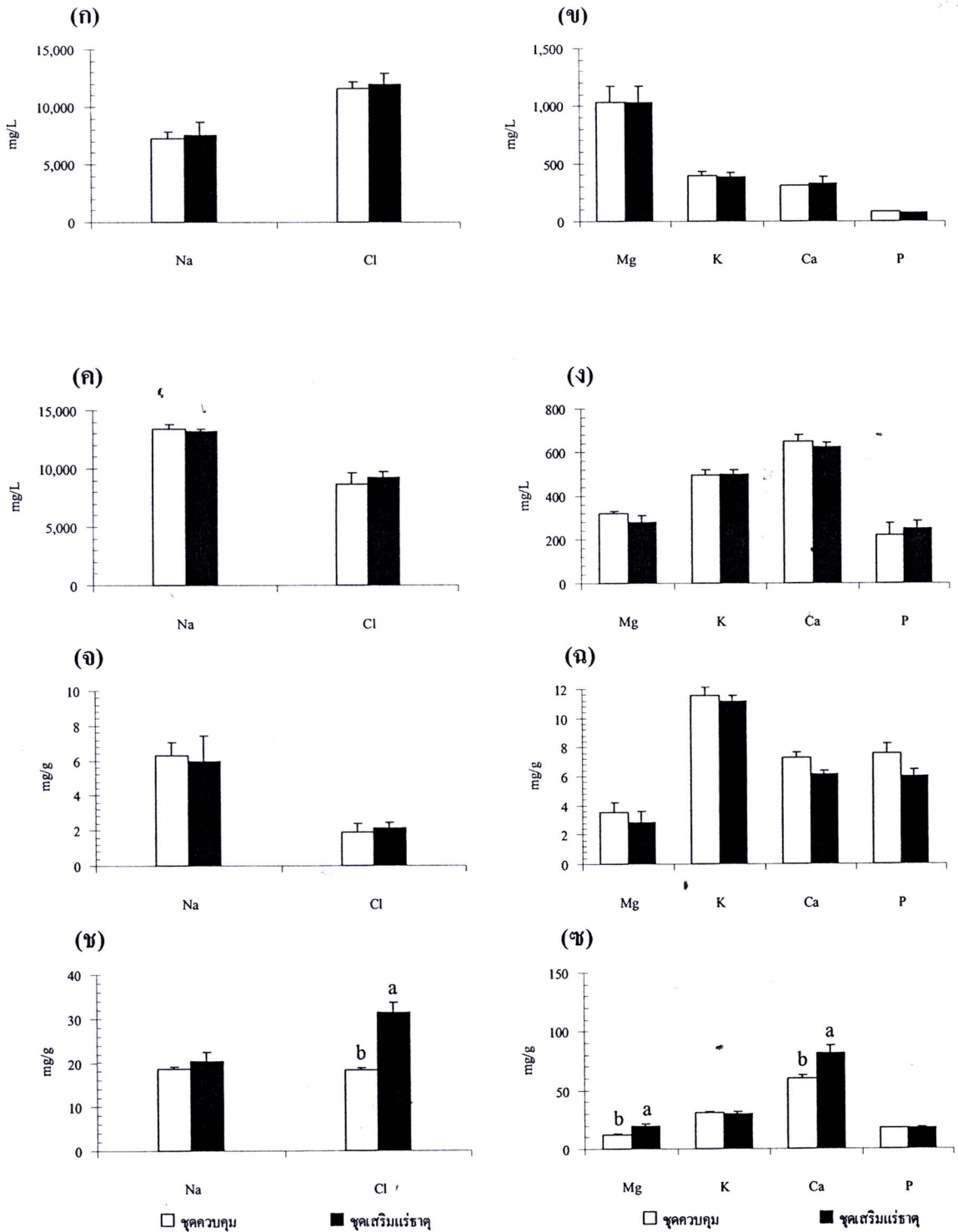


ภาพที่ 1 ความเข้มข้นของ Na, Cl, Mg, K, Ca และ P ในน้ำ (ก-ข) พลาสมา (ค-ง) ตับ (จ-ฉ) และเปลือก (ซ-ซ) ของการเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ในชุดควบคุมเชิงลบ ชุดควบคุมเชิงบวก และชุดเสริมแร่ธาตุ ระยะเวลา 60 วัน ที่ความเค็ม 10 ppt (Mean $\pm$ SE, $p < 0.05$)





ภาพที่ 2 ความเข้มข้นของ Na, Cl, Mg, K, Ca และ P ในน้ำ (ก-ข) พลาสมา (ก-ง) ดับ (จ-ค) และเปลือก (ช-ข) ของการเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ในชุดควบคุมเชิงลบ ชุดควบคุมเชิงบวก และชุดเสริมแร่ธาตุ ระยะเวลา 60 วัน ที่ความเค็ม 20 ppt (Mean $\pm$ SE, $p < 0.05$)



ภาพที่ 3 ความเข้มข้นของ Na, Cl, Mg, K, Ca และ P ในน้ำ (ก-ข) พลาสมา (ค-ง) ตับ (จ-ฉ) และ
 เปลือก (ซ-ช) ของการเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ในชุดควบคุมเชิงลบ ชุดควบคุมเชิงบวก
 และชุดเสริมแร่ธาตุ ระยะเวลา 60 วัน ที่ความเค็ม 30 ppt (Mean $\pm$ SE, $p < 0.05$)

ตารางที่ 7 อัตราส่วนของแร่ธาตุในน้ำและพลาสมาของกุ้งขาว (*L. vannamei*) ในชุดควบคุมเชิงลบ ชุดควบคุมเชิงบวกและชุดเสริมแร่ธาตุ ระยะเวลาดูแล 60 วัน ที่ความเค็ม 10, 20 และ 30 ppt

แหล่ง	ความเค็ม (ppt)	ชุดการทดลอง	Na:K	Mg:Ca	Na:Mg	Ca:P	Cl:Na	Cl:K	
น้ำ	10	ชุดควบคุมเชิงลบ	15.39:1 ^b	3.46:1	7.10:1 ^b	2.17:1	0.92:1 ^b	17.35:1 ^b	
		ชุดควบคุมเชิงบวก	47.14:1 ^a	2.68:1	24.57:1 ^a	3.20:1	0.70:1 ^b	33.12:1 ^a	
		ชุดเสริมแร่ธาตุ	15.59:1 ^b	3.02:1	6.95:1 ^b	3.00:1	1.55:1 ^a	24.47:1 ^b	
		ชุดควบคุมเชิงลบ	17.12:1	3.27:1	7.06:1	2.39:1	1.45:1	24.35:1	
	20	ชุดควบคุมเชิงบวก	17.12:1	2.96:1	7.73:1	2.83:1	1.40:1	24.83:1	
		ชุดเสริมแร่ธาตุ	16.19:1	3.45:1	6.18:1	2.99:1	1.64:1	25.86:1	
		ชุดควบคุม	18.30:1	3.37:1	7.46:1	3.85:1	1.63:1	29.85:1	
	30	ชุดเสริมแร่ธาตุ	19.96:1	3.11:1	7.32:1	4.67:1	1.63:1	32.25:1	
		ชุดควบคุมเชิงลบ	36.33:1	0.56:1	39.00:1	3.30:1	0.80:1	28.71:1	
	พลาสมา	10	ชุดควบคุมเชิงบวก	31.74:1	0.44:1	40.40:1	5.01:1	0.89:1	28.16:1
			ชุดเสริมแร่ธาตุ	41.45:1	0.46:1	44.16:1	3.47:1	0.73:1	30.44:1
			ชุดควบคุมเชิงลบ	38.88:1	0.50:1	48.75:1	3.30:1	0.75:1	28.92:1
20		ชุดควบคุมเชิงบวก	37.27:1	0.44:1	43.96:1	5.01:1	0.71:1	26.19:1	
		ชุดเสริมแร่ธาตุ	39.54:1	0.46:1	46.26:1	3.47:1	0.74:1	29.03:1	
		ชุดควบคุม	27.37:1	0.50:1	42.13:1	3.44:1	0.66:1	18.02:1	
30		ชุดเสริมแร่ธาตุ	26.40:1	0.45:1	47.80:1	2.59:1	0.69:1	18.65:1	

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในตารางหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ค่าสถิติเปรียบเทียบภายในแหล่งและที่ความเค็มเดียวกัน

ตารางที่ 8 อัตราส่วนของแร่ธาตุในตับและเปลือกของกุ้งขาว (*L. vannamei*) ในชุดควบคุมเชิงลบ ชุดควบคุมเชิงบวก และชุดเสริมแร่ธาตุ ระยะเวลาดูแล 60 วัน ที่ความเค็ม 10, 20 และ 30 ppt

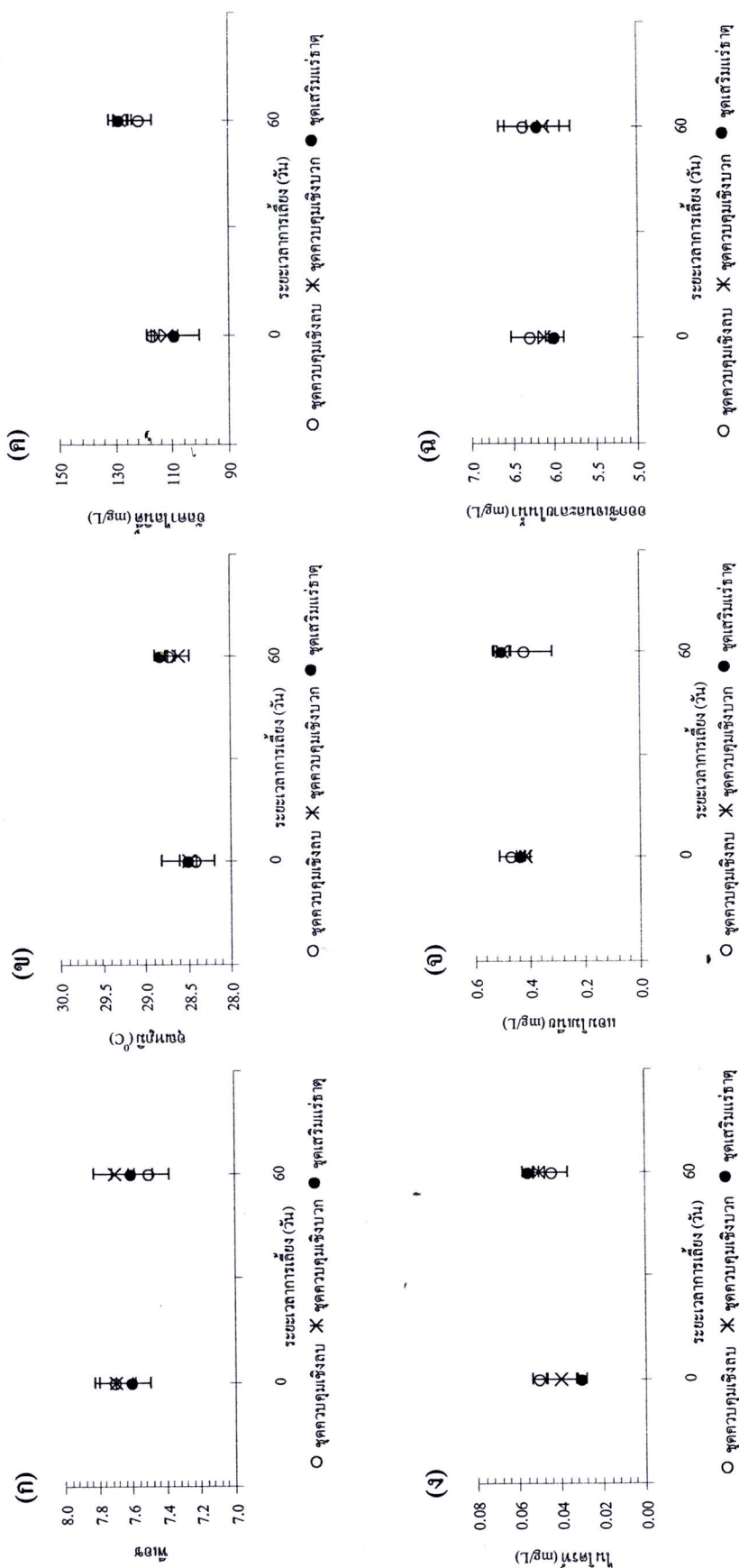
แหล่ง	ความเค็ม (ppt)	การทดลอง	Na:K	Mg:Ca	Na:Mg	Ca:P	Cl:Na	Cl:K
ตับ	10	ชุดควบคุมเชิงลบ	0.52:1	0.27:1 ^b	2.05:1 ^b	2.65:1 ^{ab}	0.40:1	0.19:1
		ชุดควบคุมเชิงบวก	0.70:1	0.65:1 ^a	1.54:1 ^b	1.66:1 ^b	0.34:1	0.24:1
		ชุดเสริมแร่ธาตุ	0.51:1	0.15:1 ^b	4.10:1 ^a	3.04:1 ^a	0.70:1	0.34:1
	20	ชุดควบคุมเชิงลบ	0.49:1	0.43:1	1.99:1	1.41:1 ^b	0.65:1	0.32:1
		ชุดควบคุมเชิงบวก	0.45:1	0.41:1	1.43:1	2.02:1 ^a	0.75:1	0.34:1
		ชุดเสริมแร่ธาตุ	0.39:1	0.27:1	2.93:1	1.10:1 ^b	0.73:1	0.27:1
เปลือก	30	ชุดควบคุม	0.55:1	0.50:1	1.84:1	0.96:1	0.32:1	0.16:1
		ชุดเสริมแร่ธาตุ	0.53:1	0.47:1	2.79:1	1.04:1	0.41:1	0.19:1
		ชุดควบคุมเชิงลบ	1.27:1 ^b	0.08:1 ^b	2.91:1 ^a	4.57:1	1.73:1 ^a	2.20:1 ^a
	10	ชุดควบคุมเชิงบวก	0.73:1 ^a	0.15:1 ^a	1.20:1 ^b	6.31:1	0.78:1 ^b	0.58:1 ^b
		ชุดเสริมแร่ธาตุ	0.70:1 ^a	0.16:1 ^a	1.01:1 ^b	6.43:1	1.85:1 ^a	1.29:1 ^b
		ชุดควบคุมเชิงลบ	0.86:1 ^b	0.13:1	1.15:1	8.67:1 ^a	1.86:1 ^b	1.60:1 ^b
	20	ชุดควบคุมเชิงบวก	1.20:1 ^a	0.18:1	1.16:1	5.87:1 ^b	1.76:1 ^a	2.15:1 ^a
		ชุดเสริมแร่ธาตุ	1.25:1 ^a	0.19:1	1.12:1	7.97:1 ^a	1.23:1 ^b	1.54:1 ^b
		ชุดควบคุม	0.61:1	0.21:1	1.55:1 ^b	3.46:1 ^b	0.98:1 ^b	0.59:1 ^b
	30	ชุดเสริมแร่ธาตุ	0.67:1	0.25:1	1.01:1 ^a	4.49:1 ^a	1.58:1 ^a	1.04:1 ^a

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในตารางหมายถึงให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

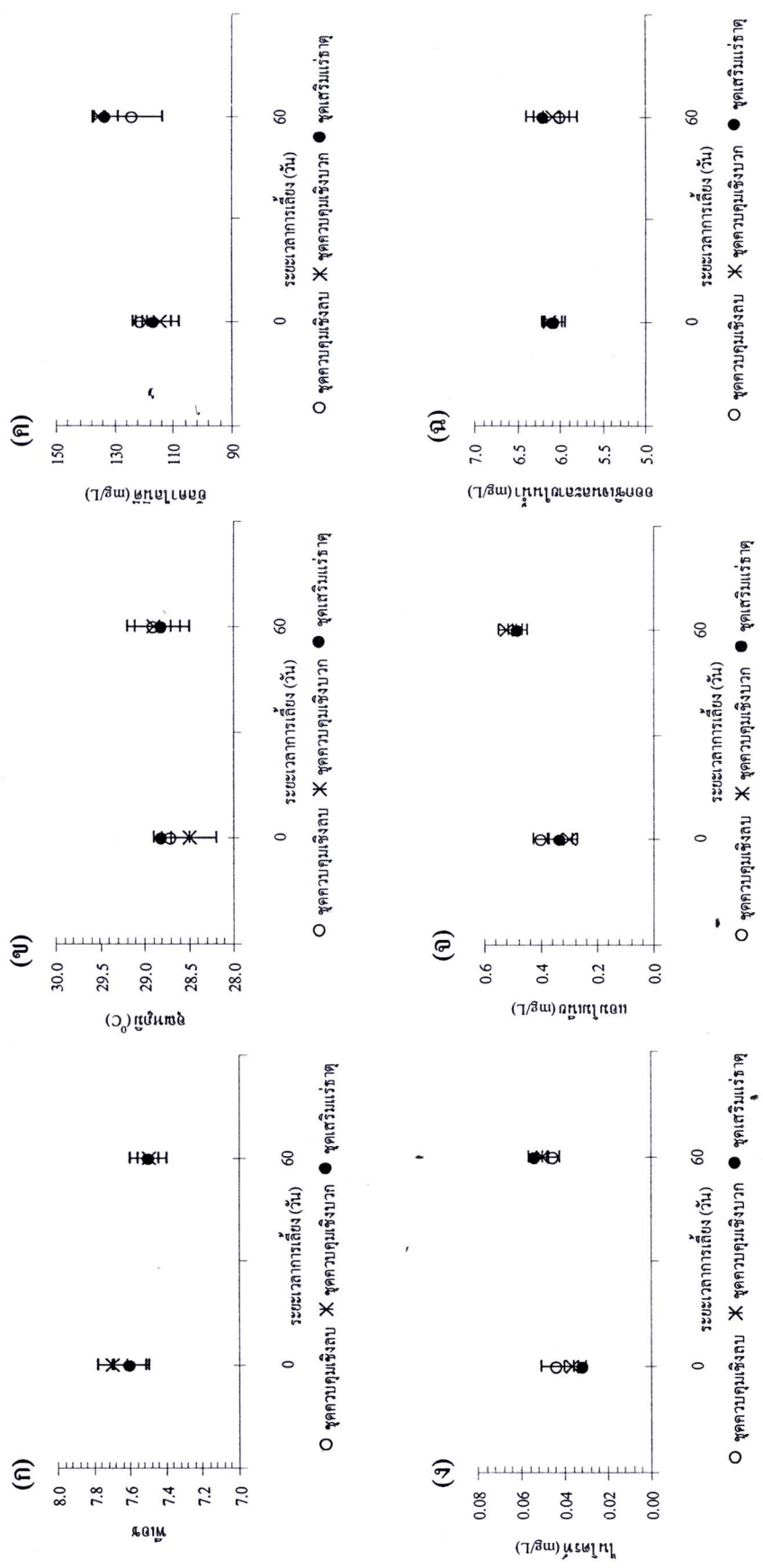
ค่าสถิติเปรียบเทียบภายในแหล่งและความเค็มเดียวกัน

คุณภาพน้ำ

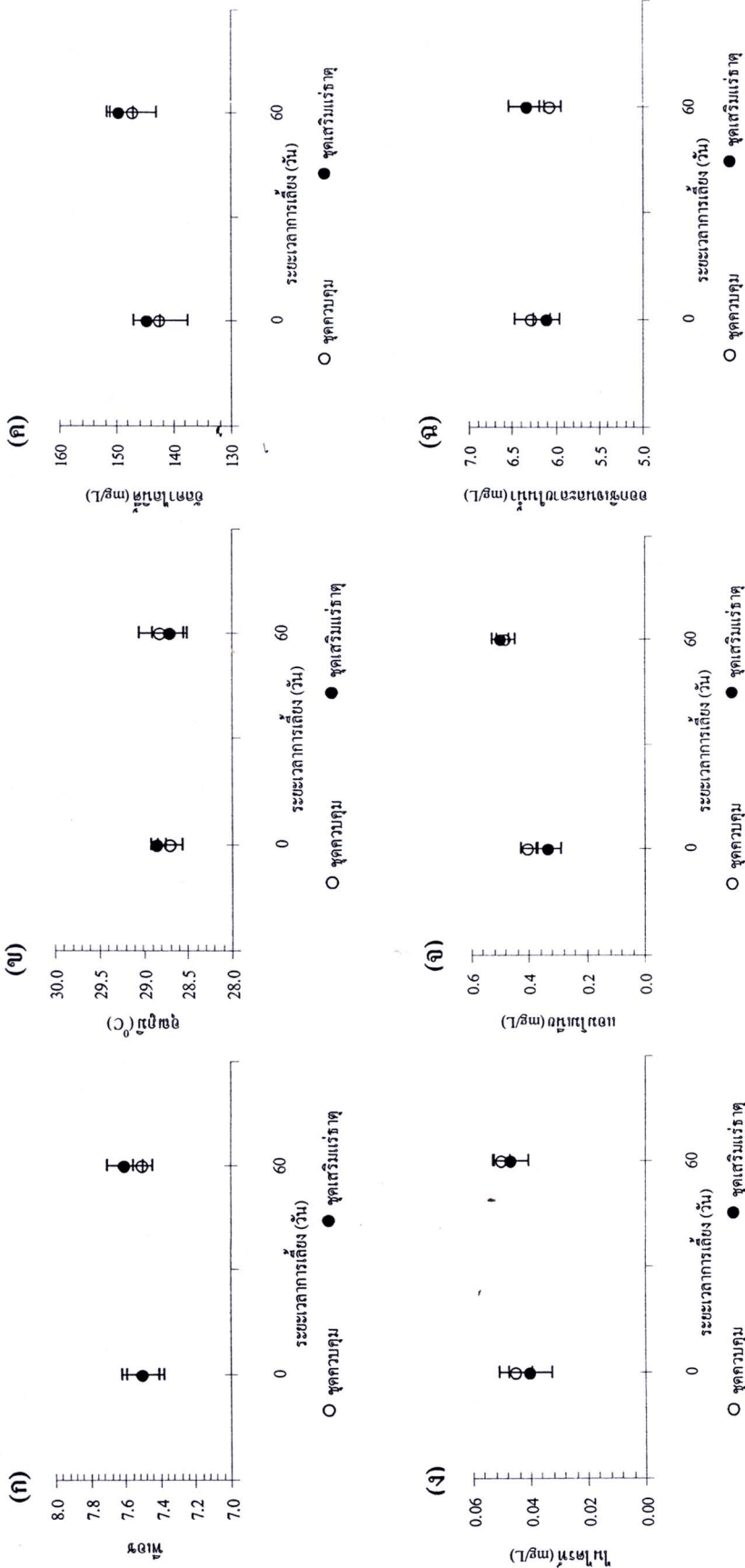
คุณภาพน้ำในการเลี้ยงกุ้งที่ความเค็ม 10 และ 20 ppt พบว่า ค่าเฉลี่ยของพีเอชในชุดควบคุมเชิงลบมีค่า 7.6 และ 7.5 ในชุดควบคุมเชิงบวกมีค่า 7.7 และ 7.6 และในชุดเสริมแร่ธาตุมีค่า 7.6 (ภาพที่ 4ก และ 5ก) อุณหภูมิในชุดควบคุมเชิงลบมีค่า 28.6 และ 28.8 °C ในชุดควบคุมเชิงบวกมีค่า 28.6 และ 28.7 °C และในชุดเสริมแร่ธาตุมีค่า 28.7 และ 28.8 °C (ภาพที่ 4ข และ 5ข) อัลคาไลน์ดีในชุดควบคุมเชิงลบมีค่า 118.9 และ 122.5 mg/L ในชุดควบคุมเชิงบวกมีค่า 120 และ 124.8 mg/L และในชุดเสริมแร่ธาตุมีค่า 118.5 และ 124.8 mg/L (ภาพที่ 4ค และ 5ค) ไนโตรท์ในชุดควบคุมเชิงลบมีค่า 0.047 และ 0.044 mg/L ในชุดควบคุมเชิงบวกมีค่า 0.045 และ 0.043 mg/L และในชุดเสริมแร่ธาตุมีค่า 0.043 mg/L (ภาพที่ 4ง และ 5ง) แอมโมเนียในชุดควบคุมเชิงลบมีค่า 0.44 mg/L ในชุดควบคุมเชิงบวกมีค่า 0.46 และ 0.41 mg/L และในชุดเสริมแร่ธาตุมีค่า 0.47 และ 0.41 mg/L (ภาพที่ 4จ และ 5จ) ออกซิเจนละลายในน้ำในชุดควบคุมเชิงลบมีค่า 6.3 และ 6.0 mg/L และ 6.1 mg/L ทั้งในชุดควบคุมเชิงบวกและชุดเสริมแร่ธาตุ (ภาพที่ 4ฉ และ 5ฉ) ซึ่งค่าทั้งหมดนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ขณะที่ความเค็ม 30 ppt พบว่า ค่าเฉลี่ยของพีเอช มีค่า 7.5 และ 7.6 ในชุดควบคุมและชุดเสริมแร่ธาตุ ตามลำดับ (ภาพที่ 6ก) อุณหภูมิมีค่า 28.8 °C ทั้งในชุดควบคุมและชุดเสริมแร่ธาตุ (ภาพที่ 6ข) อัลคาไลน์ดีในชุดควบคุมและชุดเสริมแร่ธาตุมีค่า 144.7 และ 147.0 mg/L ตามลำดับ (ภาพที่ 6ค) ไนโตรท์ในชุดควบคุมมีค่า 0.048 mg/L และในชุดเสริมแร่ธาตุมีค่า 0.043 mg/L (ภาพที่ 6ง) แอมโมเนียมีค่า 0.44 และ 0.42 mg/L ในชุดควบคุม และชุดเสริมแร่ธาตุ ตามลำดับ (ภาพที่ 6จ) ขณะที่ออกซิเจนละลายในน้ำมีค่า 6.2 mg/L ทั้งชุดควบคุมและชุดเสริมแร่ธาตุ (ภาพที่ 6ฉ) ซึ่งค่าทั้งหมดนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)



ภาพที่ 4 พิเศษ (ก) อุณหภูมิ (ข) อัตราการเติบโต (ค) อัตราการเลี้ยง (ง) และออกซิเจนละลายในน้ำ (ฉ) ในการเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ในชุดควบคุม
แข็งแรง ชุดควบคุมแข็งแรงและชุดเสริมแร่ธาตุ ระยะเวลาเลี้ยง 60 วัน ที่ความเค็ม 10 ppt (Mean $\pm$ SE)



ภาพที่ 5 พิธี (ก) อุณหภูมิ (ข) อัตราการเติบโต (ค) ไนโตรเจนแอมโมเนีย (ง) ไนโตรเจนไนไตรต์ (จ) และออกซิเจนละลายในน้ำ (ฉ) ในการเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ในชุดควบคุม
เลี้ยง และชุดควบคุมเสริมแร่ธาตุ ระยะเวลาล้าง 60 วัน ที่ความเค็ม 20 ppt (Mean $\pm$ SE)



ภาพที่ 6 พิเศษ (ก) อุณหภูมิ (ข) อัตราการเติบโต (ค) โปรตีน (ง) ไขมัน (จ) และออกซิเจนละลายในน้ำ (ฉ) ในการเลี้ยงกุ้งขาว (*L. vannamei*) ในชุดควบคุม และชุดเสริมแร่ธาตุ ระยะเวลาดำรง 60 วัน ที่ความเค็ม 30 ppt (Mean $\pm$ SE)

