บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลของสารเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ (สารชีวภาพ) ต่อคุณภาพของกุ้งกุลาดำ

ฟอสเฟต เป็นสารเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์กุ้งแช่เยือกแข็ง โดยมีสมบัติหลักในการลดการสูญเสียน้ำจากการละลายน้ำแข็งและการให้ความร้อนและช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส แต่การบริโภคฟอสเฟตมากเกินไป มีผลเพิ่มภาวะเสี่ยงต่อโรคกระดูกผุ ดังนั้นจึงมีความพยายามในการนำสารชนิดอื่นที่มีสมบัติใกล้เคียงมาทดแทนหรือลดปริมาณการใช้ (Ruusunen และคณะ, 2002) ในงานทดลองนี้จึงพิจารณาสารเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ 6 ชนิด ได้แก่ แคปป้า คาร์ราจีแนน กัวร์กัม ไคโตซาน โซเดียมเคซีเนท ทรีฮาโลส และโซเดียมไกล-ซีเนท-ไกลซีน โดยสาเหตุที่พิจารณาเลือกแคปป้า คาร์ราจีแนน กัวร์กัม และไคโตซาน เพราะมีสมบัติเป็นโพลีเมอร์ชีวภาพที่สามารถดูดกลืนน้ำได้ดี (Pe'rez-Mateos, Montero และ Martin, 2001) ขณะที่โซเดียมเคซีเนทและโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน เป็นโปรตีนที่มีสมบัติในการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ (Anese และ Gormley, 1995) ส่วนทรีฮาโลสมีสมบัติเป็นสารรักษาสภาพที่ภาวะแช่เยือกแข็ง (Zhou และคณะ, 2006)

4.1.1 ผลของแคปป้า คาร์ราจีแนนต่อคุณภาพของกุ้งกุลาดำ

แคปป้า คาร์ราจีแนน เป็นสารเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำที่มีผู้นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์หลายชนิด อาทิ ในผลิตภัณฑ์ ปลาบด หมูบด และไส้กรอกต่าง ๆ (Pe'rez-Mateos, Montero และ Martin, 2001; Jarmouluk และ Pietrasik, 2003) จากการที่มี หมู่ซัลเฟตในโครงสร้างทำให้แคปป้า คาร์ราจีแนนสามารถจับกับหมู่เอมีนในโมเลกุลของโปรตีนเนื้อสัตว์ เกิดเป็นโครงสร้างเมทริกซ์ที่ทำให้เจลสามารถกักเก็บน้ำไว้ในผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น (DeFreitas และคณะ, 1997) นอกจากนั้นแคปป้า คาร์ราจีแนนยังมีสมบัติในการดูดกลืนน้ำเนื่องจากเป็นโพลีเมอร์ชนิดไอออนลบ ที่มีหมู่ซัลเฟตของโครงสร้างโมเลกุลทำหน้าที่จับกับโมเลกุลของน้ำเป็นผลให้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น (Verbeken และคณะ, 2005) นอกจากนี้โครงสร้างเมทริกซ์ที่เกิดขึ้นยังมีความแข็งแรงพอที่จะมีผลในการเพิ่มค่า hardness ของผลิตภัณฑ์ (DeFreitas และคณะ, 1997) อีกด้วย ดังนั้นเมื่อนำมาใช้ในการทดลองนี้ จึงน่าจะมีสมบัติในการเพิ่ม %weight gain ลด %cooking loss และ เพิ่มค่า hardness ของกุ้ง

ในการทดลองได้นำกุ้งกุลาดำที่เตรียมตามวิธีในขั้นตอนที่ 3.2.1 มาแช่ในสารละลายแคปป้า คาร์ราจีแนน ความเข้มข้นสารละลาย 0.00, 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00% ตามขั้นตอนที่ 3.2.2 หลังแช่สารละลาย แช่เยือกแข็ง ละลายน้ำแข็ง และให้ความร้อนจนสุก ตามขั้นตอนที่ 3.3 นำผลจากการชั่งน้ำหนักมาคำนวณ %weight gain, %freezing loss, %thawing loss, %cooking loss วิเคราะห์ค่า hardness และวัดค่าสี L* และ a* ตามวิธีในขั้นตอนที่ 3.3 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 %weight gain, %freezing loss, %thawing loss และ %cooking loss ของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายแคปป้า คาร์ราจีแนน ความเข้มข้น 0.00-1.00% แล้วแช่เยือกแข็ง และเก็บนาน 1 เดือน จากนั้นละลายน้ำแข็ง แล้วให้ความร้อนจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น 70°C

ความเข้มข้น แคปป้า คาร์ราจีแนน (%)	Weight gain (%)	Freezing loss (%)	Thawing loss (%)	Cooking loss^{ns} (%)
0.00	$5.59^{a}\pm0.92$	$2.06^{a}\pm0.38$	$1.96^{a}\pm0.46$	9.29 ± 2.11
0.25	$6.49^{ab}\pm0.72$	$2.81^{b}\pm0.16$	$2.57^{bc}\pm0.24$	12.01 ± 2.98
0.50	$7.68^{b}\pm0.30$	$3.17^{bc}\pm0.42$	$2.90^{abc}\pm0.73$	10.91 ± 2.92
0.75	$8.64^{c}\pm0.71$	$3.47^{c}\pm0.45$	$3.34^{bc}\pm0.85$	10.92 ± 2.08
1.00	$8.50^{c}\pm1.79$	$3.75^{c}\pm0.10$	$3.86^{c}\pm0.53$	9.39 ± 2.05

a, b และ c ข้อมูลในแถวตั้งเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

ns ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.2 ค่า hardness และค่าสี (L*, a*) ของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายแคปป้า คาร์ราจีแนน ความเข้มข้น 0.00-1.00% แล้วแช่เยือกแข็ง และเก็บนาน 1 เดือน จากนั้นละลายน้ำแข็ง แล้วให้ความร้อนจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น 70°C

ความเข้มข้น แคปป้า คาร์ราจีแนน (%)	ค่า hardness^{ns} (Newton)	ค่าสี^{ns}	
		L*	a*
0.00	31.33±5.05	71.14±2.36	11.90±3.78
0.25	31.08±5.82	71.53±2.64	11.00±2.06
0.50	33.77±6.71	71.83±2.38	11.26±2.95
0.75	31.77±4.42	71.16±3.27	11.34±2.70
1.00	34.29±6.34	71.34±3.05	11.86±2.85

ns ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าความเข้มข้นของสารละลายแคปป้า คาร์ราจีแนน ที่ใช้แช่กุ้งกุลาดำมีอิทธิพลต่อ %weight gain %freezing loss และ %thawing loss ($p\leq0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลต่อ %cooking loss ค่า hardness และค่าสี L* และ a* ($p>0.05$)

เมื่อพิจารณา %weight gain (ตารางที่ 4.1) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคปป้า คาร์ราจีแนน เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ %weight gain เพิ่มขึ้น ($p\leq0.05$) เนื่องจากสมบัติในการดูดกลืนน้ำที่ดีของแคปป้าคาร์ราจีแนน โดยแคปป้าคาร์ราจีแนนที่เป็นชั้นเคลือบอยู่บริเวณผิวภายนอกของกุ้งดูดกลืนและจับโมเลกุลของน้ำไว้ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ซัลเฟตกับไฮโดรเจนอะตอมของน้ำ เป็นผลให้น้ำหนักของกุ้งเพิ่มขึ้นหลังแช่ ผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Pe'rez-Mateos, Montero และ Martin ในปี 2001 ที่พบว่าการใช้ แคปป้า คาร์ราจีแนน 1% ในผลิตภัณฑ์ปลา *Micromesistius poutassou* บด สามารถเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ขณะที่ในส่วนของ %freezing loss และ %thawing loss พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคปป้า คาร์ราจีแนน เพิ่มขึ้นจะมีผลให้ค่าเหล่านี้เพิ่มขึ้น ($p\leq0.05$) แสดงว่าน้ำที่ถูกดูดกลืนโดยแคปป้า คาร์ราจีแนนบริเวณผิวภายนอก บางส่วนสูญเสียไป โดยการระเหยขณะแช่เยือกแข็งและส่วนที่สามารถเกิดผลึกน้ำแข็งได้สูญเสียไปขณะละลายน้ำแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างแคปป้า คาร์ราจีแนน ไม่เสถียรต่อการแช่เยือกแข็ง โดยเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงแคปป้าคาร์ราจีแนนจะเกิดการหดตัวจับกันเองเกิดโครงสร้างเฮลิกซ์ (helical) น้ำที่ถูกดูดกลืนไว้จึงสูญเสียไป (Piculel, 1995; Nussinovitch, 1997a) ส่วน %cooking loss พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ

สารละลาย แคปป้า คาร์ราจีแนน เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อ %cooking loss ($p>0.05$) แสดงว่าการแช่แคปป้า คาร์ราจีแนน ไม่ได้ช่วยในการรักษาน้ำหนักไม่ให้สูญเสียไปในขณะทำให้สุก ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการทดลองของ Jarmoluk และ Pietrasik ในปี 2003 ซึ่งพบว่าการเติม แคปป้า คาร์ราจีแนนลงในผลิตภัณฑ์หมูบด สามารถลด cooking loss ($p\leq0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจาก แคป-ป้า คาร์ราจีแนน ที่เป็นชั้นเคลือบอยู่บริเวณผิวภายนอกของกุ้งเมื่อผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำมีการหดตัวเกิดขึ้นค่อนข้างมาก อีกทั้งความร้อนชื้นจากไอน้ำอาจมีผลทำให้ ชั้นเคลือบถูกละลายออกไปบ้าง จึงเป็นผลให้มีการสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้น

การแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งมีผลทำให้เนื้อสัมผัสและสีของกุ้งเปลี่ยนแปลงไป โดยขณะแช่เยือกแข็งน้ำในเนื้อกุ้งจะรวมตัวกันเกิดผลึกน้ำแข็งทำให้เนื้อเยื่อบางส่วนเกิดความเสียหายจากการเพิ่มปริมาตรของน้ำแข็ง และเมื่อละลายน้ำแข็งหรือทำให้สุก น้ำเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกจากเนื้อเยื่อไป ทำให้ความชุ่มน้ำของกุ้งลดลง ดังนั้นในทางอุตสาหกรรมจึงมีการนำสารฟอสเฟตมาใช้แช่กุ้งก่อนการแช่เยือกแข็ง โดยที่ฟอสเฟตมีผลทำให้โปรตีนไมโอซินในเนื้อกุ้งเกิดการคลายตัวสามารถจับกับน้ำได้ดีขึ้น จึงช่วยลดการสูญเสียจากกระบวนการดังกล่าว แต่การใช้สารฟอสเฟตชนิดเดียวหรือใช้ที่ความเข้มข้นสูงเกินไปมีผลทำให้โปรตีนเกิดการแปรสภาพ สีของกุ้งต้มสุกคล้ำ มีลักษณะปรากฏใสคล้ายกุ้งดิบ และเนื้อสัมผัสแข็งคล้ายยาง (Falci และ Scott, 1980; อาจิณย์, 2539) นอกจากนี้สารฟอสเฟตซึ่งมี pH สูง ยังมีผลทำให้สีของกุ้งขณะแช่สารละลายเปลี่ยนเป็นสีแดง การแปรสภาพของโปรตีนในครัสตาไซยานินซึ่งเป็นสารรงควัตถุที่ให้สีน้ำเงิน ทำให้โมเลกุลแอสตาแซนทินซึ่งเป็นสีแดงถูกปลดปล่อยออกมา สีของกุ้งจึงเปลี่ยนเป็นสีแดง (Krawczyk และ Britton, 2001) ซึ่งลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสเหล่านี้เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นในการทดลองนี้จึงพยายามคัดเลือกสารเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ที่ไม่มีผลทำให้เนื้อสัมผัสและสีของกุ้งเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะที่กล่าวข้างต้น

ผลจากการทดลอง ตามตารางที่ 4.2 พบว่าความเข้มข้นของสารละลายแคปป้า คาร์ราจีแนนที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อ ค่า hardness ($p>0.05$) ของกุ้งซึ่งผลดังกล่าวนี้ไม่สอดคล้องกับการทดลองของ Jarmoluk และ Pietrasik ในปี 2003 ซึ่งพบว่าการเติม แคปป้า คาร์ราจีแนนลงในผลิตภัณฑ์หมูบด มีผลเพิ่มค่า hardness ($p\leq0.05$) อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ไม่ได้เติมลงในผลิตภัณฑ์โดยตรง ดังนั้นแคปป้า คาร์ราจีแนน จึงไม่สามารถสร้างโครงสร้างเมทริกซ์กับโปรตีน ซึ่งโครงสร้างเมทริกซ์ที่กล่าวนี้ เกิดจากการที่หมู่ซัลฟ์ไฮดริล (sulfhydryl) ในโมเลกุลของโปรตีนสร้างพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) กับแคปป้า คาร์ราจีแนน เกิดโครงสร้าง 3 มิติ ทำให้เจลแข็งแรงขึ้นค่า hardness จึงสูงขึ้น ส่วนค่าสี L* และ a* ไม่มีผลจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแคปป้า คาร์ราจีแนน ($p>0.05$) อาจเนื่องจาก แคปป้า คาร์ราจีแนน มีค่า pH ประมาณ 6.22 ที่

ค่อนข้างเป็นกลาง และเจลของแคปป้า คาร์ราจีแนนเองก็ค่อนข้างใส จึงไม่มีผลทำให้รงควัตถุของกุ้งเกิดการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 แคปป้า คาร์ราจีแนน มีคุณสมบัติสำคัญ ในการเพิ่ม %weight gain ในกุ้ง โดยที่ความเข้มข้น 0.75% ให้ %weight gain สูงสุดและไม่แตกต่าง ($p>0.05$) จากที่ความเข้มข้น 1.00% ขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาค่า hardness และ ค่าสี L* และ a* ที่ความเข้มข้นดังกล่าวก็ไม่แตกต่าง ($p>0.05$) จากตัวอย่างควบคุมที่ผ่านการแช่เฉพาะน้ำกลั่น แสดงว่ากุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายแคปป้า คาร์ราจีแนน ที่ความเข้มข้นดังกล่าวมีเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏที่ไม่ผิดปกติแต่อย่างใด

4.1.2 ผลของกัวร์กัมต่อคุณภาพของกุ้งกุลาดำ

มีรายงานการใช้กัวร์กัม ในผลิตภัณฑ์ ปลาบด และมีทบอล (Pe'rez-Mateos และ Montero, 2002; Hasret, 2006) ที่แสดงว่ากัวร์กัมมีสมบัติเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ และลดการสูญเสียน้ำหนักจากการทำให้สุก จากการที่กัวร์กัมดูดกลืนน้ำได้ดีจึงช่วยในการจับโมเลกุลของน้ำไว้ (Pe'rez-Mateos และ Montero, 2002) เมื่อนำมาใช้ในการทดลองนี้ จึงน่าจะมีสมบัติในการเพิ่ม %weight gain และลด %cooking loss ของกุ้งได้

ในงานทดลองนี้ได้นำกุ้งกุลาดำที่เตรียมตามวิธีในขั้นตอนที่ 3.2.1 มาแช่ในสารละลายกัวร์กัม ความเข้มข้นสารละลาย 0.00, 0.50, 1.00, 1.50 และ 2.00% ที่เตรียมตามขั้นตอนที่ 3.2.2 นำตัวอย่างที่ได้ แช่เยือกแข็ง ละลายน้ำแข็ง และให้ความร้อนจนสุก ตามขั้นตอนที่ 3.3 นำผลที่ได้จากการชั่งน้ำหนักมาคำนวณ %weight gain, %freezing loss, %thawing loss, %cooking loss วิเคราะห์ค่า hardness และวัดค่าสี L* และ a* ตามวิธีในขั้นตอนที่ 3.3 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 %weight gain, %freezing loss, %thawing loss และ %cooking loss ของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายกัวร์กัม ความเข้มข้น 0.00-2.00% แล้วแช่เยือกแข็ง และเก็บนาน 1 เดือน จากนั้นละลายน้ำแข็ง แล้วให้ความร้อนจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น 70°C

ความเข้มข้น กัวร์กัม (%)	Weight gain (%)	Freezing loss (%)	Thawing loss (%)	Cooking loss^{ns} (%)
0.00	5.37^{a}±0.80	1.59^{a}±0.36	2.68^{a}±0.49	16.62±2.76
0.50	6.42^{a}±0.89	1.78^{a}±0.46	3.01^{ab}±0.72	17.89±2.25
1.00	8.62^{ab}±1.58	2.44^{ab}±0.16	3.92^{bc}±0.49	14.72±2.46
1.50	11.76^{bc}±3.22	3.48^{bc}±1.15	4.14^{bc}±1.23	15.31±3.15
2.00	14.73^{c}±3.86	4.47^{c}±0.96	4.45^{c}±0.74	15.16±3.97

a, b และ c ข้อมูลในแถวตั้งเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ns ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.4 ค่า hardness และค่าสี (L*, a*) ของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายกัวร์กัม ความเข้มข้น 0.00-2.00% แล้วแช่เยือกแข็ง และเก็บนาน 1 เดือน จากนั้นละลายน้ำแข็ง แล้วให้ความร้อนจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น 70°C

ความเข้มข้น กัวร์กัม (%)	ค่า hardness^{ns} (Newton)	ค่าสี^{ns}	
		L*	a*
0.00	29.28±5.22	72.70±3.65	11.06±3.17
0.50	29.11±4.24	73.86±3.01	11.59±3.31
1.00	28.67±5.84	72.56±3.98	10.97±3.02
0.50	27.91±5.64	73.66±4.01	11.74±2.86
2.00	30.08±5.65	72.12±4.31	11.06±3.21

ns ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าความเข้มข้นของสารละลายกัวร์กัม ที่ใช้แช่กุ้งกุลาดำมีอิทธิพลต่อ %weight gain %freezing loss และ %thawing loss ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลต่อ %cooking loss ค่า hardness และค่าสี L* และ a* ($p>0.05$)

I 25196968

เมื่อพิจารณา %weight gain (ตารางที่ 4.3) พบว่าความเข้มข้นของสารละลายกัวร์กัมที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ %weight gain เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากกัวร์กัม มีสมบัติในการดูดกลืนน้ำที่ดี เหมือนกับแคปป้า คาร์ราจีแนน ผลดังกล่าวนี้ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Pe'rez-Mateos และ Montero ในปี 2002 ที่พบว่าการใช้กัวร์กัมที่ปริมาณ 1% ในผลิตภัณฑ์ปลา blue whiting บด สามารถเพิ่มปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากกัวร์กัมมีสมบัติในการดูดกลืนน้ำที่ดีจึงช่วยในการจับโมเลกุลของน้ำในผลิตภัณฑ์ ขณะที่ในส่วนของ %freezing loss และ %thawing loss นั้นพบว่าความเข้มข้นของสารละลายกัวร์กัมที่เพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าเหล่านี้เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) แสดงว่าน้ำที่ถูกดูดกลืนโดยกัวร์กัมบางส่วนสูญเสียไปเมื่อผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง ผลดังกล่าวนี้อธิบายได้ว่ากัวร์กัมเป็นโพลีเมอร์ที่ไม่แตกตัวดังนั้นการจับกับน้ำจึงเกิดด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลบนสายโซ่น้ำตาลกาแลกโตสกับน้ำเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งพันธะเหล่านี้ไม่แข็งแรงพอที่จะรักษาน้ำไว้ได้ที่ภาวะความเค้น (stress) เช่น กระบวนการแช่แข็ง และละลายน้ำแข็ง น้ำที่ถูกดูดกลืนไว้จึงสูญเสียไปได้ง่าย (Martin, 2005) ส่วน %cooking loss พบว่าความเข้มข้นของสารละลายกัวร์กัมที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อ %cooking loss ($p>0.05$) แสดงว่าสารละลายกัวร์กัม ไม่ได้ช่วยในการรักษาน้ำหนักไม่ให้สูญเสียไป ในขณะทำให้สุก ซึ่งผลนี้ไม่สอดคล้องกับผลการทดลองของ Hasret ในปี 2006 ที่พบว่าการเติม กัวร์กัมที่ปริมาณ 1% ในผลิตภัณฑ์มีทบอลไขมันต่ำ สามารถ ลด %cooking loss ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากกัวร์กัมที่เป็นชั้นเคลือบอยู่บริเวณผิวภายนอกของกุ้งเมื่อผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำมีการหดตัวเกิดขึ้นค่อนข้างมาก อีกทั้งความร้อนขึ้นจากไอน้ำอาจมีผลทำให้ชั้นเคลือบถูกละลายออกไปบ้าง เช่นเดียวกับในกรณีของคาร์ราจีแนน จึงเป็นผลให้มีการสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้น

เมื่อพิจารณาค่า hardness (ตาราง 4.4) จะเห็นว่าความเข้มข้นของสารละลายกัวร์กัมที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อ ค่า hardness ($p>0.05$) ซึ่งผลนี้ไม่สอดคล้องกับงานของ Ligutom, Mesina และ Ganji ในปี 1998 ซึ่งรายงานว่าการเติมกัวร์กัม ในผลิตภัณฑ์เนื้อบด เป็นผลให้ค่า hardness ของผลิตภัณฑ์ลดลง ($p \leq 0.05$) เนื่องจากกัวร์กัมไม่ได้สร้างโครงสร้างเมทริกซ์กับโปรตีนเหมือนกับแคปป้า คาร์ราจีแนน การเติมกัวร์กัมจึงไม่ได้เพิ่ม ค่า hardness ของผลิตภัณฑ์ แต่เป็นการเพิ่มปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ทำให้ผลิตภัณฑ์นุ่มขึ้น อย่างไรก็ตามในงานทดลองนี้ไม่ได้เติมกัมลงในผลิตภัณฑ์โดยตรง การชุบเคลือบเป็นผลให้กัมเกิดเป็นชั้นบางหุ้มอยู่บริเวณผิวภายนอกของกุ้งเท่านั้นจึงมีผลน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของกุ้ง นอกจากนั้นพบว่าความเข้มข้นของสารละลายกัวร์กัมที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของกุ้ง ($p>0.05$) อาจเนื่องจากกัวร์กัม มีค่า pH ประมาณ 7.47 ที่ค่อนข้างเป็นกลาง จึงไม่มีผลทำให้รงควัตถุของกุ้งเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีแต่อย่างใด

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 กัวร์กัม มีคุณสมบัติสำคัญในการ เพิ่ม %weight gain ในกุ้ง โดยกัวร์กัมที่ความเข้มข้น 1.5% และ 2% ให้ %weight gain สูงที่สุด แต่สารละลายกัวร์กัมที่ความเข้มข้น 1.5% และ 2% มีความหนืดค่อนข้างสูงถึง 54.2 และ 76.0 เซนติพอยซ์ (centipoise) ตามลำดับ ทำให้ไม่เหมาะในการนำมาใช้ทางอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงเลือกกัวร์กัมที่ความเข้มข้น 1% ที่มีค่าความหนืดเพียง 26.7 เซนติปอยซ์ และให้ %weight gain ที่ 8.62 ซึ่งไม่มีความแตกต่าง ($p>0.05$) จากตัวอย่างที่ความเข้มข้น 1.5% ขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาค่า hardness และ ค่าสี L* และ a* ที่ความเข้มข้นดังกล่าวก็ไม่แตกต่าง ($p>0.05$) ตัวอย่างที่แช่เฉพาะน้ำกลั่น แสดงว่ากุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายกัวร์กัม ที่ความเข้มข้นดังกล่าวมีเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏที่ไม่ผิดปกติแต่อย่างใด

4.1.3 ผลของไคโตซานต่อคุณภาพของกุ้งกุลาดำ

มีการใช้ไคโตซาน ในผลิตภัณฑ์ ปลาชิ้น และซูริมิ (Jeon, Kamil และ Shahidi, 2002; Somjit และคณะ, 2005) พบว่าไคโตซานมีคุณสมบัติในการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ และลดการสูญเสียน้ำหนักจากการทำให้สุก เนื่องจากไคโตซานมีสมบัติในการดูดกลืนน้ำที่ดีในภาวะที่เป็นกรด โดยที่ภาวะดังกล่าวนี้หมู่อเซทิลจะแตกตัวให้ประจุบวกซึ่งจะไปจับกับออกซิเจนอะตอมในโมเลกุลของน้ำ (Winterowd และ Sandford, 1995) ดังนั้นจึงคัดเลือกมาใช้ในการทดลองนี้ เพื่อศึกษาว่าจะมีสมบัติในการเพิ่มปริมาณน้ำในกุ้งที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ หรือไม่

ในการทดลองนี้ได้นำกุ้งกุลาดำที่เตรียมตามวิธีในขั้นตอนที่ 3.2.1 มาแช่ในสารละลายไคโตซาน ความเข้มข้นสารละลายเป็น 0.00, 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00% ตามขั้นตอนที่ 3.2.2 หลังแช่สารละลาย แช่เยือกแข็ง ละลายน้ำแข็ง และให้ความร้อนจนสุก ตามขั้นตอนที่ 3.3 นำผลจากการชั่งน้ำหนักมาคำนวณ %weight gain, %freezing loss, %thawing loss, %cooking loss วิเคราะห์ค่า hardness และวัดค่าสี L* และ a* ตามวิธีในขั้นตอนที่ 3.3 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.5 %weight gain, %freezing loss, %thawing loss และ %cooking loss ของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายไคโตซาน ความเข้มข้น 0.00-1.00% แล้วแช่เยือกแข็ง และเก็บนาน 1 เดือน จากนั้นละลายน้ำแข็ง แล้วให้ความร้อนจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น 70°C

ความเข้มข้นไคโตซาน (%)	Weight gain (%)	Freezing loss (%)	Thawing loss (%)	Cooking loss^{ns} (%)
0.00	7.33^{a}±0.96	1.28^{a}±0.50	0.73^{a}±0.51	12.16±0.68
0.25	7.33^{a}±0.90	1.91^{ab}±0.90	1.63^{ab}±0.58	11.39±3.81
0.50	8.66^{a}±0.67	1.76^{ab}±0.75	2.30^{b}±0.62	11.60±6.10
0.75	10.74^{b}±0.67	2.12^{ab}±0.97	2.31^{b}±0.45	11.07±3.50
1.00	15.38^{c}±0.27	3.33^{b}±1.40	2.46^{b}±2.67	13.15±5.95

a, b และ c ข้อมูลในแถวตั้งเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.6 ค่า hardness และค่าสี (L*, a*) ของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายไคโตซาน ความเข้มข้น 0.00-1.00% แล้วแช่เยือกแข็ง และเก็บนาน 1 เดือน จากนั้นละลายน้ำแข็ง แล้วให้ความร้อนจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น 70°C

ความเข้มข้นไคโตซาน (%)	ค่า hardness^{ns} (Newton)	ค่าสี^{ns}	
		L*	a*
0.00	29.59±7.21	73.55±1.98	11.79±2.27
0.25	30.16±4.05	74.42±2.10	12.79±2.84
0.50	32.70±4.92	74.00±2.59	12.06±1.57
0.75	33.19±5.62	73.42±2.52	13.62±2.45
1.00	33.28±4.75	72.52±2.10	13.45±3.01

ns ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน ที่ใช้แช่กุ้งกุลาดำมีอิทธิพลต่อ %weight gain %freezing loss และ %thawing loss ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลต่อ %cooking loss ค่า hardness และค่าสี L* และ a* ($p>0.05$)

เมื่อพิจารณา %weight gain (ตารางที่ 4.5) จะเห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน เพิ่มขึ้น %weight gain ของตัวอย่างกุ้งเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) เนื่องจากไคโตซานในสภาวะที่เป็นกรดอ่อนมีสมบัติในการดูดกลืนน้ำที่ดี โดยไคโตซานที่หุ้มเป็นชั้นเคลือบบางอยู่บริเวณผิวภายนอกของกุ้งดูดกลืนและจับโมเลกุลของน้ำจากการที่หมู่อเซทิลแตกตัวให้ประจุบวกซึ่งสามารถจับกับออกซิเจนอะตอมในโมเลกุลของน้ำ เป็นผลให้น้ำหนักของกุ้งเพิ่มขึ้นหลังแช่ (Winterowd และ Sandford, 1995) ขณะที่ในส่วนของ %freezing loss และ %thawing loss พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน เพิ่มขึ้นจะมีผลให้ค่าเหล่านี้เพิ่มขึ้นด้วย ($p \leq 0.05$) แสดงว่าน้ำที่ถูกดูดกลืนโดยไคโตซาน บางส่วนสูญเสียไปเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง ผลดังกล่าวนี้ต่างจากงานของ Jeon, Kamil and Shahidi ในปี 2002 ซึ่งพบว่าการเคลือบชิ้นปลาเฮอริงก์ชิ้น ด้วยไคโตซานลดการสูญเสียน้ำหนักของปลาขณะแช่เย็นได้ ($p \leq 0.05$) โดยในการทดลองดังกล่าว ได้ขึ้นรูปไคโตซานเป็นแผ่นฟิล์มก่อน แล้วจึงนำมาหุ้มไว้โดยรอบชิ้นปลาแล้วอบแห้งที่ 40°C นาน 2 ชั่วโมง ผู้วิจัยรายงานว่าในรูปของแผ่นฟิล์ม โมเลกุลของสารโพลีเมอร์จัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ ฟิล์มที่ได้มีรูพรุนน้อยทำให้น้ำระเหยออกได้ยาก การสูญเสียน้ำหนักจึงลดลงแต่ในงานทดลองนี้ไคโตซานที่ใช้ไม่ได้อยู่ในรูปฟิล์มจึงไม่สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้ ส่วน %cooking loss พบว่าความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อ %cooking loss ($p>0.05$) ซึ่งอาจมาจากสาเหตุเดียวกับที่อธิบายไว้ในผลของการใช้กัวร์กัม และแคปป้า คาร์ราจีแนน

เมื่อพิจารณาค่า hardness (ตารางที่ 4.6) พบว่าความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อ ค่า hardness ($p>0.05$) เนื่องจากไคโตซานเคลือบอยู่เฉพาะบริเวณผิวภายนอกของกุ้งจึงไม่มีผลต่อ การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสเหมือนในกรณีกัวร์กัม และแคปป้า คาร์ราจีแนน ขณะที่การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสี L* และ a* ($p>0.05$) เนื่องจากมีการปรับ pH ของไคโตซานเป็น 6.00 ก่อนนำมาใช้แช่กุ้งซึ่ง pH ดังกล่าวไม่มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของรงควัตถุในกุ้ง

จากตารางที่ 4.5 และ 4.6 ไคโตซานมีสมบัติที่สามารถ เพิ่ม %weight gain ในกุ้งและความเข้มข้น 1.00% เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ %weight gain ที่สูงสุด โดยค่า hardness และ ค่าสี L* และ a* ไม่แตกต่าง ($p>0.05$) จากกุ้งที่แช่เฉพาะน้ำกลั่น แสดงว่ากุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นดังกล่าวมีเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏที่ยอมรับได้ แต่การนำไคโตซานไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมทำได้ค่อนข้างยากเนื่องจากขั้นตอนการเตรียมสารละลายยุ่งยากต้องปรับ pH ของสารละลายที่ใช้แช่ให้เป็นกรดด้วย กรดอเซติกเข้มข้น 1% ก่อน เพื่อให้ไคโตซานละลายได้แล้วจากนั้นจึงปรับ pH อีกครั้งกลับมาที่ pH 6 ก่อนนำมาใช้เป็นสารแช่

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

ตารางที่ 4.8 ค่า hardness และค่าสี (L*, a*) ของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมเคซีเนท ความเข้มข้น 0.00-1.00% แล้วแช่เยือกแข็ง และเก็บนาน 1 เดือน จากนั้นละลายน้ำแข็ง แล้วให้ความร้อนจนจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น 70°C

ความเข้มข้น โซเดียมเคซีเนท (%)	ค่า hardness^{ns} (Newton)	ค่าสี^{ns}	
		L*	a*
0.00	26.76±4.68	71.37±2.06	11.57±2.28
0.25	28.30±4.97	73.38±2.36	13.25±2.99
0.50	24.30±4.33	72.87±2.44	13.28±3.43
0.75	28.03±5.55	73.06±1.39	12.52±2.40
1.00	26.54±4.12	72.50±2.97	13.43±3.53

ns ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเคซีเนท ที่ใช้แช่กุ้งกุลาดำไม่มีอิทธิพลต่อ %weight gain, %freezing loss, %thawing loss, %cooking loss, ค่า hardness และค่าสี L* และ a* (p>0.05)

จากตารางที่ 4.7 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเคซีเนทที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อ %weight gain, %freezing loss, %thawing loss และ %cooking loss (p>0.05) ผลดังกล่าวนี้ไม่สอดคล้องกับการทดลองของ Anese และ Gormley ในปี 1995 ซึ่งรายงานว่าการเติมโซเดียมเคซีเนท ในผลิตภัณฑ์ปลาบด มีผลเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ (p≤0.05) และงานทดลองของ Tsai และคณะ 1998 ซึ่งรายงานว่าการใช้โซเดียมเคซีเนทในผลิตภัณฑ์เนื้อวัวขึ้นรูปสามารถลดค่า %cooking loss ลง 4% เนื่องจากโมเลกุลเคซีเนทสามารถสร้างโครงสร้างเมทริกซ์ระหว่างกัน และจากการผสมในกระบวนการผลิตโครงสร้างที่กล่าวจะแทรกกระจายอยู่ในโครงสร้างเมทริกซ์ของไมโอไฟบริลลาโปรตีน จึงมีผลในการช่วยกักเก็บน้ำ และลดการสูญเสียน้ำหนัก จากการแช่เยือกแข็ง ละลายน้ำแข็ง และให้ความร้อน แต่ในการทดลองนี้เคซีเนทเป็นชั้นบางหุ้มอยู่เฉพาะบริเวณผิวภายนอกของกุ้ง และเนื้อสัตว์ที่ใช้ก็ไม่ได้ผ่านการบด จึงไม่สามารถลดการเสียน้ำหนักได้

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

ตารางที่ 4.9 %weight gain, %freezing loss, %thawing loss และ %cooking loss ของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายทรีฮาโลส ความเข้มข้น 0.00-2.00% แล้วแช่เยือกแข็ง และเก็บนาน 1 เดือน จากนั้นละลายน้ำแข็ง แล้วให้ความร้อนจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น 70°C

ความเข้มข้น ทรีฮาโลส (%)	Weight gain[ns] (%)	Freezing loss[ns] (%)	Thawing loss[ns] (%)	Cooking loss[ns] (%)
0.00	6.15±0.28	2.17±0.26	2.61±0.62	18.63±4.99
0.50	5.96±0.48	2.31±0.44	3.14±0.85	16.06±5.77
1.00	6.05±0.56	2.22±0.56	2.84±0.56	13.26±2.13
1.50	5.74±0.48	1.43±0.54	2.39±0.42	22.02±3.16
2.00	5.57±0.64	1.79±0.52	2.36±0.98	13.41±6.58

ns ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.10 ค่า hardness และค่าสี (L*, a*) ของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายทรีฮาโลส ความเข้มข้น 0.00-2.00% แล้วแช่เยือกแข็ง และเก็บนาน 1 เดือน จากนั้นละลายน้ำแข็ง แล้วให้ความร้อนจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น 70°C

ความเข้มข้น ทรีฮาโลส (%)	ค่า hardness[ns] (Newton)	ค่าสี[ns]	
		L*	a*
0.00	29.18±8.25	71.73±3.96	12.71±2.17
0.50	28.02±5.31	69.72±2.18	11.59±1.56
1.00	29.11±6.26	71.23±3.35	11.85±3.30
1.50	27.86±5.07	71.03±2.59	13.18±2.86
2.00	28.33±7.87	69.63±3.58	11.94±2.75

ns ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าความเข้มข้นของสารละลายทรีฮาโลส ที่ใช้แช่กุ้งกุลาดำไม่มีอิทธิพลต่อ %weight gain %freezing loss %thawing loss %cooking loss ค่า hardness และค่าสี L* และ a* ($p>0.05$)

จากตารางที่ 4.9 ความเข้มข้นของสารละลายทรีฮาโลสที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อ %weight gain, %freezing loss, %thawing loss และ %cooking loss (p>0.05) ผลนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Brennan และ Gormley ในปี 1999 ซึ่งพบว่าเมื่อแช่ปลาพันธุ์ออเรนจ์โรฮีแล่ชิ้นในสารละลายทรีฮาโลสเข้มข้น 5% แล้วแช่เยือกแข็งและเก็บที่ -35 °C นาน 1 เดือน แล้วละลายน้ำแข็งที่ 4°C นาน 12 ชั่วโมง จากนั้นทำให้สุกที่ 80°C สารละลายทรีฮาโลสไม่สามารถเพิ่ม %weight gain ลด freezing loss, thawing loss และ cooking loss (p>0.05) แสดงว่าสมบัติในการลดค่า T_g ของทรีฮาโลสจะมีประสิทธิภาพที่ดีในสภาวะที่ใส่ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์บดเช่นในซูริมิเท่านั้น

เมื่อพิจารณาค่า hardness (ตาราง 4.10) พบว่าการเมื่อความเข้มข้นของสารละลายทรีฮาโลสเพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อ ค่า hardness (p>0.05) ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการทดลองของ Brennan และ Gormley ในปี 1999 ซึ่งพบว่าการแช่ปลาพันธุ์ ออเรนจ์โรฮีแล่ชิ้นในสารละลายทรีฮาโลส ก่อนนำไปแช่เยือกแข็ง สามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัสของปลาแช่เยือกแข็งที่เก็บที่ -35 °C นาน 1 เดือน ได้ จากการที่ทรีฮาโลสลดการเสื่อมสภาพของโปรตีนในเนื้อปลาที่ภาวะเยือกแข็ง ซึ่งการเสื่อมสภาพดังกล่าวมีผลทำให้เนื้อสัมผัสเหนียวกระด้าง (toughness) ผลที่แตกต่างนี้อาจเนื่องจากโปรตีนกุ้งกุลาดำมีการเสื่อมสภาพของโปรตีนน้อยกว่าโปรตีนในปลาออเรนจ์โรฮีซึ่งเป็นปลาน้ำลึกที่โปรตีนเสื่อมสภาพได้ง่าย (Brennan และ Gormley, 1999) ขณะที่การแช่สารละลายทรีฮาโลสไม่มีผลต่อค่าสี L* และ a* (p>0.05) เนื่องจากทรีฮาโลส มีค่า pH ประมาณ 7.28 ที่ค่อนข้างเป็นกลาง จึงไม่มีผลทำให้รงควัตถุของกุ้งเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีแต่อย่างใด

จากตารางที่ 4.9 และ 4.10 ทรีฮาโลส ไม่มีคุณสมบัติ ในการเพิ่ม %weight gain หรือลด %freezing loss %thawing loss และ%cooking loss ในกุ้ง ดังนั้นจึงไม่ใช้ทรีฮาโลสในการทดลองขั้นต่อไป

4.1.6 ผลของโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน ต่อคุณภาพของกุ้งกุลาดำ

มีผู้ทดลองใช้โซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน ในผลิตภัณฑ์ แฮม และไส้กรอก (Vanbelle, 1987; Gou และคณะ, 1996) แล้วรายงานว่าไกลซีนมีคุณสมบัติเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์เนื่องจากหมู่ลบที่อยู่บนโมเลกุลสามารถจับกับโมเลกุลน้ำได้ดี และยังมีสมบัติเป็นบัฟเฟอร์เมื่อใช้ร่วมกับโซเดียมไกลซีเนท โดยสารผสมสามารถควบคุม pH ให้อยู่ในช่วง 8.5-10.5 ซึ่งเป็นช่วง pH ที่โปรตีนไมโอซิน (myosin) ในเนื้อสัตว์เกิดคลายตัวทำให้โปรตีนสามารถอุ้มน้ำได้ดีขึ้น (Vanbelle, 1987) จึงน่าจะให้ผลในทางบวกเมื่นำมาใช้กับกุ้งกุลาดำ

ในการทดลองได้แช่กุ้งกุลาดำจาก 3.2.1 ในสารละลายโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน ที่แปรความเข้มข้นเป็น 0.00, 0.50, 1.00 และ 1.50% ตัวอย่างหลังแช่ แช่เยือกแข็ง ละลายน้ำแข็ง และให้ความร้อนจนสุก นำมาวิเคราะห์ %weight gain, %freezing loss, %thawing loss, %cooking loss วิเคราะห์ค่า hardness และวัดค่าสี L* และ a* ตามวิธีในขั้นตอนที่ 3.3 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.11 และ 4.12

ตารางที่ 4.11 %weight gain, %freezing loss, %thawing loss และ %cooking loss ของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน ความเข้มข้น 0.00-2.00% แล้วแช่เยือกแข็ง และเก็บนาน 1 เดือน จากนั้นละลายน้ำแข็ง แล้วให้ความร้อนจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น 70°C

ความเข้มข้นโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน (%)	Weight gain (%)	Freezing loss (%)	Thawing loss^{ns} (%)	Cooking loss (%)
0.00	$4.60^a \pm 0.88$	$1.24^b \pm 0.08$	2.33 ± 0.88	$7.41^c \pm 1.50$
0.50	$6.26^b \pm 0.31$	$1.27^b \pm 0.28$	1.78 ± 0.76	$5.12^b \pm 0.56$
1.00	$6.84^b \pm 1.09$	$0.95^a \pm 0.09$	2.31 ± 0.74	$2.49^a \pm 1.62$
1.50	$6.74^b \pm 0.23$	$0.89^a \pm 0.08$	1.59 ± 0.31	$1.05^a \pm 0.63$

a, b และ c ข้อมูลในแถวตั้งเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ns ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.12 ค่า hardness และค่าสี (L*, a*) ของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน ความเข้มข้น 0.00-2.00% แล้วแช่เยือกแข็ง และเก็บนาน 1 เดือน จากนั้นละลายน้ำแข็ง แล้วให้ความร้อนจนจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น 70°C

ความเข้มข้นโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน(%)	ค่า hardness (Newton)	ค่าสี	
		L*	a*
0.00	$26.16^{b}\pm0.60$	$72.98^{d}\pm1.63$	$10.92^{c}\pm2.11$
0.50	$20.84^{a}\pm0.59$	$69.22^{c}\pm2.63$	$10.18^{bc}\pm1.74$
1.00	$22.37^{a}\pm0.58$	$66.96^{b}\pm2.88$	$9.20^{ab}\pm1.94$
1.50	$21.78^{a}\pm0.56$	$63.56^{a}\pm2.64$	$8.10^{a}\pm2.06$

a, b, c และ d ข้อมูลในแถวตั้งเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน ที่ใช้แช่กุ้งกุลาดำมีอิทธิพลต่อ %weight gain %freezing loss %cooking loss ค่า hardness และค่าสี L* และ a* ($p\leq0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลต่อ %thawing loss ($p>0.05$)

จากตารางที่ 4.11 จะเห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน เพิ่มขึ้น %weight gain เพิ่มขึ้น ($p\leq0.05$) ขณะที่ %cooking loss ลดลง ($p\leq0.05$) ผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Vanbelle ในปี 1987 ที่รายงานว่าการเติมโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน ในผลิตภัณฑ์แฮมมีผลเพิ่ม %weight gain จากการที่ไกลซีนสามารถจับกับน้ำได้ดีเนื่องจากหมู่ลบบนโมเลกุล และสมบัติในการเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH 8.5-10.5 ซึ่งเป็น pH ที่โปรตีนไมโอซินในเนื้อสัตว์คลายตัวทำให้ประจุอิสระบนโมเลกุลเพิ่มขึ้นจึงจับโมเลกุลน้ำได้ดีขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ %freezing loss ลดลง ($p\leq0.05$) แต่ไม่มีมีผลต่อ %thawing loss ($p>0.05$) ซึ่งต่างจากการใช้กัวร์กัมที่มีผลทำให้ %thawing loss เพิ่มขึ้น แสดงว่าน้ำที่ถูกจับไว้ไม่สูญเสียไปจากการแช่เยือกแข็งหรือละลายน้ำแข็ง ซึ่งอาจเป็นผลจากการจับโมเลกุลของน้ำไว้ด้วยพันธะไอออนที่แข็งแรงกว่าพันธะไฮโดรเจนทั่ว ๆ ไป อย่างไรก็ตามสารละลายโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีนมีผลในการลดค่า hardness ($p\leq0.05$) ของกุ้ง (ตารางที่ 4.12) ทั้งนี้อาจเนื่องจากไกลซีน มีสมบัติเพิ่มปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ทำให้ค่า hardness ลดลง ขณะที่ค่าความสว่างของสีกุ้งลดลง และสีแดงลดลงด้วยซึ่งอาจอธิบายได้ว่าโซเดียมไกลซีเนทซึ่งมีค่า pH ในเกณฑ์สูงมีผลทำให้โปรตีนในโมเลกุลครัสตาไซยานินเกิดการแปรสภาพเป็นผลให้สารรงควัตถุแอสตาแซนทินซึ่งถูกห่อหุ้มอยู่ใน

โมเลกุลถูกปล่อยออกมาและละลายในสารละลายที่ใช้แช่กุ้งก่อนการแช่เยือกแข็งทำให้ปริมาณแอสตาแซนทินในกุ้งลดลงซึ่งเมื่อนำมาต้มสุก สีของกุ้งจึงซีดลง (Krawczyk และ Britton, 2001)

จากตารางที่ 4.11 และ 4.12 โซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีนมีคุณสมบัติสำคัญ คือ เพิ่ม %weight gain และลด %cooking loss และ %freezing loss ในกุ้ง โดยโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน ที่ความเข้มข้น 0.5% 1.0% และ1.5% ให้ %weight gain สูงที่สุด โดยที่ความเข้มข้นทั้ง 3 ไม่แตกต่างกัน (p>0.05) ขณะที่ที่ความเข้มข้น 1.0% ให้ %cooking loss ต่ำที่สุด และไม่มีความแตกต่าง (p>0.05) จากการใช้โซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีนที่ความเข้มข้น 1.5% ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงเลือกใช้ความเข้มข้นที่ 1.0%

เมื่อศึกษาผลของสารแต่ละชนิดต่อคุณภาพของกุ้งกุลาดำ แล้วจึงประมวลข้อมูลเพื่อคัดเลือกสารเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ สำหรับใช้ในการทดลองขั้นต่อไป โดยพิจารณาจากคุณสมบัติที่เป็นวัตถุประสงค์หลักของงานทดลองนี้คือการเพิ่ม weight gain และ ลด cooking loss ซึ่งพบว่าจากสารทั้ง 6 ชนิด ที่ทดลองใช้มีเพียงชนิดเดียวเท่านั้น ที่มีคุณสมบัติลด cooking loss ในกุ้งกุลาดำ คือ โซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน โดยความเข้มข้นที่มีประสิทธิภาพดังกล่าว คือ 1% ส่วนสารที่มีสมบัติในการเพิ่ม %weight gain พิจารณาจากสาร 2 ชนิด ได้แก่ แคปป้า คาร์ราจีแนนและกัวร์กัมซึ่งเพิ่ม weight gain อยู่ในช่วง 7.68-14.73% การที่ไม่พิจารณาเลือกไคโตซานด้วยเพราะขั้นตอนในการเตรียมยุ่งยากไม่เหมาะในการใช้ในระดับอุตสาหกรรม และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกัวร์กัม กับคาร์ราจีแนน กัวร์กัมที่ความเข้มข้น 1% ให้ weight gain สูงกว่าคาร์ราจีแนนที่ความเข้มข้น 0.75% และแม้จะต้องใช้กัวร์กัมที่ความเข้มข้นสูงกว่าแต่กัวร์กัมราคาถูกกว่าคาร์รา-จีแนน ดังนั้นจึงมีเหตุผลอันสมควรที่จะใช้กัวร์กัมในการทดลองขั้นต่อไป

4.2 ผลของสารเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ SAS®-กรดซิตริก ต่อคุณภาพของกุ้งกุลาดำ

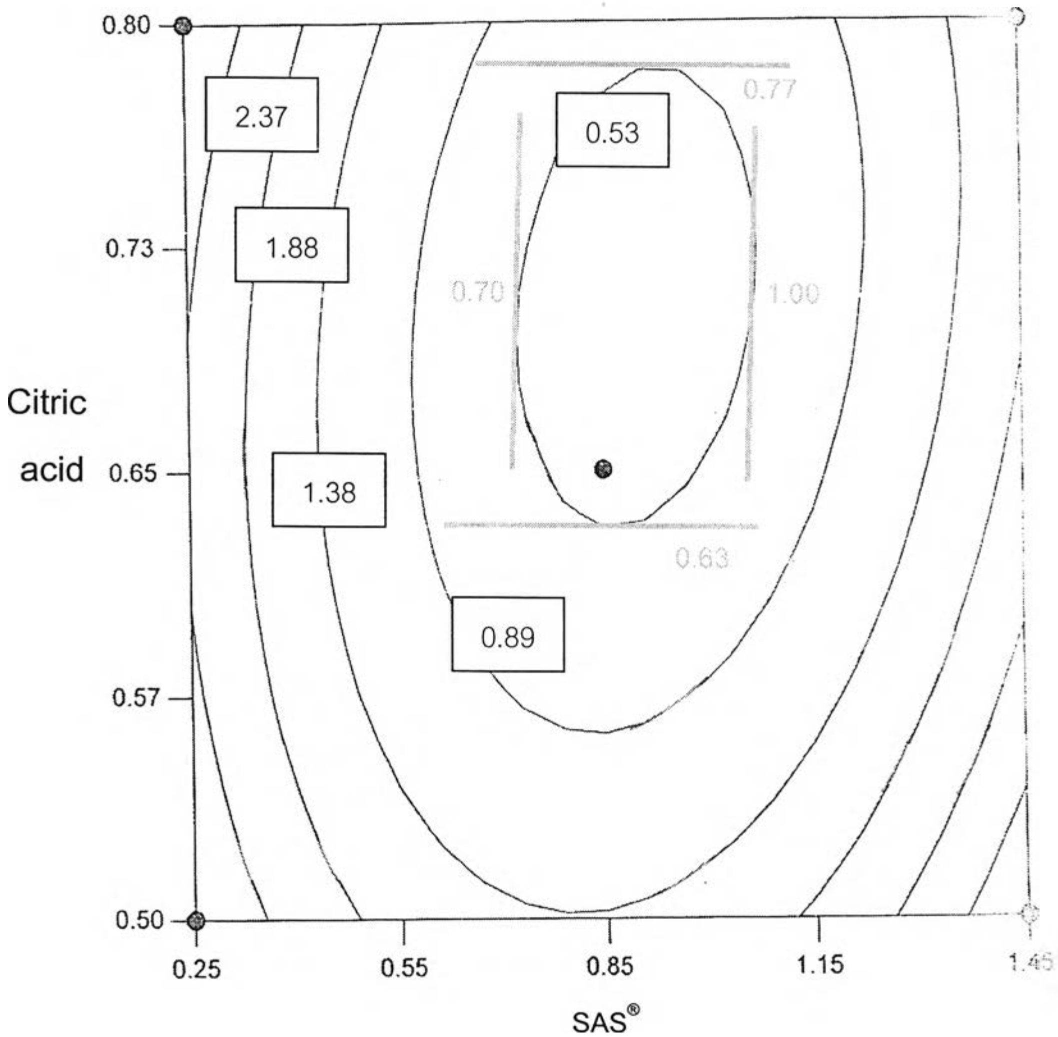
สารเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำผลิตภัณฑ์อาหารทะเลที่ดีต้องมีคุณลักษณะสำคัญ คือ สามารถเพิ่ม %weight gain และลด %cooking loss ของผลิตภัณฑ์หลังการแช่และทำให้สุก เพราะในกระบวนการผลิตหรือแปรรูปจะมีการสูญเสียน้ำจากผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผู้ผลิตจึงต้องเพิ่มน้ำเข้าไปในผลิตภัณฑ์ก่อนเริ่มทำการผลิตหรือแปรรูป เพื่อให้มีน้ำคงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์พอเพียงที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏที่ดี มีเนื้อสัมผัสที่มีความชุ่มน้ำไม่เหนียวกระด้าง(Zayas, 1997) SAS® เป็นสารทางการค้าที่มีราคาค่อนข้างต่ำพอกันกับสารฟอสเฟตและผู้ผลิตอ้างว่ามีคุณสมบัติเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนเนื้อสัตว์ได้ แต่ SAS® ที่ความเข้มข้น 1% มีค่า pH ที่สูง คือ 11.6 ซึ่งสูงเกินไปจนมีผลทำให้เนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏของกุ้งเปลี่ยนแปลงไป ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงต้องนำมาใช้ร่วมกับกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 1% ซึ่งมี pH ต่ำ คือ 2.1 เพื่อปรับ pH ให้เหมาะกับการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนจากเนื้อกุ้ง ในงานทดลองนี้เป็นการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดระหว่างสารทั้ง 2 โดยได้ออกแบบการทดลองด้วยวิธี Response Surface Methodology แบบ central composite design เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมของสารทั้ง 2 ชนิด ในช่วงกว้างพอสำหรับการเลือกจุดที่เหมาะสมมาทดลองยืนยันอีกครั้ง

ในการทดลองได้เตรียมสารผสมซึ่งประกอบด้วย SAS®-กรดซิตริก ที่อัตราส่วนตามตารางที่ 3.1 นำสารผสมมาเตรียมเป็นสารละลาย เข้มข้น 1% นำสารละลายที่ได้ในแต่ละอัตราส่วนไปวัด pH ตามขั้นตอนที่ 3.4 แล้วนำกุ้งกุลาดำที่เตรียมตามขั้นตอนที่ 3.2.1 มาแช่ในสารละลายแต่ละความเข้มข้นโดยใช้ภาวะขณะแช่เช่นเดียวกับข้อ 3.4 นำตัวอย่างหลังแช่ ไปแช่เยือกแข็ง จากนั้นละลายน้ำแข็ง แล้วให้ความร้อนจนสุก ตามวิธีในขั้นตอนที่ 3.3 ผลที่ได้ จากการวัด pH มาคำนวณ pH ที่เปลี่ยนไป ผลจากการชั่งน้ำหนักนำมาคำนวณ %weight gain และ %cooking loss วัดค่า hardness ด้วยเครื่อง texture analyzer นำผลมาคำนวณค่า hardness ที่เปลี่ยนไป และวัดค่าสี a* เพื่อคำนวณค่าสี a* ที่เปลี่ยนไป ผลจากการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.1-4.5

4.2.1 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วน SAS®-กรดซิตริก ต่อค่า pH ของสารละลาย

ค่า pH ที่เปลี่ยนไป เป็นค่าที่แสดงว่าสารละลายที่นำมาใช้แช่กุ้งกุลาดำมี pH ต่างจาก 7 โดยค่าที่ใกล้ 0 แสดงว่า pH ของสารละลายมีค่าค่อนข้างเป็นกลาง (ใกล้ 7 มาก) แต่ถ้า pH ที่เปลี่ยนไปมีค่ามาก ก็แสดงว่าสารละลายมีความเป็นกรด หรือด่างมากเกินไป ไม่น่าจะเหมาะที่จะใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ค่า pH ที่เปลี่ยนไปคำนวณตามสูตรต่อไปนี้

pH ที่เปลี่ยนไป = ค่าสัมบูรณ์ของ ($pH_{SAS®-citric}$ - 7)



รูปที่ 4.1 contour plot ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน SAS® กับ กรดซิตริกต่อ pH ที่เปลี่ยนไป ของสารละลายที่ใช้แช่กุ้งกุลาดำ

จากรูปที่ 4.1 ปริมาณ SAS® และกรดซิตริก มีอิทธิพลต่อค่า pH ที่เปลี่ยนไป ของสารละลาย โดยปริมาณ SAS® ที่มากกว่ากรดซิตริก มีผลทำให้ค่า pH ที่เปลี่ยนไปเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้ปริมาณ SAS® น้อยกว่ากรดซิตริก ค่า pH ที่เปลี่ยนไปก็เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน พบว่าสารผสมซึ่งประกอบด้วย SAS® ในช่วง 0.7-1.0 และกรดซิตริกในช่วง 0.63-0.77 มีค่า pH ที่เปลี่ยนไปใกล้เคียง 0 หรือ pH ของสารละลายใกล้ 7 โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน SAS® และกรดซิตริก กับค่า pH ที่เปลี่ยนไป ของสารละลายแสดงในสมการที่ 4.1

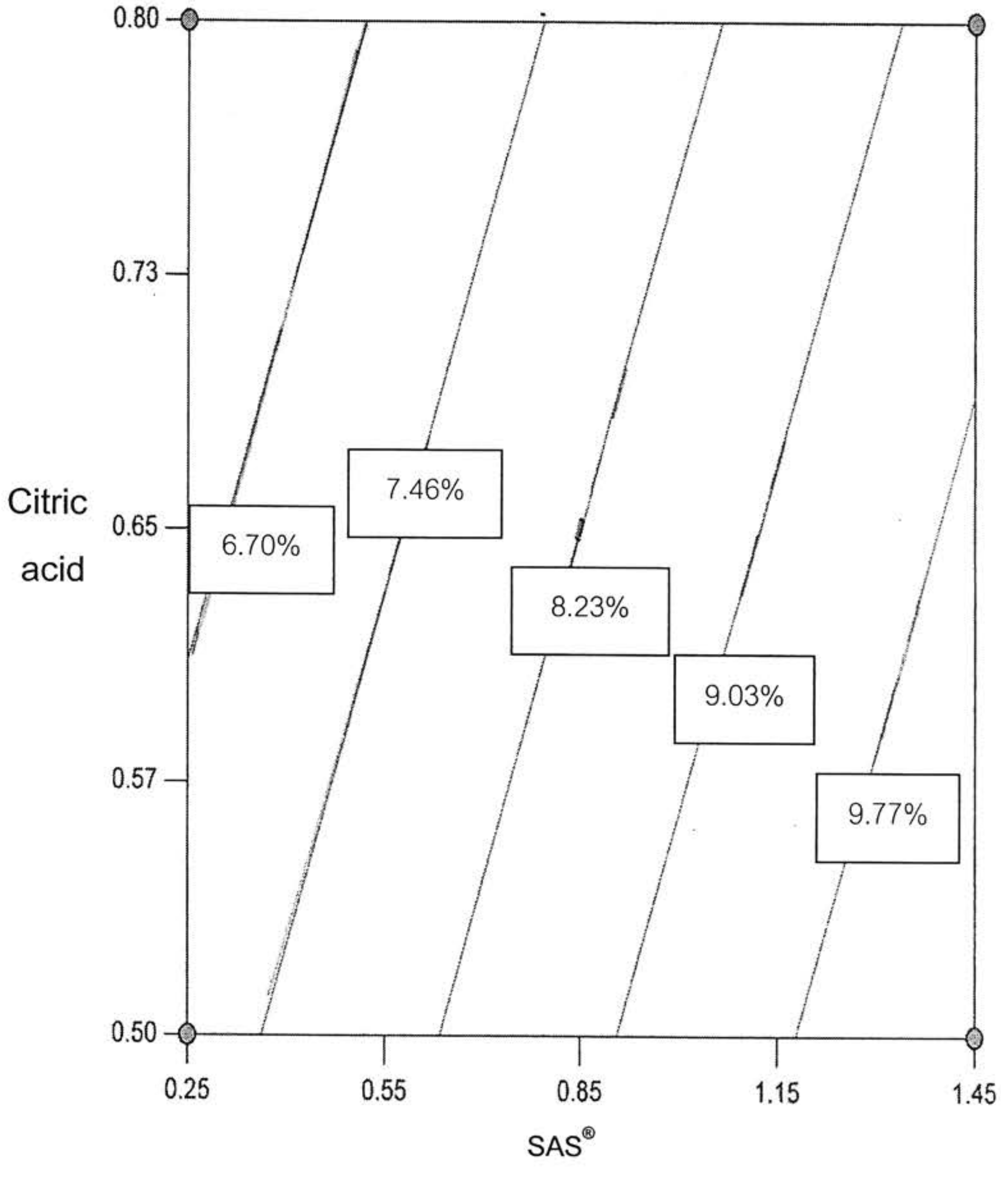
$$z = 13.661 - 5.473x - 30.518y + 4.736x^2 + 24.324y^2 - 4.333xy \quad (R^2 = 0.85) \ldots\ldots 4.1$$

โดย z คือ ค่า pH ที่เปลี่ยนไป
x คือ อัตราส่วนของ SAS®
y คือ อัตราส่วนของกรดซิตริก

จากรูปที่ 4.1 อาจสรุปได้ว่าสารละลายที่จะนำมาใช้ในการทดลองควรจะมี pH ไม่ต่ำกว่า 5.1 ซึ่งเป็นจุด pI ของไมโอไฟบริลลาโปรตีน (Zayas, 1997) และไม่ควรมี pH สูงกว่า 8.5 ซึ่งอาจมีผลทำให้โปรตีนในกุ้งเกิดการแปรสภาพมากเกินไป เกิดลักษณะปรากฏใสคล้ายกุ้งดิบ ดังนั้นค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงที่คำนวณตามสมการ 4.1 ควรมีค่าต่ำกว่า 5.1

4.2.2 **ผลของอัตราส่วน SAS®-กรดซิตริก ต่อ** %weight gain

%weight gain เป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพของสารเจือปนที่ใช้ในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์แช่เยือกแข็งในการเพิ่มปริมาณน้ำตั้งต้นในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพราะ การแช่เยือกแข็ง และละลายน้ำแข็งมีผลทำให้น้ำหนักและความชุ่มน้ำลดลง จากการสูญเสียน้ำระหว่างกระบวนการ จึงต้องมีการเพิ่มน้ำเข้าไปในวัตถุดิบตั้งต้นก่อน โดยอาศัยสารเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำก่อนที่จะผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการผลิตและเก็บรักษา โดยทั่วไป %weight gain ที่สูงแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีของสารเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ



รูปที่ 4.2 contour plot ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน SAS® กับ กรดซิตริก ต่อ %weight gain ของกุ้งกุลาดำ

จากรูปที่ 4.2 ปริมาณ SAS® และกรดซิตริก มีอิทธิพลต่อ %weight gain ของกุ้งกุลาดำ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณ SAS® %weight gain จะเพิ่มขึ้น ขณะที่การเพิ่มปริมาณ กรดซิตริกจะลด %weight gain ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน SAS® แ ละกรดซิตริกต่อ %weight gain ของกุ้งกุลาดำแสดงในสมการที่ 4.2

$$z = 8.469 + 2.828x - 4.059y \quad (R^2 = 0.93) \ldots\ldots 4.2$$

โดย z คือ %weight gain ของกุ้งกุลาดำ

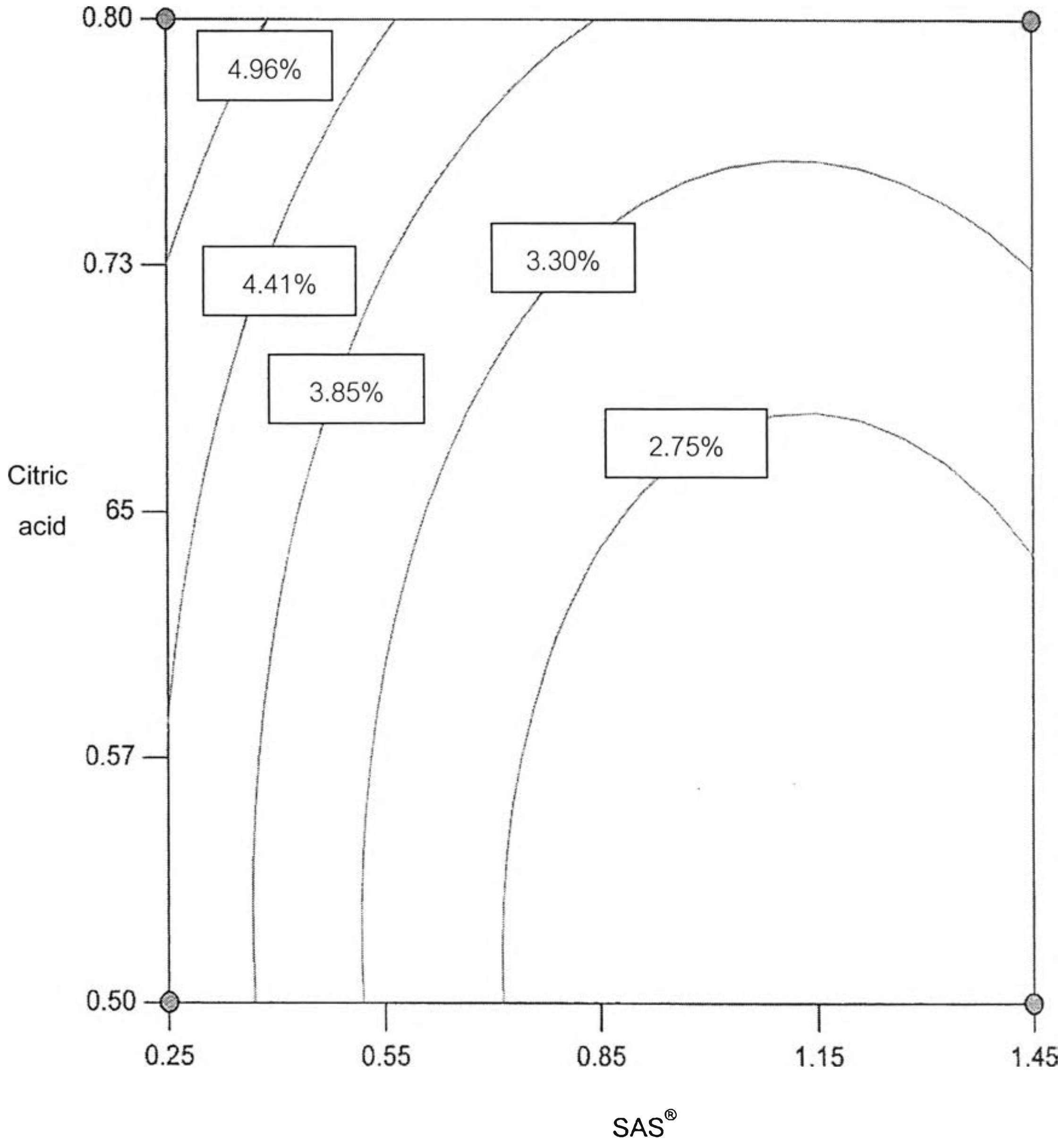
x คือ อัตราส่วนของ SAS®

y คือ อัตราส่วนของกรดซิตริก

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ SAS® %weight gain จะเพิ่มขึ้น เนื่องจาก SAS® ซึ่งให้ค่า pH สูงขึ้นทำให้ประจุบนโปรตีนเปลี่ยนเป็นบวกจึงเกิดการผลักกันภายในโมเลกุลของโปรตีน ทำให้สายเปปไทด์ (peptides) เกิดการคลายตัวโปรตีนจึงอุ้มน้ำได้มากขึ้น (Zayas, 1997) ขณะที่การเพิ่มปริมาณกรดซิตริกจะลด %weight gain เนื่องจาก pH ของกรดซิตริกค่อนข้างต่ำ เมื่อใช้ร่วมกับ SAS® จึงไปขัดขวางสมบัติการเพิ่ม pH ของ SAS® ทำให้ pH ลดต่ำลงใกล้ 5.1 ซึ่งเป็น pI ของไมโอไฟบริลลาโปรตีนจึงมีผลทำให้ %weight gain ลดลง แต่แม้ว่ากรดซิตริกจะทำให้ %weight gain ลดลง ในงานทดลองนี้ยังจำเป็นต้องใช้กรดซิตริก เนื่องจากการใช้ SAS® เพียงอย่างเดียวจะทำให้ pH ของสารละลายและของกุ้งสูงเกินไปดังแสดงในรูป 4.1

4.2.3 **ผลของอัตราส่วน SAS®-กรดซิตริกต่อ** %cooking loss

cooking loss เป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพของสารเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่มีการให้ความร้อน เนื่องจากพลังงานความร้อนมีผลทำให้โปรตีนกล้ามเนื้อเกิดการหดตัว เนื่องจากการแปรสภาพทำให้น้ำหนักและความชุ่มน้ำของกุ้งลดลง จากการสูญเสียน้ำระหว่างกระบวนการให้ความร้อน (Zayas, 1997) ดังนั้นจึงต้องมีการใช้สารเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำเพื่อลดการสูญเสียน้ำในกระบวนการดังกล่าว %cooking loss เป็นดัชนีแสดงการเสียน้ำในภาวะดังกล่าวซึ่งค่านี้ยิ่งต่ำก็ยิ่งแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีของสารเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ



รูปที่ 4.3 contour plot ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน SAS® กับ กรดซิตริก ต่อ %cooking loss ของกุ้งกุลาดำ

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่า ปริมาณ SAS® และกรดซิตริก มีอิทธิพลต่อ %cooking loss ของกุ้งกุลาดำ โดยเมื่อปริมาณ SAS® เพิ่มขึ้น %cooking loss จะลดลง แต่เมื่อเพิ่มไปถึงระดับหนึ่ง จะมีผลทำให้ %cooking loss เพิ่มขึ้น ส่วนผลของกรดซิตริก พบว่าที่ปริมาณ SAS® ต่ำ กรดซิตริกที่เพิ่ม มีผลทำให้ %cooking loss เพิ่ม แต่ที่ปริมาณ SAS® สูง เมื่อกรดซิตริกเพิ่ม %cooking loss จะลดลง ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน SAS®-กรดซิตริก กับ %cooking loss ของกุ้งกุลาดำแสดงในสมการที่ 4.3

$$z = 10.437 - 6.591x - 17.542y + 2.502x^2 + 16.146y^2 + 1.328xy \quad (R^2 = 0.89) \ldots\ldots 4.3$$

โดย z คือ %cooking loss ของกุ้งกุลาดำ

x คือ อัตราส่วนของ SAS®

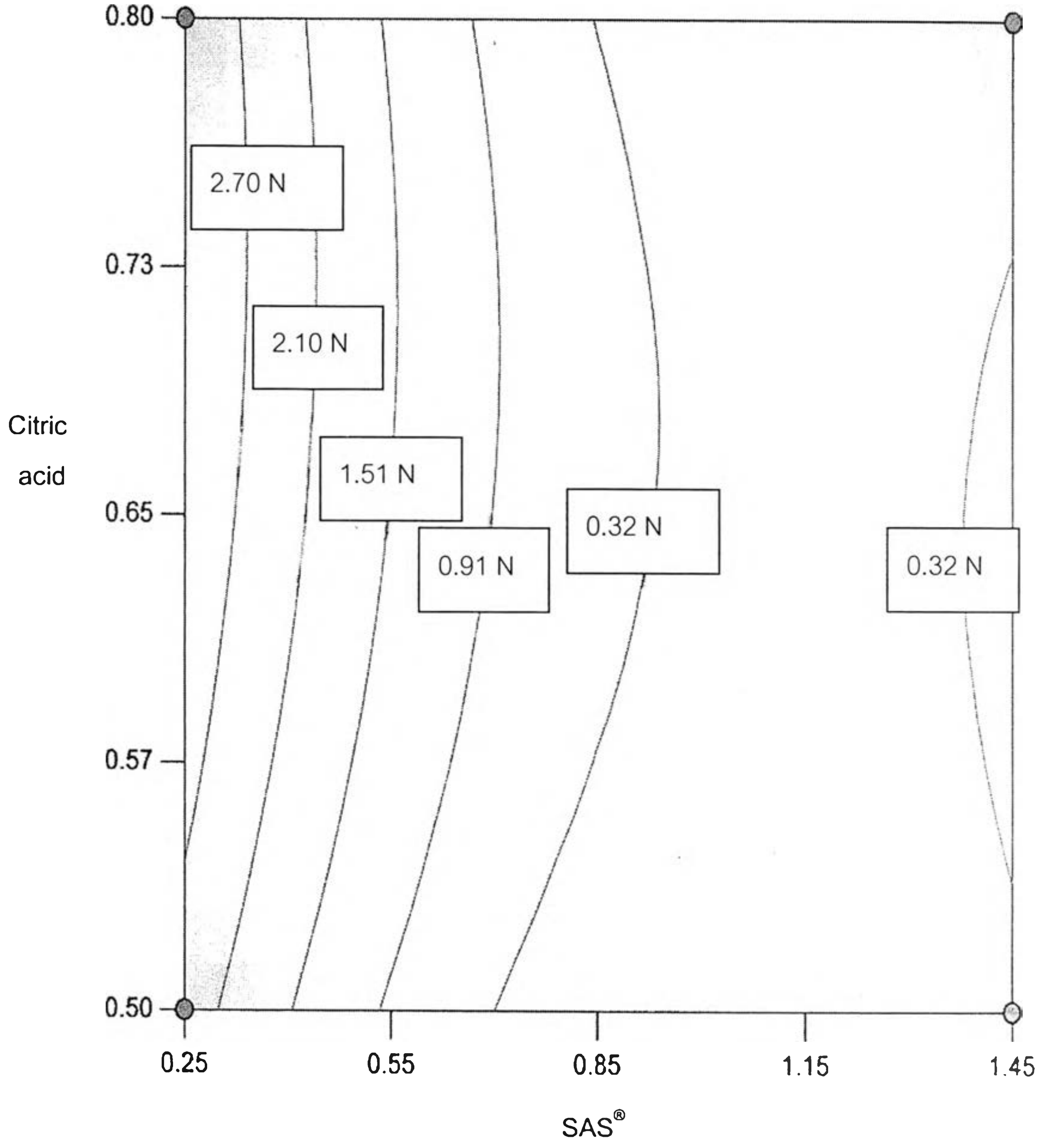
y คือ อัตราส่วนของกรดซิตริก

ผลการวิเคราะห์ %cooking loss ที่แสดงในรูปที่ 4.3 อธิบายได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ SAS® ในช่วงแรก %cooking loss จะลดลง เนื่องจาก SAS® ซึ่งให้ค่า pH สูง ทำให้ประจุส่วนใหญ่บนโปรตีนเปลี่ยนเป็นบวกจนเกิดการผลักกันภายในโมเลกุลของโปรตีน ทำให้เกิดการคลายตัวของโปรตีนความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนจึงเพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้ %cooking loss ลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ SAS® มากขึ้นไปอีก จะมีผลทำให้ %cooking loss เพิ่มขึ้น เนื่องจาก SAS® เพิ่ม pH จนถึงระดับที่ทำให้โปรตีนเกิดการแปรสภาพตั้งแต่ขณะแช่ เมื่อนำมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนอีกในภายหลังโปรตีน จึงเกิดการแปรสภาพมากยิ่งขึ้นไปอีก ทำให้โปรตีนเสียสภาพเกาะตัวกันแน่นขึ้นทำให้ปริมาณน้ำอิสระที่ถูกตรึงในโมเลกุลโปรตีนถูกปลดปล่อยออกมา (Molins, 1991; Zayas, 1997) ขณะที่ผลของกรดซิตริก ในภาวะที่ปริมาณ SAS® ต่ำในช่วงแรก การเพิ่มกรดซิตริกมีผลเพิ่ม %cooking loss เนื่องจาก pH 2.1 ที่ค่อนข้างต่ำของกรดซิตริก ไปขัดขวางคุณสมบัติในการเพิ่ม pH และความสามารถในการอุ้มน้ำของ SAS® ในทางตรงข้ามในภาวะที่ปริมาณ SAS® สูง การเพิ่มอัตราส่วนกรดซิตริกมีผลทำให้ pH โดยรวมของระบบลดลงจนถึงช่วงที่โปรตีนไม่เสื่อมสภาพมากเกินไป

4.2.4 ผลของอัตราส่วน SAS®-กรดซิตริก ต่อค่า hardness

ค่า hardness ที่เปลี่ยนไป เป็นค่าที่แสดงว่ากุ้งสุกที่ผ่านการแช่สารละลาย SAS®-กรดซิตริกก่อนการแช่เยือกแข็ง มีความแข็งแตกต่างจากค่า 30.20 นิวตัน ซึ่งเป็นค่า hardness ของกุ้งต้ม (control) ที่ไม่ได้ผ่านการแช่สารละลายSAS®-กรดซิตริก ค่า hardness ที่เปลี่ยนไป ที่กล่าวนี้ถ้ายิ่งสูง ก็ยิ่งแสดงว่าเนื้อสัมผัสของกุ้งมีความผิดปกติมากขึ้น โดยอาจจะนิ่มลงหรือแข็งกว่าปกติ แต่ถ้าค่า hardness ที่เปลี่ยนไป ใกล้ 0 ก็แสดงว่าเนื้อสัมผัสของกุ้งใกล้เคียงกับกุ้งปกติ ค่า hardness ที่เปลี่ยนไปคำนวณตามสูตร

ค่า hardness ที่เปลี่ยนไป = ค่าสัมบูรณ์ของ $(\text{hardness}_{\text{SAS®-citric}} - \text{hardness}_{\text{control}})$



รูปที่ 4.4 contour plot ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน SAS® กับ กรดซิตริก ต่อ ค่า hardness ที่เปลี่ยนไปของกุ้งกุลาดำ

ปริมาณ SAS® มีอิทธิพลต่อค่า hardness ที่เปลี่ยนไป ของกุ้งกุลาดำสุก โดยเมื่อใช้ปริมาณ SAS® มากหรือน้อยเกินไป มีผลทำให้ค่า hardness ที่เปลี่ยนไป มีค่าเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน SAS® และกรดซิตริกกับค่า hardness ที่เปลี่ยนไป ของกุ้งสุก แสดงดังสมการที่ 4.4

$$z = -3.746 - 6.806x + 23.688y + 3.718x^2 - 15.538y^2 - 2.742xy \quad (R^2 = 0.89) \ldots\ldots 4.4$$

โดย z คือ ค่า hardness ที่เปลี่ยนไปในกุ้งกุลาดำสุก

x คือ อัตราส่วนของ SAS®

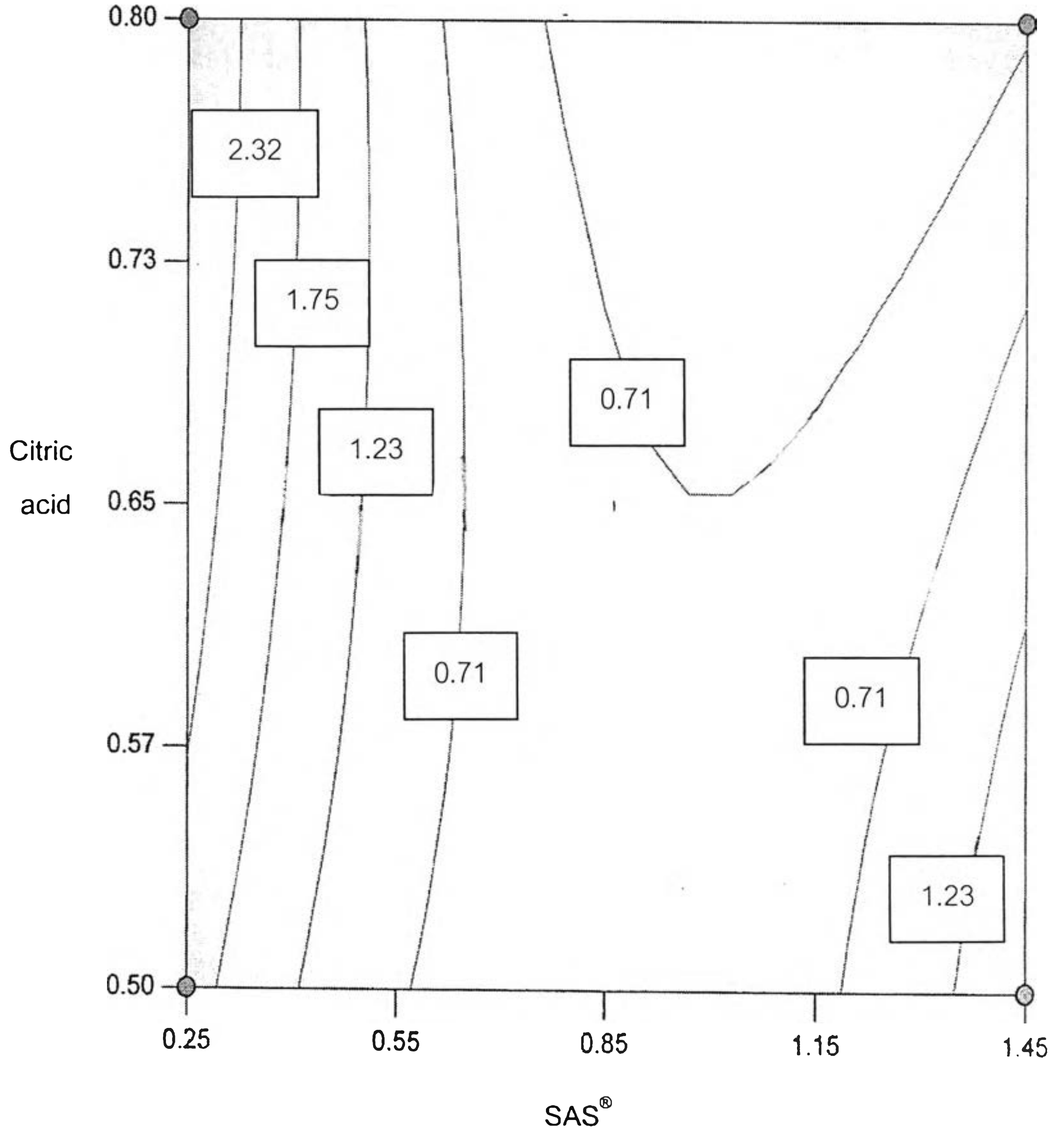
y คือ อัตราส่วนของกรดซิตริก

ผลการวิเคราะห์ ค่า hardness ที่เปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าเมื่อปริมาณ SAS® เพิ่มสูงมากเกินไปมีผลทำให้ค่า hardness ที่เปลี่ยนไป เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการใช้ SAS® ในสัดส่วนสูงจะทำให้โปรตีนเกิดการแปรสภาพมากเกินไปดังคำอธิบายรูปที่ 4.3 ขณะที่การใช้ SAS® ที่อัตราส่วนต่ำมีผลทำให้ ค่า hardness เพิ่มขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของกรดซิตริกมีผลให้ pH ลดต่ำใกล้จุด pI ของไมโอไฟบริลลาโปรตีน ปริมาณประจุบวกและลบบนโมเลกุลโปรตีนเท่ากันจึงเกิดการจับกันภายในโมเลกุลตนเองหมด โปรตีนจะเกิดการหดตัวมีผลทำให้เนื้อสัมผัสแข็งขึ้น (Zayas, 1997)

4.2.5 ผลของอัตราส่วน SAS®-กรดซิตริก ต่อค่าสี a*

ค่าสีแดง (a*) ที่เปลี่ยนไป เป็นค่าที่แสดงว่ากุ้งดิบที่ผ่านการแช่สารละลาย SAS®-กรดซิตริก มีสีแดงมากขึ้นหรือน้อยลง เมื่อเทียบกับค่า -0.20 (a*) ของกุ้งดิบ ที่ไม่ได้ผ่านการแช่สารละลาย SAS®-กรดซิตริกที่เป็นสีน้ำเงินอ่อน แต่เมื่อผ่านการแช่สารละลาย SAS®-กรดซิตริก สีของกุ้งเปลี่ยนเป็นสีแดงจากผลของ pH ดังที่ได้อธิบายไว้ในข้อ 4.1.6 ค่าสี a* ที่เปลี่ยนไปคำนวณตามสูตร

$$\text{ค่าสี } a^* \text{ ที่เปลี่ยนไป} = \text{ค่าสัมบูรณ์ของ } (a^*_{SAS®\text{-}citric} - a^*_{control})$$



รูปที่ 4.5 contour plot ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน SAS® กับ กรดซิตริก ต่อค่า สี a* ที่เปลี่ยนไป ของกุ้งกุลาดำ

ปริมาณ SAS®-กรดซิตริก มีอิทธิพลต่อค่าสี a* ที่เปลี่ยนไป ของกุ้งกุลาดำดิบ โดยเมื่อ SAS® มากหรือน้อยเกินไป ค่า a* ที่เปลี่ยนไป เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน SAS®-กรดซิตริก กับ a* ที่เปลี่ยนไป ของกุ้งดิบแสดงได้ดังสมการที่ 4.5

$$z = -1.291 - 4.064x + 12.967y + 4.176x^2 - 6.600y^2 - 6.548xy \quad (R^2 = 0.74) \quad \ldots\ldots 4.5$$

โดย z คือ ค่าสี a* ที่เปลี่ยนไปในกุ้งกุลาดำสุก

x คือ อัตราส่วนของ SAS®

y คือ อัตราส่วนของกรดซิตริก

จากรูปที่ 4.5 เมื่อ SAS® มีปริมาณสูง ค่า a* ที่เปลี่ยนไปสูง เนื่องจาก SAS® มีผลในการเพิ่ม pH ผลการเปลี่ยนแปลงของ pH ดังกล่าวทำให้โปรตีนในโมเลกุลครัสตาไซยานินเกิดการแปรสภาพขณะแช่ในสารละลายก่อนแช่เยือกแข็ง ทำให้สารแอสตาแซนทิน ซึ่งในภาวะที่จับกับโมเลกุลโปรตีนดังกล่าวจะให้สีน้ำเงินเปลี่ยนเป็นสีแดงสอดคล้องกับการทดลองของ Krawczyk และ Britton ในปี คศ. 2001 ในทางตรงข้าม เมื่อ SAS® ต่ำ ผลของกรดซิตริกจะเด่นกว่า ทำให้ pH ลดต่ำลงมาก โมเลกุลครัสตาไซยานินจะเกิดการแปรสภาพทำให้เกิดสีแดงขึ้นเช่นเดียวกัน a* ที่เปลี่ยนไป จึงเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.1-4.5 เลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดระหว่าง SAS® กับกรดซิตริก 4 อัตราส่วน โดยพิจารณาจาก pH ที่เปลี่ยนไปของสารละลายที่ใช้แช่ %weight gain, %cooking loss ค่า a* และ ค่า hardness ที่เปลี่ยนไปของกุ้งกุลาดำ อัตราส่วนที่เลือกและค่าต่าง ๆ ที่กล่าวมาแสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่า pH ที่เปลี่ยนไป, %weight gain, %cooking loss ค่า a* ที่เปลี่ยนไป และ ค่า hardness ที่เปลี่ยนไปของกุ้งกุลาดำ ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วน SAS®-กรดซิตริกที่ 1.17:0.64, 1.37:0.62, 1.32:0.74 และ 1.43:0.70

อัตราส่วนที่	SAS®:กรดซิตริก	ค่า pH ที่เปลี่ยนไป	%weigh gain	%cooking loss	ค่า hardness ที่เปลี่ยนไป (Newton)	ค่าสี a* ที่เปลี่ยนไป
1	1.17:0.64	0.93	9.68	2.53	0.10	0.21
2	1.37:0.62	1.80	9.83	2.56	0.29	0.92
3	1.32:0.74	1.19	9.19	3.25	0.12	0.36
4	1.43:0.70	1.74	9.67	3.09	0.34	0.72

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าสารผสมทั้ง 4 อัตราส่วนมี %weight gain ที่ดี และมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 9.19-9.83 สาเหตุที่ไม่เลือกช่วงที่มี %weight gain สูงกว่านี้ เพราะที่ช่วงดังกล่าว pH ของสารละลายสูงถึง 9.37 ซึ่งสูงเกินไป (รูปที่ 4.1) ส่วนสาเหตุที่เลือกอัตราส่วนที่ 1 และ 2 เพราะ %cooking loss ต่ำเพียง 2.53 และ 2.56% ตามลำดับ ขณะที่เลือกอัตราส่วนที่ 3 เนื่องจากมีค่า hardness ที่เปลี่ยนไปต่ำใกล้เคียงกับอัตราส่วนที่ 1 คือ 0.12 และ 0.10 Newton ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับกุ้งปกติ ส่วนอัตราส่วนที่ 4 เลือกเพื่อดูว่าในกรณีที่มีค่า hardness ที่เปลี่ยนไปสูง จะมีความแตกต่างจากตัวอย่างอื่นหรือไม่เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส

เตรียมตัวอย่างกุ้งกุลาดำที่แช่ในสารละลายทั้ง 4 อัตราส่วน ตัวอย่างที่แช่แข็ง ละลายน้ำแข็ง และทำให้สุก (ตามวิธีในข้อ 3.2.1, 3.3 และ 3.4) นำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส ตามวิธีในข้อ 4.3 ผลจากการทดสอบมีดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 คะแนน สี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสและความชุ่มน้ำ และรสชาติ ของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลาย SAS® กับกรดซิตริกที่อัตราส่วน 1.17:0.64, 1.37:0.62, 1.32:0.74 และ 1.43:0.70ความเข้มข้น 1% แช่เยือกแข็ง และเก็บนาน 1 เดือน จากนั้นละลายน้ำแข็ง แล้วให้ความร้อนจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น 70°C

อัตราส่วน SAS® กับกรดซิตริก	สี^{ns}	ลักษณะปรากฏ^{ns}	เนื้อสัมผัสและความชุ่มน้ำ^{ns}	รสชาติ^{ns}
1.17:0.64	7.26±1.67	7.72±1.00	7.18±1.69	7.64±1.26
1.37:0.62	7.28±1.46	7.62±1.12	7.47±1.84	7.39±1.60
1.32:0.74	7.44±1.47	7.70±1.28	7.32±1.69	7.56±1.28
1.43:0.70	7.38±1.46	7.64±1.46	7.63±1.54	7.33±1.63

ns ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า อัตราส่วนของสารละลายผสม SAS®-กรดซิตริกที่ใช้แช่กุ้งกุลาดำไม่มีอิทธิพลต่อ คะแนนด้าน สี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสและความชุ่มน้ำ และรสชาติ($p>0.05$) แสดงว่าผู้ทดสอบไม่สามารถแยกความแตกต่างของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลาย SAS® กับกรดซิตริก ทั้ง 4 อัตราส่วนได้ ดังนั้นจึงเลือกสารผสม SAS®-กรดซิตริกที่อัตราส่วน 1.17:0.64 ในการทำการทดลองขั้นต่อไป เนื่องจากมี pH ที่เปลี่ยนไปต่ำ ขณะเดียวกันก็ให้ %weight gain ที่ดี และมี % cooking loss ต่ำสุด คือ 9.68 และ 2.53% ตามลำดับ และมีค่าสี a* และ ค่า hardness ใกล้เคียงกุ้งปกติมากที่สุด คือ 0.10 และ 0.21 Newton ตามลำดับ

4.3. ผลของสารผสม SAS®-กรดซิตริกและสารชีวภาพต่อคุณภาพของกุ้งกุลาดำ

สารเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำที่นำมาทดลองแต่ละชนิด มีสมบัติเด่นเฉพาะที่แตก-ต่างกัน การนำสารหลายชนิดมาผสมกันจึงเป็นแนวทางที่จะทำให้ได้สารผสมที่มีคุณสมบัติครบถ้วนตรงตามวัตถุประสงค์ในการรักษาคุณภาพกุ้งกุลาดำ ดังนั้นการทดลองในขั้นตอนนี้ จึงได้นำสารชีวภาพ 2 ชนิดที่คัดเลือกไว้ คือ กัวร์กัม และโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน ซึ่งกัวร์กัมมีสมบัติในการเพิ่ม %weight gain ขณะที่โซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน มีสมบัติเพิ่ม %weight gain ลด %cooking loss และ %freezing loss (ดังที่อธิบายในบทที่ 4.1) มาผสมกับ SAS®-กรดซิตริก ซึ่งมีสมบัติเพิ่ม %weight gain และ ลด %cooking loss เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารผสมที่ เตรียมขึ้นว่าจะมีผลในการเสริมฤทธิ์ซึ่งกันและกันหรือไม่

4.3.1. ผลของสารผสมกัวร์กัมและ SAS®-กรดซิตริก

งานทดลองในขั้นตอนนี้ได้เตรียมสารผสมจากกัวร์กัมและ SAS®-กรดซิตริก ที่อัตราส่วน 1:0, 1:1, 1:2, 1:4 และ 0:1 แล้วเตรียมสารละลายจากสารผสมที่ 2 ความเข้มข้น คือ 1% กับ 2% ตามวิธีในขั้นตอนที่ 3.5 แช่กุ้งในสารละลายนำตัวอย่างหลังแช่ แช่เยือกแข็ง ละลายน้ำแข็ง และให้ความร้อนจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น 70°C (ตามวิธีในข้อ 3.3) มาวิเคราะห์ %weight gain, %freezing loss, %thawing loss และ %cooking loss ค่า hardness และค่าสี (L* และ a*) วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล แบบ Factorial experiment ขนาด 5x2 ทดลอง 2 ซ้ำ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.15-4.17

ตารางที่ 4.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราส่วนสารผสมกัวร์กัม SAS-กรดซิตริกกับความเข้มข้นต่อ %weight gain, %freezing loss, %thawing loss, %cooking loss ค่า hardness และค่าสี (L*, a*)

SOV.	เกณฑ์คุณภาพที่ศึกษา	df	MS
อัตราส่วนสารผสม	%weight gain	4	7.309*
กัวร์กัม-	%freezing loss	4	0.086
SAS®-กรดซิตริก	%thawing loss	4	1.292
(A)	%cooking loss	4	43.896*
	hardness	4	0.477
	L*	4	4.145
	a*	4	4.145*
ความเข้มข้น	%weight gain	1	17.744*
ของสารละลาย	%freezing loss	1	0.353
(B)	%thawing loss	1	0.660
	%cooking loss	1	17.428*
	hardness	1	0.782
	L*	1	0.034
	a*	1	0.034
กัวร์กัม-	%weight gain	4	2.105
SAS®-กรดซิตริก	%freezing loss	4	0.254
กับความเข้มข้น	%thawing loss	4	2.208
(AB)	%cooking loss	4	1.515
	hardness	4	4.860
	L*	4	0.155
	a*	4	0.155

Error	%weight gain	10	0.640
	%freezing loss	10	0.181
	%thawing loss	10	0.654
	%cooking loss	10	0.609
	hardness	10	2.176
	L*	10	0.676
	a*	10	0.676

*ในช่อง mean square แสดงว่าอิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษามีผลต่อค่าที่ตรวจวัดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.16 %weight gain, %cooking loss และค่า a* ของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายกัวร์กัมกับ SAS®-กรดซิตริก ที่อัตราส่วน 1:0, 1:1, 1:2, 1:4 และ 0:1 แช่เยือกแข็งและเก็บนาน 1 เดือน แล้วละลายน้ำแข็ง จากนั้นให้ความร้อนจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น 70°C

กัวร์กัม : SAS®-กรดซิตริก	%weight gain	%cooking loss	a*
1:0	9.02^{b}±2.33	11.87^{c}±0.54	14.05^{b}±0.41
1:1	8.36^{b}±1.75	9.12^{b}±1.17	13.76^{b}±0.78
1:2	6.18^{a}±1.02	5.38^{a}±2.02	12.96^{b}±1.20
1:4	5.92^{a}±1.08	4.11^{a}±1.41	13.69^{b}±0.36
0:1	7.09^{a}±1.36	4.81^{a}±1.46	11.52^{a}±0.31

a, b และ c ตัวเลขในแถวตั้งเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.17 %weight gain และ %cooking loss ของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลาย กัวร์กัมกับ SAS®-กรดซิตริกที่ความเข้มข้น 1% และ 2% แช่เยือกแข็ง และเก็บนาน 1 เดือน แล้วละลายน้ำแข็ง จากนั้นให้ความร้อนจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น 70°C

ความเข้มข้น (%)	%weight gain	%cooking loss
1	$6.37^{a}\pm0.77$	$7.99^{b}\pm1.47$
2	$8.28^{b}\pm2.07$	$6.13^{a}\pm1.49$

a และ b ตัวเลขในแถวตั้งเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตารางที่ 4.15) แสดงว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกัวร์กัมและสารผสม SAS®-กรดซิตริกกับระดับความเข้มข้นของสารละลาย ไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) จึงพิจารณาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยต่อค่าต่าง ๆ พบว่าอัตราส่วนสารผสมกัวร์กัมและSAS®-กรดซิตริก มีผลต่อ %weight gain, %cooking loss และ ค่า a* ($p\leq0.05$) ขณะที่ระดับความเข้มข้นมีอิทธิพลเฉพาะต่อ %weight gain และ%cooking loss ($p\leq0.05$)

ผลของอัตราส่วนกัวร์กัมกับสารผสม SAS®-กรดซิตริก ต่อ %weight gain (ตารางที่ 4.16) พบว่าการใช้สารกัวร์กัม เพียงอย่างเดียวจะให้ %weight gain สูงที่สุด และสูงกว่าการใช้ SAS®-กรดซิตริก เพียงอย่างเดียว แสดงว่ากลไกการดูดกลืนน้ำของกัวร์กัมซึ่งเป็นสารโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) มีประสิทธิภาพมากกว่า การจับโมเลกุลน้ำของโปรตีนกล้ามเนื้อ แม้จะผ่านการปรับสภาพให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นแล้วก็ตาม และเมื่อสารทั้ง 2 ชนิดอยู่ในระบบเดียวกัน ไม่ว่าจะที่อัตราส่วน เท่าใด %weight gain มีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะเมื่อสัดส่วน SAS®-กรดซิตริก เพิ่มขึ้น ผลดังกล่าวนี้แสดงว่าสารทั้ง 2 ชนิด มีปฏิสัมพันธ์ในทางลบ ซึ่งทั้งนี้อาจเนื่องจากสมบัติของ SAS®-กรดซิตริก ที่เพิ่ม pH ของสารละลาย ทำให้สายกาแลกโตแมนแนนในโครงสร้างกัวร์กัมเกิดมีความเป็นขั้วบางส่วน จึงจับกันเองภายในสาย ทำให้ความหนืดของสารละลายลดลงมีผลให้กัวร์กัมเกาะติดบนกุ้งได้น้อยลง (Nussinovitch, 1997b) อย่างไรก็ตาม SAS®-กรดซิตริก มีผลในการลดการสูญเสียน้ำหนักจากการทำให้สุกทั้งนี้เพราะ SAS®-กรดซิตริก ทำให้ pH สูงขึ้น ประจุส่วนใหญ่บนโปรตีนเปลี่ยนเป็นบวกจนเกิดการผลักกันภายในโมเลกุลของโปรตีน ทำให้เกิดการคลายตัวของโปรตีนความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนจึงเพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้ %cooking loss ลดลง และเมื่อใช้ร่วมกับกัวร์กัมที่อัตราส่วน 1:2 มีประสิทธิภาพดีที่สุด ทั้งในการเพิ่มการดูดกลืนน้ำและลดการเสียน้ำหนักจากการทำให้สุก และเมื่อพิจารณาค่า a* พบว่าการใช้ SAS®-กรดซิตริกเพียงอย่างเดียว จะทำให้ค่าสี a* ต่ำที่สุด เนื่องจาก SAS®-กรดซิตริก ทำให้โปรตีนในโมเลกุลครัสตาไซยานินเกิดการแปรสภาพเนื่องจาก pH ที่สูงขึ้น

เป็นผลให้สารรงควัตถุแอสตาแซนทินซึ่งถูกห่อหุ้มอยู่ในโมเลกุลถูกปล่อยออกมาและละลายในสารละลายที่ใช้แช่กุ้งก่อนการแช่เยือกแข็งทำให้ปริมาณแอสตาแซนทิน (สีแดง) ในกุ้งลดลงซึ่งเมื่อนำมาต้มสุก สีของกุ้งจึงซีดลง (Krawczyk และ Britton, 2001) แต่เมื่อนำมาใช้ร่วมกับกัวร์กัม การเคลือบที่ผิวนอกของกุ้งอาจไปขัดขวาง SAS®-กรดซิตริก ไม่ให้เข้าไปทำปฏิกิริยากับโปรตีนในโมเลกุลครัสตาไซยานินทำให้สีของกุ้งซีดน้อยลง

เมื่อพิจารณา ปัจจัยความเข้มข้นของสารละลายผสม (ตารางที่ 4.17) พบว่าความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น มีผลให้ค่า %weight gain เพิ่มขึ้น ($p\leq0.05$) แสดงว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้แช่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการเพิ่มน้ำหนักหลังการแช่สารละลาย เหมือนในกรณีเพิ่มความเข้มข้นของกัวร์กัมในผลการทดลองที่ 4.1.2 นอกจากนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายผสมยังมีผลทำให้การเสียน้ำหนักจากการทำให้สุกลดลง ($p\leq0.05$) แสดงว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้แช่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการสูญเสียน้ำหนักจากการให้ความร้อน เนื่องจากปริมาณ SAS®-กรดซิตริก ที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มประจุลบในสารละลาย มีผลทำให้ไมโอไฟบริลลาโปรตีนเกิดการคลายตัวมากขึ้น ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนจึงเพิ่มขึ้น (Zayas, 1997) และการเพิ่มความเข้มข้นยังเพิ่มปริมาณกัวร์กัมทำให้ความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้นมีผลทำให้การเคลือบของกัวร์กัมบริเวณผิวนอกของกุ้งมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองที่ 4.1.2

ในการศึกษาเพื่อพัฒนาสารเจือปนผสมนั้น คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารเจือปนนั้น ๆ เป็นเกณฑ์สำคัญ ในการพัฒนา อย่างไรก็ตามคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารนั้น ๆ ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากเช่นกัน ดังนั้นจึงได้เลือกตัวอย่างสารผสมที่มีศักยภาพทางเคมีมาทดลองใช้กับกุ้งเพื่อประเมินผลทางประสาทสัมผัสโดย ขั้นแรกเลือกความเข้มข้นที่ 2% ก่อน เนื่องจากที่ความเข้มข้นดังกล่าวสามารถลด %cooking loss และเพิ่ม %weight gain เมื่อเทียบกับการใช้สารละลายที่ความเข้มข้น 1% ($p\leq0.05$) ต่ อมาจึงเลือกอัตราส่วนกัวร์กัม กับ SAS®-กรดซิตริก ที่ 1:1 เนื่องจากให้ %weight gain สูงสุด ($p\leq0.05$) และมีค่า cooking loss ต่ำ นอกจากนั้นยังเลือกกัวร์กัมกับ SAS®-กรดซิตริก ที่ 1:2 อีกตัวอย่างหนึ่งด้วยเพราะให้ %cooking loss ต่ำที่สุด และไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าสี a*

4.3.2. ผลของสารผสมโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน และ SAS®-กรดซิตริก

งานทดลองในขั้นตอนนี้ได้เตรียมสารผสมจากโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีนและ SAS®-กรดซิตริก ที่อัตราส่วน 1:0, 1:1, 1:2, 1:4 และ 0:1 แล้วเตรียมสารละลายจากสารผสมที่ 2 ความเข้มข้น คือ 1% กับ 2% ตามวิธีในขั้นตอนที่ 3.5 แช่กุ้งในสารละลาย นำตัวอย่างหลังแช่สารละลาย ไปแช่เยือกแข็ง ละลายน้ำแข็ง และให้ความร้อนจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น 70°C (ตามวิธีในข้อ 3.3) มาวิเคราะห์ %weight gain, %freezing loss, %thawing loss และ %cooking loss ค่า hardness และค่าสี (L* และ a*) วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Factorial experiment ขนาด 5x2 ทดลอง 2 ซ้ำ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.18-4.20

ตารางที่ 4.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราส่วนสารผสมโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน SAS-กรดซิตริกกับความเข้มข้นต่อ %weight gain, %freezing loss, %thawing loss, %cooking loss ค่า hardness และค่าสี (L*, a*)

SOV.	เกณฑ์คุณภาพที่ศึกษา	df	MS
อัตราส่วนสารผสม	%weight gain	4	0.109
โซเดียมไกลซีเนท-	%freezing loss	4	0.005
ไกลซีน-	%thawing loss	4	1.020
SAS®-กรดซิตริก	%cooking loss	4	1.489*
(A)	hardness	4	1.153
	L*	4	3.917
	a*	4	0.864
ความเข้มข้น	%weight gain	1	0.617
ของสารละลาย	%freezing loss	1	0.198
(B)	%thawing loss	1	1.461
	%cooking loss	1	0.506
	hardness	1	7.454
	L*	1	2.576
	a*	1	24.670*

โซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน-SAS®-กรดซิตริก กับความเข้มข้น (AB)	%weight gain	4	0.215
	%freezing loss	4	0.896
	%thawing loss	4	5.165
	%cooking loss	4	0.151
	hardness	4	6.958
	L*	4	3.107
	a*	4	0.184
Error	%weight gain	10	0.269
	%freezing loss	10	0.338
	%thawing loss	10	4.151
	%cooking loss	10	0.108
	hardness	10	2.098
	L*	10	1.282
	a*	10	0.385

*ในช่อง mean square แสดงว่าอิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษามีผลต่อค่าที่ตรวจวัดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.19 %weight gain, %cooking loss และค่า a* ของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีนกับ SAS®-กรดซิตริก ที่อัตราส่วน 1:0, 1:1, 1:2, 1:4 และ 0:1 แช่เยือกแข็ง และเก็บนาน 1 เดือน แล้วละลายน้ำแข็ง จากนั้นให้ความร้อนจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น 70°C

โซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน : SAS®-กรดซิตริก	%weight gain^{ns}	%cooking loss	a*^{ns}
1:0	6.54±0.77	1.66^{a}±0.56	10.33±1.32
1:1	7.43±0.41	2.68^{b}±0.33	11.39±1.19
1:2	6.74±049	2.84^{bc}±0.27	11.07±1.27
1:4	7.30±0.40	2.36^{b}±0.42	10.57±1.67
0:1	6.79±0.59	3.30^{c}±0.21	10.37±1.47

a และ b ตัวเลขในแถวตั้งเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05)

ตารางที่ 4.20 ค่าสี (a*) ของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลาย โซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีนกับ SAS®-กรดซิตริกที่ความเข้มข้น 1% และ 2% แช่เยือกแข็ง และเก็บนาน 1 เดือน แล้วละลายน้ำแข็ง จากนั้นให้ความร้อนจนอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเป็น 70°C

ความเข้มข้น (%)	a*
1	$11.86^{b}\pm0.65$
2	$9.64^{a}\pm0.69$

a และ b ตัวเลขในแถวตั้งเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตารางที่ 4.18) แสดงว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีนและสารผสมSAS®-กรดซิตริกกับระดับความเข้มข้นของสารละลายไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05) จึงพิจารณาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยต่อค่าต่าง ๆ พบว่าอัตราส่วนสารผสม โซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีนและSAS®-กรดซิตริก มีผลเฉพาะต่อ %cooking loss ($p\leq0.05$) ขณะที่ระดับความเข้มข้นมีอิทธิพลเฉพาะต่อ ค่าสี a* ($p\leq0.05$) เท่านั้น

เมื่อนำโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน มาใช้ร่วมกับ SAS®-กรดซิตริก พบว่าไม่มีผลทำให้ปริมาณการดูดกลืนน้ำหลังการแช่เปลี่ยนแปลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ใช้เฉพาะสารแต่ละชนิด ผลดังกล่าวนี้อาจอธิบายได้ว่าโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีนเอง เป็นสารผสมที่มีสมบัติเป็นสารละลายบัฟเฟอร์อยู่แล้ว ดังนั้นจึงเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH จากผลของ SAS®-กรดซิตริก ดังนั้นเมื่อใช้ในรูปของสารผสมที่ความเข้มข้นระดับหนึ่ง สารทั้ง 2 ชนิด จึงน่าจะมีผลในลักษณะเฉพาะตัว ไม่มีการเสริมฤทธิ์หรือหักล้างซึ่งกันและกันแต่อย่างใด ผลดังกล่าวนี้ปรากฏให้เห็นที่ลักษณะสีของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายด้วย

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของสารผสมต่อคุณภาพของกุ้งด้านการเสียน้ำหนักหลังการทำให้สุก (ตารางที่ 4.19) พบว่าการใช้เฉพาะโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีนเพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพสูงสุด ($p\leq0.05$) จากการที่โมเลกุลมีประจุลบในปริมาณมาก จึงจับกับโมเลกุลของน้ำไว้ด้วยพันธะไอออนิก ที่แข็งแรง และไม่สูญเสียง่ายแม้ได้รับพลังงานความร้อน แต่เมื่อผสมกับ SAS®-กรดซิตริก ปริมาณโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีนในสารผสมลดลงตามลำดับตามสัดส่วนของ SAS®-กรดซิตริกที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพด้านการลดการสูญเสียน้ำหนักจากการทำให้สุกลดลงตามลำดับ ($p\leq0.05$) ด้วย

เมื่อพิจารณา ปัจจัยความเข้มข้นของสารละลายผสม (ตารางที่ 4.20) พบว่าความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าสี a* ลดลง ($p \leq 0.05$) แสดงว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้แช่จะทำให้สีของกุ้งซีดลงทั้งนี้เนื่องจากทั้ง โซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน และ SAS®-กรดซิตริก ต่างก็มีสมบัติในการปรับ pH ให้สูงขึ้น เป็นผลให้โปรตีนในโมเลกุลครัสตาไซยานินเกิดการแปรสภาพ ปลดปล่อยโมเลกุลแอสตาแซนทิน ทำให้ปริมาณสารรงควัตถุดังกล่าวในกุ้งลดลงซึ่งเมื่อนำมาต้มสุก สีของกุ้งจึงซีดลง ตามที่ได้กล่าวใน 4.3.1 (Krawczyk และ Britton, 2001)

เมื่อศึกษาคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ใช้โซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีนแล้ว ขั้นตอนต่อไปต้องศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารนั้น ๆ จึงได้เลือกตัวอย่างสารผสมที่มีศักยภาพทางเคมีมาทดลองใช้กับกุ้งเพื่อประเมินผลทางประสาทสัมผัสโดย ได้เลือกความเข้มข้นที่ 1% ก่อน เนื่องจากที่ความเข้มข้นดังกล่าวมีค่าสีแดงซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการในกุ้งกุลาดำที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับการใช้สารละลายที่ความเข้มข้น 2% ($p \leq 0.05$) ต่อมาจึงเลือกอัตราส่วนโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีนกับ SAS®-กรดซิตริก ที่ 1:2 และ 1:4 เนื่องจากให้ %cooking loss ต่ำ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่เลือกใช้โซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีนเพียงอย่างเดียวเพราะสารดังกล่าวมีราคาสูง

ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสได้เตรียมสารละลายจากสารเจือปนผสมทั้ง 4 ตัวอย่างที่คัดเลือกไว้ แช่กุ้งในสารละละลายดังกล่าว แล้วผ่านกระบวนการแช่แข็งและทำให้สุกตามวิธีในข้อ 3.3 และ 3.5 ตัวอย่างที่ได้นำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับกุ้งที่ไม่ได้ผ่านการแช่สารใด ๆ ผลจากการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ทางประสาทสัมผัสมีดังแสดงในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 คะแนน สี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัสและความชุ่มน้ำ และรสชาติ ของกุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายผสมกัวร์กัมกับ : SAS®-กรดซิตริก 1:1 และ 1:2 ความเข้มข้น 2% และโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน : SAS®-กรดซิตริก 1:2 และ 1:4 ความเข้มข้น 1%

สารละลายที่ทดสอบ	สี	ลักษณะปรากฏ[ns]	เนื้อสัมผัสและความชุ่มน้ำ	รสชาติ[ns]
ตัวอย่างควบคุม	$6.34^{b}\pm2.03$	7.01 ± 2.18	$6.58^{a}\pm2.34$	7.11 ± 2.18
กัวร์กัม : SAS®-กรดซิตริก 1:1	$6.12^{ab}\pm2.11$	7.19 ± 1.83	$7.26^{b}\pm2.11$	7.27 ± 1.51
กัวร์กัม : SAS®-กรดซิตริก 1:2	$6.54^{b}\pm2.45$	7.44 ± 1.70	$7.52^{b}\pm1.75$	7.11 ± 1.34
โซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน : SAS®-กรดซิตริก 1:2	$6.44^{b}\pm2.38$	7.26 ± 1.96	$7.03^{ab}\pm2.42$	6.76 ± 1.89
โซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน : SAS®-กรดซิตริก 1:4	$5.62^{a}\pm2.01$	7.72 ± 1.55	$7.32^{b}\pm1.57$	7.36 ± 1.43

a และ b ตัวเลขในแถวตั้งเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)
ns ความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าสารละลายผสมที่ใช้แช่กุ้งกุลาดำมีผลต่อคะแนนสี เนื้อสัมผัสและความชุ่มน้ำ ($p\leq0.05$) แต่ไม่มีผลต่อ คะแนนลักษณะปรากฏ และรสชาติ ($p>0.05$)

กุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายผสมทั้ง 4 ชนิด มีคุณภาพไม่แตกต่าง ($p>0.05$) จากตัวอย่างกุ้งที่ไม่ได้ผ่านการแช่สารละลายในด้านลักษณะปรากฏและรสชาติแสดงว่าสารละลายที่ใช้แช่ทั้ง 4 สูตร ไม่ทำให้รสชาติและลักษณะปรากฏของกุ้งเปลี่ยนแปลงไปจนผู้ทดสอบสังเกตได้ ขณะที่กุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน : SAS®-กรดซิตริก 1:4 มีคะแนนสีต่ำกว่าตัวอย่างอื่น โดยผู้ทดสอบให้ความเห็นว่ากุ้งตัวอย่างดังกล่าวนี้สีซีดกว่าปกติ เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเพราะโปรตีนในครัสตาไซยานินเกิดการแปรสภาพเนื่องจากโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน และ SAS®-กรดซิตริก ตามที่กล่าวในข้อ 4.3.2 โดยที่อัตราส่วน 1:4 ให้ผลมากกว่าอาจเนื่องจากที่

อัตราส่วนนี้มีโซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีนซึ่งมีสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ในสัดส่วนที่ต่ำกว่าที่อัตราส่วน 1:2 เมื่อพิจารณาคะแนนด้านเนื้อสัมผัสและความชุ่มน้ำ จะเห็นว่ากุ้งที่ไม่ได้ผ่านการแช่สารละลายมีคะแนนน้อยกว่า กุ้งที่ผ่านการแช่สารละลายทั้ง 4 ชนิด ($p \le 0.05$) โดยผู้ทดสอบมีความเห็นว่าตัวอย่างที่แช่สารละลายมีความชุ่มน้ำและเนื้อแน่นมากกว่า ขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีเนื้อสัมผัสที่แห้งแข็ง

เมื่อพิจารณาผลทดสอบทางประสาทสัมผัสร่วมกับคุณภาพด้านอื่น ๆ ที่ตรวจพบในงานทดลองนี้ จึงมีแนวคิดว่าถ้าจะผลิตสารเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำทางการค้าเพื่อใช้ทดแทนฟอสเฟต สูตรที่น่าจะเป็นไปได้สูงสุดน่าจะเป็นกัวร์กัม: SAS®-กรดซิตริก 1:2 ที่ความเข้มข้น 2 % เพราะมีผลเพิ่มน้ำหนักหลังแช่ ลดการสูญเสียน้ำหนักจากการทำให้สุก ไม่ทำให้กุ้งเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมื่อบริโภค และกัวร์กัมยังราคาถูกและหาได้ง่าย อีกตัวอย่างหนึ่งที่มีความเป็นไปได้เช่นกัน ได้แก่ โซเดียมไกลซีเนท-ไกลซีน : SAS®-กรดซิตริก 1:2 ที่ความเข้มข้น 1% ซึ่งคุณภาพผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการทำให้สุกต่ำมาก มีปริมาณการเพิ่มน้ำหนักจากการแช่อยู่ในเกณฑ์ดี และแม้โซเดียมไกลซีเนท และไกลซีนจะมีราคาแพง แต่ในทางปฏิบัติใช้ในปริมาณน้อยกว่ากัวร์กัมถึงหนึ่งเท่า คือ ใช้ได้ดีที่ความเข้มข้นเพียง 1% เท่านั้น