บทที่ 4

ผลการทดลอง

การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำตลอดการเลี้ยง พบว่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ปกติสำหรับกุ้งกุลาดำ (คณิต ไชยาคำและคณะ, 2537) โดยมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 7.5 - 7.8 อุณหภูมิน้ำ 28 - 29 องศาเซลเซียส แอมโมเนีย (NH_4^+) 0 - 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำไม่ได้มีการตรวจสอบแต่ได้ทำการให้อากาศอยู่ตลอดเวลา

การทดลองผลของความเค็มต่อการปรับสมดุลเกลือและน้ำในกุ้งกุลาดำ

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นไอออนในเลือดกุ้ง (haemolymph) พบว่าความเค็มมีผลต่อโซเดียม โปแตสเซียม และแมกนีเซียมไอออนอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) แต่ไม่มีผลต่อแคลเซียมไอออน (P>0.05)

ความเข้มข้นโซเดียมไอออนมีค่าสูงสุดที่ความเค็ม 5 ppt รองลงมาได้แก่ 30 ,42 และ 17 ppt ตามลำดับ ซึ่งที่ 42 และ 17 ppt มีค่าไม่แตกต่างกัน (P>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 2 เมื่อเทียบกับเส้นมาตรฐาน (Isionic line) แล้วพบว่า ที่ความเค็ม 5 ppt มีความเข้มข้นในเลือดสูงกว่าในสภาวะแวดล้อม ส่วนที่ความเค็ม 17, 30 และ 42 ppt มีความเข้มข้นในเลือดต่ำกว่าในสภาวะแวดล้อม โซเดียมไอออนมีค่า Isoionic point กับสภาวะแวดล้อมที่ 19.84 ppt (รูปที่ 14 ก.) เมื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear regression analysis) พบว่าความเข้มข้นโซเดียมไอออนมีอัตราการลดลง 1.99 mMol เมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นความเค็ม 1 ppt (P<0.05)

ความเข้มข้นโปแตสเซียมไอออนที่ความเค็ม 17 ppt มีค่าสูงที่สุดรองลงมาคือ 30 ppt แต่มีค่าไม่แตกต่างกัน(P>0.05) ที่ความเค็ม 42 และ 5 ppt มีค่ารองลงมาตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 เมื่อเทียบกับเส้นมาตรฐานพบว่า ที่ความเค็ม 5 และ 17 ppt มีความเข้มข้นในเลือดสูงกว่าในสภาวะแวดล้อม ส่วนที่ความเค็ม 30 และ 42 ppt มีความเข้มข้นในเลือดต่ำกว่าในสภาวะแวดล้อม โปแตสเซียมไอออนมีค่า Isoionic point กับสภาวะแวดล้อมที่ 23.45 ppt (รูปที่ 14 ข.)

ความเข้มข้นแมกนีเซียมไอออนที่ความเค็ม 42 ppt มีค่าสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ 30, 17 และ 5 ppt ตามลำดับและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2 เมื่อเทียบกับเส้นมาตรฐานแล้วพบว่าทุกความเค็มมีความเข้มข้นในเลือดต่ำกว่าในสภาวะแวดล้อม แมกนีเซียมไอออนไม่มีค่า Isoionic point กับสภาวะแวดล้อม (รูปที่ 14 ค.) เมื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้นพบว่าความเข้มข้นแมกนีเซียมไอออนมีอัตราการเพิ่มขึ้น 0.09mMol เมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น 1 ppt ($P<0.05$)

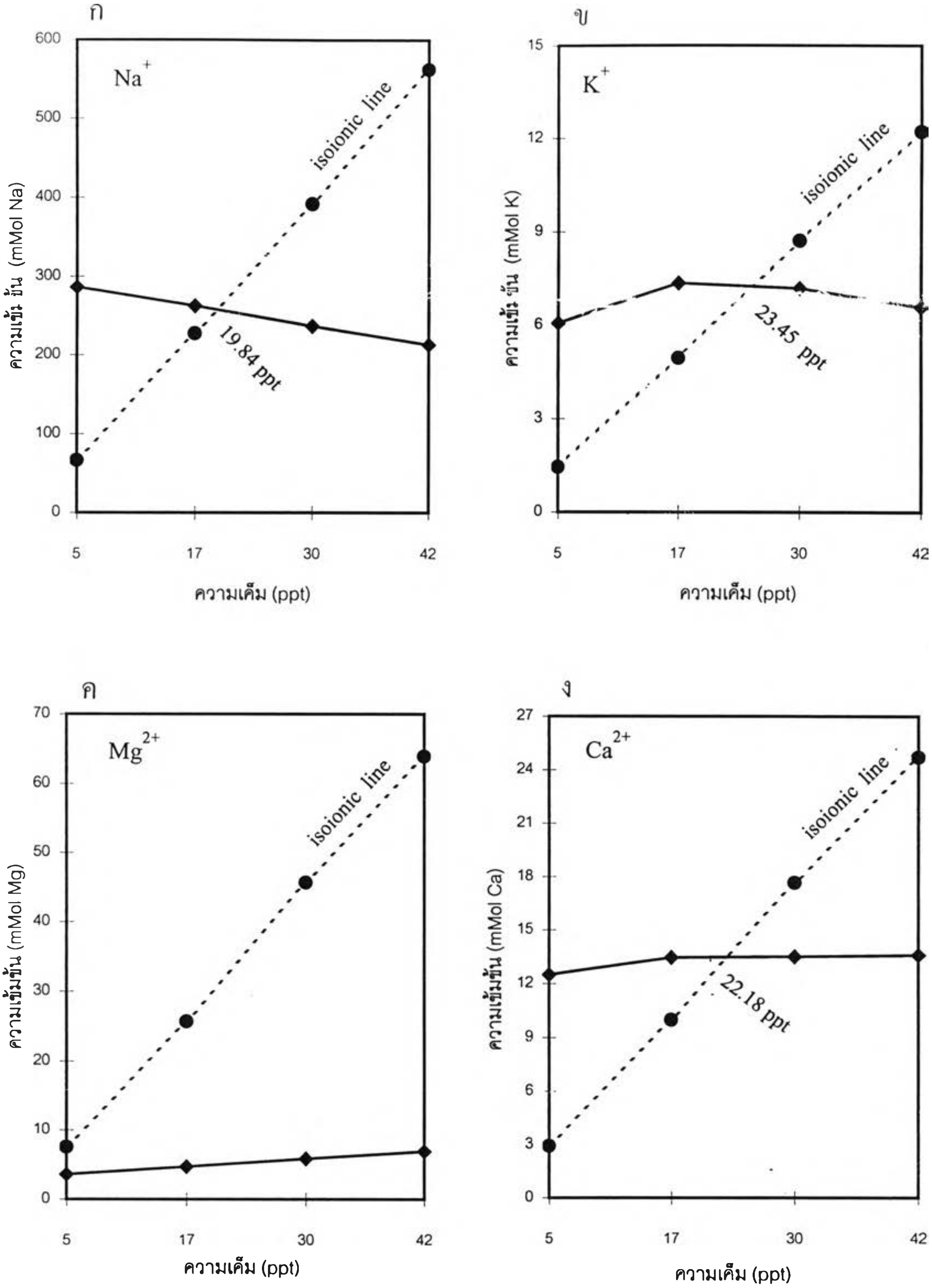
ความเค็มไม่มีผลต่อความเข้มข้นแคลเซียมไอออน ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2 เมื่อเทียบกับเส้นมาตรฐานแล้วพบว่า ที่ความเค็ม 5 และ 17 ppt มีความเข้มข้นในเลือดสูงกว่าในสภาวะแวดล้อม ที่ความเค็ม 30 และ 42 ppt มีความเข้มข้นในเลือดต่ำกว่าในสภาวะแวดล้อม แคลเซียมไอออนมีค่า Isoionic point กับสภาวะแวดล้อมที่ 22.18 ppt (รูปที่ 14 ง.)

ตารางที่ 2 ผลของความเค็มต่อการปรับสมดุลเกลือและน้ำในกุ้งกุลาดำ

ความเค็ม	Na^{+} (mMol)		K^{+} (mMol)	
(ppt)	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
5	257.55 - 364.24	316.54^{a} ± 24.67 (29)	4.31 - 7.44	6.06^{c} ± 0.90 (32)
17	177.19 - 283.71	215.69^{c} ± 26.39 (33)	4.32 - 9.06	7.37^{a} ± 1.14 (35)
30	197.40 - 311.42	253.38^{b} ± 34.08 (30)	4.59 - 9.30	7.21^{a} ± 1.10 (34)
42	201.31 - 272.21	232.36^{c} ± 21.74 (8)	4.53 - 8.53	6.60^{b} ± 0.97 (32)
	Mg^{2+} (mMol)		Ca^{2+} (mMol)	
5	2.59 - 5.20	3.89^{d} ± 0.81 (32)	10.70 - 13.92	12.49 ± 0.91 (2[illegible])
17	2.44 - 6.31	4.47^{c} ± 0.98 (36)	10.70 - 16.21	13.46 ± 1.62 (24)
30	4.16 - 8.25	5.91^{b} ± 1.16 (32)	9.39 - 16.80	13.50 ± 2.07 (25)
42	5.53 - 9.66	7.26^{a} ± 1.03 (27)	10.46 - 17.29	13.57 ± 2.05 (23)

[1]EA (Eyestalk ablation) ชุดการทดลองที่ตัดก้านตา [2]ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [3]ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงจำนวนตัว

[abcd]แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %ในสดมภ์เดียวกัน



รูปที่ 14 ผลของความเค็มต่อการปรับสมดุลเกลือและน้ำในเลือดกุ้ง ($\bar{X}$)

การทดลองผลของการตัดก้านตาต่อการปรับสมดุลเกลือและน้ำในกุ้งกุลาดำ

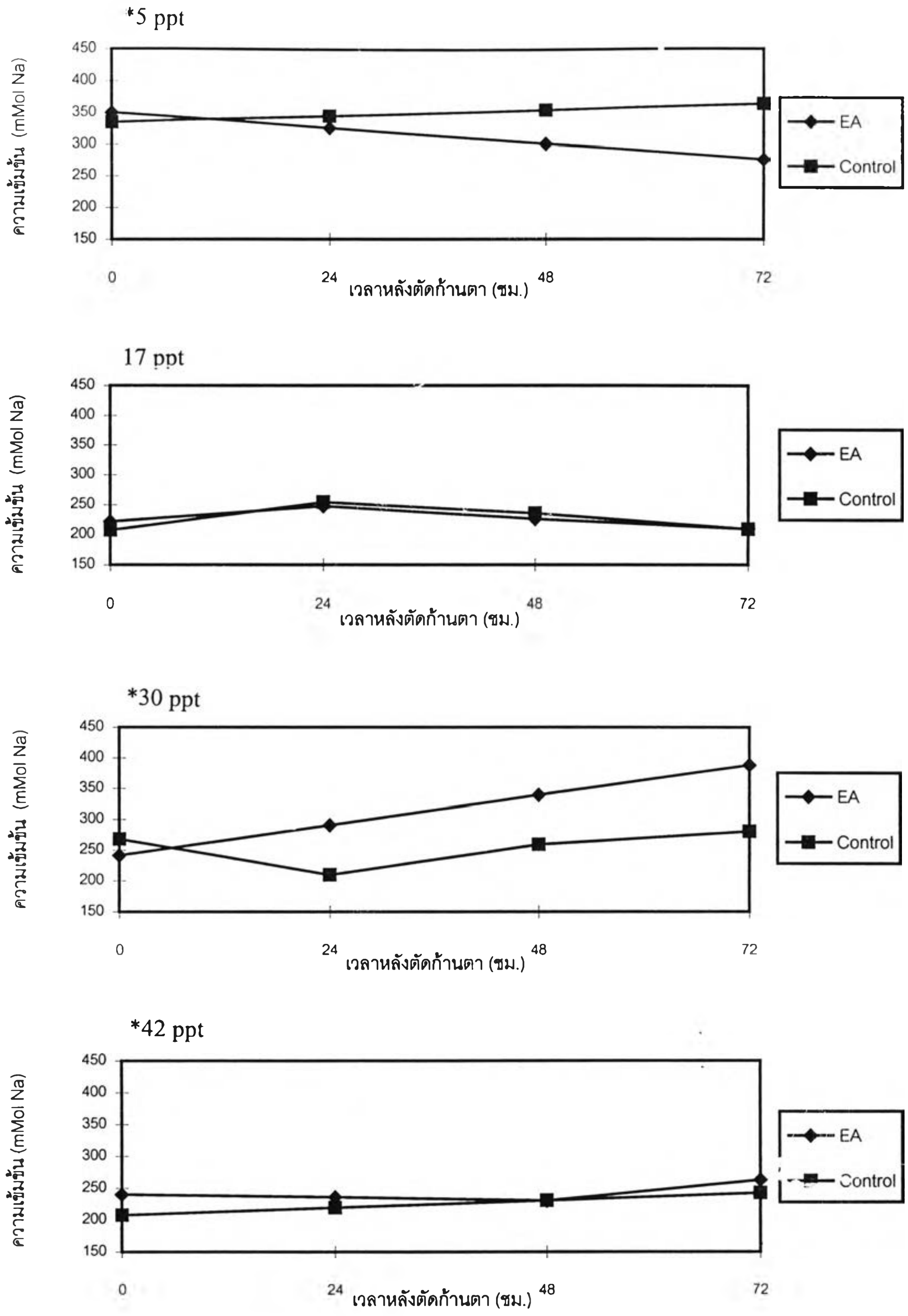
ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นโซเดียมไอออนในเลือดกุ้ง ด้วยวิธีการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้นพบว่าที่ความเค็ม 5 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กล่าวคือชุดควบคุมความเข้มข้นโซเดียมไอออนมีอัตราเพิ่มขึ้น 0.40 mMol ต่อชั่วโมง ส่วนชุดตัดก้านตามีอัตราลดลงมากกว่าคือ 1.03 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) ที่ความเค็ม 17 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตาไม่มีความแตกต่างกัน(P>0.05) ที่ความเค็ม 30 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กล่าวคือชุดตัดก้านตาความเข้มข้นโซเดียมไอออนมีอัตราเพิ่มขึ้น 2.04 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) ส่วนชุดควบคุมไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (P>0.05) ที่ความเค็ม 42 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กล่าวคือชุดควบคุมความเข้มข้นโซเดียมไอออนมีอัตราเพิ่มขึ้น 0.48 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) ส่วนชุดตัดก้านตาไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (P>0.05) (รูปที่ 15) การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance) แสดงในภาคผนวก ข.

ตารางที่ 3 ผลของการตัดก้านตาต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นโซเดียมไอออน (mMol)ในเลือดกุ้งกุลาดำ

เวลาหลังตัด	5 ppt		17 ppt	
ก้านตา(ชม)	EA	Control	EA	Control
0	312.84[a] ± 31.40 (14)	320.00[b] ± 16.60 (15)	221.76 ± 28.80 (19)	207.45 ± 20.97 (14)
24	371.48[a] ± 23.44 (11)	355.00[b] ± 18.89 (12)	247.42 ± 35.20 (14)	254.13 ± 34.77 (14)
48	348.22[a] ± 31.50 (12)	396.99[b] ± 22.24 (10)	225.99 ± 27.31 (12)	235.62 ± 29.45 (16)
72	207.68[a] ± 12.60(8)	338.96[b] ± 35.86(13)	209.49 ± 13.39 (10)	209.00 ± 19.76 (12)
	30 ppt		42 ppt	
0	243.81[a] ± 34.13 (18)	267.73[b] ± 29.80 (12)	239.96[a] ± 29.22 (4)	224.77[b] ± 9.76 (4)
24	272.61[a] ± 33.40 (15)	209.55[b] ± 18.26 (15)	235.59[a] ± 27.86(4)	188.81[b] ± 5.49(3)
48	367.87[a] ± 32.02 (14)	258.96[b] ± 35.44 (13)	230.24[a] ± 25.69 (4)	227.39[b] ± 14.26 (8)
72	370.31[a] ± 30.22 (10)	280.20[b] ± 37.30 (11)	262.80[a] ± 23.81 (6)	254.39[b] ± 20.41 (4)

[1] EA (Eyestalk ablation) ชุดการทดลองที่ตัดก้านตา [2] ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [3] ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงจำนวนตัว

[ab] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 15 ผลของการตัดก้านตาต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นโซเดียมไอออนในเลือดกุ้งกุลาดำ ที่ความเค็ม 5, 17, 30 และ 42 ppt ($\overline{X}$)

(*แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %)

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นโปแตสเซียมไอออนในเลือดกุ้ง ด้วยวิธีการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้น พบว่าที่ความเค็ม 5 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่ไม่พบความสัมพันธ์เชิงเส้น ที่ความเค็ม 17 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตาไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ที่ความเค็ม 30 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กล่าวคือชุดควบคุมความเข้มข้นโปแตสเซียมไอออนมีอัตราเพิ่มขึ้น 0.01 mMol ต่อชั่วโมง ส่วนชุดตัดก้านตามีอัตราเพิ่มขึ้นมากกว่าคือ 0.02 mMol ต่อชั่วโมง ($P<0.05$) ที่ความเค็ม 42 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กล่าวคือชุดตัดก้านตามีอัตราเพิ่มขึ้น 0.03 mMol ต่อชั่วโมง ($P<0.05$) ส่วนชุดควบคุมไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น ($P>0.05$) (รูปที่ 16) การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแสดงในภาคผนวก ข.

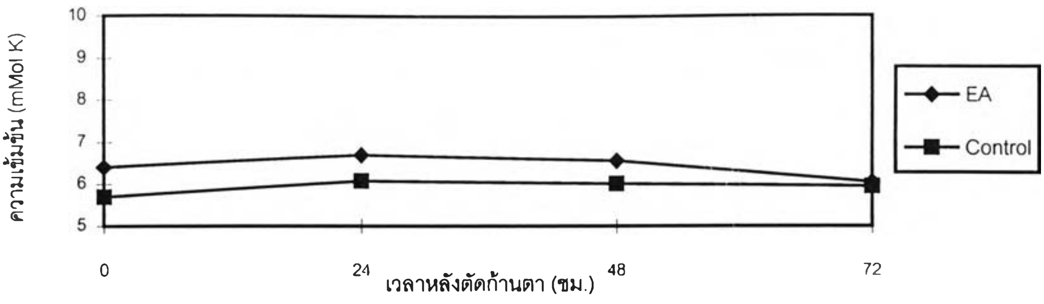
ตารางที่ 4 ผลของการตัดก้านตาต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นโปแตสเซียมไอออน (mMol)ในเลือดกุ้งกุลาดำ

เวลาหลังตัด	5 ppt		17 ppt	
ก้านตา(ชม)	EA	Control	EA	Control
0	6.41^{a} ± 0.78 (16)	5.71^{b} ± 0.91 (16)	6.78 ± 1.20 (18)	7.99 ± 0.66 (17)
24	6.70^{a} ± 0.81 (13)	6.08^{b} ± 0.99 (15)	7.52 ± 1.61 (16)	7.51 ± 0.55 (14)
48	6.56^{a} ± 0.99 (15)	6.01^{b} ± 0.89 (12)	6.84 ± 1.23 (16)	6.87 ± 1.05 (15)
72	6.05^{a} ± 0.72 (9)	5.95^{b} ± 1.21 (15)	6.83 ± 0.80 (14)	6.76 ± 1.45 (16)
	30 ppt		42 ppt	
0	7.09^{a} ± 1.30 (18)	7.33^{b} ± 0.86 (16)	6.61^{a} ± 0.79 (16)	6.59^{b} ± 1.15 (16)
24	7.79^{a} ± 0.86 (13)	6.75^{b} ± 0.70 (15)	8.56^{a} ± 1.27 (14)	7.97^{b} ± 1.08 (14)
48	8.64^{a} ± 0.84 (14)	7.78^{b} ± 0.84 (13)	8.13^{a} ± 0.53 (10)	7.14^{b} ± 0.80 (13)
72	8.70^{a} ± 0.74 (11)	7.88^{b} ± 1.18 (10)	8.94^{a} ± 0.81 (10)	7.69^{b} ± 1.50 (13)

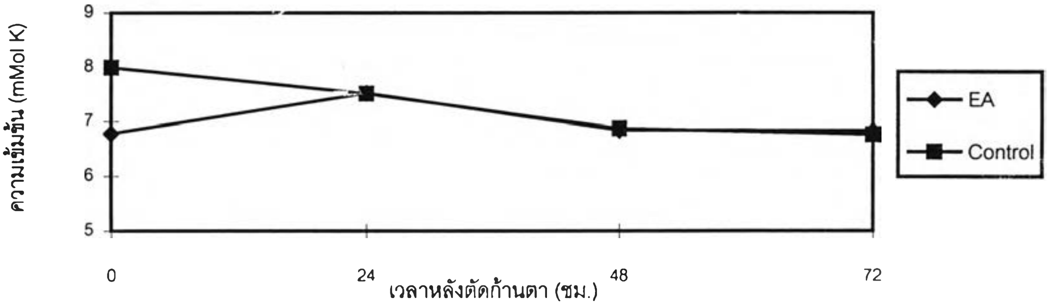
[1] EA (Eyestalk ablation) ชุดการทดลองที่ตัดก้านตา [2] ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [3] ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงจำนวนตัว

[ab] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

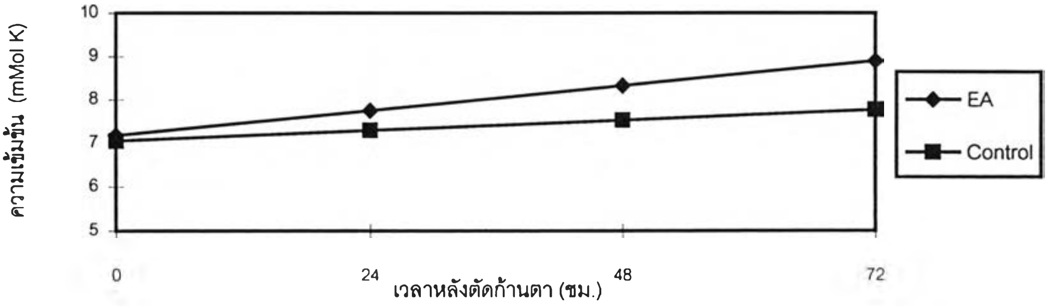
*5 ppt



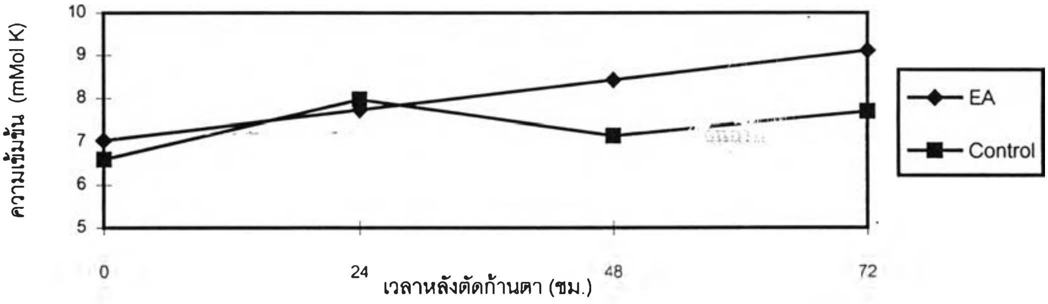
17 ppt



*30 ppt



*42 ppt



รูปที่ 16 ผลของการตัดก้านตาต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นโปแตสเซียมไอออนในเลือดกุ้งกุลาดำ ที่ความเค็ม 5, 17, 30 และ 42 ppt ($\bar{X}$)

(*แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %)

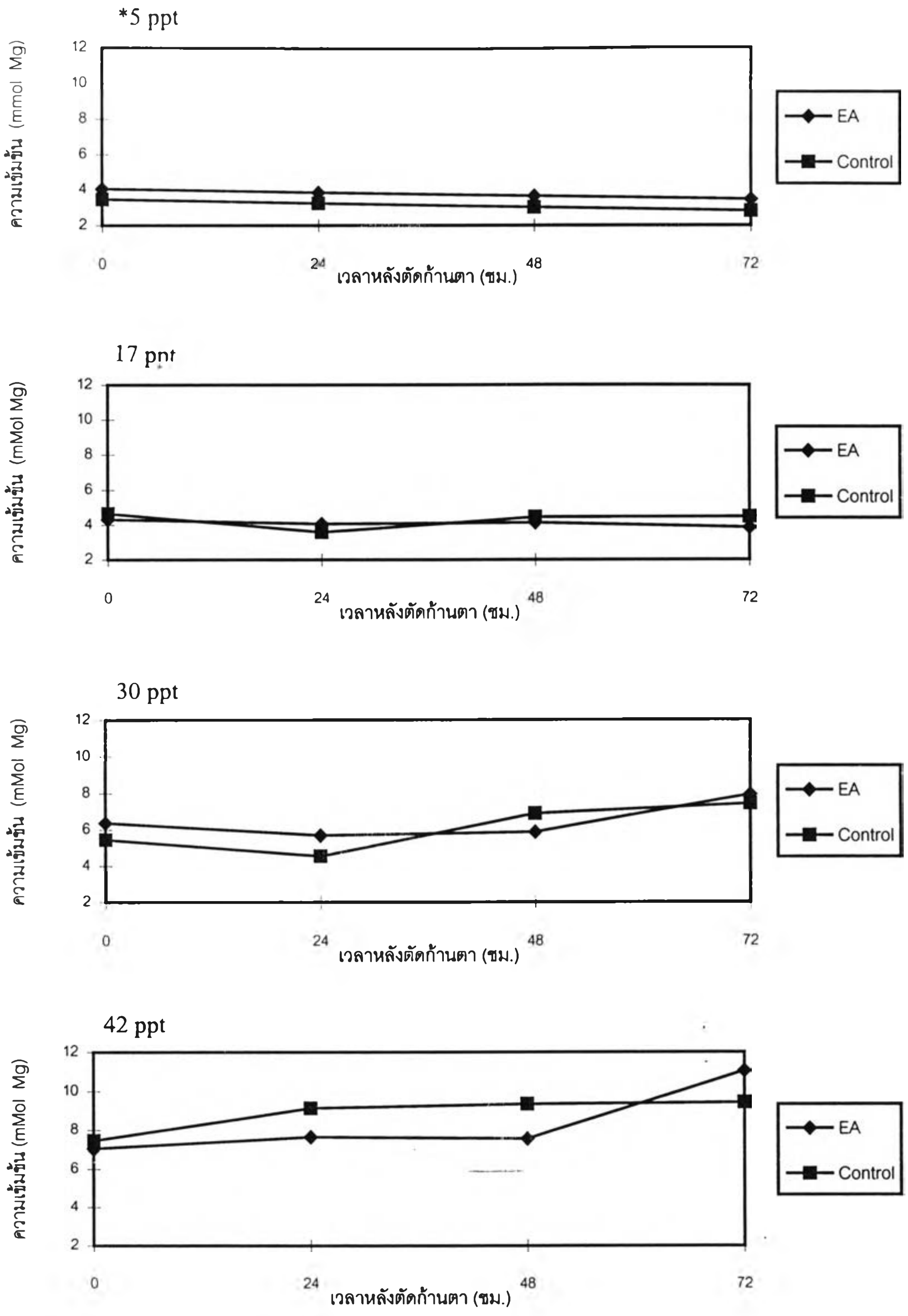
ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นแมกนีเซียมไอออนในเลือดกุ้ง ด้วยวิธีการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้น พบว่าที่ความเค็ม 5 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กล่าวคือชุดควบคุมความเข้มข้นแมกนีเซียมไอออนมีอัตราลดลง 0.01 mMol ต่อชั่วโมง ส่วนชุดตัดก้านตามีอัตราลดลงเท่ากันคือ 0.01 mMol ต่อชั่วโมง ($P<0.05$) ส่วนที่ความเค็ม 17, 30 และ 42 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตาไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) (รูปที่ 17) การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแสดงในภาคผนวก ข.

ตารางที่ 5 ผลของการตัดก้านตาต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแมกนีเซียมไอออน (mMol)ในเลือดกุ้งกุลาดำ

เวลาหลังตัด	5 ppt		17 ppt	
ก้านตา(ชม)	EA	Control	EA	Control
0	4.33[a] ± 0.74 (17)	3.39[b] ± 0.58 (15)	4.32 ± 1.13 (20)	4.65 ± 0.76 (16)
24	3.39[a] ± 0.65 (14)	3.40[b] ± 0.61 (14)	4.06 ± 0.83 (15	3.58 ± 1.20 (16)
48	3.52[a] ± 0.65 (14)	2.85[b] ± 0.48 (12)	4.13 ± 0.78 (16)	4.45 ± 1.27 (14)
72	3.81[a] ± 0.91 (8)	2.80[b] ± 0.63 (14)	3.85 ± 0.82 (14)	4.48 ± 0.84 (15)
	30 ppt		42 ppt	
0	6.37 ± 0.97 (16)	5.45 ± 1.17 (16)	7.05 ± 0.96 (13)	7.46 ± 1.09 (14)
24	5.70 ± 1.28 (15)	4.55 ± 0.56(15)	7.65 ± 1.00 (14)	9.13 ± 1.84 (13)
48	5.89 ± 1.19 (12)	6.90 ± 1.57 (16)	7.56 ± 0.54(12)	9.35 ± 1.77(12)
72	7.93 ± 1.26 (12)	7.43 ± 0.95 (11)	11.05 ± 1.27 (10)	9.44 ± 1.67 (11)

[1] EA (Eyestalk ablation) ชุดการทดลองที่ตัดก้านตา [2] ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [3] ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงจำนวนตัว

[ab] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 17 ผลของการตัดก้านตาต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแมกนีเซียมไอออนในเลือดกุ้งกุลาดำ ที่ความเค็ม 5, 17, 30 และ 42 ppt ($\bar{X}$)

(*แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %)

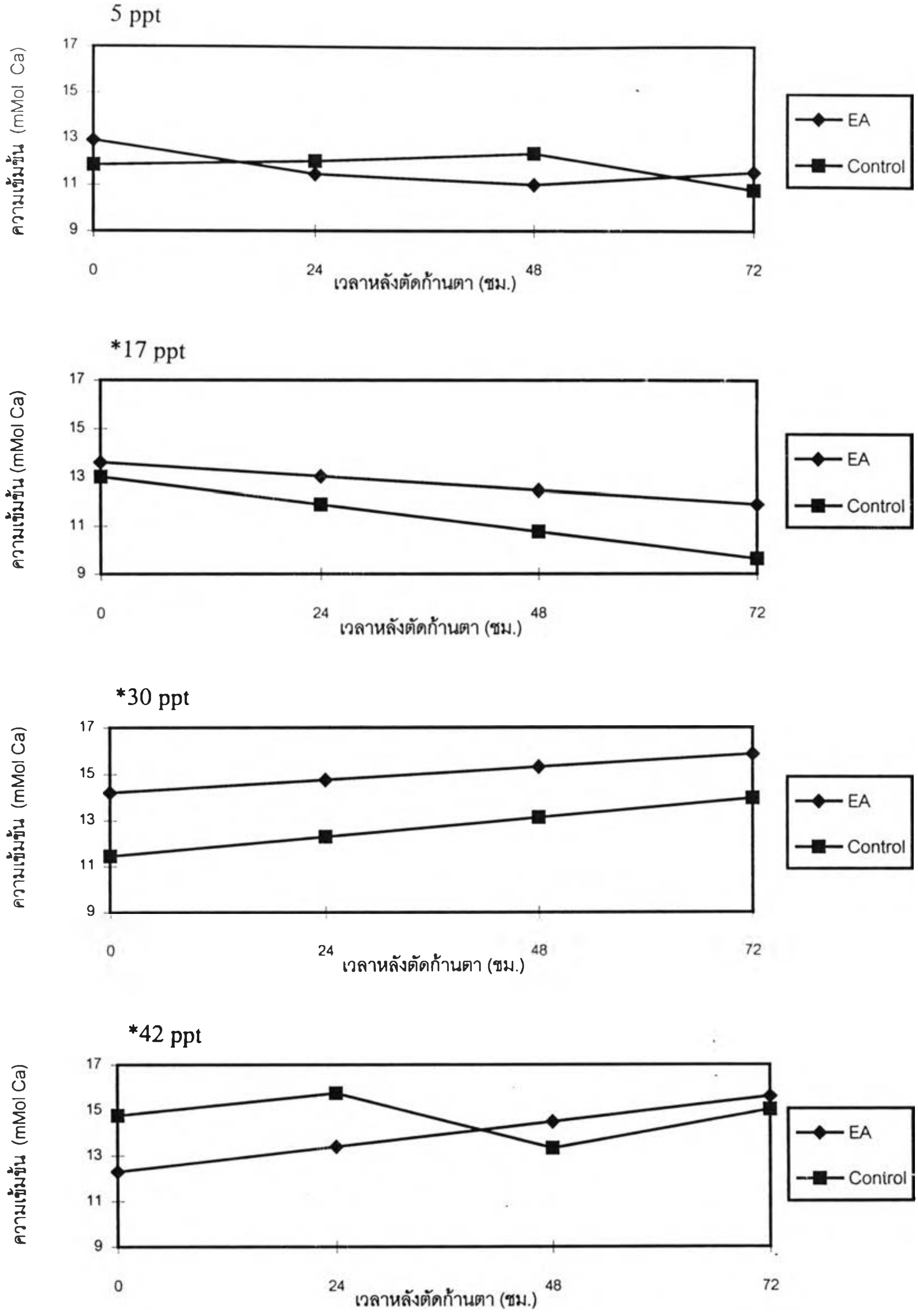
ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นแคลเซียมไอออนในเลือดกุ้ง ด้วยวิธีการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้น พบว่าที่ความเค็ม 5 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตาไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ที่ความเค็ม 17 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กล่าวคือชุดควบคุมความเข้มข้นแคลเซียมไอออนมีอัตราลดลง 0.05 mMol ต่อชั่วโมง ส่วนชุดตัดก้านตามีอัตราลดลงน้อยกว่าคือ 0.02 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) ที่ความเค็ม 30 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กล่าวคือชุดควบคุมความเข้มข้นแคลเซียมไอออนมีอัตราเพิ่มขึ้น 0.03 mMol ต่อชั่วโมง ส่วนชุดตัดก้านตามีอัตราเพิ่มขึ้นน้อยกว่าคือ 0.02 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) ที่ความเค็ม 42 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กล่าวคือชุดตัดก้านตาความเข้มข้นแคลเซียมไอออนมีอัตราเพิ่มขึ้น 0.05 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) ส่วนชุดควบคุมไม่พบความสัมพันธ์เชิงเส้น (P>0.05) การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแสดงในภาคผนวก ข. (รูปที่ 18)

ตารางที่ 6 ผลของการตัดก้านตาต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแคลเซียมไอออน (mMol)ในเลือดกุ้งกุลาดำ

เวลาหลังตัดก้านตา(ชม)	5 ppt EA	5 ppt Control	17 ppt EA	17 ppt Control
0	12.93 ± 0.69 (12)	11.85 ± 0.85 (8)	13.43^a ± 1.92 (14)	13.51^b ± 1.19 (10)
24	11.46 ± 1.50 (12)	12.01 ± 1.12 (9)	13.28^a ± 1.17 (12)	11.42^b ± 1.38 (10)
48	11.01 ± 1.33 (13)	12.36 ± 1.27 (11)	12.54^a ± 1.61 (11)	10.32^b ± 1.27 (12)
72	11.55 ± 1.22 (7)	10.77 ± 1.26 (12)	11.64^a ± 1.39 (9)	10.09^b ± 1.03 (11)
	30 ppt		**42 ppt**	
0	14.83^a ± 1.27 (13)	12.08^b ± 1.82 (12)	11.33^a ± 0.70 (8)	14.76^b ± 1.41 (15)
24	13.98^a ± 2.27(15)	11.58^b ± 0.99(11)	14.86^a ± 0.82 (11)	15.74^b ± 1.05 (13)
48	15.32^a ± 1.17 (11)	12.55^b ± 1.19 (11)	13.59^a ± 0.97 (10)	13.31^b ± 0.78 (11)
72	16.28^a ± 0.94 (12)	14.81^b ± 1.15 (9)	15.73^a ± 0.44 (8)	15.02^b ± 0.94 (12)

[1] EA (Eyestalk ablation) ชุดการทดลองที่ตัดก้านตา [2] ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [3] ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงจำนวนตัว

[ab] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 18 ผลของการตัดก้านตาต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแคลเซียมไอออนในเลือดกุ้งกุลาดำ ที่ความเค็ม 5, 17, 30 และ 42 ppt ($\bar{X}$)

(*แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %)

การทดลองผลของการตัดก้านตาต่อความสามารถในการปรับตัวเมื่อเปลี่ยนแปลงความเค็ม

เมื่อนำค่าทั้งหมดมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้น พบว่าความเข้มข้นโซเดียมไอออนชุดการทดลอง 17 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กล่าวคือชุดตัดก้านตาความเข้มข้นโซเดียมไอออนมีอัตราเพิ่มขึ้น 0.46 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) ส่วนชุดควบคุมไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (P>0.05) ในชุดการทดลอง 30 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตาไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) (ตารางที่ 7 รูปที่ 19 ข.) การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน แสดงในภาคผนวก ข.

ความเข้มข้นโปแตสเซียมไอออนชุดการทดลอง 17 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตาไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ในชุดการทดลอง 30 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) แต่ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (P>0.05) (ตารางที่ 8 รูปที่ 20 ข.) การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน แสดงในภาคผนวก ข.

ความเข้มข้นแมกนีเซียมชุดการทดลอง 17 ppt และชุดการทดลอง 30 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตาไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) (ตารางที่ 9 รูปที่ 21 ข.) การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน แสดงในภาคผนวก ข.

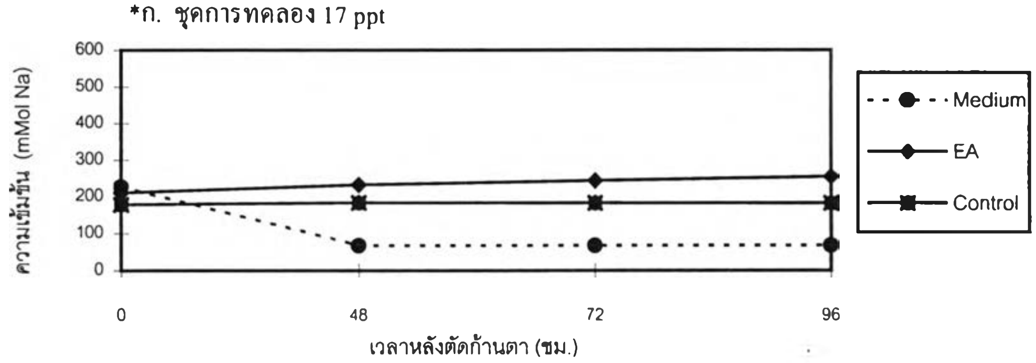
ความเข้มข้นแคลเซียมไอออนชุดการทดลอง 17 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กล่าวคือชุดตัดก้านตาความเข้มข้นแคลเซียมไอออนมีอัตราลดลง 0.02 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) ส่วนชุดควบคุมไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (P>0.05) ในชุดการทดลอง 30 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) แต่ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (P>0.05) (ตารางที่ 10 รูปที่ 22 ข.) การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน แสดงในภาคผนวก ข.

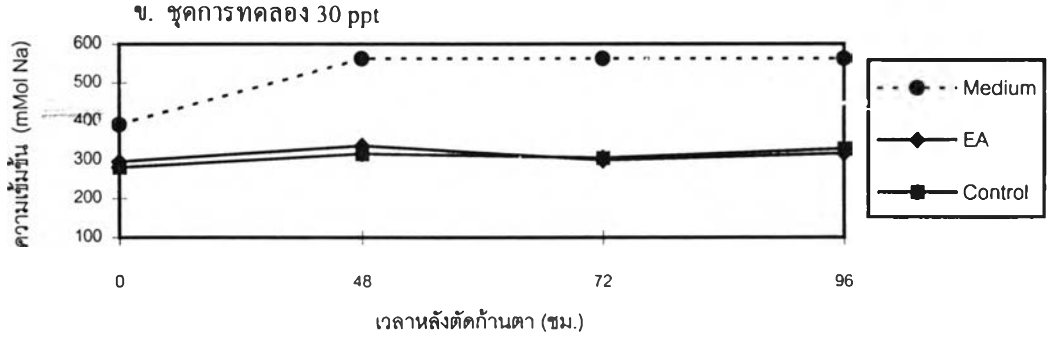
ตารางที่ 7 ผลของการตัดก้านตาต่อความสามารถในการปรับตัว (โซเดียมไอออน ; mMol) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม

เวลาหลังตัดก้านตา(ชม),ความเค็มที่ปรับใหม่(ppt)	ชุดการทดลอง 17 ppt		เวลาหลังตัดก้านตา(ชม),ความเค็มที่ปรับใหม่ (ppt)	ชุดการทดลอง 30 ppt	
	EA	Control		EA	Control
0 , 17 ppt	214.47[a] ±30.33 (14)	178.40[b] ±21.36 (11)	0 ,30 ppt	295.49 ± 21.18 (8)	280.51 ± 16.63 (9)
24 ชม.,12 ppt	ไม่ได้บันทึก	ไม่ได้บันทึก	24 ชม. ,36 ppt	ไม่ได้บันทึก	ไม่ได้บันทึก
48 ชม.,5 ppt	211.49[a] ±25.39 (11)	183.29[b] ± 17.76 (13)	48 ชม.,42 ppt	336.43 ± 13.14(5)	315.29 ± 38.37 (11)
72 ชม.,5 ppt	260.07[a] ± 19.52 (8)	182.81[b] ±28.22 (11)	72 ชม.,42 ppt	299.06 + 20.07 (8)	305.16 ± 16.58 (8)
96 ชม.,5 ppt	244.89[a] ± 21.77 (7)	181.85[b] ±22.78 (12)	96 ชม.,42 ppt	316.52 ± 12.02 (7)	328.76 ±25.87 (7)

[1] EA (Eyestalk ablation) ชุดการทดลองที่ตัดก้านตา [2] ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [3] ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงจำนวนตัว

[ab] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %





รูปที่ 19 ผลของการตัดก้านตาต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นโซเดียมไอออนในเลือดกุ้งกุลาดำ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม ($\overline{X}$)

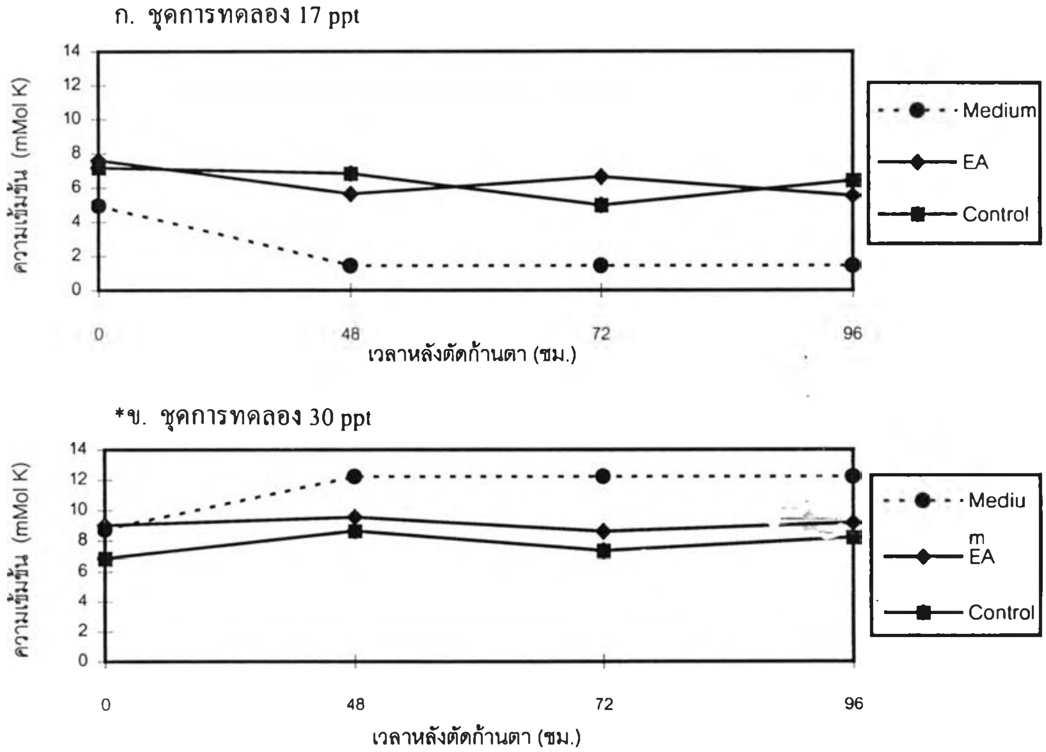
(*แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %)

ตารางที่ 8 ผลของการตัดก้านตาต่อความสามารถในการปรับตัว (โปแตสเซียมไอออน ; mMol) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม

เวลาหลังตัดก้านตา(ชม),ความเค็มที่ปรับใหม่ (ppt)	ชุดการทดลอง 17 ppt		เวลาหลังตัดก้านตา(ชม),ความเค็มที่ปรับใหม่ (ppt)	ชุดการทดลอง 30 ppt	
	EA	Control		EA	Control
0 , 17 ppt	7.60 ± 1.22 (14)	7.17 ± 1.09 (10)	0 ,30 ppt	9.02[a] ± 1.24 (11)	6.86[b] ± 0.57 (9)
24 ชม.,12 ppt	ไม่ได้บันทึก	ไม่ได้บันทึก	24 ชม. ,36 ppt	ไม่ได้บันทึก	ไม่ได้บันทึก
48 ชม.,5 ppt	5.63 ± 1.04 (9)	6.83 ± 0.66 (7)	48 ชม.,42 ppt	9.56[a] ± 1.19 (9)	8.64[b] ± 0.91 (10)
72 ชม.,5 ppt	6.65 ± 0.73 (9)	5.97 ± 1.13 (10)	72 ชม.,42 ppt	8.59[a] ± 0.66 (8)	7.31[b] ± 1.20 (10)
96 ชม.,5 ppt	5.53 ± 0.77 (8)	6.42 ± 0.70 (10)	96 ชม.,42 ppt	9.17[a] ± 0.69 (8)	8.19[b] ± 1.22 (10)

[1] EA (Eyestalk ablation) ชุดการทดลองที่ตัดก้านตา [2] ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [3] ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงจำนวนตัว

[abcd] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 20 ผลของการตัดก้านตาต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นโปแตสเซียมไอออนในเลือดกุ้งกุลาดำเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม ($\overline{X}$)

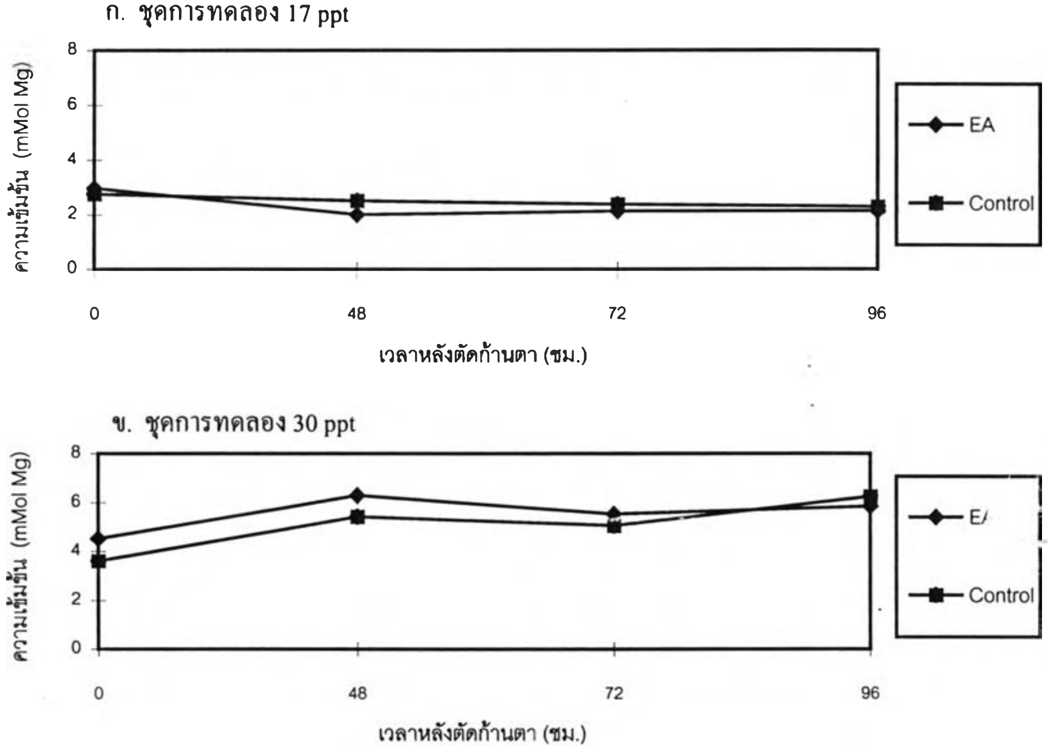
(*แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %)

ตารางที่ 9 ผลของการตัดก้านตาต่อความสามารถในการปรับตัว (แมกนีเซียมไอออน ; mMol) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม

เวลาหลังตัดก้านตา(ชม),ความเค็มที่ปรับใหม่ (ppt)	ชุดการทดลอง 17 ppt		เวลาหลังตัดก้านตา(ชม),ความเค็มที่ปรับใหม่ (ppt)	ชุดการทดลอง 30 ppt	
	EA	Control		EA	Control
0 , 17 ppt	2.98 ± 0.67 (13)	2.77 ± 0.85 (15)	0 ,30 ppt	4.52 ± 0.45 (10)	3.61 ± 0.50 (8)
24 ชม.,12 ppt	ไม่ได้บันทึก	ไม่ได้บันทึก	24 ชม. ,36 ppt	ไม่ได้บันทึก	ไม่ได้บันทึก
48 ชม.,5 ppt	2.02 ± 0.55 (8)	2.52 ± 0.60 (15)	48 ชม.,42 ppt	6.30 ± 0.86 (8)	5.44 ± 0.97 (12)
72 ชม.,5 ppt	2.14 ± 0.26 (8)	2.39 ± 0.69 (11)	72 ชม.,42 ppt	5.54 ± 0.98 (9)	5.07 ± 1.10 (9)
96 ชม.,5 ppt	2.15 ± 0.72 (10)	2.30 ± 0.48 (11)	96 ชม.,42 ppt	5.86 ± 0.82 (8)	6.25 ± 0.78 (8)

[1] EA (Eyestalk ablation) ชุดการทดลองที่ตัดก้านตา [2] ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [3] ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงจำนวนตัว

[ab] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 21 ผลของการตัดก้านตาต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแมกนีเซียมไอออนในเลือดกุ้งกุลาดำเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม ($\bar{X}$)

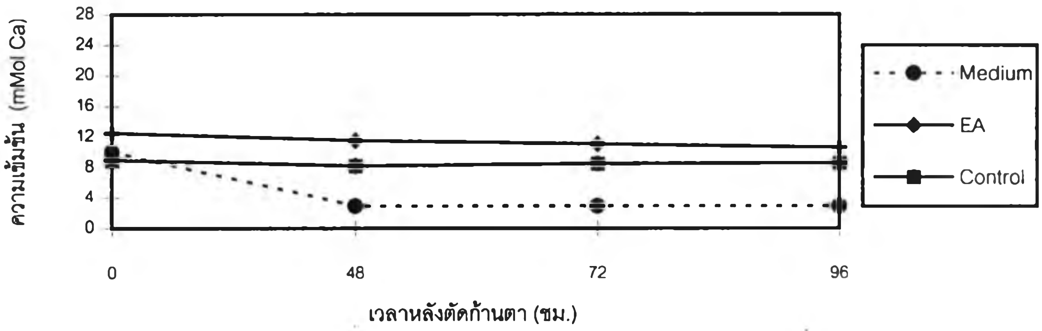
ตารางที่ 10 ผลของการตัดก้านตาต่อความสามารถในการปรับตัว (แคลเซียมไอออน ; mMol) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม

เวลาหลังตัดก้านตา(ชม),ความเค็มที่ปรับใหม่ (ppt)	ชุดการทดลอง 17 ppt		เวลาหลังตัดก้านตา(ชม),ความเค็มที่ปรับใหม่ (ppt)	ชุดการทดลอง 30 ppt	
	EA	Control		EA	Control
0 , 17 ppt	12.19[a] ±2.21 (12)	8.97[b] ±2.20 (13)	0 ,30 ppt	14.50[a] ± 1.23 (11)	10.82[b] ±2.47 (11)
24 ชม.,12 ppt	ไม่ได้บันทึก	ไม่ได้บันทึก	24 ชม. ,36 ppt	ไม่ได้บันทึก	ไม่ได้บันทึก
48 ชม.,5 ppt	11.69[a] ±2.66 (11)	8.19[b] ± 1.53 (12)	48 ชม.,42 ppt	14.89[a] ±0.78 (8)	12.60[b] ± 1.62 (12)
72 ชม.,5 ppt	12.35[a] ± 1 54 (8)	8.49[b] ± 1.20 (7)	72 ชม.,42 ppt	14.21[a] ± 1.12 (6)	11.33[b] ± 1.60 (10)
96 ชม.,5 ppt	9.59[a] ± 1.74 (10)	8.58[b] ± 1.29 (10)	96 ชม.,42 ppt	13.39[a] ± 1.14 (7)	11.39[b] ±2.16 (9)

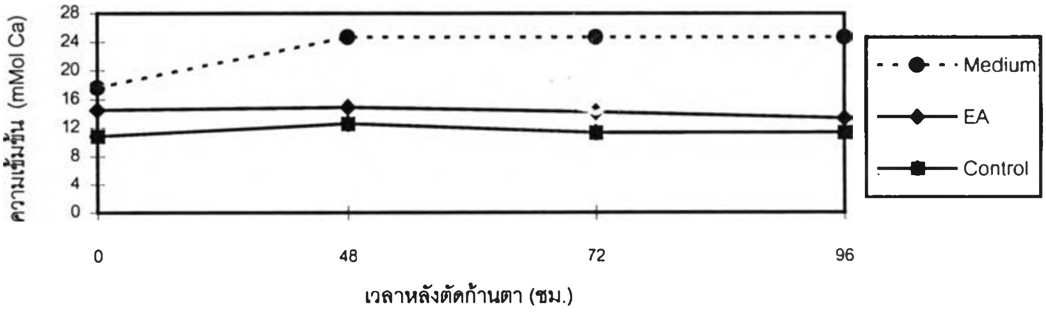
[1] EA (Eyestalk ablation) ชุดการทดลองที่ตัดก้านตา [2]ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [3]ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงจำนวนตัว

[ab] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

*ก. ชุดการทดลอง 17 ppt



*ข. ชุดการทดลอง 30 ppt



รูปที่ 22 ผลของการตัดก้านตาต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแคลเซียมไอออนในเลือดกุ้งกุลาดำ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม ($\bar{X}$)

(*แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %)

การทดลองผลของการตัดก้านตาและอาหารเสริมคาร์นิทีนต่อความสามารถในการปรับตัวเมื่อเปลี่ยนแปลงความเค็ม

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นโซเดียมไอออนในเลือดกุ้งด้วยวิธีการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้น พบว่าชุดการทดลอง 17 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กล่าวคือชุดควบคุมความเข้มข้นโซเดียมไอออนมีอัตราลดลง 0.61 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) ส่วนในชุดตัดก้านตาไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (P>0.05) (ตารางที่ 11 ก. รูปที่ 23 ก.) ในชุดอาหารเสริมคาร์นิทีนให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับชุดปกติ กล่าวคือกุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ในชุดควบคุมความเข้มข้นโซเดียมไอออนมีอัตราลดลง 0.62 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) ในชุดตัดก้านตาความเข้มข้นโซเดียมไอออนมีอัตราเพิ่มขึ้น 0.34 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) (ตารางที่ 11 ก. รูปที่2 ข.) การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน แสดงในภาคผนวก ข.

ความเข้มข้นโซเดียมไอออนในชุดการทดลอง 30 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กล่าวคือชุดตัดก้านตาความเข้มข้นโซเดียมไอออนมีอัตราเพิ่มขึ้น 1.12 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) ส่วนในชุดควบคุมไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (P>0.05)(ตารางที่ 11 ข. รูปที่ 24 ก.) ในชุดอาหารเสริมคาร์นิทีนให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับชุดปกติ กล่าวคือกุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ในชุดควบคุมความเข้มข้นโซเดียมไอออนมีอัตราเพิ่มขึ้น 1.48 mMol ต่อชั่วโมง(P<0.05) ในชุดตัดก้านตาไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (P>0.05) (ตารางที่ 11ข. รูปที่ 24 ข.) การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน แสดงในภาคผนวก ข.

ความเข้มข้นโปแตสเซียมไอออนในชุดการทดลอง 17 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กล่าวคือชุดควบคุมความเข้มข้นโปแตสเซียมไอออนมีอัตราลดลง 0.01 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) ส่วนในชุดตัดก้านตาไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (P>0.05) (ตารางที่ 12 ก. รูปที่ 25 ก.) ในชุดอาหารเสริมคาร์นิทีนให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับชุดปกติ กล่าวคือกุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ในชุดควบคุมความเข้มข้นโปแตสเซียมไอออนมีอัตราลดลง 0.01 mMol ต่อชั่วโมง ในชุดตัดก้านตามีอัตราลดลง 0.03 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) (ตารางที่ 12 ก. รูปที่ 25 ข.) ความเข้มข้นโปแตสเซียมไอออนในชุดการทดลอง 30 ppt กุ้งชุดควบคุมและชุดตัดก้านตาไม่มีความแตกต่างกัน (P<0.05) ทั้งในชุดการทดลองปกติและชุดอาหารเสริมคาร์นิทีน (ตารางที่ 12 ข. รูปที่ 25 ก. และตารางที่ 12 ข. รูปที่ 25 ข) การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน แสดงในภาคผนวก ข.

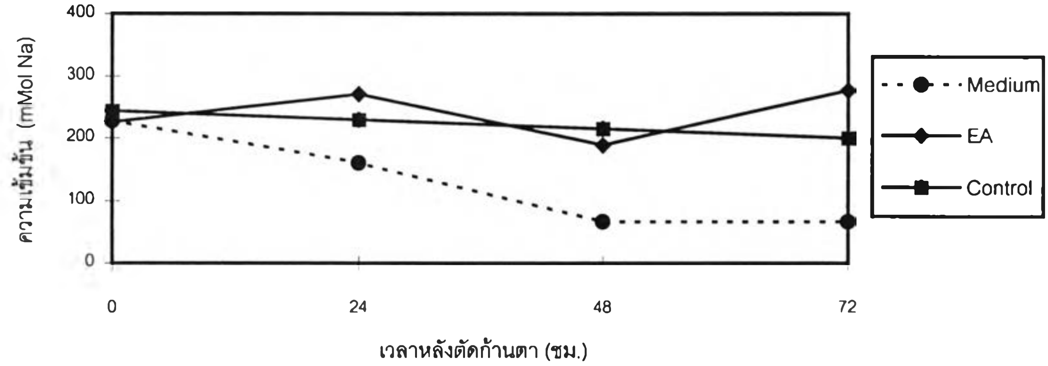
ตารางที่11 ก. ผลของการตัดก้านตาและอาหารเสริมคาร์นิทีนต่อความสามารถในการปรับตัว(โซเดียมไอออน) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม

ชุดการทดลอง	เวลาหลังตัดก้านตา (ชม.), ความเค็มที่ปรับใหม่ (ppt)	Na^{+}(mMol)			
		ชุดการทดลองปกติ		ชุดอาหารเสริมคาร์นิทีน	
		EA	Control	EA	Control
17 ppt	0 , 17 ppt	225.94^{a} ± 17.94 (13)	248.25^{b} ± 16.61 (17)	217.29^{a} ± 27.99 (17)	261.27^{b} ± 28.20 (14)
	24 ชม. , 12 ppt	270.85^{a} ± 24.83 (13)	224.22^{b} ± 16.64 (16)	207.06^{a} ± 16.22 (11)	226.42^{b} ± 27.89 (19)
	48 ชม. , 5 ppt	188.93^{a} ± 24.06 (13)	210.78^{b} ± 22.85 (15)	206.85^{a} ± 8.20 (10)	217.47^{b} ± 15.76 (16)
	72 ชม. , 5 ppt	277.17^{a} ± 27.09 (8)	205.20^{b} ± 14.44 (13)	253.91^{a} ± 19.80 (8)	202.65^{b} ± 8.91 (12)

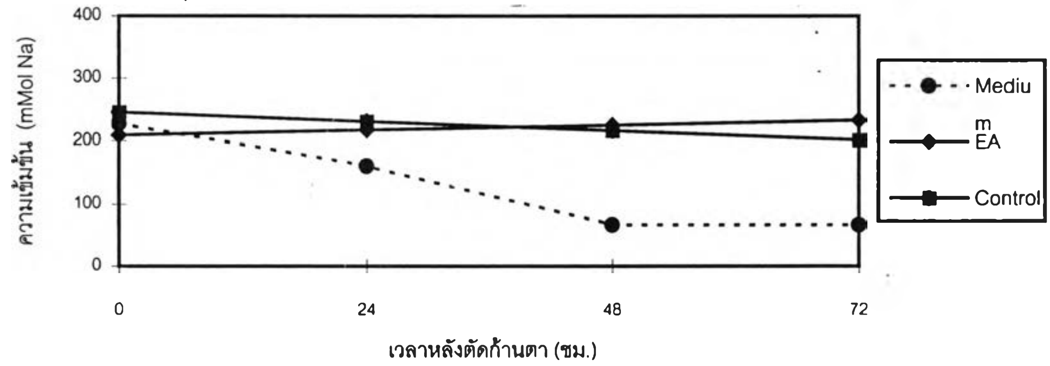
[1] EA (Eyestalk ablation) ชุดการทดลองที่ตัดก้านตา [2] ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [3] ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงจำนวนตัว

[ab] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

*ก. ชุดการทดลอง 17 ppt



*ข. ชุดการทดลอง 17 ppt + carnitine



รูปที่ 23 ผลของการตัดก้านตาและอาหารเสริมคาร์นิทีนต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นโซเดียมไอออนในเลือดกุ้งกุลาดำ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม ($\bar{X}$) ในชุดการทดลองเริ่มต้น 17 ppt (*แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %)

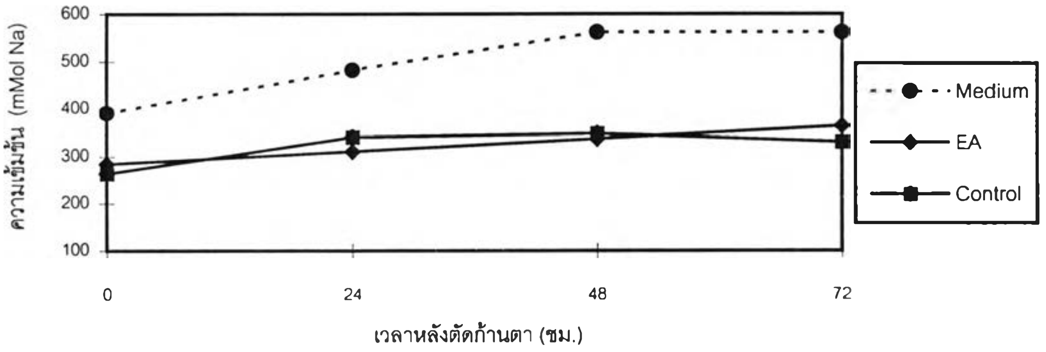
ตารางที่ 11ข. ผลของการตัดก้านตาและอาหารเสริมคาร์นิทีนต่อความสามารถในการปรับตัว(โซเดียมไอออน) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม

ชุดการทดลอง	เวลาหลังตัดก้านตา (ชม.), ความเค็มที่ปรับใหม่ (ppt)	Na^{+}(mMol)			
		ชุดการทดลองปกติ		ชุดอาหารเสริมคาร์นิทีน	
		EA	Control	EA	Control
30 ppt	0 , 30 ppt	263.18[a] ±24.96 (12)	264.03[b] ±22.64 (13)	235.71[a] ± 14.89 (14)	234.73[b] ±22.56 (13)
	24 ชม. , 36 ppt	333.80[a] ±31.39 (8)	340.33[b] ±29.99 (12)	283.77[a] ±37.41 (8)	298.73[b] ±27.62 (15)
	48 ชม. , 42 ppt	322.26[a] ± 16.93 (9)	347.74[b] ±27.93 (7)	274.87[a] ±46.19 (8)	326.05[b] ±8.14 (8)
	72 ชม. , 42 ppt	211.15[a] ± 11.90 (5)	330.67[b] ±43.20[ข] (5)	212.53[a] ± 18.77 (5)	326.38[b] ± 11.18 (4)

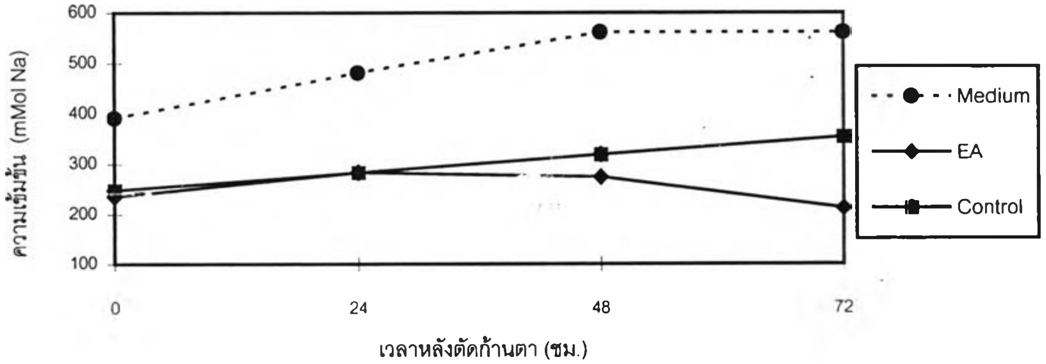
[1] EA (Eyestalk ablation) ชุดการทดลองที่ตัดก้านตา [2]ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [3] ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงจำนวนตัว

[ab] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

*ก. ชุดการทดลอง 30 ppt



*ข. ชุดการทดลอง 30 ppt + carnitine



รูปที่ 24 ผลของการตัดก้านตาและอาหารเสริมคาร์นิทีนต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นโซเดียมไอออนในเลือดกุ้ง กุลาดำ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม ($\bar{X}$) ในชุดการทดลองเริ่มต้น 30 ppt (*แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %)

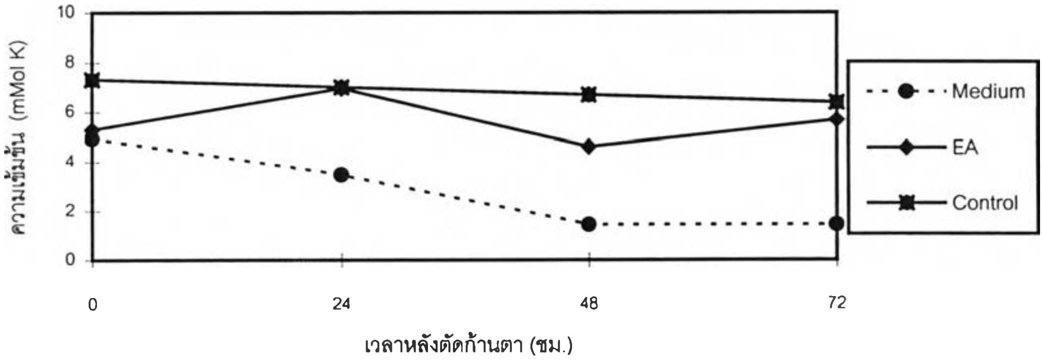
ตารางที่ 12 ก. ผลของการตัดก้านตาและอาหารเสริมคาร์นิทีนต่อความสามารถในการปรับตัว(โปแตสเซียมไอออน) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม

ชุดการทดลอง	เวลาหลังตัดก้านตา (ชม.), ความเค็มที่ปรับใหม่ (ppt)	K⁺(mMol) ชุดการทดลองปกติ EA	K⁺(mMol) ชุดการทดลองปกติ Control	K⁺(mMol) ชุดอาหารเสริมคาร์นิทีน EA	K⁺(mMol) ชุดอาหารเสริมคาร์นิทีน Control
17 ppt	0 , 17 ppt	5.30[a] ±0.69 (17)	7.21[b] ±0.94 (18)	8.06[a] ±0.98 (15)	7.70[b] ±0.72 (18)
	24 ชม. , 12 ppt	6.96[a] ±1.18 (16)	7.12[b] ±0.46 (14)	6.38[a] ±0.88 (14)	6.89[b] ±0.62 (19)
	48 ชม. , 5 ppt	4.62[a] ±0.90 (14)	6.87[b] ±0.72 (15)	6.52[a] ±0.59 (13)	5.95[b] ±0.65 (18)
	72 ชม. , 5 ppt	5.69[a] ±1.15 (10)	6.17[b] ±0.87 (14)	7.42[a] ±0.23 (8)	5.87[b] ±0.40 (12)

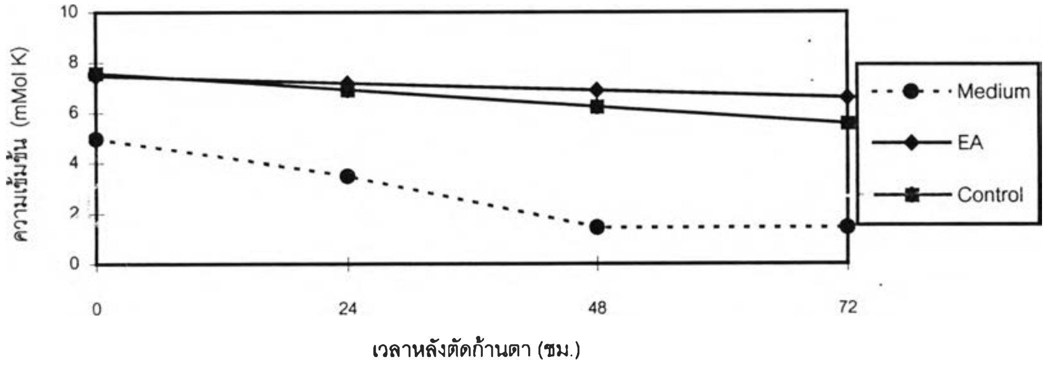
[1] EA (Eyestalk ablation) ชุดการทดลองที่ตัดก้านตา [2]ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [3]ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงจำนวนตัว

[ab] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

*ก. ชุดการทดลอง 17 ppt



*ข. ชุดการทดลอง 17 ppt + carnitine



รูปที่ 25 ผลของการตัดก้านตาและอาหารเสริมคาร์นิทีนต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นโปแตสเซียมไอออนในเลือดกุ้งกุลาดำ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม ($\bar{X}$) ในชุดการทดลองเริ่มต้น 17 ppt (*แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %)

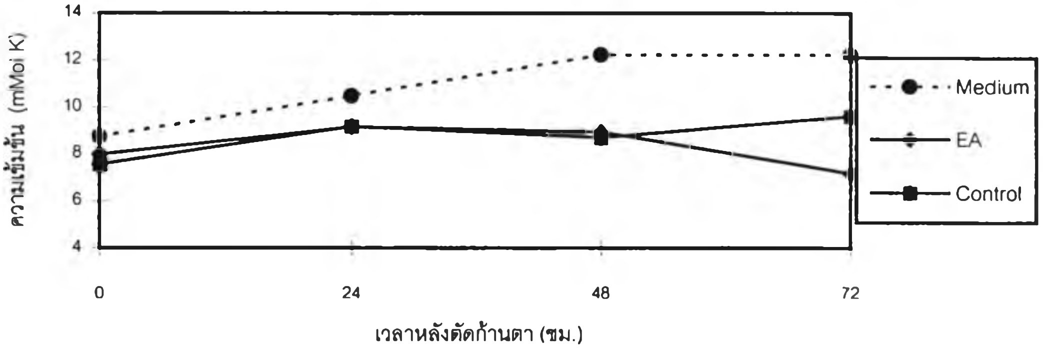
ตารางที่ 12 ข. ผลของการตัดก้านตาและอาหารเสริมคาร์นิทีนต่อความสามารถในการปรับตัว(โปแตสเซียม ไอออน) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม

ชุดการทดลอง	เวลาหลังตัดก้านตา (ชม.), ความเค็มที่ปรับใหม่ (ppt)	K^+(mMol) ชุดการทดลองปกติ EA	ชุดการทดลองปกติ Control	ชุดอาหารเสริมคาร์นิทีน EA	ชุดอาหารเสริมคาร์นิทีน Control
30 ppt	0 , 30 ppt	7.97 ± 1.15 (13)	7.55 ±0.74 (14)	8.28± 1.27 (18)	7.04 ± 1.48 (16)
	24 ชม. , 36 ppt	9.15 ± 1.00 (10)	9.18 ±0.86 (14)	9.19± 0.87 (10)	8.02 ±0.85 (14)
	48 ชม. , 42 ppt	8.93 ±0.87 (9)	8.69 ±0.51 (6)	8.81± 0.79 (9)	9.15 ±0.52 (9)
	72 ชม. , 42 ppt	7.17 ±0.92 (5)	9.61 ± 1.41 (5)	7.76± 0.53 (5)	9.39 ±0.77 (5)

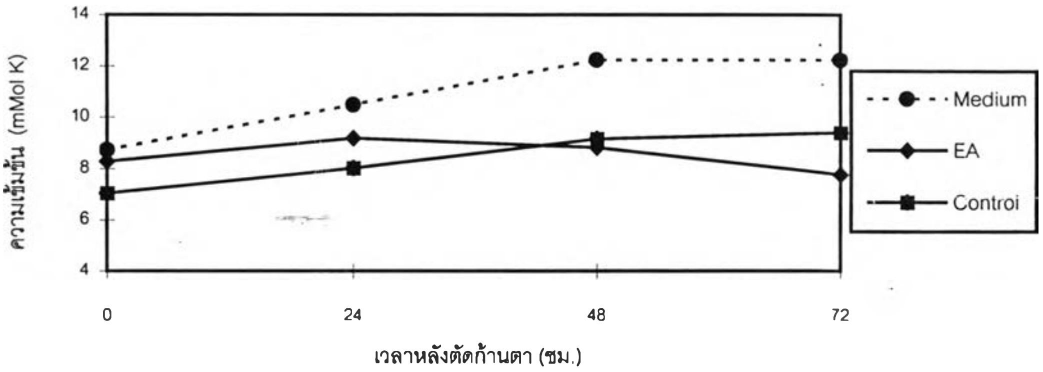
[1] EA (Eyestalk ablation) ชุดการทดลองที่ตัดก้านตา [2]ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [3]ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงจำนวนตัว

[ab] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ก. ชุดการทดลอง 30 ppt



ข. ชุดการทดลอง 30 ppt + carnitine



รูปที่ 26 ผลของการตัดก้านตาและอาหารเสริมคาร์นิทีนต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นโปแตสเซียมไอออนในเลือดกุ้งกุลาดำ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม ($\bar{X}$) ในชุดการทดลองเริ่มต้น 30 ppt

ความเข้มข้นแมกนีเซียมไอออนในชุดการทดลอง 17 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตาไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) (ตารางที่ 13 ก. รูปที่ 27 ก.) ส่วนในชุดอาหารเสริมคาร์นิทีนให้ผลตรงข้ามกับชุดปกติ กล่าวคือกล่าวคือกุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ชุดควบคุมความเข้มข้นแมกนีเซียมไอออนมีอัตราลดลง 0.01 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) ส่วนในชุดตัดก้านตาไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (P>0.05) (ตารางที่ 13 ก. รูปที่ 27 ข.) การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน แสดงในภาคผนวก ข.

ความเข้มข้นแมกนีเซียมไอออนในชุดการทดลอง 30 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตาไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) (ตารางที่ 13 ข. รูปที่ 28 ก.) ส่วนในชุดอาหารเสริมคาร์นิทีนให้ผลตรงข้ามกับชุดปกติ กล่าวคือกล่าวคือกุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ชุดควบคุมความเข้มข้นแมกนีเซียมไอออนมีอัตราเพิ่มขึ้น 0.045 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) ส่วนในชุดตัดก้านตามีอัตราเพิ่มขึ้นมากกว่าคือ 0.06 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) (ตารางที่ 13 ข. รูปที่ 28 ข.) การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน แสดงในภาคผนวก ข.

ความเข้มข้นแคลเซียมไอออนในชุดการทดลอง 17 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กล่าวคือชุดควบคุมความเข้มข้นแคลเซียมไอออนมีอัตราเพิ่มขึ้น 0.03 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) ส่วนในชุดตัดก้านตาไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (P>0.05) (ตารางที่ 14 ก. รูปที่ 29 ก.) ในชุดอาหารเสริมคาร์นิทีนให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับชุดปกติ กล่าวคือกุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ในชุดควบคุมความเข้มข้นแคลเซียมไอออนมีอัตราลดลง 0.04 mMol ต่อชั่วโมง ส่วนในชุดตัดก้านตามีอัตราลดลงมากกว่าคือ 0.05 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) (ตารางที่ 14 ก. รูปที่ 29 ข.) การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน แสดงในภาคผนวก ข.

ความเข้มข้นแคลเซียมไอออนในชุดการทดลอง 30 ppt กุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กล่าวคือชุดควบคุมความเข้มข้นแคลเซียมไอออนมีอัตราเพิ่มขึ้น 0.04 mMol ต่อชั่วโมง ส่วนในชุดตัดก้านตามีอัตราลดลง 0.03 mMol ต่อชั่วโมง (P<0.05) (ตารางที่ 14 ข. รูปที่ 30 ก.) ในชุดอาหารเสริมคาร์นิทีนนให้ผลตรงข้ามกับชุดปกติ กล่าวคือกล่าวคือกุ้งชุดควบคุมและกุ้งชุดตัดก้านตาไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) (ตารางที่ 14 ข. รูปที่ 30 ข.) การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน แสดงในภาคผนวก ข.

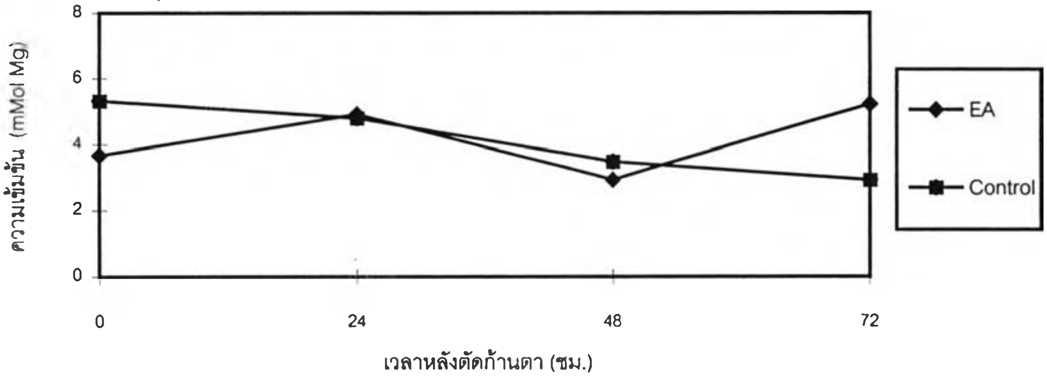
ตารางที่ 13 ก. ผลของการตัดก้านตาและอาหารเสริมคาร์นิทีนต่อความสามารถในการปรับตัว (แมกนีเซียมไอออน) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม

ชุดการทดลอง	เวลาหลังตัดก้านตา (ชม.), ความเค็มที่ปรับใหม่ (ppt)	Mg^{2+}(mMol)			
		ชุดการทดลองปกติ		ชุดอาหารเสริมคาร์นิทีน	
		EA	Control	EA	Control
17 ppt	0 , 17 ppt	3.67 ± 0.74 (17)	5.32 ± 0.84 (18)	3.65[a] ± 0.43 (15)	4.96[b] ± 0.85 (19)
	24 ชม. , 12 ppt	4.91 ± 0.52 (15)	4.79 ± 0.48 (18)	3.06[a] ± 0.31 (12)	4.07[b] ± 0.76 (19)
	48 ชม. , 5 ppt	2.93 ± 0.59 (15)	3.48 ± 0.76 (17)	3.03[a] ± 0.47 (13)	3.87[b] ± 0.58 (18)
	72 ชม. , 5 ppt	5.22 ± 0.76 (10)	2.92 ± 0.33 (14)	4.53[a] ± 0.41 (9)	4.04[b] ± 0.49 (14)

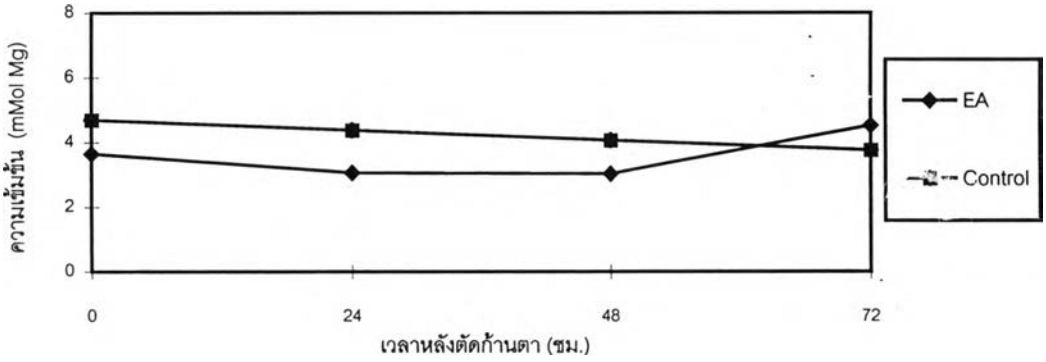
[1] EA (Eyestalk ablation) ชุดการทดลองที่ตัดก้านตา [2]ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [3]ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงจำนวนตัว

[ab] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ก. ชุดการทดลอง 17 ppt



*ข. ชุดการทดลอง 17 ppt + carnitine



รูปที่ 27 ผลของการตัดก้านตาและอาหารเสริมคาร์นิทีนต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแมกนีเซียมไอออนในเลือดกุ้งกุลาดำ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม ($\bar{X}$)ในชุดการทดลองเริ่มต้น 17 ppt (*แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %)

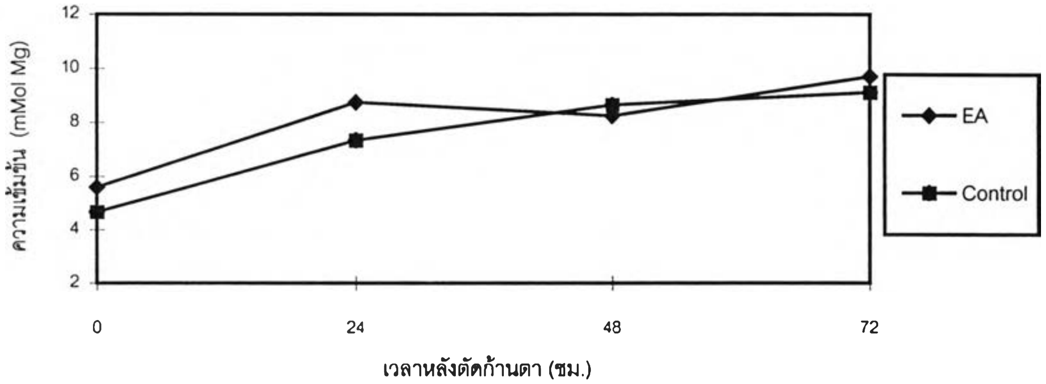
ตารางที่ 13 ข. ผลของการตัดก้านตาและอาหารเสริมคาร์นิทีนต่อความสามารถในการปรับตัว (แมกนีเซียมไอออน) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม

ชุดการทดลอง	เวลาหลังตัดก้านตา (ชม.), ความเค็มที่ปรับใหม่ (ppt)	Mg^{2+} (mMol)			
		ชุดการทดลองปกติ		ชุดอาหารเสริมคาร์นิทีน	
		EA	Control	EA	Control
30 ppt	0 , 30 ppt	5.60 ± 1.06 (13)	4.67 ± 0.31 (13)	6.20[a] ± 1.19 (18)	5.58[b] ± 0.86 (15)
	24 ชม. , 36 ppt	8.75 ± 1.03 (7)	7.35 ± 1.30 (13)	9.48[a] ± 1.39 (10)	7.01[b] ± 1.29 (14)
	48 ชม. , 42 ppt	8.25 ± 1.36 (9)	8.66 ± 0.74 (6)	9.66[a] ± 1.20 (9)	7.33[b] ± 0.73 (8)
	72 ชม. , 42 ppt	9.71 ± 0.96 (5)	9.13 ± 0.50 (4)	10.05[a] ± 1.56 (5)	9.28[b] ± 0.60 (4)

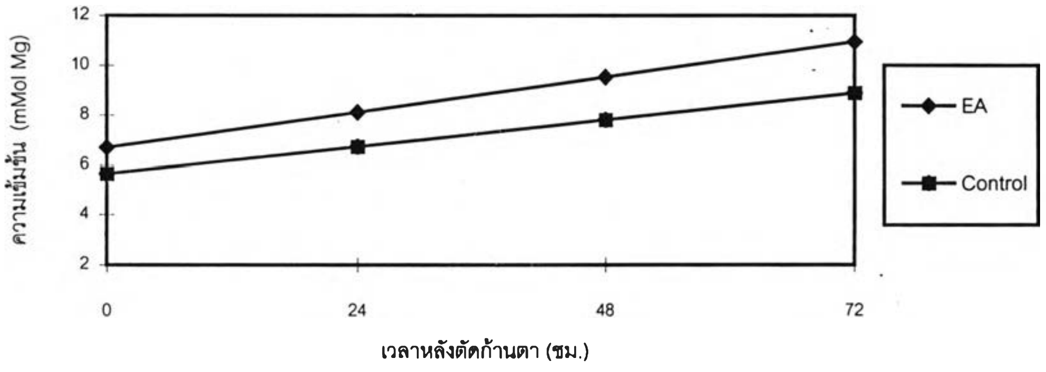
[1] EA (Eyestalk ablation) ชุดการทดลองที่ตัดก้านตา [2]ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [3] ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงจำนวนตัว

[abcd] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ก. ชุดการทดลอง 30 ppt



*ข. ชุดการทดลอง 30 ppt + carnitine



รูปที่ 28 ผลของการตัดก้านตาและอาหารเสริมคาร์นิทีนต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแมกนีเซียมไอออนในเลือดกุ้งกุลาดำ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม ($\bar{X}$) ในชุดการทดลองเริ่มต้น 30 ppt (*แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %)

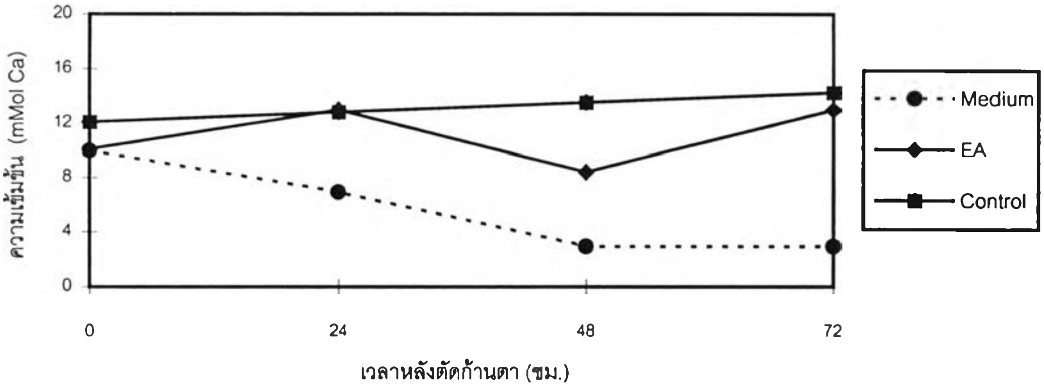
ตารางที่ 14 ก. ผลของการตัดก้านตาและอาหารเสริมคาร์นิทีนต่อความสามารถในการปรับตัว (แคลเซียมไอออน) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม

ชุดการทดลอง	เวลาหลังตัดก้านตา (ชม.), ความเค็มที่ปรับใหม่ (ppt)	Ca^{2+}(mMol)			
		ชุดการทดลองปกติ		ชุดอาหารเสริมคาร์นิทีน	
		EA	Control	EA	Control
17 ppt	0 , 17 ppt	10.10^{a} ±1.91(16)	12.87^{b} ± 1.29 (13)	14.61^{a} ±1.05(15)	17.84^{b} ± 1.23 (9)
	24 ชม. , 12 ppt	12.99^{a} ± 1.20 (15)	11.22^{b} ± 1.79 (15)	10.17^{a} ± 1.14 (12)	13.67^{b} ± 1.81 (15)
	48 ชม. , 5 ppt	8.42^{a} ± 1.36 (14)	14.60^{b} ± 1.36 (16)	9.93^{a} ± 1.73 (13)	13.80^{b} ± 1.06 (12)
	72 ชม. , 5 ppt	12.99^{a} ± 1.23 (10)	13.95^{b} ± 1.07 (11)	11.39^{a} ± 1.27 (7)	13.69^{b} ± 1.78 (11)

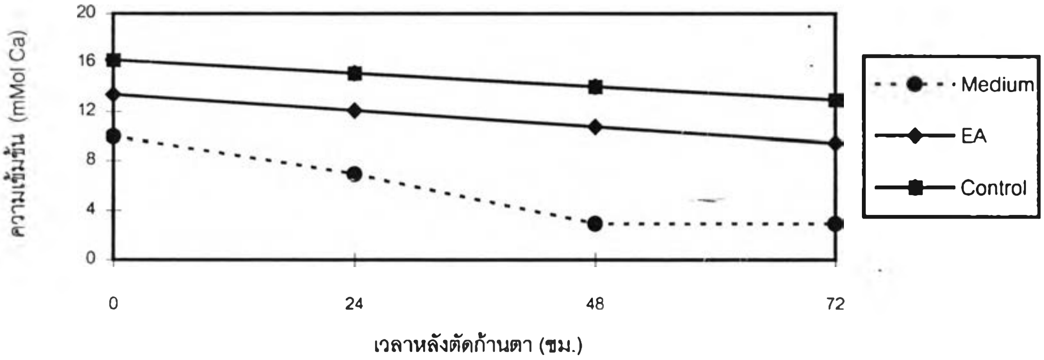
[1] EA (Eyestalk ablation) ชุดการทดลองที่ตัดก้านตา [2]ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [3]ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงจำนวนตัว

[ab] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

*ก. ชุดการทดลอง 17 ppt



*ข. ชุดการทดลอง 17 ppt + carnitine



รูปที่ 29 ผลของการตัดก้านตาและอาหารเสริมคาร์นิทีนต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแคลเซียมไอออนในเลือดกุ้งกุลาดำ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม ($\bar{X}$) ในชุดการทดลองเริ่มต้น 17 ppt (*แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %)

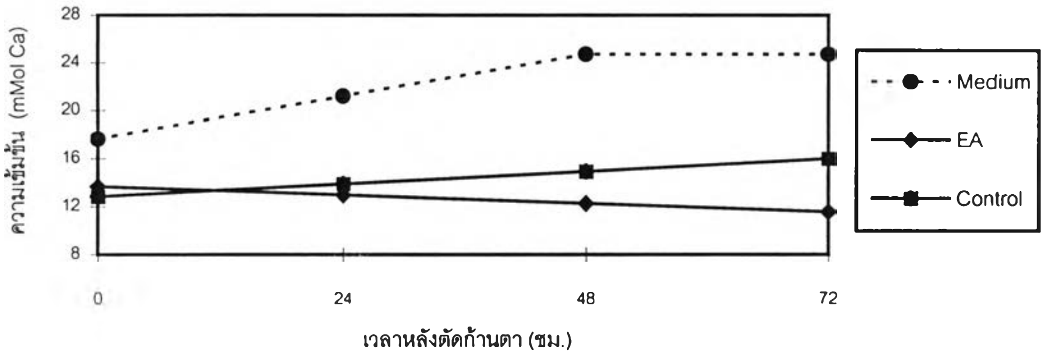
ตารางที่ 14 ข. ผลของการตัดก้านตาและอาหารเสริมคาร์นิทีนต่อความสามารถในการปรับตัว (แคลเซียมไอออน) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม

ชุดการทดลอง	เวลาหลังตัดก้านตา (ชม.), ความเค็มที่ปรับใหม่ (ppt)	Ca^{2+}(mMol)			
		ชุดการทดลองปกติ		ชุดอาหารเสริมคาร์นิทีน	
		EA	Control	EA	Control
30 ppt	0 , 30 ppt	13.18^{a} ±2.46 (14)	12.40^{b} ± 1.00 (14)	12.07 ± 1.65 (19)	11.46 ±0.99 (15)
	24 ชม. , 36 ppt	13.82^{a} ±0.74 (8)	14.37^{b} ±0.80 (14)	13.91 ± 1.00 (10)	12.78 ± 1.69 (16)
	48 ชม. , 42 ppt	12.84^{a} ± 1.50 (10)	15.59^{b} ±0.81 (8)	12.88 ±0.61 (7)	13.55 ±2.83 (11)
	72 ชม. , 42 ppt	10.24^{a} ± 1.46 (5)	14.95^{b} ±2.54 (5)	10.67 ±1.30 (5)	13.32 ± 1.88 (6)

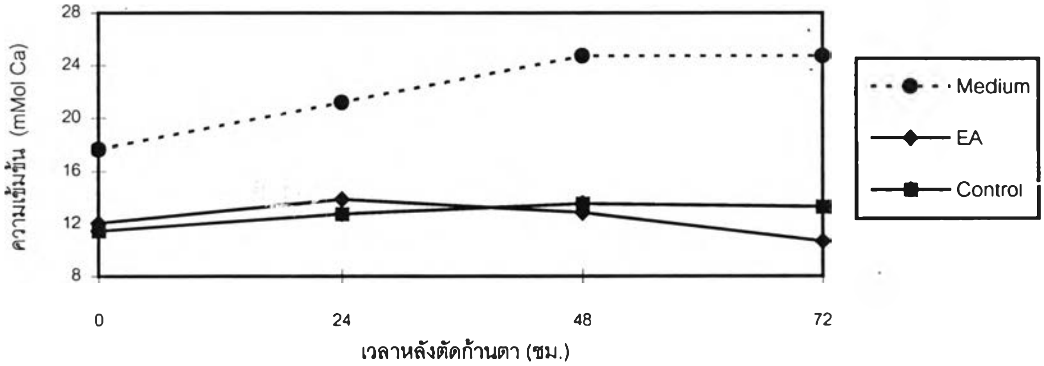
[1] EA (Eyestalk ablation) ชุดการทดลองที่ตัดก้านตา [2] ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [3] ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงจำนวนตัว

[ab] แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

*ก. ชุดการทดลอง 30 ppt



ข. ชุดการทดลอง 30 ppt + carnitine



รูปที่ 30 ผลของการตัดก้านตาและอาหารเสริมคาร์นิทีนต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแคลเซียมไอออนในเลือดกุ้งกุลาดำ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม ($\overline{X}$)ในชุดการทดลองเริ่มต้น 30 ppt (*แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %)

เมื่อนำค่าทั้งหมดมาทดสอบอิทธิพลของ 3 ปัจจัยที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ คือ อาหารเสริมคาร์นิทีน การตัดก้านตาและความเค็ม ด้วยการวิเคราะห์ 3 - Way Annalysis of Variance พบว่าความเข้มข้นโซเดียมไอออนและความเข้มข้นโปแตสเซียมไอออนได้รับอิทธิพลจากความเค็มและอาหารเสริมคาร์นิทีน ความเข้มข้นแมกนีเซียมและแคลเซียมไอออนได้รับอิทธิพลจากความเค็มและการตัดก้านตา ซึ่งได้รับอิทธิพลร่วมของปัจจัย (Interaction) ทั้งหมด เมื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยร่วมโดยใช้ความเค็มเป็นปัจจัยหลักพบว่า โซเดียมไอออนได้รับอิทธิพลจากอาหารเสริมคาร์นิทีนที่ความเค็ม 12, 30 และ 36 ppt และการตัดก้านตามีอิทธิพลที่ความเค็ม 5 และ 42 ppt โปแตสเซียมไอออนได้รับอิทธิพลจากอาหารเสริมคาร์นิทีนที่ความเค็ม 17 ppt และการตัดก้านตามีอิทธิพลที่ความเค็ม 42 ppt แมกนีเซียมไอออนได้รับอิทธิพลจากอาหารเสริมคาร์นิทีนที่ความเค็ม 5, 12, และ 30 ppt และการตัดก้านตามีอิทธิพลที่ความเค็ม 36 ppt แคลเซียมไอออนได้รับอิทธิพลจากอาหารเสริมคาร์นิทีนที่ความเค็ม 17 pptและการตัดก้านตามีอิทธิพลที่ความเค็ม12 ppt

การวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักหลังจากทดลอง 1 เดือน ด้วยการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นพบว่าน้ำหนักของกุ้งก่อนและหลังการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งชุดการทดลองปกติและชุดอาหารเสริมคาร์นิทีน เมื่อวิเคราะห์หาอัตรารอดพบว่า ชุดความเค็ม 17 pptในการทดลองปกติมีอัตรารอด 88.67 เปอร์เซ็นต์และในชุดอาหารเสริมคาร์นิทีนมีอัตรารอด 86.53 เปอร์เซ็นต์ ชุดความเค็ม 30 pptในการทดลองปกติมีอัตรารอด 67.31 เปอร์เซ็นต์และในชุดอาหารเสริมคาร์นิทีนมีอัตรารอด 80.77 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าอาหารเสริมคาร์นิทีนเมื่อเลี้ยงที่ 17 ppt ให้อัตรารอดสูงกว่าเลี้ยงที่ 30 ppt เล็กน้อย แต่ทำให้มีอัตรารอดสูงกว่าชุดปกติเมื่อเลี้ยงที่ 30 ppt ซึ่งทั้งสองความเค็มให้อัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบอัตรารอดและอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำ ในชุดอาหารเม็ดปกติและอาหารเสริมคาร์นิทีน

ชุดทดลอง	ความเค็ม (ppt)	ความหนาแน่น (ตัว/ตร.ม.)	จำนวนตัววันแรก	จำนวนตัววันที่ 30	อัตรารอด (เปอร์เซ็นต์)
1. อาหารเม็ดปกติ	17	47.11	53	47	88.67
2. อาหารเสริมคาร์นิทีน	17	46.23	52	45	86.53
3. อาหารเม็ดปกติ	30	46.23	52	35	67.31
4. อาหารเสริมคาร์นิทีน	30	46.23	52	42	80.77