

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 คุณภาพของหอยเป่าฮือ

4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮือ

จากการวิเคราะห์หึ่งองค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮือพันธุ์ *Haliotis asinina* Linnaeus ที่มีน้ำหนักตัวประมาณ 25 – 30 กรัม/ตัว ด้วยวิธีมาตรฐานของ A.O.A.C. (1995) วิเคราะห์ที่ 6 ซ้ำ ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.1 พบว่าหอยเป่าฮือมีปริมาณความชื้นและ โปรตีนสูงแต่มีปริมาณไขมันต่ำ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อหอยเป่าฮือ

องค์ประกอบทางเคมี	%โดยน้ำหนักเปียก
ความชื้น	82.43 ± 0.45
โปรตีน	14.08 ± 0.24
ไขมัน	0.81 ± 0.09
เถ้า	1.02 ± 0.17
คาร์โบไฮเดรต	1.66

องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อหอยเป่าฮือที่ได้จากการทดลองมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 82.43% โปรตีน 14.08% ไขมัน 0.81% เถ้า 1.02% และคาร์โบไฮเดรต 1.66% โดยมีค่าใกล้เคียงกับหอยเป่าฮือขนาดเล็กสายพันธุ์ไต้หวัน (*H. diversicolor*) ซึ่งมีน้ำหนักตัว 20 ± 5 กรัม ที่มีปริมาณความชื้น 77.70% โปรตีน 18.00% ไขมัน 0.70% และเถ้า 1.80% (Chiou, Lai and Shiau, 2001) และหอยเป่าฮือชนิด *H. discus* ที่มีปริมาณความชื้น 72.3–82.1% โปรตีน 14.2–18.4% ไขมัน 0.26–0.93% และเถ้า 1.11–1.29% ซึ่งการที่หอยเป่าฮือมีปริมาณไขมันต่ำนั้น เนื่องจากหอยเป่าฮือไม่ได้เก็บสะสมพลังงานไว้ในรูปของไขมันเหมือนปลา แต่มีการเก็บสะสมพลังงานในกล้ามเนื้อในรูปของไกลโคเจน (Hatae *et al.*, 1995)

การที่ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าอื้อแตกต่างกันจะส่งผลให้กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏแตกต่างกัน (Olley and Thrower, 1977) ซึ่งปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของสัตว์น้ำที่แตกต่างกันนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น พันธุ์ แหล่งที่อยู่ อาหาร รวมทั้งขนาด (นงลักษณ์ สุทธิวิช, 2531) สอดคล้องกับงานวิจัยของอุบลวรรณ พึ่งฉิม (2546) ที่พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าอื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ซึ่งมีน้ำหนักตัว 20 กรัม มีปริมาณความชื้น โปรตีน และเถ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Hatae และคณะ (1995) พบว่าฤดูกาลเก็บส่งผลต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าอื้อชนิด *H. discus* โดยช่วงฤดูร้อนปริมาณ โปรตีนจะสูงขึ้นในขณะที่ปริมาณความชื้นต่ำลง

4.1.2 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าอื้อ

จากการวัดสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าอื้อทั้งตัวด้วยเครื่อง Instron Texture Analyzer (5565, Instron, USA) ใช้หัววัดแบบใบมีดตัด (Warner – Bratzler Meat Shear Blade) อัตราเร็วของใบมีดคงที่ 2.0 มิลลิเมตร/วินาที วิเคราะห์ 10 ซ้ำ ตามวิธีของศิรินทรา บุญสำเร็จ (2544) จากการทดลองพบว่าเนื้อหอยเป่าอื้อทั้งตัวมีค่าแรงต้านทานการตัดขาด (cutting force) เป็น 15.45 ± 1.77 kgf ทั้งนี้ลักษณะเนื้อสัมผัสของหอยเป่าอื้อมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณคอลลาเจนที่มีอยู่ในเนื้อหอยซึ่งขึ้นกับพันธุ์ของหอยเป่าอื้อ โดย Olachea และคณะ (1993) ศึกษาปริมาณคอลลาเจนและสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าอื้อ 4 พันธุ์ ได้แก่ *H. discus*, *H. gigas*, *H. seibodii* และ *H. discus hannai* พบว่าทั้ง 4 สายพันธุ์มีสมบัติด้านเนื้อสัมผัสแตกต่างกัน โดยคณะผู้วิจัยได้สรุปว่าปริมาณคอลลาเจนมีความสัมพันธ์กับความเหนียวของเนื้อหอยเป่าอื้อ เมื่อปริมาณคอลลาเจนเพิ่มขึ้นเนื้อหอยเป่าอื้อจะเหนียวขึ้น นอกจากนี้ปริมาณคอลลาเจนมีความแปรผันตามฤดูกาลด้วย โดยหอยเป่าอื้อที่เก็บในช่วงฤดูร้อนเนื้อสัมผัสจะนุ่มและมีปริมาณคอลลาเจนต่ำที่สุด ส่วนหอยเป่าอื้อที่เก็บในช่วงฤดูหนาวเนื้อสัมผัสจะเหนียวและมีปริมาณคอลลาเจนสูงที่สุด โดยมีโครงสร้างร่างแหของเส้นใยคอลลาเจนเรียงตัวกันแน่นกว่าจึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) ต่ำกว่าในช่วงฤดูร้อน (Hatae et al., 1995)

4.1.3 ความสดของหอยเป่าอื้อ

4.1.3.1 ปริมาณ Trimethylamine (TMA)

TMA เป็นสารที่ให้กลิ่นเหม็นคาวจากการเน่าเสียของปลาหลายชนิด เกิดจากการแตกตัวของ TMAO ซึ่งมีอยู่ในอาหารทะเลสด เนื่องจากเอนไซม์ภายในเนื้อเยื่อและการเจริญของจุลินทรีย์ (Olley and Thrower, 1977) จากการวิเคราะห์ปริมาณ TMA ในเนื้อหอยเป่าอื้อที่ใช้ในงานวิจัย โดยวิธี Conway (Hasegawa, 1987) ปรากฏว่าไม่พบ TMA สอดคล้องกับรายงานของ

Olley และ Thrower (1977) ที่พบว่าในหอยเป่าชื่อพันธุ์ *H. gigantean* มีค่า TMA ต่ำมากจนเกือบไม่พบ และสรุปว่าปริมาณ TMA และ TMAO ไม่ใช่ดัชนีที่เหมาะสมในการบอกความสดของหอยเป่าชื่อ ทั้งนี้ปริมาณ TMA และ TMAO ที่พบนั้นขึ้นกับชนิดของสัตว์น้ำด้วย (Ozogul, Ozogul and Gokbulut, 2006) เช่น ปริมาณ TMAO ในหอยนางรมสดมีค่าต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัม/100 กรัม (Murata and Sakaguchi, 1986) ปริมาณ TMA ที่พบในปลา albacore สดมีค่า ประมาณ 1.1 มิลลิกรัม/100 กรัม (Price, Melvin and Bell, 1991) และปริมาณ TMA ที่พบในปลา tilapia สดก็มีค่าต่ำประมาณ 0.07 มิลลิกรัม/100 กรัม (Reddy *et al.*, 1994)

4.1.3.2 ปริมาณ Total Volatile Base (TVB)

จากการวิเคราะห์ปริมาณ TVB โดยวิธี Conway (Hasegawa, 1987) ปรากฏว่าพบ TVB ในเนื้อหอยเป่าชื่อมีค่าต่ำประมาณ 1.72 ± 0.03 มิลลิกรัม/100 กรัม ซึ่งปริมาณ TVB นั้นส่วนใหญ่ประกอบด้วย TMA และแอมโมเนียที่เป็นผลิตภัณฑ์จากการทำงานของเอนไซม์ภายในเนื้อเยื่อและการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจะสามารถชะลอให้เกิดซ้ำลงได้ถ้าเก็บรักษาสัตว์น้ำไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (นงลักษณ์ สุทธิวินิช, 2531) ซึ่งในการทดลองได้แช่แข็งหอยเป่าชื่ออย่างรวดเร็วด้วยเครื่อง Liquid nitrogen freezer ที่อุณหภูมิ -80°C และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18°C ดังนั้นจึงเกิด TVB ในเนื้อหอยเป่าชื่อปริมาณต่ำ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Chiou และคณะ (2002) ที่พบว่าหอยเป่าชื่อสดพันธุ์ *H. diversicolor* มีค่า TVB ต่ำเช่นกัน คือประมาณ 2.6 มิลลิกรัม/100 กรัม

จากการวิจัยของ Watanabe, Yamanaka และ Yamakawa (1992) เก็บ disk abalone ที่อุณหภูมิ 0 และ 5°C พบว่าค่า TVB ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของหอยเป่าชื่อพันธุ์นี้ เนื่องจากค่า TVB ไม่เพิ่มขึ้นจนกว่าจะเก็บไว้นาน 3 หรือ 5 วัน และเพิ่มขึ้นช้ามากระหว่างการเก็บรักษา โดยเมื่อผ่านไป 13 วัน มีค่าเพียง 10 มิลลิกรัม/100 กรัม เท่านั้น

4.1.3.3 ปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์และสารอนุพันธ์

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์และสารอนุพันธ์ ได้แก่ ATP, ADP, AMP, IMP, AdR, HxR และ Hx ด้วยวิธี HPLC จากการเตรียมสารสกัดจากเนื้อหอยเป่าชื่อ ตามวิธีของ Hatae และคณะ (1995) ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.2

ปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์ในสัตว์น้ำนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของสัตว์น้ำด้วย สัตว์น้ำแต่ละชนิดจะมีชนิดและปริมาณของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ที่แตกต่างกัน โดยพบปริมาณ IMP ในปลาไหลพันธุ์ *Anguilla anguilla* ปริมาณสูง เนื่องจากเป็นสารสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นรสในปลา แต่พบ ATP, ADP และ AMP ปริมาณต่ำ (Ozogul, Ozogul and Gokbulut, 2006) แตกต่างจากหอยเป่าชื่อซึ่งมีการแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ได้ 2 แบบ คือเปลี่ยนจาก $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} \rightarrow \text{AMP} \rightarrow \text{IMP} \rightarrow \text{HxR} \rightarrow \text{Hx}$ เหมือนในปลาและสัตว์เลี้ยงลูก

ด้วยนม หรือเปลี่ยนจาก ATP → ADP → AMP → AdR → HxR → Hx เหมือนสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลัง (Hatae *et al.*, 1995 cited in Saito and Arai, 1957) ซึ่งจากผลการทดลองพบปริมาณ ATP, AMP, AdR และ HxR เท่ากับ 14.37, 62.50, 13.44 และ 0.22 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ไม่พบ IMP, ADP และ Hx จะเห็นว่าสารประกอบนิวคลีโอไทด์ในเนื้อหอยเป่าอ้อมีปริมาณ AMP เป็นองค์ประกอบหลัก เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Hatae และคณะ (1996) และในหอย ascidian (*Halocynthia roretzi*) จากงานวิจัยของ Nonratip, Wada และ Yamanaka (1991)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์และสารอนุพันธ์ของเนื้อหอยเป่าอ้อม

สารประกอบนิวคลีโอไทด์	ปริมาณ (มิลลิกรัม/100 กรัม)
ATP	14.37 ± 1.77
ADP	–
AMP	62.50 ± 6.49
IMP	–
AdR	13.44 ± 1.52
HxR	0.22 ± 0.01
Hx	–

Hatae และคณะ (1995) ศึกษาปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์และสารอนุพันธ์ในหอยเป่าอ้อมพันธุ์ *H. discus* รายงานว่าสามารถเกิดการแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ได้ทั้งแบบปลาและสัตว์เลื้อยลูกด้วยนม และแบบสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลัง โดยในหอยเป่าอ้อมมีเอนไซม์ AMP-deaminase และ Adenosine-deaminase ปริมาณต่ำ ซึ่งเอนไซม์ AMP-deaminase จะเร่งให้ AMP เปลี่ยนไปเป็น IMP ในการแตกตัวแบบที่หนึ่ง และเอนไซม์ Adenosine-deaminase จะเร่งให้ AdR เปลี่ยนไปเป็น HxR ในการแตกตัวแบบที่สอง และพบว่ามีปริมาณ AMP สะสมในกล้ามเนื้อสูง ซึ่งจากผลการทดลองมีปริมาณ AMP เป็นองค์ประกอบหลัก และมีปริมาณ AdR 13.44 มิลลิกรัม/100 กรัม แสดงว่าหอยเป่าอ้อมพันธุ์ *H. asinina* Linnaeus ที่ใช้ในงานวิจัย อาจจะมีการแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์ได้ทั้ง 2 แบบเช่นกัน

การแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ซึ่งเริ่มจากสารตั้งต้น ATP นั้น จะเกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ทำให้มีการสะสมของ Hx เกิดรสขมและเป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็นในอาหารทะเล (Ozogul, Ozogul and Gokbulut, 2006) นอกจากนี้ Hx ยังเป็นดัชนีบอกความสดที่ดีสำหรับหอย scallop (Chiou *et al.*, 2002) ซึ่งจากผลการทดลองไม่พบ Hx ในเนื้อหอยเป่าอ้อม แสดงว่าหอยเป่าอ้อมที่ใช้ในงานวิจัยมีสภาพที่สดอยู่

หอยเป่าฮือเป็นอาหารที่คนนิยมบริโภคกันทั่วโลก เนื่องจากมีกลิ่นรสเฉพาะตัวและเนื้อสัมผัสต่างจากสัตว์น้ำชนิดอื่น จากการศึกษาของ Konosu (1973) พบว่าองค์ประกอบที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าฮือชนิด *H. discus* ได้แก่ AMP, glutamic acid, glycine และ glycine betaine โดย glutamic acid เป็นตัวให้รส umami และกลิ่นรสชาติเฉพาะตัวของหอยเป่าฮือ glycine ทำให้เกิดรสหวาน ส่วน AMP นั้นไม่ทำให้เกิดรสชาติได้เพียงลำพัง แต่เมื่ออยู่ร่วมกับ glutamic acid จะทำให้รส umami ชัดเจนขึ้น ทั้งนี้หากไม่มี glutamic acid และ AMP จะทำให้รส umami และกลิ่นรสเฉพาะตัวของหอยเป่าฮือหายไป (Hatae et al., 1995)

สารประกอบนิวคลีโอไทด์และสารอนุพันธ์ของสัตว์น้ำนอกจากจะให้กลิ่นรสแล้วยังสามารถคำนวณเป็นเกณฑ์บอกความสดของสัตว์น้ำได้อีกด้วย เช่น ค่า K และค่า K' เป็นต้น ซึ่งปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์ที่ส่งผลต่อค่า K และค่า K' ของเนื้อหอยเป่าฮือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ปริมาณ ATP, AMP, AdR และ HxR เนื่องจากไม่พบปริมาณ ADP, IMP และ Hx จึงทำให้ค่า K และค่า K' ขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์เพียง 4 ชนิดที่พบจากผลการทดลองคำนวณค่า K และค่า K' ได้เท่ากับ 0.24% เท่ากัน ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 0 แสดงว่าหอยเป่าฮือมีสภาพที่สดมาก นอกจากนี้ได้มีการกำหนดเกณฑ์ในการตรวจสอบความสดของปลาหลังจากปลาตายทันทีควรมีค่า K น้อยกว่า 5% ปลาดีอยู่ระหว่าง 20 – 30% และปลาที่เน่าแล้วมากกว่า 60% (นงลักษณ์ สุทธิวิช, 2531) แต่อย่างไรก็ตามค่า K ก็ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของหอยเป่าฮือ (Watanabe, Yamanaka and Yamakawa, 1992) เช่นเดียวกับที่ค่า K ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของหอย scallop (Kawashima and Yamanaka, 1992) และหอยเป่าฮือพันธุ์ *H. diversicolor* เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่า K ช้ามากในช่วงแรกของการเก็บรักษา แต่จะเพิ่มขึ้นในช่วงหลังซึ่งหอยเป่าฮือเกิดการเน่าเสียแล้ว ส่วนค่า K' เป็นดัชนีบอกความสดที่ดีสำหรับสัตว์น้ำจำพวกมีเปลือก เช่น หอย กุ้งและปู เนื่องจากค่า K' จะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าค่า K (Chiou et al., 2002) แต่จากผลการทดลองคำนวณค่า K และค่า K' ได้เท่ากัน อาจเนื่องจากหอยเป่าฮือที่ใช้ในการทดลองสดมาก จึงเห็นความแตกต่างของค่าทั้งสองไม่ชัดเจน ทำให้ไม่สามารถระบุได้ว่าค่า K หรือค่า K' เป็นดัชนีบอกความสดที่เหมาะสมสำหรับหอยเป่าฮือพันธุ์ *H. asinina* Linnaeus ที่ใช้ในงานวิจัย

4.2 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ซूपหอยเป่าฮือ

จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบความชอบให้คะแนนแบบ hedonic สเกล 9 ระดับ ในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความหนืด และความชอบโดยรวม เพื่อเลือกสูตรที่ผู้บริโภคพอใจมากที่สุดจากสูตรเริ่มต้น 4 สูตรในข้อ 3.2 และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox,

1957) พบว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในทุกคุณลักษณะที่ประเมิน แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสแสดงความพึงพอใจในการเลือกสูตรชุปหอยเป่าอื้อที่เหมาะสม

คุณลักษณะ	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
สี	4.32 ^c ± 1.8	6.38 ^b ± 1.29	6.96 ^a ± 1.25	6.98 ^a ± 1.25
กลิ่น	5.80 ^b ± 1.68	6.36 ^{ab} ± 1.35	6.76 ^a ± 1.79	6.82 ^a ± 1.60
รสชาติ	3.34 ^c ± 1.80	5.04 ^b ± 2.08	6.68 ^a ± 1.46	7.32 ^a ± 1.20
ความหนืด	4.84 ^c ± 1.58	6.24 ^b ± 1.35	6.26 ^b ± 2.04	6.82 ^a ± 1.26
ความชอบโดยรวม	3.60 ^d ± 1.69	5.78 ^c ± 1.58	6.58 ^b ± 1.18	7.22 ^a ± 1.23

a, b, c,... ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

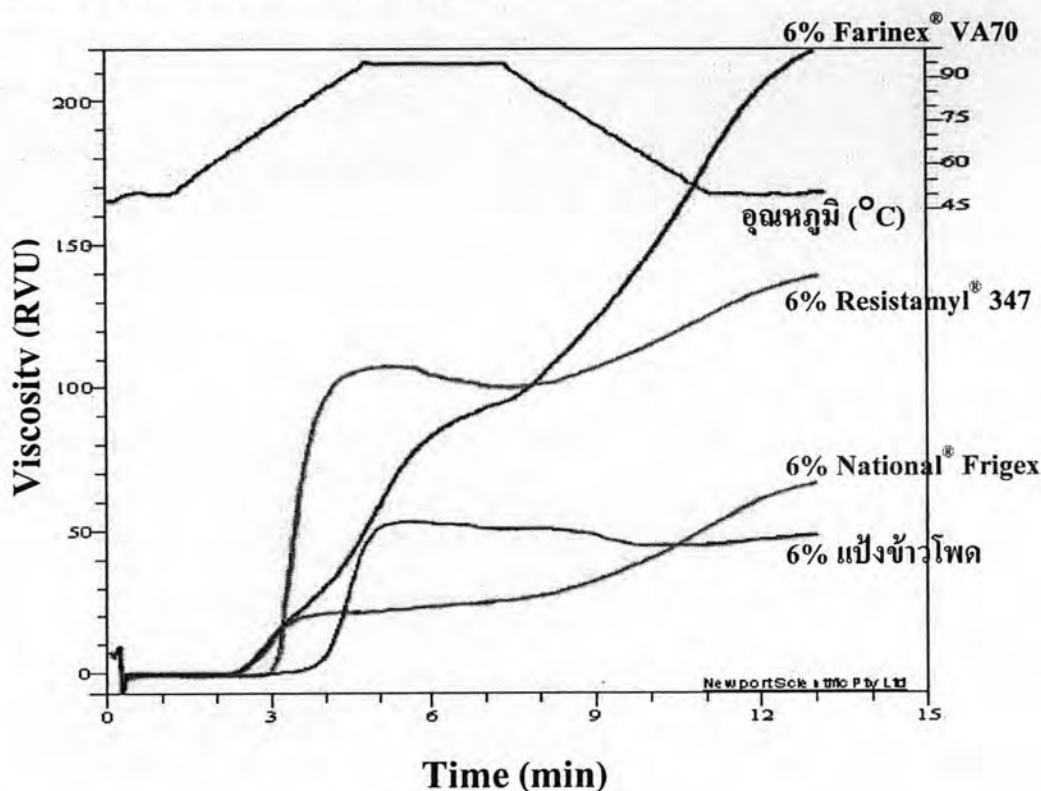
จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสของทุกคุณลักษณะในชุปสูตรที่ 4 สูงกว่าชุปสูตรอื่นทั้ง 3 สูตร ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกชุปสูตรที่ 4 จากสูตรชุปกระเพาะปลาของคารามาต แก้วแดง (2547) เพื่อเป็นสูตรควบคุมในงานวิจัยขั้นต่อไป

4.3 สมบัติด้านความหนืดของแป้ง

โดยทั่วไปในผลิตภัณฑ์ประเภทชุปมักใช้แป้ง โดยเฉพาะแป้งข้าวโพดหรือแป้งมันสำปะหลัง เป็นสารให้ความข้นหนืดเพื่อให้ลักษณะปรากฏเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ซึ่งสูตรควบคุมในงานวิจัยที่เลือกได้จากข้อ 4.2 มีแป้งข้าวโพดเป็นส่วนผสมอยู่ 3.5% โดยน้ำหนัก แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนืดที่ไม่คงตัว นอกจากนี้ยังไม่เหมาะสมกับสภาวะบางอย่างในกระบวนการผลิตระดับอุตสาหกรรม เช่น มีความคงทนต่อความร้อนหรือแรงเฉือนต่ำ เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ชุปหอยเป่าอื้อและแป้งข้าวโพดไม่สามารถรักษาเสถียรภาพของความหนืดที่อุณหภูมิสูงในระดับการฆ่าเชื้อได้ ดังนั้นจึงต้องมีการแทนที่แป้งข้าวโพดด้วย thickening agent ชนิดอื่นที่สามารถทนความร้อนสูงได้ โดยเลือกใช้แป้งดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางมาแทนที่แป้งข้าวโพด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หลังผ่านการฆ่าเชื้อมีความหนืดที่คงตัวมากขึ้น

4.3.1 สมบัติด้านความหนืดของเจลแป้งข้าวโพดและแป้งคัดแปรที่ใช้แทนที่แป้งข้าวโพด

จากการวิเคราะห์ความหนืดของเจลแป้งข้าวโพดและแป้งคัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางที่นำมาใช้แทนที่แป้งข้าวโพดทั้ง 3 ชนิด ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (4D, Newport Scientific Pty Ltd., Australia) เปรียบเทียบที่ความเข้มข้น 6% โดยน้ำหนักแห้ง ตามวิธีวิเคราะห์ในภาคผนวก ข ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของเจลแป้งข้าวโพดและแป้งคัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง RVA

หมายเหตุ: Resistamyl® 347: แป้งคัดแปรชนิดไดสตาร์ชอะดิเพทจากแป้งข้าวโพดข้าวเหนียว

National® Frigex: แป้งคัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตจากแป้งมันสำปะหลัง

Farinex® VA40: แป้งคัดแปรชนิดไฮดรอกซีโพรพิลไดสตาร์ชฟอสเฟตจากแป้งมันฝรั่ง

จากรูปที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดของเจลแป้งจากการวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง RVA พบว่าเจลแป้งคัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางที่นำมาใช้แทนที่แป้งข้าวโพดทั้ง 3 ชนิด มีความหนืดของเจลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระหว่างช่วงการลดอุณหภูมิ แต่เจลแป้งข้าวโพดมีความหนืดลดลง โดยที่กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง Farinex® VA70 และ Resistamyl® 347 มีระดับของความหนืดค่อนข้างสูงในระหว่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95°C ส่วนแป้ง

National® Frigex และแป้งข้าวโพดมีระดับของความหนืดค่อนข้างต่ำ แต่แป้ง Farinex® VA70 และ National® Frigex ไม่เกิด breakdown ในขณะที่แป้ง Resistamyl® 347 และแป้งข้าวโพดเกิด breakdown เล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Raina และคณะ (2006) ที่พบว่าความหนืดของแป้งคัดแปรในช่วงควบคุมอุณหภูมิที่ 95°C มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับการเชื่อมขวาง ทั้งนี้เนื่องจากแป้งคัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางเกิดพันธะโควาเลนต์ซึ่งช่วยเสริมให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งไว้ให้มีความแข็งแรงมากขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546; Tuschhoff, 1986) มีกำลังการพองตัวและการละลายต่ำกว่าแป้งดิบ ทำให้เม็ดแป้งที่พองตัวมีเสถียรภาพมากขึ้นจึงแตกออกได้ยาก ลักษณะกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดอาจไม่ปรากฏเป็นยอดสูงสุด มีความหนืดสูงแต่อาจจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

ตารางที่ 4.4 ค่าต่างๆที่ได้จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของเจลแป้งข้าวโพดและแป้งคัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวาง

pasting properties	ชนิดแป้ง			
	แป้งข้าวโพด	National® frigex	Resistamyl® 347	Farinex® VA70
peak viscosity	53.63 ± 0.64	25.53 ± 2.40	109.46 ± 3.13	93.95 ± 1.93
trough	44.04 ± 1.12	–	101.00 ± 1.65	–
breakdown	9.59 ± 1.76	–	8.46 ± 1.47	–
final viscosity	47.33 ± 1.41	67.52 ± 1.09	140.50 ± 2.01	219.32 ± 1.86
setback	3.29 ± 0.30	–	39.50 ± 0.35	–
peak time	5.97 ± 0.24	7.09 ± 0.19	5.06 ± 0.21	7.03 ± 0.16
pasting temperature	79.50 ± 0.49	71.50 ± 0.71	73.70 ± 0.92	70.30 ± 0.21

หมายเหตุ: peak viscosity คือความหนืดสูงสุด มีหน่วยเป็น RVU

trough คือความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU

breakdown คือผลต่างของความหนืดสูงสุดกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU

final viscosity คือความหนืดสุดท้ายของการทดลอง มีหน่วยเป็น RVU

setback คือผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU

peak time คือเวลาที่เกิดความหนืดสูงสุด มีหน่วยเป็นนาที

pasting temperature คืออุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด มีหน่วยเป็น °C

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าเจลของแป้งข้าวโพดมีความหนืดต่ำ เนื่องจากแป้งข้าวโพดเป็นแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูง ทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงและมีกำลังการพองตัวต่ำ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) เป็นผลให้เจลแป้งข้าวโพดจากการทดลองมีอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด หรือ pasting temperature สูง (79.50°C) แต่เมื่อพิจารณาเสถียรภาพของเจลแป้งข้าวโพดที่ค่า breakdown และ setback จะเห็นว่ามีความแข็งแรงก่อนข้างต่ำ อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ความหนืดต่ำเกินไป (6% โดยน้ำหนักแห้ง) จึงทำให้เห็นพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงความหนืดไม่ชัดเจน โดยเหตุที่ต้องทำที่ระดับความเข้มข้นนี้ เพราะถ้าใช้ความเข้มข้นสูงกว่านี้จะทำให้แป้งคัดแปรมีค่าความหนืดเกินความสามารถในการวัดของเครื่อง RVA และอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่เครื่องมือได้ หากพิจารณาแป้งคัดแปรทั้ง 3 ชนิด จะเห็นว่าเจลแป้งแต่ละชนิดมีความหนืดที่ต่างกัน เพราะผลิตจากแป้งดิบต่างชนิดกันและระดับการเชื่อมขวางที่ต่างกัน โดยที่แป้ง National[®] Frigex คัดแปรจากแป้งข้าวโพดข้าวเหนียว ซึ่งปกติแล้วแป้งดิบจะมีความหนืดสูงปานกลาง แต่จากผลการทดลองเจลแป้ง National[®] Frigex กลับมีความหนืดต่ำ อาจเนื่องมาจากมีระดับการคัดแปรสูง ทำให้มีการพองตัวต่ำลงและมีความหนืดต่ำกว่าแป้งดิบ ในขณะที่แป้ง Resistamyl[®] 347 คัดแปรจากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วแป้งมันสำปะหลังจะมีความหนืดใกล้เคียงกับแป้งข้าวโพดข้าวเหนียว แต่จากผลการทดลองแป้ง Resistamyl[®] 347 กลับมีความหนืดสูงกว่าแป้ง National[®] Frigex มาก อาจเป็นผลจากระดับการคัดแปรที่ต่ำกว่า จึงมีการพองตัวและความหนืดสูงกว่า ส่วนแป้ง Farinex[®] VA70 คัดแปรจากแป้งมันฝรั่งซึ่งเป็นแป้งที่พองตัวได้สูงมากอยู่แล้ว และจากผลการทดลองได้ความหนืดของเจลแป้ง Farinex[®] VA70 ใกล้เคียงกับแป้ง Resistamyl[®] 347 แต่แป้ง Farinex[®] VA70 มีความหนืดเพิ่มสูงขึ้นมากในช่วงการลดอุณหภูมิ อาจเนื่องจากระดับการคัดแปรที่ต่างกันและธรรมชาติของแป้งมันฝรั่ง เม็ดแป้งจึงสามารถดูดน้ำในระบบและเกิดการพองตัวขึ้นเรื่อยๆ โดยเม็ดแป้งไม่แตกออกจึงมีความหนืดสูงขึ้นเรื่อยๆตลอดการทดลอง นอกจากนี้หากเปรียบเทียบเสถียรภาพของเจลแป้งข้าวโพดกับแป้งคัดแปร จะเห็นว่าแป้งคัดแปรทั้ง 3 ชนิดมีความหนืดของแป้งเปียกที่เสถียรกว่า ทั้งนี้เป็นผลจากการสร้างพันธะเชื่อมขวางนั่นเอง ซึ่งทำให้โครงสร้างภายในเม็ดแป้งแข็งแรง เม็ดแป้งที่พองตัวมีความเหนียวเพิ่มขึ้น จึงไม่เกิดการแตกของเม็ดแป้งที่จะทำให้ค่าความหนืดลดลง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

4.3.2 ปริมาณแป้งคัดแปรที่เหมาะสมในการแทนที่แป้งข้าวโพด

การศึกษาสมบัติด้านความหนืดของซูปที่เตรียมจากแป้งคัดแปรทั้ง 3 ชนิด เปรียบเทียบกับซูปที่เตรียมจากแป้งข้าวโพดในซูปสูตรควบคุมที่เลือกได้จากข้อ 4.2 ซึ่งมีแป้งข้าวโพดเป็นส่วนผสมอยู่ 3.5% โดยน้ำหนัก ใช้การเตรียมซูปสุกที่อุณหภูมิประมาณ 80°C เพื่อให้แป้งทั้ง 4 ชนิดมีพฤติกรรมพองตัวและเกิด gelatinization ได้สมบูรณ์ เนื่องจากอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความ

หนืด หรือ pasting temperature ของแป้งทั้ง 4 ชนิด อยู่ในช่วง $70.30 - 79.50^{\circ}\text{C}$ (ตารางที่ 4.4) แล้วทำให้เย็นตัวลงและวัดความหนืดของซูปทั้ง 4 สูตร ด้วยเครื่อง Bohlin Rheometer (C - VOR, Malvern Instrument Ltd., UK) ที่อุณหภูมิ 25°C ได้ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของซูปและระดับการแทนที่ของแป้งคัดแปรแต่ละชนิดดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความหนืดปรากฏที่อัตราเฉือน 100 s^{-1} ของซูปจากแป้งคัดแปรที่ความเข้มข้นต่างกัน เปรียบเทียบกับซูปจากแป้งข้าวโพด

ชนิดแป้ง	ความเข้มข้น (% โดยน้ำหนัก)	flow behavior index	ค่าความหนืดซูป ^{ns} (cP)
แป้งข้าวโพด	3.5	0.67 ± 0.01	133.50 ± 5.75
Resistamyl [®] 347	3.9	0.61 ± 0.02	131.33 ± 4.80
National [®] Frigex	4.5	0.71 ± 0.02	132.87 ± 5.42
Farinex [®] VA70	5.4	0.53 ± 0.03	132.42 ± 3.71

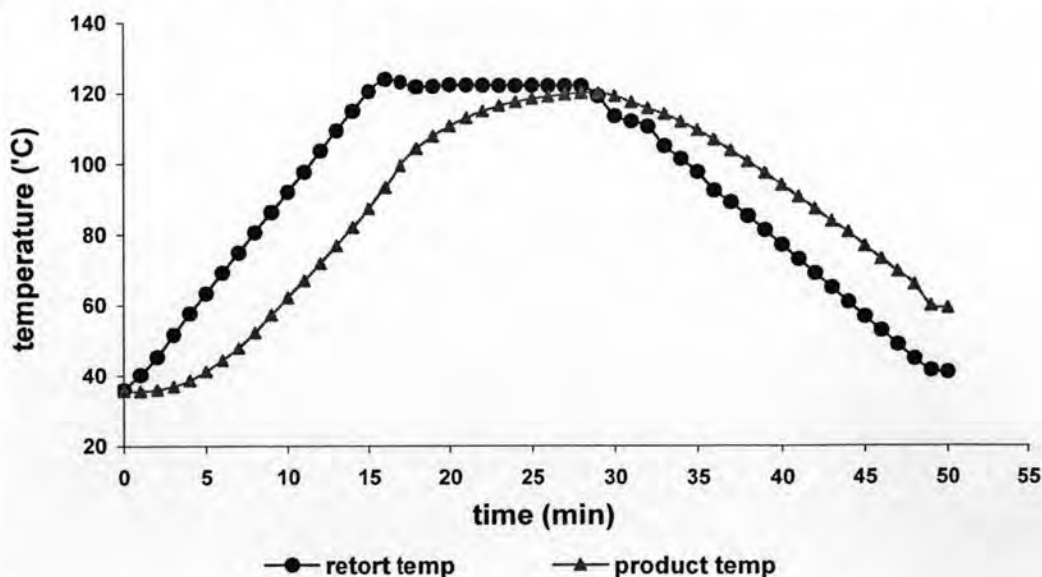
ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าเมื่อต้องการใช้แป้งคัดแปรแทนที่แป้งข้าวโพดให้ได้ความหนืดของซูปใกล้เคียงกับความหนืดของซูปที่เตรียมจากแป้งข้าวโพดในสูตรควบคุม จะต้องใช้ความเข้มข้นของแป้งคัดแปรทั้ง 3 ชนิดสูงกว่าความเข้มข้นของแป้งข้าวโพด โดยสามารถเลือกปริมาณการแทนที่ของแป้งคัดแปรทั้ง 3 ชนิด ได้ดังนี้ Resistamyl[®] 347 เข้มข้น 3.9%, National[®] Frigex เข้มข้น 4.5% และ Farinex[®] VA70 เข้มข้น 5.4% โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ประเภทซูปมีลักษณะทางการไหลแบบ shear - thinning หรือ pseudo plastic (มีค่า flow behavior index หรือ $n < 1$) ซึ่งจะมีความหนืดลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ดังนั้นซูปที่เตรียมจากแป้งต่างชนิดกันหรือแป้งคัดแปรที่มีระดับการเชื่อมขวางที่ต่างกันจะได้ซูปที่มีลักษณะทางการไหลที่แตกต่างกัน โดยแป้งที่ทำให้ซูปมีลักษณะทางการไหลแบบ shear - thinning มากกว่า (มีค่า n ต่ำกว่า) จะได้ความหนืดต่ำกว่าและต้องใช้ความเข้มข้นของแป้งสูงขึ้นเพื่อให้ได้ความหนืดของซูปเท่ากัน เมื่อพิจารณาที่แป้งข้าวโพดและแป้ง National[®] Frigex ซึ่งมีค่า n ใกล้เคียงกันคือ 0.67 และ 0.71 ตามลำดับ แต่ระดับความหนืดของเจลแป้ง National[®] Frigex จากเครื่อง RVA ต่ำกว่าแป้งข้าวโพด (ข้อ 4.3.1) จึงทำให้แป้ง National[®] Frigex มี %ความเข้มข้นในการเตรียมซูปสูงกว่าแป้งข้าวโพด ส่วนแป้ง Resistamyl[®] 347 และแป้ง Farinex[®] VA70 แม้ว่าจะระดับความหนืดของเจลแป้งทั้ง 2 ชนิดจากเครื่อง RVA สูงกว่าแป้งข้าวโพด แต่มีค่า n ต่ำกว่าแป้งข้าวโพด (0.61 และ 0.53 ตามลำดับ) จึงส่งผลให้ %ความเข้มข้นในการเตรียมซูปสูงกว่าแป้งข้าวโพดเช่นกัน

4.4 กระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ซูพหอยเป่าอ้อในรีทอร์ตเพาช์

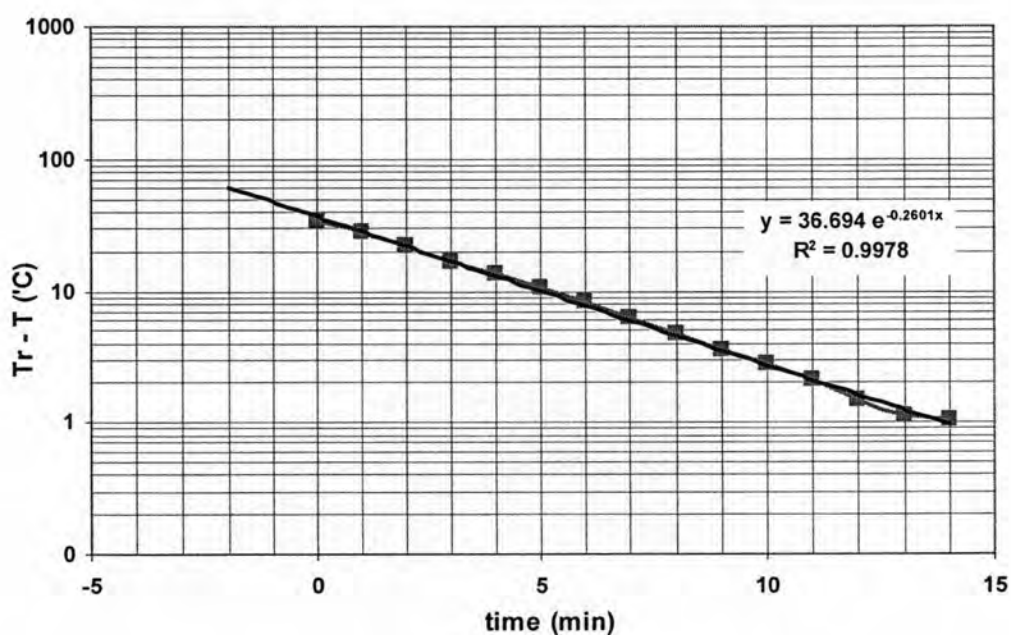
4.4.1 เวลาในการฆ่าเชื้อซูพหอยเป่าอ้อในรีทอร์ตเพาช์

จากการทดลองในข้อ 4.3.2 โดยเตรียมซูพหอยเป่าอ้อจากแป้งคัดแปรแต่ละชนิดตามปริมาณการแทนที่แป้งข้าวโพด (ตารางที่ 4.5) และทดลองฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C โดยแบ่งการฆ่าเชื้อเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงเวลาดังแต่เริ่มเปิดไอน้ำจนถึงเวลาที่อุณหภูมิในเครื่องฆ่าเชื้อสูงถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อ (come up time) นาน 15 นาที ช่วงการให้ความร้อน (sterilizing period) นาน 14 นาที และช่วงการทำให้เย็น (cooling period) นาน 20 นาที ได้ข้อมูลของอุณหภูมิภายในเครื่องฆ่าเชื้อและอุณหภูมิจุดร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์กับเวลา แสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งได้จากการใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจุดร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์ซูพหอยเป่าอ้อสูตรที่ใช้แป้ง Farinex[®] VA70 เข้มข้น 5.4% เพราะเป็นสูตรที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิช้าที่สุด (slowest heating) โดยปกติอัตราการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับลักษณะการถ่ายโอนความร้อน ซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของอาหาร อาหารที่มีความหนืดสูง และ/หรือมีชิ้นอาหารขนาดใหญ่ จะมีการถ่ายโอนความร้อนแบบการนำความร้อน (conduction) ความร้อนจะถ่ายโอนผ่านผนังบรรจุภัณฑ์แล้วผ่านโมเลกุลของอาหารที่ไม่เคลื่อนที่ การถ่ายโอนความร้อนแบบนี้ช้ากว่าแบบการพาความร้อน (convection) (Downing, 1996 อ้างถึงใน วิไล รังสาตทอง, 2545) ซึ่งผลิตภัณฑ์ซูพหอยเป่าอ้อในงานวิจัยนี้มีความหนืดสูงและมีชิ้นเนื้อหอยเป่าอ้อ จึงได้กราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจุดร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นไม่สูงนัก แสดงลักษณะการถ่ายโอนความร้อนแบบการนำความร้อน



รูปที่ 4.2 อุณหภูมิภายในเครื่องฆ่าเชื้อ (T_r) และอุณหภูมิจุดร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์กับเวลาของผลิตภัณฑ์ซูพหอยเป่าอ้อในรีทอร์ตเพาช์ที่อุณหภูมิ 121 °C

คำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ซูปพอยเป้าฮือในรีทอร์ตเพาช์ด้วยวิธีใช้สูตร (formula method) (Ball, 1923) โดยกำหนดสภาวะการฆ่าเชื้อที่ค่า $F_0 = 4$ นาที ซึ่งไม่รวมค่า F_0 ในช่วงการทำให้เย็น จากการสร้างกราฟการแทรกผ่านความร้อนระหว่างผลต่างอุณหภูมิภายในเครื่องฆ่าเชื้อและอุณหภูมิจุดร้อนซ้าที่สุดของผลิตภัณฑ์ ($T_r - T$) กับเวลาบนกระดาษกราฟแบบ semilog แสดงกราฟการแทรกผ่านความร้อนในช่วงการให้ความร้อนดังรูปที่ 4.3 และแสดงวิธีคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อในภาคผนวก ข ได้ค่า heating rate index (f_h) = 8.854 นาที heating rate lag factor (j_{ch}) = 1.085 และเวลาในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ในช่วงการให้ความร้อนนาน 13.5 นาที



รูปที่ 4.3 กราฟการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์ซูปพอยเป้าฮือในรีทอร์ตเพาช์ในช่วงการให้ความร้อน

4.4.2 แบ่งคัดแปรที่เหมาะสมกับกระบวนการฆ่าเชื้อ

จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัส โดยใช้แบบทดสอบความชอบให้คะแนนแบบ hedonic สเกล 9 ระดับ และแบบ QDA สเกล 8 ระดับ ของผลิตภัณฑ์ซูปพอยเป้าฮือที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วทั้ง 3 สูตรจากข้อ 4.4.1 ในด้านลักษณะปรากฏ ความหนืด ความรู้สึกขณะอยู่ในปาก และความชอบโดยรวม เพื่อเลือกสูตรที่ผู้บริโภคพอใจมากที่สุด และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox,

1957) พบว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในทุกคุณลักษณะที่ประเมิน แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.6 – 4.7

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสแสดงความพึงพอใจต่อ
ซูปพอยเป้าฮือ

คุณลักษณะ	3.9%	4.5%	5.4%
	Resistamyl [®] 347	National [®] Frigex	Farinex [®] VA70
ลักษณะปรากฏ	5.06 ^c ± 1.80	5.72 ^b ± 1.74	6.42 ^a ± 1.54
ความหนืด	5.40 ^c ± 1.51	6.26 ^b ± 1.52	6.80 ^a ± 1.58
ความรู้สึกลักษณะอยู่ในปาก	5.78 ^b ± 1.66	6.54 ^a ± 1.28	6.70 ^a ± 1.69
ความชอบโดยรวม	5.38 ^b ± 1.32	6.34 ^a ± 1.26	6.82 ^a ± 1.45

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

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสแสดงความพึงพอใจต่อซูปสูตรที่ใช้แป้ง Farinex[®] VA70 เข้มข้น 5.4% สูงกว่าซูปสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในทุกคุณลักษณะที่ประเมิน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้แป้ง Farinex[®] VA70 เข้มข้น 5.4% แทนที่แป้งข้าวโพดเข้มข้น 3.5% ในสูตรซูปกระเพาะปลาของคารามาส แก้วแดง (2547) เพื่อใช้ในการงานวิจัยต่อไป

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสแสดงความรู้สึกลึกต่อ
ซูปพอยเป้าฮือ

คุณลักษณะ	3.9%	4.5%	5.4%
	Resistamyl [®] 347	National [®] Frigex	Farinex [®] VA70
ลักษณะปรากฏ	4.18 ^c ± 1.60	4.92 ^b ± 1.65	5.92 ^a ± 1.32
ความหนืด	3.90 ^c ± 1.40	4.82 ^b ± 1.44	6.10 ^a ± 1.33
ความรู้สึกลักษณะอยู่ในปาก	4.86 ^c ± 1.67	5.80 ^b ± 1.40	6.36 ^a ± 1.10

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

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสแสดงความรู้สึก (QDA) ต่อซูปสูตรที่ใช้แป้ง Farinex[®] VA70 เพิ่มขึ้น 5.4% สูงกว่าซูปสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในทุกคุณลักษณะที่ประเมิน ซูปสูตรนี้มีลักษณะปรากฏที่ดี (ซูปเป็นเนื้อเดียวกัน) มีความหนืดเหมาะสม และให้ความรู้สึกเรียบเนียนขณะอยู่ในปากมากที่สุด แสดงว่าแป้ง Farinex[®] VA70 สามารถรักษาเสถียรภาพของความหนืดหลังผ่านการฆ่าเชื้อได้ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความหนืดของเจลแป้งด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer ในข้อ 4.3.1

เมื่อวัดสมบัติด้านความหนืดของซูปหอยเป่าอื้อที่เตรียมจากแป้งข้าวโพดและแป้งคัดแปรทั้ง 3 ชนิด หลังผ่านการฆ่าเชื้อ ด้วยเครื่อง Bohlin Rheometer (C – VOR, Malvern Instrument Ltd., UK) ได้ค่าความหนืดปรากฏที่อัตราเฉือน 100 s^{-1} ของซูปทั้ง 4 สูตร แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความหนืดปรากฏที่อัตราเฉือน 100 s^{-1} ของซูปหอยเป่าอื้อจากแป้งข้าวโพดและแป้งคัดแปรก่อนและหลังผ่านการฆ่าเชื้อ

ชนิดแป้ง	ความเข้มข้น (%โดยน้ำหนัก)	ความหนืดซูป ก่อนการฆ่าเชื้อ ^{ns} (cP)	ความหนืดซูป หลังการฆ่าเชื้อ (cP)
แป้งข้าวโพด	3.5	133.50 ± 5.75	53.98 ^d ± 3.19
Resistamyl [®] 347	3.9	131.33 ± 4.80	91.31 ^c ± 6.76
National [®] Frigex	4.5	132.87 ± 5.42	187.34 ^b ± 12.30
Farinex [®] VA70	5.4	132.42 ± 3.71	226.92 ^a ± 13.81

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

a, b, c และ d ตัวอักษรต่างกันในสครมภ์เดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นว่าซูปหอยเป่าอื้อที่เตรียมจากแป้งข้าวโพดและแป้งคัดแปรชนิด Resistamyl[®] 347 เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อแล้วมีความหนืดลดลงจากค่าเริ่มต้นก่อนการฆ่าเชื้อคือ 133.50 cP และ 131.33 cP ตามลำดับ แสดงว่าแป้งทั้ง 2 ชนิดนี้ไม่ทนความร้อนในระดับการฆ่าเชื้อ จึงไม่สามารถรักษาเสถียรภาพความหนืดของซูปได้ อีกทั้งยังเป็นผลจากน้ำที่สูญเสียจากเนื้อหอยเป่าอื้อมาสู่ตัวซูปด้วย ส่วนซูปที่เตรียมจากแป้งชนิด National[®] Frigex และ Farinex[®] VA70 มีความหนืดสูงกว่าซูปก่อนการฆ่าเชื้อ แสดงว่าแป้งคัดแปร 2 ชนิดนี้สามารถทนความร้อนในระดับการฆ่าเชื้อได้ดี นอกจากนี้ความหนืดปรากฏของซูปหลังการฆ่าเชื้อสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสแสดงความรู้สึกต่อซูปหลังการฆ่าเชื้อในตารางที่ 4.7 แสดงว่าผู้ทดสอบ

สามารถแยกความแตกต่างด้านความหนืดของซูปได้ถูกต้อง และผู้ทดสอบชอบซูปที่ค่อนข้างหนืด และแม้ว่าซูปสูตรที่ใช้แป้ง Farinex® VA70 เพิ่มขึ้น 5.4% หลังผ่านการฆ่าเชื้อมีความหนืดเพิ่มขึ้น แต่ซูปสูตรนี้มีลักษณะปรากฏเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด มีความหนืดค่อนข้างมาก และให้ความรู้สึกเรียบเนียนขณะอยู่ในปากมากที่สุด ดังนั้นจึงได้รับคะแนนความพึงพอใจสูงสุด และเลือกเป็นสูตรที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัย

4.4.3 เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและทางจุลชีววิทยาของซูปหอยเป่าอื้อก่อนและหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ

4.4.3.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

4.4.3.1.1 ความหนืดของซูปหอยเป่าอื้อ

จากการวัดสมบัติด้านความหนืดของซูปหอยเป่าอื้อสูตรที่ใช้แป้ง Farinex® VA70 เพิ่มขึ้น 5.4% ด้วยเครื่อง Bohlin Rheometer (C – VOR, Malvern Instrument Ltd., UK) ได้ค่าความหนืดปรากฏที่อัตราเฉือน 100 s^{-1} อุณหภูมิ 25°C ของซูปก่อนและหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อเป็น $132.42 \pm 3.71 \text{ cP}$ และ $226.92 \pm 13.81 \text{ cP}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957) พบว่าสมบัติด้านความหนืดของซูปก่อนและหลังผ่านการฆ่าเชื้อมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยซูปหลังการฆ่าเชื้อมีความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของแป้งคัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางที่มีอัตราการพองตัวและการเกิดเจลลิตในซัลดลง จะเกิดความหนืดต่ำในช่วงแรกของการฆ่าเชื้อ ช่วยให้การนำความร้อนของผลิตภัณฑ์เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาในการฆ่าเชื้อสั้นลง และจะได้ความหนืดของผลิตภัณฑ์ตามต้องการเมื่อผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง (กล้านรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

4.4.3.1.2 สีของเนื้อหอยเป่าอื้อและซูปหอยเป่าอื้อ

จากการวัดสีของเนื้อหอยเป่าอื้อและซูปหอยเป่าอื้อก่อนและหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ โดยใช้ระบบ Hunter (L, a, b) ด้วยเครื่อง Minolta Chroma meter (CR 300 Series, Minolta, Tokyo, Japan) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957) พบว่าเนื้อหอยเป่าอื้อหลังผ่านการฆ่าเชื้อมีค่าความสว่างลดลง ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากส่วนประกอบในการเตรียมซูปมีซีอิ๊วดำและซีอิ๊วขาว เกิดการแพร่ของสีระหว่างเนื้อหอยเป่าอื้อและซูป ทำให้สีของเนื้อหอยเป่าอื้อเข้มขึ้น นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล

แบบไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymatic browning หรือ Maillard reaction) ซึ่งเกิดระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนที่มีอยู่ในเนื้อหอยเป่าฮื้อ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chiou, Tsai และ Lan (2004) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีของเนื้อหอยเป่าฮื้อสายพันธุ์ไต้หวัน (*H. diversicolor*) ในการต้มที่ 80 และ 98°C เป็นเวลา 0 – 120 นาที พบว่าเนื้อหอยเป่าฮื้อหลังต้มมีสีเข้มขึ้นและมีสีเหลืองมากขึ้นตามอุณหภูมิการต้มที่เพิ่มขึ้น และรายงานว่าการเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช่เอนไซม์ระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโน โดยเฉพาะ taurine และ alanine ซึ่งเป็นกรดอะมิโนอิสระที่มีมากในเนื้อหอยเป่าฮื้อและเป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าว เช่นเดียวกับรายงานของ Kawashima และ Yamanaka (1996) ที่พบว่าเนื้อหอย scallop (*Patinopekten yessoensis*) เกิดสีน้ำตาลขึ้นหลังผ่านการให้ความร้อน เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช่เอนไซม์ระหว่าง sugar phosphate โดยเฉพาะ glucose-6-phosphate กับกรดอะมิโน เช่น taurine และ alanine ซึ่งปริมาณ glucose-6-phosphate มีความสัมพันธ์กับการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อหอยเป็นอย่างมาก

ตารางที่ 4.9 สีของซूपและเนื้อหอยเป่าฮื้อก่อนและหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ

ค่าด้านสี	เนื้อหอยเป่าฮื้อ		ซूपหอยเป่าฮื้อ	
	ก่อนการฆ่าเชื้อ	หลังการฆ่าเชื้อ	ก่อนการฆ่าเชื้อ	หลังการฆ่าเชื้อ
ค่า L	65.26 ^A ± 1.42	59.52 ^B ± 0.60	28.29 ^a ± 0.39	34.36 ^b ± 0.51
ค่า a	-0.88 ^A ± 0.27	1.07 ^B ± 0.19	-0.96 ^{ns} ± 0.09	-0.90 ^{ns} ± 0.14
ค่า b	9.37 ^A ± 1.29	15.25 ^B ± 0.98	-0.26 ^a ± 0.10	0.57 ^b ± 0.17

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

A, B กับ a, b ตัวอักษรต่างกันในแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4.3.1.3 เนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อ

จากการวัดสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อด้วยเครื่อง

Instron Texture Analyzer (5565, Instron, USA) ใช้หัววัดแบบใบมีดตัด (Warner – Bratzler Meat Shear Blade) อัตราเร็วของใบมีดคงที่ 2.0 มิลลิเมตร/วินาที ตามวิธีของสิรินทรา บุญสำเร็จ (2544) ได้ค่าแรงต้านทานการตัดขาด (cutting force) ของเนื้อหอยเป่าฮื้อก่อนและหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อเป็น $1,583.97 \pm 137.25$ gf และ 485.08 ± 65.88 gf ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957) พบว่าเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อก่อนและหลังการฆ่าเชื้อมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เนื้อหอยเป่าฮือดิบมีลักษณะพิเศษคือมีเนื้อสัมผัสที่เหนียว

พอเหมาะ แต่เมื่อผ่านการให้ความร้อนสมบัติด้านเนื้อสัมผัสจะเปลี่ยนไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในกล้ามเนื้อ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าหลังผ่านการฆ่าเชื้อเนื้อหอยเป่าฮือมีค่า cutting force ลดลง และมีเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีบทบาทต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้ามเนื้อหอยเป่าฮือ ได้แก่ คอลลาเจนเปลี่ยนไปเป็นเจลาติน และไมโอไฟบริลลาโปรตีน (myofibrillar protein) ซึ่งประกอบด้วยแอกติน (actin) และไมโอซิน (myosin) เสียสภาพไป ทำให้มีความเหนียวลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hatae และคณะ (1996) ที่พบว่าเนื้อหอยเป่าฮือสายพันธุ์ญี่ปุ่น (*H. discus*) มีปริมาณคอลลาเจนและค่า breaking stress ลดลงอย่างรวดเร็วหลังต้มที่ 98°C นาน 15 นาที และเมื่อต้มนานขึ้น เนื้อหอยจะนุ่มขึ้นและมีค่า breaking stress ลดลงอีก เช่นเดียวกับงานวิจัยของ James และ Olley (1971) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือ black abalone (*H. ruber* Leach) พบว่าหลังผ่านการฆ่าเชื้อ เนื้อหอยเป่าฮือบริเวณเท้าซึ่งมีปริมาณ คอลลาเจนสูง เนื้อจะนุ่มขึ้น ในขณะที่กล้ามเนื้อส่วน adductor ซึ่งมีปริมาณคอลลาเจนต่ำ เนื้อจะเหนียวขึ้น นอกจากนี้ Otwell และ Hamann (1979) ศึกษาผลของความร้อนต่อเนื้อสัมผัสของปลาหมึก (*Loligo pealei* L.) พบว่าเมื่อให้ความร้อนถึง 100°C ไมโอไฟบริลลาโปรตีนเกิดการรวมตัวและจับตัวกันแน่น มีการสูญเสียน้ำเกิดขึ้นมาก และปริมาณของเนื้อปลาหมึกลดลง และงานวิจัยของ Chiou, Tsai และ Lan (2004) ศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮือสายพันธุ์ไต้หวัน (*H. diversicolor*) ในการต้มที่ 80 และ 98°C เป็นเวลา 0 - 120 นาที พบว่าเนื้อหอยเป่าฮือหลังต้มที่อุณหภูมิ 98°C เกิดการสูญเสียน้ำและน้ำหนักมากกว่าที่ 80°C

Gao และคณะ (2001) ศึกษาการเสียดสภาพของโปรตีนกล้ามเนื้อของหอยเป่าฮือเนื่องจากความร้อนพบว่าไมโอซิน คอลลาเจน และแอกติน เกิดการเสียดสภาพที่อุณหภูมิ 51.3, 57.5, และ 68.3°C ตามลำดับ และเนื้อหอยเป่าฮือเกิดการเสียดสภาพที่อุณหภูมิ 57.5°C ซึ่งในขณะที่คอลลาเจนเกิดการหดตัว จะมีส่วนที่ละลายน้ำได้ของเส้นใยบางส่วนละลายออกมา ทำให้ความเหนียวลดลง โดยปกติเนื้อหอยเป่าฮือประกอบด้วยคอลลาเจนสูงถึง 30 - 50% ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด (Olaechea *et al.*, 1993) การเปลี่ยนแปลงของคอลลาเจนเนื่องจากความร้อนจึงมีอิทธิพลต่อเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือมาก ในขณะที่ไมโอไฟบริลลาโปรตีนแทบจะไม่มีบทบาทต่อเนื้อสัมผัสเลย ตามรายงานของ Ochiai และคณะ (1985) ที่พบว่าเนื้อหอย turban shell (*Batillus cornutus*) ส่วน visceral ซึ่งมีปริมาณไมโอไฟบริลลาโปรตีนสูงและมีคอลลาเจนต่ำ หลังต้มที่ 30 - 100°C นาน 30 นาที เนื้อหอยมีค่า toughness ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง ในขณะที่เนื้อบริเวณเท้ามีค่า toughness ลดลง

4.4.3.2 วิเคราะห์สมบัติทางจุลชีววิทยา

จากการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count), flat sour, *Thermophilic anaerobe* และ *Putrefactive* ตามวิธีของ มอก.335 เล่ม 1 (2523) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ปริมาณจุลินทรีย์ของซูปหอยเป่าฮือก่อนและหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ

ชนิดจุลินทรีย์	ก่อนการฆ่าเชื้อ	หลังการฆ่าเชื้อ
total plate count (โค โคลีนีค็อกกรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ
flat sour	พบ	ไม่พบ
<i>Thermophilic anaerobes</i>	ไม่พบ	ไม่พบ
<i>Putrefactive anaerobes</i>	ไม่พบ	ไม่พบ

จากตารางที่ 4.10 จะเห็นว่าตรวจพบ flat sour ในผลิตภัณฑ์ก่อนการฆ่าเชื้อ แต่ไม่พบจุลินทรีย์ทั้งหมด, flat sour, *Thermophilic anaerobes* และ *Putrefactive anaerobes* ในผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป่าฮือที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว แสดงว่ากระบวนการฆ่าเชื้อเพียงพอต่อการทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2523) และผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

แบคทีเรียที่สำคัญในกลุ่ม flat sour คือ *B. stearothermophilus* เป็นแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการเน่าเสียแบบมีกรดเกิดขึ้นแต่ไม่มีก๊าซ และไม่ทำให้ลักษณะภายนอกของกระป๋องเปลี่ยนไป ซึ่งโดยปกติพบทั่วไปในดิน น้ำ หรือพืช จากการทดลองพบ flat sour ในผลิตภัณฑ์ปรุงสุกก่อนการฆ่าเชื้อ อาจมีการปนเปื้อนมาจากส่วนผสม เช่น น้ำตาล แป้ง และเครื่องเทศ เป็นต้น (ปริยา วิบูลย์เศรษฐ์, 2538)

แบคทีเรียกลุ่ม *Putrefactive anaerobes* ได้แก่ *C. botulinum*, *C. sporogenes* และ *C. perfringens* ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้ทำให้เกิดการเน่าเสียแบบมีกลิ่นเหม็นและมีก๊าซเกิดขึ้น ทำให้กระป๋องบวม (มัทนา แสงจินดาวงษ์, 2545) โดยมี *C. botulinum* เป็นแบคทีเรียที่สำคัญที่สุดในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำ เนื่องจากสามารถสร้างสารพิษที่อันตรายมาก สปอร์ของเชื้อ *C. botulinum* สามารถพบได้ทั่วไปทั้งในดิน ชายฝั่งทะเล น้ำทะเล บ่อปลา และระบบทางเดินอาหารของสัตว์ ดังนั้นวัตถุดิบที่มาจากทะเล สวน/ไร่ หรือสัตว์ที่อยู่กับดิน มีโอกาสปนเปื้อนได้ทั้งสิ้น (ปริยา วิบูลย์เศรษฐ์, 2538) ในงานวิจัยนี้อาจมีเชื้อปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ เช่น จิงแก่ หอมใหญ่ กระดุกหมู/ไก่ และหอยเป่าฮือ เป็นต้น แต่ในกระบวนการผลิตได้คัดเลือกใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพ ล้างทำความสะอาดเพียงพอ และขั้นตอนการผลิตมีการปฏิบัติงานอย่างถูก

สัญลักษณ์ อีกทั้งในขั้นตอนการเตรียมน้ำสต็อกมีการต้มนาน 2 ชั่วโมง จึงช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อได้ด้วย นอกจากนี้ *C. botulinum* ไม่เจริญที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5°C ยกเว้น *C. botulinum* ชนิด E ไม่เจริญที่อุณหภูมิต่ำกว่า 3.3°C (นภาพร เชี่ยวชาญ, 2548) ซึ่งในงานวิจัยนี้เก็บรักษาหอยเป่าฮือที่อุณหภูมิ -18°C สามารถยับยั้งการเจริญของ *C. botulinum* ได้ จึงอาจส่งผลให้ไม่พบเชื้อกลุ่ม *Putrefactive anaerobes* ในผลิตภัณฑ์ปรุงสุกก่อนการมาเชื้อ

4.5 ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือในรีทอร์ตแพช

4.5.1 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือ โดยประเมินการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ (acceptance tests) ในด้านความหนืดและสีของหอยเป่าฮือ เนื้อสัมผัสและสีของเนื้อหอยเป่าฮือ และกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิเร่ง 55 และ 65°C โดยใช้เกณฑ์ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์เมื่อคะแนนการยอมรับเฉลี่ยต่ำกว่า 5 คะแนน (Poole *et al.*, 1990) เพื่อทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957) ได้ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.11 – 4.12

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสแสดงการยอมรับของผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55°C

คุณลักษณะ	เวลา (สัปดาห์)								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
กลิ่น	8.07 ^a ±0.70	7.47 ^b ±0.83	6.87 ^c ±0.64	6.53 ^{cd} ±0.92	6.13 ^{de} ±0.74	5.93 ^e ±0.70	5.33 ^f ±0.72	5.07 ^f ±0.70	4.27 ^g ±0.70
ความหนืด	7.80 ^a ±0.41	6.53 ^b ±0.52	6.47 ^b ±0.92	6.07 ^{bc} ±0.96	5.67 ^{cd} ±0.49	5.33 ^{de} ±0.72	5.13 ^e ±0.74	4.47 ^f ±0.64	4.53 ^f ±0.74
เนื้อสัมผัส	8.00 ^a ±0.76	7.13 ^b ±1.06	6.73 ^b ±0.80	5.80 ^c ±0.77	5.13 ^d ±0.74	4.60 ^{de} ±0.74	4.40 ^{ef} ±0.83	3.93 ^f ±0.80	3.07 ^g ±0.96
สีซูป	8.33 ^a ±0.62	7.33 ^b ±0.90	7.20 ^{bc} ±0.68	6.67 ^c ±0.72	6.07 ^d ±0.80	5.73 ^d ±0.70	5.53 ^d ±0.74	4.93 ^e ±0.80	3.20 ^f ±1.26
สีเนื้อหอย	7.73 ^a ±0.80	6.60 ^b ±0.63	5.33 ^c ±0.82	4.73 ^d ±0.88	4.07 ^e ±0.70	3.73 ^e ±0.96	3.13 ^f ±0.92	3.00 ^f ±0.85	2.40 ^g ±0.83

a, b, c,... ตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.11 จะเห็นว่าผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55°C ในด้านสีของเนื้อหอยเป่าอื้อเป็นอันดับแรกเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ตามด้วยด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าอื้อ ความหนืดและสีของซूप และกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ที่เวลา 5, 7 และ 8 สัปดาห์ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสแสดงการยอมรับของผลิตภัณฑ์ซूपหอยเป่าอื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 65°C

คุณลักษณะ	เวลา (สัปดาห์)					
	0	1	2	3	4	5
กลิ่น	8.07 ^a ±0.70	6.67 ^b ±0.98	6.33 ^{bc} ±0.72	5.87 ^{cd} ±0.64	5.40 ^{de} ±0.74	4.93 ^e ±0.70
ความหนืด	7.80 ^a ±0.41	7.07 ^b ±0.88	6.07 ^c ±0.96	5.33 ^d ±0.82	4.67 ^e ±0.98	3.87 ^f ±0.83
เนื้อสัมผัส	8.00 ^a ±0.76	6.73 ^b ±0.70	5.80 ^c ±0.86	4.07 ^d ±0.96	3.67 ^{de} ±0.90	3.13 ^e ±0.74
สีซूप	8.33 ^a ±0.62	7.27 ^b ±0.88	7.07 ^b ±1.03	5.80 ^c ±0.56	4.93 ^d ±0.80	4.27 ^e ±0.80
สีหอย	7.73 ^a ±0.80	5.40 ^b ±0.83	4.27 ^c ±1.22	3.80 ^{cd} ±0.68	3.47 ^{de} ±0.64	2.93 ^e ±0.80

a, b, c,... ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.12 จะเห็นว่าผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 65°C ในด้านสีของเนื้อหอยเป่าอื้อเป็นอันดับแรกเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ตามด้วยด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าอื้อ ความหนืดและสีของซूप และกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ที่เวลา 3, 4 และ 5 สัปดาห์ตามลำดับ

เมื่อทราบเวลาที่ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพที่อุณหภูมิเร่งทั้ง 2 อุณหภูมิ แล้วใช้สมการ Q_{10} ดังสมการที่ 4.1 และ 4.2 (Labuza and Schmidl, 1985) ทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) โดยการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะต้องเป็นการเปลี่ยนแปลงที่อธิบายได้ด้วยทฤษฎีจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับที่ศูนย์ (zero - order) หรืออันดับที่หนึ่ง (first - order) จึงจะทำนายอายุการเก็บด้วยสมการ Q_{10} ได้ (Labuza, 1984)

$$Q_{10} = \frac{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T}{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T + 10} = \frac{\theta_s(T)}{\theta_s(T+10)} \quad (4.1)$$

$$Q_{10}^{\Delta T/10} = \frac{\theta_s(T_1)}{\theta_s(T_2)} \quad ; T_2 > T_1, \Delta T = T_2 - T_1 \quad (4.2)$$

ด้านสีของเนื้อหอยเป่าฮื้อ

อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55°C เป็น 3 สัปดาห์ และที่อุณหภูมิ 65°C เป็น 2 สัปดาห์
คำนวณ Q_{10} ตามสมการที่ 4.1 ได้ 1.5 และทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25°C ตาม
สมการที่ 4.2 ได้ 10.13 สัปดาห์

ด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อ

อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55°C เป็น 5 สัปดาห์ และที่อุณหภูมิ 65°C เป็น 3 สัปดาห์
คำนวณ Q_{10} ตามสมการที่ 4.1 ได้ 1.67 และทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25°C ตาม
สมการที่ 4.2 ได้ 23.15 สัปดาห์

ด้านความหนืดและสีของซूप

อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55°C เป็น 7 สัปดาห์ และที่อุณหภูมิ 65°C เป็น 4 สัปดาห์
คำนวณ Q_{10} ตามสมการที่ 4.1 ได้ 1.75 และทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25°C ตาม
สมการที่ 4.2 ได้ 37.52 สัปดาห์

ด้านกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์

อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55°C เป็น 8 สัปดาห์ และที่อุณหภูมิ 65°C เป็น 5 สัปดาห์
คำนวณ Q_{10} ตามสมการที่ 4.1 ได้ 1.6 และทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25°C ตาม
สมการที่ 4.2 ได้ 32.77 สัปดาห์

จากการทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25°C จะเห็นว่าสมบัติของ
ผลิตภัณฑ์ด้านสีของเนื้อหอยเป่าฮื้อเสื่อมเสียเป็นอันดับแรกเป็นเวลา 10.13 สัปดาห์ และเมื่อประเมิน
คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซूपหอยเป่าฮื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 – 28°C)
ทุก 2 สัปดาห์ ได้ผลสอดคล้องกันคือ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ผู้ทดสอบยังยอมรับ
ผลิตภัณฑ์ในทุกด้านแต่คุณภาพด้านสีของหอยเป่าฮื้อได้รับการยอมรับต่ำที่สุด และมีแนวโน้มจะ
เสื่อมเสียเป็นอันดับแรกเช่นกัน แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่อุณหภูมิห้อง
ดังตารางที่ 4.13 ดังนั้นหากจะมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ซूपหอยเป่าฮื้อมี
คุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น จึงควรให้ความสำคัญในด้านสีของเนื้อหอยเป่าฮื้อเป็น
อันดับแรก โดยจะกล่าวถึงแนวทางในการปรับปรุงในภายหลัง

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสแสดงการยอมรับของ
ผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป่าฮือที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

คุณลักษณะ	เวลา (สัปดาห์)			
	0	2	4	6
กลิ่น ^{ns}	8.07 ± 0.70	7.87 ± 0.74	8.00 ± 0.53	7.73 ± 0.59
ความหนืด	7.80 ^{ab} ± 0.41	7.73 ^{ab} ± 0.46	7.47 ^a ± 0.52	7.53 ^b ± 0.52
เนื้อสัมผัส ^{ns}	8.00 ± 0.76	7.87 ± 0.64	8.07 ± 0.70	7.93 ± 0.80
สีซูป ^{ns}	8.33 ± 0.62	8.20 ± 0.56	8.27 ± 0.59	8.13 ± 0.64
สีหอย ^{ns}	7.73 ± 0.80	7.40 ± 0.83	7.53 ± 0.52	7.33 ± 0.62

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

a และ b ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.5.2 คุณภาพทางกายภาพ

4.5.2.1 สมบัติด้านความหนืดของซูปหอยเป่าฮือ

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านความหนืดซูปหอยเป่าฮือที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55 และ 65°C โดยวัดความหนืดของซูปหอยเป่าฮือด้วยเครื่อง Bohlin Rheometer (C – VOR, Malvern Instrument Ltd., UK) ได้ค่าความหนืดปรากฏที่อัตราเฉือน 100 s⁻¹ อุณหภูมิ 25°C วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957) แสดงผลดังตารางที่ 4.14

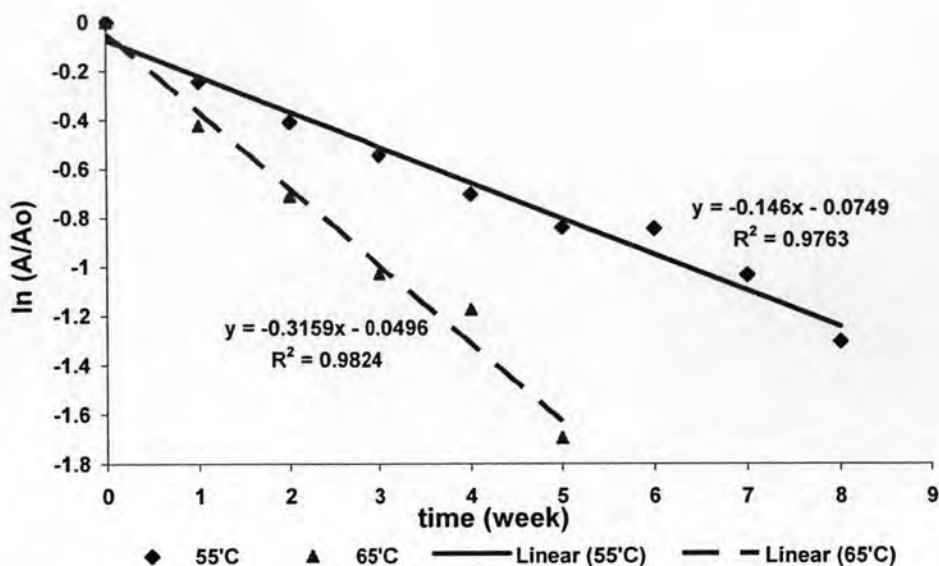


ตารางที่ 4.14 ความหนืดปรากฏที่อัตราเฉือน 100 s^{-1} ของซูปหอยเป่าอื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55 และ 65°C

เวลา (สัปดาห์)	55°C	65°C
0	$226.92^{\text{A}} \pm 13.81$	$226.92^{\text{a}} \pm 13.81$
1	$177.76^{\text{B}} \pm 11.96$	$148.65^{\text{b}} \pm 5.22$
2	$150.86^{\text{C}} \pm 10.63$	$111.35^{\text{c}} \pm 10.5$
3	$131.44^{\text{D}} \pm 7.23$	$81.07^{\text{d}} \pm 8.63$
4	$112.11^{\text{E}} \pm 7.69$	$70.06^{\text{e}} \pm 7.49$
5	$97.89^{\text{F}} \pm 6.80$	$41.61^{\text{f}} \pm 3.82$
6	$97.40^{\text{F}} \pm 11.21$	–
7	$80.65^{\text{G}} \pm 9.18$	–
8	$61.59^{\text{H}} \pm 3.50$	–

A, B, C,... กับ a, b, c,... ตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.14 จะเห็นว่าความหนืดของซูปมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้ง 2 อุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิ 65°C ซูปมีความหนืดลดลงเร็วกว่าที่ 55°C ซึ่งความหนืดของซูปที่ลดลงนี้อาจเป็นผลของการเกิดแรงขับ (driving force) จากความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ระหว่างเนื้อหอยเป่าอื้อกับตัวซูป ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารขึ้น ซึ่งตัวซูปมีความเข้มข้นสูงกว่า น้ำจากเนื้อหอยเป่าอื้อจึงแพร่ออกมาสู่ตัวซูป ดังนั้นที่อุณหภูมิสูงกว่าจะเร่งให้เกิดแรงขับนี้สูงกว่า ทำให้ความหนืดของซูปที่อุณหภูมิ 65°C ลดลงเร็วกว่าที่ 55°C และเมื่อพิจารณาที่เวลา 7 และ 4 สัปดาห์ ของอุณหภูมิ 55 และ 65°C ตามลำดับ ซึ่งเป็นเวลาที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านความหนืดของซูป จะเห็นว่าความหนืดของซูปทั้ง 2 อุณหภูมิใกล้เคียงกัน แสดงว่าผู้ทดสอบเริ่มไม่ยอมรับซูปที่ความหนืดระดับนี้ และแสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของซูป 2 อุณหภูมิ ดังรูปที่ 4.4 โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่อธิบายได้ด้วยทฤษฎีจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง (first order) (Labuza, 1984) ซึ่ง A_0 คือ ความหนืดของซูปเริ่มต้นที่ 0 สัปดาห์ ส่วน A คือความหนืดของซูปที่เวลาใดๆ



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดปรากฏของซูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55°C และ 65°C

เมื่อวัดสมบัติด้านความหนืดของผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป่าฮือที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 – 28°C) เป็นเวลา 6 สัปดาห์ แสดงผลดังตารางที่ 4.15 จะเห็นว่าความหนืดของซูปหอยเป่าฮือมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเป็นผลของแรงขับจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างเนื้อหอยเป่าฮือกับตัวซูป ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารขึ้น ซึ่งตัวซูปมีความเข้มข้นสูงกว่า น้ำจากเนื้อหอยเป่าฮือจึงแพร่ออกมาสู่ตัวซูป และเมื่อพิจารณาซูปที่ไม่ใส่เนื้อหอยเป่าฮือ จะเห็นว่าความหนืดของซูปค่อนข้างมีเสถียรภาพที่ดี ความหนืดของซูปไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตลอด 6 สัปดาห์ แสดงว่าแป้งคัดแปรที่เลือกใช้สามารถรักษาเสถียรภาพของความหนืดได้ดี ดังนั้นหากจะปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อรักษาเสถียรภาพของความหนืดซูปหอยเป่าฮือ ควรจะสนใจที่การเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อหอย เช่น เพิ่มขั้นตอนการแช่เนื้อหอยเป่าฮือในสารละลายฟอสเฟต ดังรายงานของ Kolodziejaska, Sikorski และ Sadowska (1987) ที่แช่ปลาหมึก (*Illex argentinus*) ในสารละลาย polyphosphate ความเข้มข้น 1, 2 และ 3% ที่อุณหภูมิ 2°C นาน 18 ชั่วโมง ก่อนต้มที่อุณหภูมิ 100°C นาน 45 นาที พบว่าเมื่อความเข้มข้นสารละลายเพิ่มขึ้น ปลาหมึกมีเนื้อสัมผัสนุ่มลง (ค่า shear force ลดลง) มีความชุ่มน้ำเพิ่มขึ้นและมี cooking loss ลดลง โดยความเข้มข้นสารละลายที่เหมาะสมที่สุดคือ 2% ซึ่งให้เนื้อสัมผัสปลาหมึกที่นุ่มและมีความชุ่มน้ำมากที่สุด ในขณะที่มี cooking loss ต่ำสุด

ตารางที่ 4.15 ความหนืดปรากฏที่อัตราเลื่อน 100 s⁻¹ ของซูปหอยเป่าอื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่างซูป	เวลา (สัปดาห์)			
	0	2	4	6
ซูปหอยเป่าอื้อ	226.92 ^a ±13.81	214.50 ^a ±17.97	183.09 ^b ±11.05	171.74 ^b ±14.80
ซูป (ไม่ใส่หอย) ^{ns}	517.85 ±17.01	—	—	532.41 ±12.53

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

a และ b ตัวอักษรต่างกันในแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.5.2.2 สมบัติด้านสีของเนื้อหอยเป่าอื้อและซูปหอยเป่าอื้อ

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีของเนื้อหอยเป่าอื้อและซูปหอยเป่าอื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55 และ 65°C โดยใช้ระบบ Hunter (L, a, b) ด้วยเครื่อง Minolta Chroma meter (CR 300 Series, Minolta, Tokyo, Japan) และคำนวณความแตกต่างของสีเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ 0 สัปดาห์ (ΔE) ตามสมการที่ 4.3 (Hunter, 1975 cited in Ochoa, 1999) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957) แสดงผลดังตารางที่ 4.16 – 4.19

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (4.3)$$

ตารางที่ 4.16 สีของเนื้อหอยเป่าซึ่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55°C

ค่าด้านสี	เวลา (สัปดาห์)								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ค่า L	59.52 ^a ±0.60	54.93 ^b ±0.86	53.57 ^c ±1.45	52.39 ^{cd} ±1.76	51.91 ^d ±1.62	47.57 ^e ±2.55	45.83 ^f ±1.30	45.46 ^f ±1.06	45.67 ^f ±1.11
ค่า a	1.07 ^a ±0.19	2.52 ^b ±0.47	2.39 ^b ±0.56	2.61 ^b ±0.59	3.45 ^c ±0.58	3.64 ^c ±0.78	3.50 ^c ±0.59	3.96 ^c ±0.48	4.71 ^d ±0.66
ค่า b	15.25 ^{ab} ±0.98	16.02 ^a ±1.86	15.71 ^a ±2.03	14.18 ^{bc} ±1.37	14.78 ^{abc} ±1.22	13.80 ^c ±1.69	11.37 ^d ±1.22	9.75 ^e ±1.29	9.85 ^e ±0.95
ΔE	0	11.86	18.67	27.20	31.88	75.81	104.17	118.12	117.11

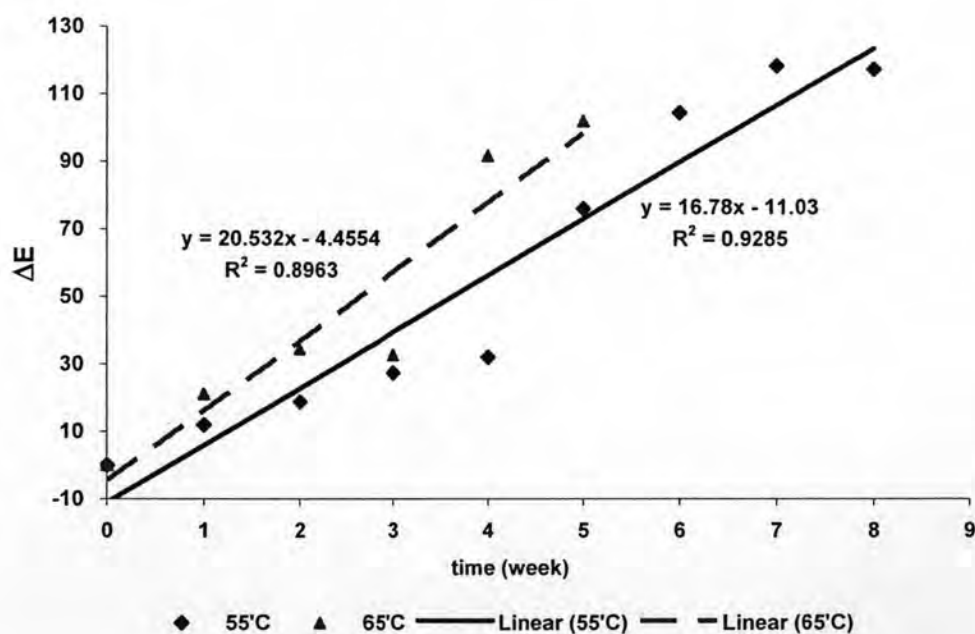
a, b, c,... ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.17 สีของเนื้อหอยเป่าซึ่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 65°C

ค่าด้านสี	เวลา (สัปดาห์)					
	0	1	2	3	4	5
ค่า L	59.52 ^a ±0.60	53.39 ^b ±1.84	51.82 ^b ±1.47	52.14 ^b ±2.72	46.49 ^c ±1.33	45.93 ^c ±1.52
ค่า a	1.07 ^a ±0.19	2.90 ^b ±0.43	4.03 ^{cd} ±0.74	3.75 ^c ±0.63	4.34 ^{de} ±0.49	4.62 ^e ±0.56
ค่า b	15.25 ^a ±0.98	14.27 ^{ab} ±1.77	14.41 ^{ab} ±1.16	13.38 ^b ±2.17	13.72 ^{ab} ±1.60	12.75 ^b ±2.05
ΔE	0	20.98	34.40	32.61	91.46	101.79

a, b, c,... ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.16 และ 4.17 จะเห็นว่าสีของเนื้อหอยเป่าอ้อมีค่า L และค่า b ลดลง ส่วนค่า a เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้ง 2 อุณหภูมิ คือเนื้อหอยเป่าอ้อมีความสว่างลดลง ความเป็นสีแดงและสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 65°C สีของเนื้อหอยเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าที่ 55°C อาจเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่าปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์จะเกิดได้มากกว่า (Chiou, Tsai and Lan, 2004) นอกจากนี้เนื้อหอยเป่าอ้อมที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนยังสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำเงิน (bluing reaction) ที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน biuret complex ซึ่งเกิดจากทองแดง หรือปฏิกิริยาระหว่าง hemocyanin ที่มีอยู่ในเลือดสัตว์ทะเลพวก crustacean และ mollusca ซึ่งมีทองแดงเป็นองค์ประกอบ กับ tyrosine เกิดเป็นสารประกอบของทองแดงที่ให้สีน้ำเงิน (Boon, 1975) เมื่อพิจารณาสีของเนื้อหอยเป่าอ้อมที่เวลา 3 และ 2 สัปดาห์ ของอุณหภูมิ 55 และ 65°C ตามลำดับ ซึ่งเป็นเวลาที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านสีของเนื้อหอยเป่าอ้อม จะเห็นว่าค่าความแตกต่างของสีเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ 0 สัปดาห์ (ΔE) ของเนื้อหอยทั้ง 2 อุณหภูมิใกล้เคียงกัน แสดงว่าผู้ทดสอบเริ่มไม่ยอมรับสีของเนื้อหอยเป่าอ้อมที่ระดับนี้ และได้แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE ของเนื้อหอยเป่าอ้อม 2 อุณหภูมิดังรูปที่ 4.5 โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่อธิบายได้ด้วยทฤษฎีจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับที่ศูนย์ (zero order) (Labuza, 1984)



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อหอยเป่าอ้อมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55°C และ 65°C

ตารางที่ 4.18 สีของซูปหอยเป่าฮื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55°C

ค่าด้านสี	เวลา (สัปดาห์)								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ค่า L	34.36 ^a ±0.51	34.50 ^a ±0.56	33.46 ^b ±0.86	32.82 ^{bc} ±0.94	32.55 ^{cd} ±0.86	32.40 ^{cd} ±1.43	32.17 ^{cd} ±0.78	32.59 ^{cd} ±0.43	31.96 ^d ±0.62
ค่า a	-0.90 ^b ±0.14	-1.19 ^a ±0.17	-1.12 ^a ±0.21	-0.93 ^b ±0.23	-0.86 ^b ±0.09	-0.80 ^b ±0.18	-0.92 ^b ±0.16	-0.89 ^b ±0.15	-0.56 ^c ±0.15
ค่า b	0.57 ^a ±0.17	1.18 ^b ±0.34	1.77 ^{cde} ±0.26	1.87 ^{def} ±0.25	1.60 ^{cd} ±0.41	1.93 ^{ef} ±0.51	1.49 ^c ±0.34	2.16 ^f ±0.32	2.10 ^f ±0.24
ΔE	0	0.24	1.15	2.02	2.16	2.84	2.82	2.83	4.12

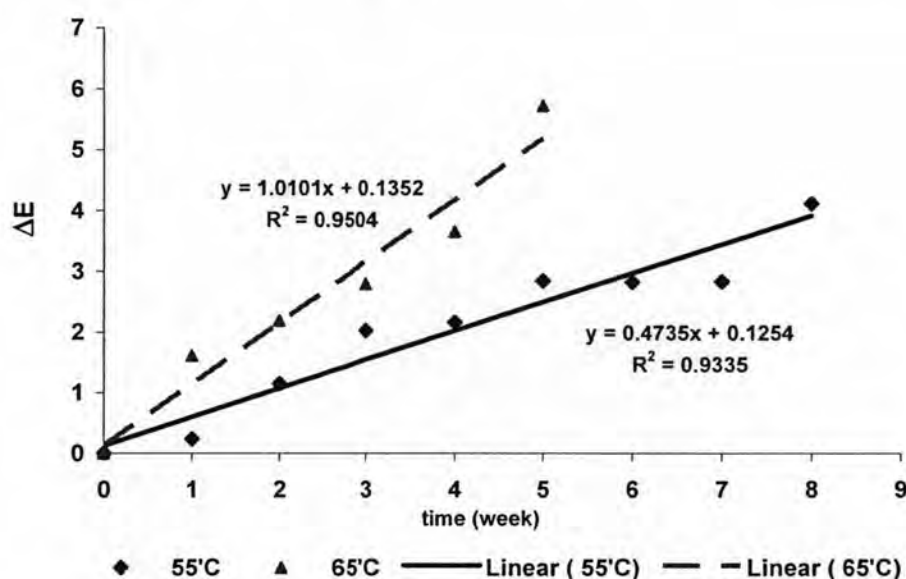
a, b, c,... ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.19 สีของซูปหอยเป่าฮื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 65°C

ค่าด้านสี	เวลา (สัปดาห์)					
	0	1	2	3	4	5
ค่า L	34.36 ^a ±0.51	32.70 ^b ±1.28	32.46 ^b ±0.43	32.40 ^b ±0.73	31.94 ^{bc} ±0.70	31.47 ^c ±1.39
ค่า a	-0.90 ^b ±0.14	-0.99 ^{ab} ±0.16	-1.10 ^a ±0.13	-0.95 ^b ±0.16	-0.71 ^c ±0.13	-0.65 ^c ±0.15
ค่า b	0.57 ^a ±0.17	1.25 ^b ±0.34	1.42 ^b ±0.31	1.89 ^c ±0.37	1.76 ^c ±0.44	2.31 ^d ±0.17
ΔE	0	1.61	2.19	2.79	3.65	5.72

a, b, c,... ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.18 และ 4.19 จะเห็นว่าสีของซูปหอยเป่าอ้อมีค่า L และค่า b ลดลง ส่วนค่า a เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้ง 2 อุณหภูมิ คือซูปหอยเป่าอ้อมีความสว่างลดลง ความเป็นสีแดงและสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 65°C สีของซูปเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าที่ 55°C อาจเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่า ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์เกิดได้มากกว่า (Chiou, Tsai and Lan, 2004) และเมื่อพิจารณาที่เวลา 7 และ 4 สัปดาห์ ของอุณหภูมิ 55 และ 65°C ตามลำดับ ซึ่งเป็นเวลาที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านสีของซูปหอยเป่าอ้อมี จะเห็นว่าค่าความแตกต่างของสีเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ 0 สัปดาห์ (ΔE) ของซูปทั้ง 2 อุณหภูมิใกล้เคียงกัน แสดงว่าผู้บริโภคเริ่มไม่ยอมรับสีของซูปที่ระดับนี้ และได้แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE ของซูปหอยเป่าอ้อมี 2 อุณหภูมิดังรูปที่ 4.6 โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่อธิบายได้ด้วยทฤษฎีจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับที่ศูนย์ (zero order) (Labuza, 1984)



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงสีของซูปหอยเป่าอ้อมีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55°C และ 65°C

เมื่อวัดสีของเนื้อหอยเป่าอ้อมีและซูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 – 28°C) เป็นเวลา 6 สัปดาห์ แสดงผลดังตารางที่ 4.20 และ 4.21 จะเห็นว่าสีของเนื้อหอยเป่าอ้อมีมีแนวโน้มค่า L ลดลงและค่า a เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่า b ไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และค่า ΔE มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ตัวซูปมีค่า L ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และค่า ΔE มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อหอยเกิดขึ้นชัดเจนกว่าตัวซูป เนื่องจากน้ำตาลส่วนใหญ่ในตัวซูปไม่ใช่ น้ำตาลรีดิทซ์ (ในสูตรใช้น้ำตาลทราย) ในขณะที่เนื้อหอยเป่าอ้อมีมีน้ำตาล glucose-6-phosphate และกรดอะมิโน เช่น taurine และ alanine ซึ่งพร้อมสำหรับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (Kawashima

and Yamanaka, 1996) รวมทั้งเนื้อหอยเป่าอื้อยังสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำเงิน ซึ่งจากผลการทดลองแม้ว่าค่า b จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ค่าเฉลี่ยของค่า b มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แสดงว่าเกิดสารประกอบสีน้ำเงินขึ้น ดังนั้นแนวทางในการป้องกันอาจทำได้โดยการจุ่มหรือแช่เนื้อหอยเป่าอื้อในสารละลายกรด citric หรือ EDTA ที่ทำหน้าที่เป็น metal chelator จับทองแดงไม่ให้เร่งปฏิกิริยาหรือเกิดสารประกอบทองแดงที่ให้สีน้ำเงิน ซึ่ง FDA อนุญาตให้ใช้ EDTA ได้ไม่เกิน 275 ppm (Boon, 1975)

ตารางที่ 4.20 สีของเนื้อหอยเป่าอื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ค่าด้านสี	เวลา (สัปดาห์)			
	0	2	4	6
ค่า L	59.52 ^a ± 0.60	57.73 ^b ± 2.50	55.32 ^c ± 1.47	54.43 ^c ± 1.98
ค่า a	1.07 ^a ± 0.19	1.20 ^{ab} ± 0.30	1.27 ^{ab} ± 0.24	1.40 ^b ± 0.46
ค่า b ^{ns}	15.25 ± 0.98	14.19 ± 2.05	14.05 ± 1.36	14.51 ± 1.41
ΔE	0	2.17	9.56	13.27

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

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

ตารางที่ 4.21 สีของซุ่ยหอยเป่าอื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ค่าด้านสี	เวลา (สัปดาห์)			
	0	2	4	6
ค่า L ^{ns}	34.36 ± 0.51	34.04 ± 0.71	33.83 ± 0.44	34.16 ± 0.87
ค่า a	-0.90 ^a ± 0.14	-0.95 ^a ± 0.12	-1.14 ^b ± 0.17	-1.18 ^b ± 0.22
ค่า b	0.57 ^a ± 0.17	0.81 ^b ± 0.12	1.09 ^c ± 0.16	0.71 ^b ± 0.13
ΔE	0	0.08	0.31	0.07

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

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

4.5.2.3 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮือ

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮือที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55 และ 65°C วัดสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮือด้วยเครื่อง Instron Texture Analyzer (5565, Instron, USA) ใช้หัววัดแบบใบมีดตัด (Warner – Bratzler Meat Shear Blade) อัตราเร็วของใบมีดคงที่ 2.0 มิลลิเมตร/วินาที ตามวิธีของศิรินทรา บุญสำเร็จ (2544) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957) แสดงผลดังตารางที่ 4.22

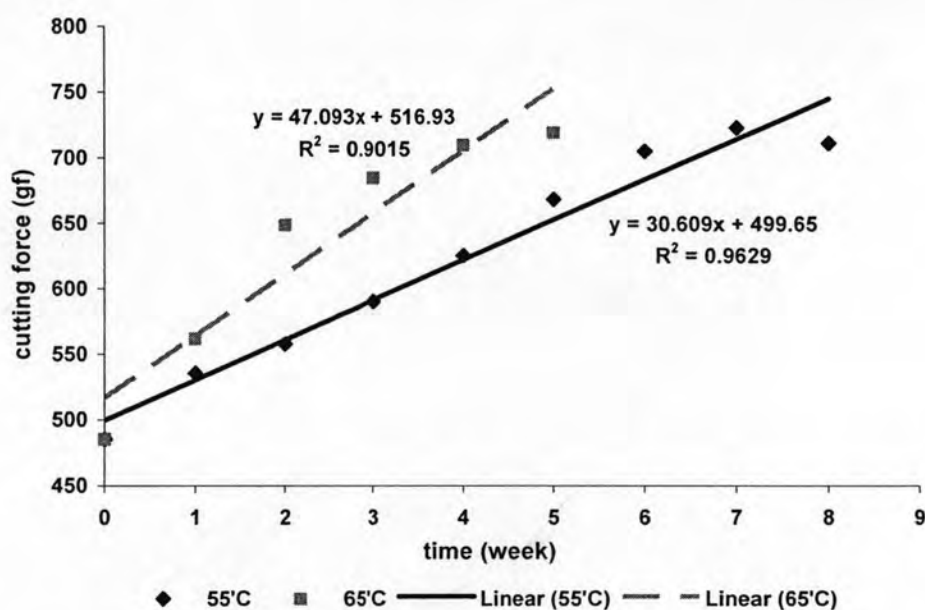
ตารางที่ 4.22 เนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮือ (cutting force; gf) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55 และ 65°C

เวลา (สัปดาห์)	55°C	65°C
0	485.08 ^A ±65.88	485.08 ^a ±65.88
1	535.30 ^{AB} ±98.55	561.70 ^{ab} ±81.39
2	557.59 ^{ABC} ±105.28	648.45 ^{bc} ±124.62
3	589.93 ^{ABC} ±140.23	684.39 ^c ±134.33
4	625.00 ^{BCD} ±117.37	709.50 ^c ±99.74
5	667.95 ^{CD} ±167.65	718.86 ^c ±76.40
6	704.58 ^D ±147.50	—
7	722.65 ^D ±114.65	—
8	710.70 ^D ±55.32	—

A, B, C,... กับ a, b, c,... ตัวอักษรต่างกันในสมรรถเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.22 จะเห็นว่าค่าแรงด้านทานการตัดขาด (cutting force) ของเนื้อหอยเป่าฮือมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้ง 2 อุณหภูมิ อาจเนื่องจากโปรตีนกล้ามเนื้อของหอยเป่าฮือ เช่น ไมโอไฟบริลลาโปรตีนซึ่งให้ความยืดหยุ่นแก่กล้ามเนื้อเสียสภาพแล้วหลังการฆ่าเชื้อ ทำให้เนื้อหอยเป่าฮือมีความยืดหยุ่นลดลง นอกจากนี้ที่ผิวของเนื้อหอยเป่าฮือมีการสูญเสียน้ำมาก มีผลให้เส้นใยไมโอไฟบริลจับตัวกันแน่น เกิดการหดตัวทำให้เนื้อสัมผัสที่ผิวมีลักษณะยึดจับกันมากขึ้นและเหนียวขึ้น (Gao *et al.*, 2001) โดยที่อุณหภูมิ 65°C ค่า cutting force เพิ่มขึ้นเร็วกว่าที่ 55°C เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่าทำให้เนื้อหอยเป่าฮือเกิดการหดตัวมากกว่า

และน้ำจากเนื้อหอยเป่าฮื้อมีการสูญเสียออกมายังตัวหุ้ปมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองด้านความเหนียวของหุ้ปในข้อ 4.5.2.1 และเมื่อพิจารณาสมบัติด้านเนื้อสัมผัสที่เวลา 5 และ 3 สัปดาห์ ของอุณหภูมิ 55 และ 65°C ตามลำดับ ซึ่งเป็นเวลาที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อ จะเห็นว่าค่า cutting force ของเนื้อหอยเป่าฮื้อทั้ง 2 อุณหภูมิใกล้เคียงกัน แสดงว่าผู้บริโภคเริ่มไม่ยอมรับเนื้อหอยเป่าฮื้อที่ระดับนี้ แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 2 อุณหภูมิ ดังรูปที่ 4.7 โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่อธิบายได้ด้วยทฤษฎีจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับที่ศูนย์ (zero order) (Labuza, 1984)



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55°C และ 65°C

เมื่อวัดสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 – 28°C) เป็นเวลา 6 สัปดาห์ แสดงผลดังตารางที่ 4.23 จะเห็นว่าค่า cutting force ของเนื้อหอยเป่าฮื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สอดคล้องกับผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ผู้ทดสอบยังยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อมากที่เวลา 6 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.13) และการทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25°C ได้นานถึง 23.15 สัปดาห์

ตารางที่ 4.23 เนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเปี้ยว (cutting force; gf) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

เวลา ^{ns} (สัปดาห์)			
0	2	4	6
485.08 ± 65.88	457.15 ± 75.69	449.68 ± 105.54	471.52 ± 59.74

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.5.3 คุณภาพทางเคมี

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์ซूपหอยเปี้ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55 และ 65°C และอุณหภูมิห้อง (25 – 28°C) โดยวิธี SPME-GC-MS โดยใช้ polydimethylsiloxane fiber (Supelco, USA) เครื่อง GC (6890N, Agilent Technologies, USA) ใช้คอลัมน์ชนิด silica capillary column HP – INNOWAX (ขนาด 30 m x 0.32 mm x 0.25 μ m) โดยมี polyethylene glycol เป็น nonpolar stationary phase (19091N – 113, Agilent Technologies, USA) และเครื่อง MS (MSD 5973, Agilent Technologies, USA) ตามวิธีในภาคผนวก ก.7 แสดงผลของผลิตภัณฑ์ซूपหอยเปี้ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55 และ 65°C ดังตารางที่ 4.24 – 4.25 และแสดง mass spectrum ของสารให้กลิ่นที่พบในผลิตภัณฑ์ซूपหอยเปี้ยวไว้ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.24 พื้นที่ใต้กราฟของสารให้กลิ่นที่พบในผลิตภัณฑ์ซุปรอบหอยเป่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55°C

สาร	retention time (นาที)	เวลา (สัปดาห์)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
กลุ่ม benzopyran ^{ns}	9.232 – 9.237	$6.13 \times 10^5 \pm$	$4.79 \times 10^5 \pm$	$4.78 \times 10^5 \pm$	$4.24 \times 10^5 \pm$	$5.20 \times 10^5 \pm$	$4.69 \times 10^5 \pm$	$3.65 \times 10^5 \pm$	$4.64 \times 10^5 \pm$	$3.23 \times 10^5 \pm$
		9.07×10^4	1.58×10^4	8.39×10^4	6.41×10^4	8.19×10^4	4.52×10^4	9.22×10^4	5.02×10^4	4.44×10^4
zingiberene ^{ns}	11.361 – 11.391	$1.02 \times 10^6 \pm$	$1.01 \times 10^6 \pm$	$9.82 \times 10^5 \pm$	$8.62 \times 10^5 \pm$	$7.80 \times 10^5 \pm$	$8.70 \times 10^5 \pm$	$6.91 \times 10^5 \pm$	$8.10 \times 10^5 \pm$	$6.98 \times 10^5 \pm$
		2.12×10^5	1.84×10^5	8.58×10^4	2.81×10^5	5.66×10^4	1.69×10^5	8.75×10^4	9.73×10^4	1.29×10^5
alpha farnesene ^{ns}	11.694 – 11.730	$7.47 \times 10^5 \pm$	$5.52 \times 10^5 \pm$	$4.97 \times 10^5 \pm$	$4.24 \times 10^5 \pm$	$5.61 \times 10^5 \pm$	$5.70 \times 10^5 \pm$	$4.56 \times 10^5 \pm$	$4.85 \times 10^5 \pm$	$2.73 \times 10^5 \pm$
		2.84×10^5	1.06×10^5	1.83×10^5	4.57×10^4	1.86×10^5	1.52×10^5	9.84×10^4	2.44×10^5	8.15×10^4
hexadecanal	15.685 – 15.697	$3.19 \times 10^{5a} \pm$	$8.43 \times 10^{5ab} \pm$	$8.94 \times 10^{5ab} \pm$	$1.18 \times 10^{6bc} \pm$	$1.12 \times 10^{6ab} \pm$	$1.61 \times 10^{6bc} \pm$	$1.28 \times 10^{6bc} \pm$	$1.46 \times 10^{6bc} \pm$	$1.75 \times 10^{6c} \pm$
และ octadecanal		1.17×10^5	1.81×10^5	3.87×10^4	1.08×10^5	3.93×10^5	5.12×10^5	8.29×10^4	6.26×10^5	4.21×10^5
กลุ่ม triazole	16.016 – 16.027	$5.65 \times 10^5 \pm$	$4.58 \times 10^5 \pm$	$4.65 \times 10^5 \pm$	$3.97 \times 10^5 \pm$	$4.86 \times 10^5 \pm$	$4.26 \times 10^5 \pm$	$3.90 \times 10^5 \pm$	$4.75 \times 10^5 \pm$	$3.58 \times 10^5 \pm$
และ imidazole ^{ns}		1.74×10^5	2.88×10^4	7.99×10^4	3.91×10^4	2.05×10^5	2.73×10^4	3.10×10^4	1.86×10^5	1.14×10^5
กลุ่ม phenol ^{ns}	17.270 – 17.329	$7.90 \times 10^5 \pm$	$6.79 \times 10^5 \pm$	$6.69 \times 10^5 \pm$	$5.81 \times 10^5 \pm$	$6.04 \times 10^5 \pm$	$6.49 \times 10^5 \pm$	$5.74 \times 10^5 \pm$	$5.83 \times 10^5 \pm$	$5.72 \times 10^5 \pm$
		3.83×10^5	1.76×10^5	9.25×10^4	6.82×10^4	1.22×10^4	1.12×10^5	9.19×10^4	1.55×10^5	9.82×10^4
pentadecanal	17.583 – 17.627	$3.12 \times 10^{5a} \pm$	$8.46 \times 10^{5ab} \pm$	$1.30 \times 10^{6bc} \pm$	$9.96 \times 10^{5b} \pm$	$1.66 \times 10^{6cd} \pm$	$2.03 \times 10^{6de} \pm$	$2.51 \times 10^{6e} \pm$	$2.30 \times 10^{6de} \pm$	$2.11 \times 10^{6de} \pm$
และ octadecanal		9.17×10^4	1.85×10^5	4.10×10^5	2.60×10^4	3.95×10^5	1.97×10^5	8.33×10^4	2.21×10^5	4.37×10^5

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

a, b, c, ... ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.25 พื้นที่ใต้กราฟของสารให้กลิ่นที่พบในผลิตภัณฑ์ซุปรอยเป่าร้อนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 65°C

สาร	retention time (นาที)	เวลา (สัปดาห์)					
		0	1	2	3	4	5
กลุ่ม benzopyran ^{ns}	9.232 – 9.237	$6.13 \times 10^5 \pm 9.07 \times 10^4$	$5.07 \times 10^5 \pm 6.24 \times 10^4$	$4.41 \times 10^5 \pm 8.50 \times 10^4$	$4.86 \times 10^5 \pm 2.28 \times 10^5$	$4.45 \times 10^5 \pm 1.04 \times 10^5$	$2.13 \times 10^5 \pm 3.26 \times 10^4$
zingiberene	11.361 – 11.391	$1.02 \times 10^6 \text{ a} \pm 2.12 \times 10^5$	$8.20 \times 10^5 \text{ ab} \pm 9.63 \times 10^4$	$5.72 \times 10^5 \text{ bc} \pm 8.77 \times 10^4$	$6.70 \times 10^5 \text{ abc} \pm 1.33 \times 10^5$	$4.71 \times 10^5 \text{ bc} \pm 1.85 \times 10^5$	$4.23 \times 10^5 \text{ c} \pm 7.74 \times 10^4$
alpha farnesene	11.694 – 11.730	$7.47 \times 10^5 \text{ a} \pm 2.84 \times 10^5$	$5.52 \times 10^5 \text{ ab} \pm 1.24 \times 10^5$	$4.03 \times 10^5 \text{ abc} \pm 1.50 \times 10^5$	$2.18 \times 10^5 \text{ bc} \pm 3.19 \times 10^4$	$2.24 \times 10^5 \text{ bc} \pm 3.66 \times 10^4$	$1.36 \times 10^5 \text{ c} \pm 4.63 \times 10^4$
hexadecanal หรือ octadecanal	15.685 – 15.697	$3.19 \times 10^5 \text{ a} \pm 1.17 \times 10^5$	$1.03 \times 10^6 \text{ b} \pm 2.01 \times 10^5$	$1.19 \times 10^6 \text{ bc} \pm 2.79 \times 10^5$	$1.26 \times 10^6 \text{ bc} \pm 3.96 \times 10^5$	$1.51 \times 10^6 \text{ bc} \pm 4.39 \times 10^4$	$1.72 \times 10^6 \text{ c} \pm 1.21 \times 10^5$
กลุ่ม triazole และ imidazole ^{ns}	16.016 – 16.027	$5.65 \times 10^5 \pm 1.74 \times 10^5$	$5.18 \times 10^5 \pm 1.35 \times 10^5$	$4.72 \times 10^5 \pm 3.68 \times 10^4$	$4.02 \times 10^5 \pm 1.69 \times 10^4$	$4.19 \times 10^5 \pm 7.20 \times 10^4$	$3.11 \times 10^5 \pm 1.24 \times 10^5$
กลุ่ม phenol ^{ns}	17.270 – 17.329	$7.90 \times 10^5 \pm 3.83 \times 10^5$	$5.38 \times 10^5 \pm 5.30 \times 10^4$	$6.04 \times 10^5 \pm 3.09 \times 10^4$	$4.10 \times 10^5 \pm 1.18 \times 10^5$	$4.53 \times 10^5 \pm 9.93 \times 10^3$	$4.44 \times 10^5 \pm 1.51 \times 10^5$
pentadecanal หรือ octadecanal	17.583 – 17.627	$3.12 \times 10^5 \text{ a} \pm 9.17 \times 10^4$	$1.35 \times 10^6 \text{ b} \pm 4.76 \times 10^5$	$1.41 \times 10^6 \text{ b} \pm 2.56 \times 10^5$	$1.79 \times 10^6 \text{ b} \pm 2.19 \times 10^5$	$1.94 \times 10^6 \text{ b} \pm 2.61 \times 10^5$	$2.13 \times 10^6 \text{ b} \pm 5.96 \times 10^5$

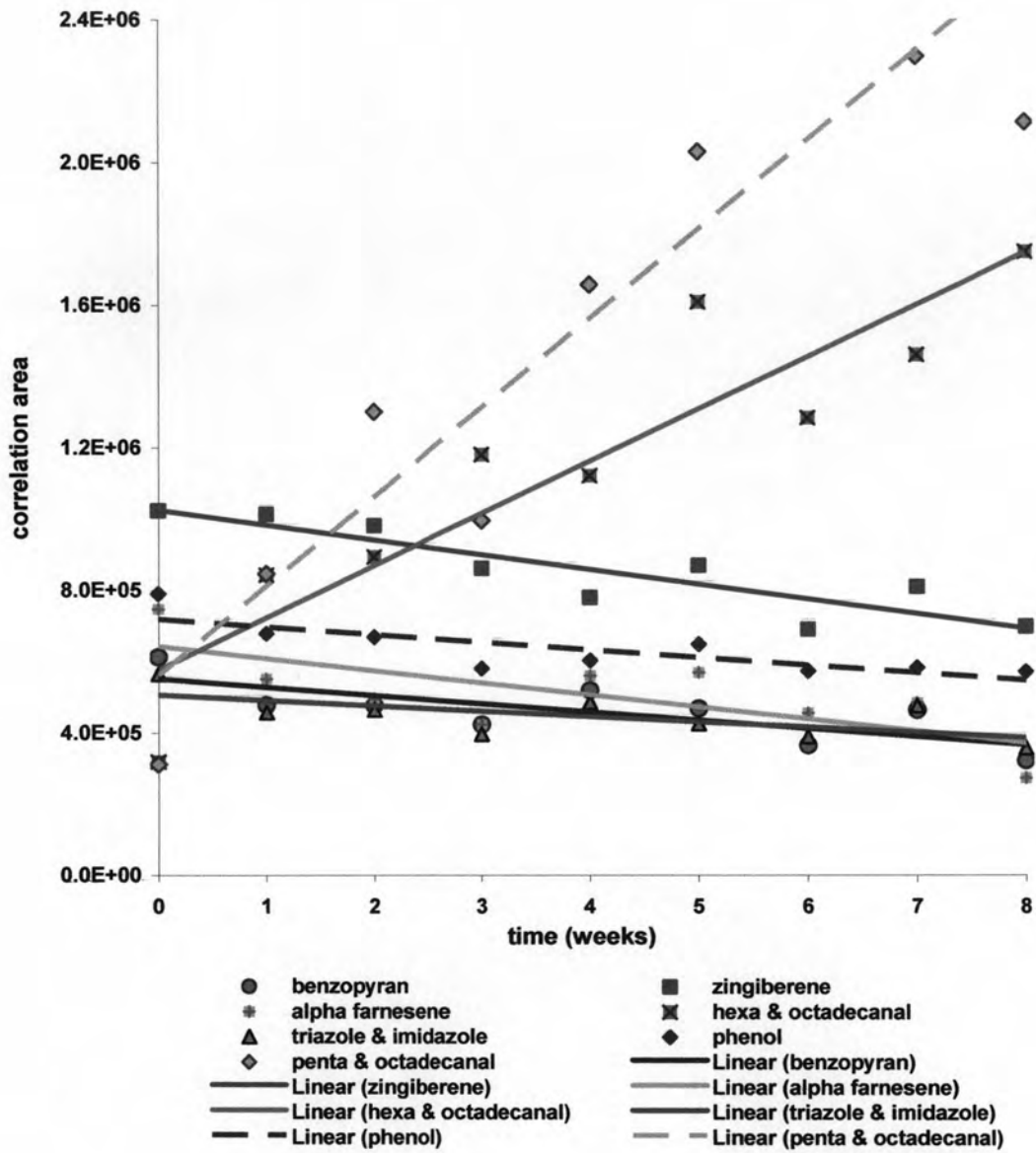
ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

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

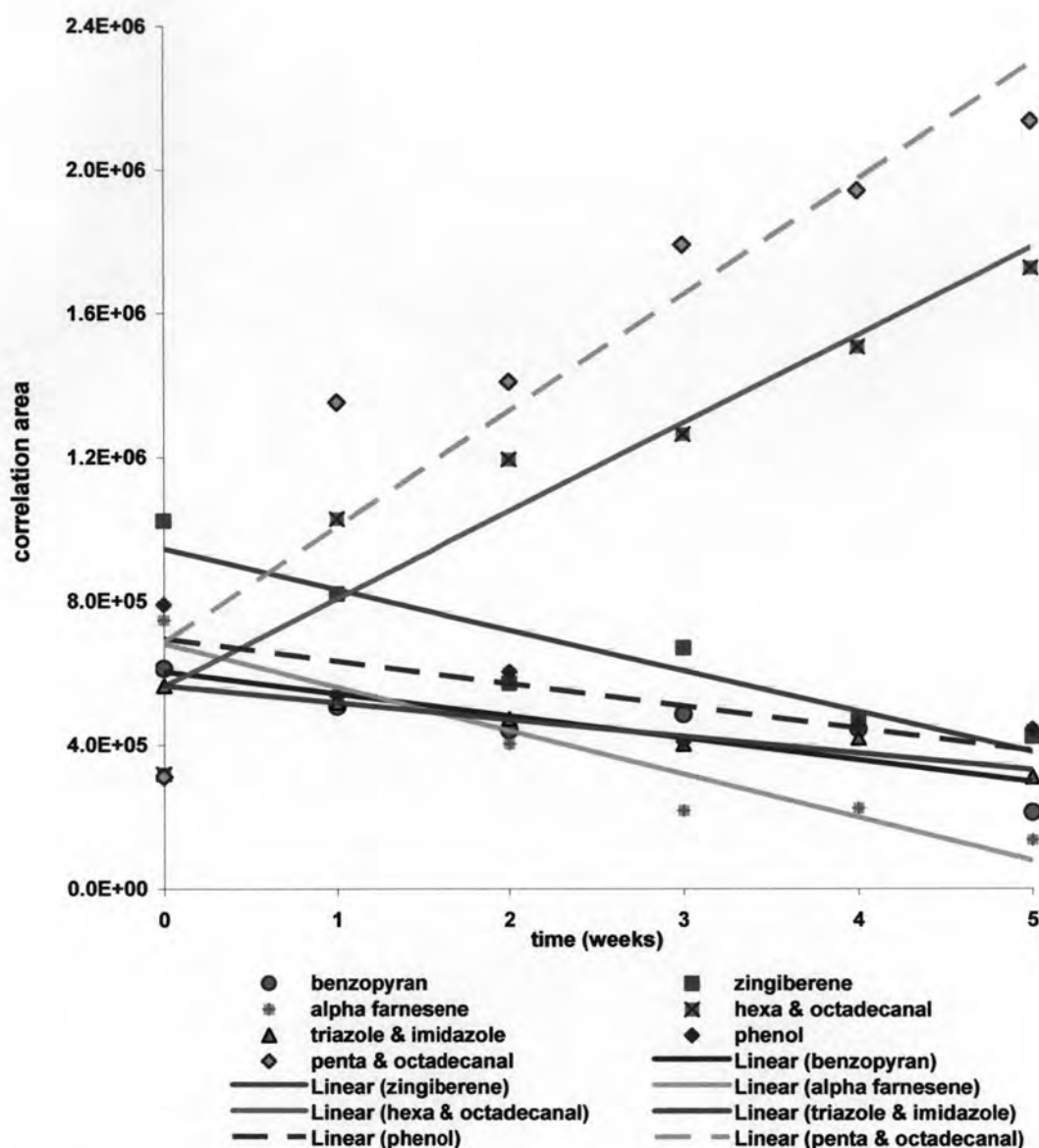
จากผลการทดลองที่ได้สามารถจำแนกองค์ประกอบที่ให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์ซุ่ยหอยเป่าอ้อได้เป็น 4 กลุ่ม คือ สารกลุ่มแรกเป็นสารที่ให้กลิ่นของซีอิ๊วขาว ตรวจพบสารกลุ่ม benzopyran ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม alcoholic สอดคล้องกับงานวิจัยของ Aishima (2004) ที่รายงานว่าสารให้กลิ่นในซอสถั่วเหลืองเป็นสารกลุ่ม alcoholic เช่น isobutyl alcohol, 2 – pentanol, furanone และ furan เป็นต้น กลุ่มที่สองสารที่ให้กลิ่นของหอยเป่าอ้อเป็นสารประกอบที่มีซัลเฟอร์และ/หรือไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (sulfur / nitrogen containing compound) เช่น กลุ่ม pyrazine, thiazole และ alkyl sulfide โดยสารที่พบในผลิตภัณฑ์คือ สารกลุ่ม thiazole และ imidazole สอดคล้องกับรายงานของ Shen, Xie และ Xu (2007) ที่ศึกษาสารให้กลิ่นในน้ำมันปลา cuttlefish (*Sepiella maindroni de Rochebruns*) พบว่ามีสารให้กลิ่นเฉพาะตัวของอาหารทะเลคือ benzothiazole และ 2 – methyl – 4 – propylthiazole และพบสารให้กลิ่นหืนได้แก่ hexanal, 1 – penten – 3 – ol และ 2, 3 – butanediol นอกจากนี้ Matiella และ Hsieh (1990) พบสารให้กลิ่นในเนื้อปู (*Callinectes sapidus*) คือ dimethyl disulfide และ 2 – methyl thiophene กลุ่มที่สามสารให้กลิ่นในขิง เช่น zingiberene, farnesene และ phenol 2,6 – bis (1,1 – dimethylethyl) – 4 – methyl (สังวาล สมบูรณ์ และคณะ, 2550) ซึ่งในผลิตภัณฑ์ซุ่ยหอยเป่าอ้อตรวจพบสารทั้ง 3 กลุ่มนี้ ส่วนกลุ่มสุดท้ายสารให้กลิ่นหืนที่พบในผลิตภัณฑ์ ได้แก่ hexadecanal, octadecanal และ pentadecanal ซึ่งเป็นสารกลุ่ม aldehyde เกิดจากการสลายตัวของ polyunsaturated fatty acid (PUFA) ที่มีอยู่ในเนื้อหอยเป่าอ้อ (Prost *et al.*, 2004; Chen and Zhang, 2006) และจากผลการทดลองที่ช่วง retention time 15.691 – 15.697 นาที ระบุว่าเป็น hexadecanal หรือ octadecanal และที่ช่วง retention time 17.619 – 17.627 นาที ระบุว่าเป็น pentadecanal หรือ octadecanal เนื่องจากสารที่พบในผลิตภัณฑ์ที่ retention time ทั้ง 2 ช่วงนี้มี % ความเหมือน (%match quality) กับสารใน library เท่ากัน จึงไม่สามารถเลือกกว่าเป็นสารใดสารหนึ่งได้ อีกทั้ง octadecanal อยู่ในทั้ง 2 ช่วง ซึ่งไม่สามารถเกิดได้จริง ที่เป็นเช่นนี้เพราะการระบุว่าเป็นสารใดนั้นจะดูจาก mass spectrum ของสารที่มีในตัวอย่างเทียบกับ mass spectrum ของสารใน library ที่ retention time เดียวกัน ซึ่งอาจเหมือนสารหลายตัวเท่ากันได้ อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะไม่สามารถระบุว่าเป็นสารใดสารหนึ่งได้ แต่สารทั้ง 3 ตัว เป็นสารกลุ่ม aldehyde เหมือนกัน มีโครงสร้างของสารค่อนข้างใกล้เคียงกัน และเป็นสารที่ให้กลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์เหมือนกัน จึงไม่ทำให้แนวโน้มของผลการทดลองคลาดเคลื่อนนัก

จากตารางที่ 4.24 และ 4.25 จะเห็นว่าสารที่ให้กลิ่นหืน ทั้ง hexadecanal, octadecanal และ pentadecanal มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้ง 2 อุณหภูมิ ในขณะที่สารให้กลิ่นของขิง คือ zingiberene และ alpha farnesene มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เฉพาะที่อุณหภูมิ 65°C ส่วนสารให้กลิ่นชนิดอื่น ได้แก่ สารกลุ่ม benzopyran ที่ให้กลิ่นของซีอิ๊วขาว สารกลุ่ม thiazole และ imidazole ที่ให้กลิ่นเฉพาะตัวของหอยเป่าอ้อ และสารกลุ่ม

phenol ที่ให้กลิ่นจึง มีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บรักษาเช่นกันแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยที่อุณหภูมิ 65°C มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารให้กลิ่นเร็วกว่าที่ 55°C เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่าจะเร่งให้เกิดการสลายตัวของสารให้กลิ่นเฉพาะตัวต่างๆ มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Prost และคณะ (2004) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารให้กลิ่นในปลาซาร์ดีน (*Sardina pilchardus*) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C พบว่าสารให้กลิ่นเฉพาะตัวของอาหารทะเล (dimethyl sulfide) มีปริมาณลดลง ในขณะที่สารที่ให้กลิ่นหื่น ได้แก่ (Z) - 3 - hexen - 1 - ol, heptanal, hexanal และ (Z) - 4 - heptenal มีปริมาณเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาสารให้กลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่เวลา 8 และ 5 สัปดาห์ ของอุณหภูมิ 55 และ 65°C ตามลำดับ ซึ่งเป็นเวลาที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านกลิ่นโดยรวม จะเห็นว่าสารที่ให้กลิ่นหื่นของผลิตภัณฑ์มีปริมาณสูงมาก เป็นสาเหตุให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ และแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ได้กราฟของสารให้กลิ่นที่พบในผลิตภัณฑ์ซุปรอยเป้าฮือที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2°C อุณหภูมิ ดังรูปที่ 4.8 - 4.9 โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่อธิบายได้ด้วยทฤษฎีจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับที่ศูนย์ (zero order) (Labuza, 1984)



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใต้กราฟของสารให้กลิ่นที่พบในผลิตภัณฑ์ชูปหอยเป่าฮือที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55°C



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใต้กราฟของสารให้กลิ่นที่พบในผลิตภัณฑ์ซุปรอบหอยเป่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 65°C

เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่นของผลิตภัณฑ์ซุปรอบหอยเป่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 – 28°C) เป็นเวลา 6 สัปดาห์ แสดงผลดังตารางที่ 4.26 ซึ่งจะเห็นว่าสารให้กลิ่นหื่นที่ช่วง retention time 15.685 – 15.697 นาที มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสารให้กลิ่นชนิดอื่นเห็นการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจนและไม่มีควมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สอดคล้องกับการประเมินผลทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคยังยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์มากตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.13) และการทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25°C ได้นานถึง 32.77 สัปดาห์

ตารางที่ 4.26 พื้นที่ใต้กราฟของสารให้กลิ่นที่พบในผลิตภัณฑ์ซูปพอยเป่าร้อนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สาร	retention time (นาที)	เวลา (สัปดาห์)			
		0	2	4	6
กลุ่ม benzopyran ^{ns}	9.232 – 9.237	$6.13 \times 10^5 \pm 9.07 \times 10^4$	$5.83 \times 10^5 \pm 1.97 \times 10^5$	$5.23 \times 10^5 \pm 1.07 \times 10^5$	$5.44 \times 10^5 \pm 1.98 \times 10^5$
zingiberene ^{ns}	11.361 – 11.391	$1.02 \times 10^6 \pm 2.12 \times 10^5$	$8.23 \times 10^5 \pm 6.34 \times 10^4$	$5.54 \times 10^5 \pm 2.07 \times 10^5$	$7.88 \times 10^5 \pm 2.63 \times 10^3$
alpha farnesene ^{ns}	11.694 – 11.730	$7.47 \times 10^5 \pm 2.84 \times 10^5$	$4.63 \times 10^5 \pm 3.12 \times 10^5$	$5.07 \times 10^5 \pm 9.84 \times 10^4$	$4.81 \times 10^5 \pm 1.71 \times 10^5$
hexadecanal และ octadecanal	15.685 – 15.697	$3.19 \times 10^5 \text{ }^a \pm 1.17 \times 10^5$	$5.35 \times 10^5 \text{ }^{ab} \pm 1.02 \times 10^5$	$7.56 \times 10^5 \text{ }^{ab} \pm 9.12 \times 10^4$	$8.43 \times 10^5 \text{ }^b \pm 1.81 \times 10^5$
กลุ่ม triazole และ imidazole ^{ns}	16.016 – 16.027	$5.65 \times 10^5 \pm 1.74 \times 10^5$	$4.72 \times 10^5 \pm 7.75 \times 10^4$	$5.49 \times 10^5 \pm 1.63 \times 10^5$	$4.74 \times 10^5 \pm 1.74 \times 10^4$
กลุ่ม phenol ^{ns}	17.270 – 17.329	$7.90 \times 10^5 \pm 3.83 \times 10^5$	$5.91 \times 10^5 \pm 1.52 \times 10^5$	$5.70 \times 10^5 \pm 2.56 \times 10^4$	$5.94 \times 10^5 \pm 2.38 \times 10^4$
pentadecanal และ octadecanal ^{ns}	17.583 – 17.627	$3.12 \times 10^5 \pm 9.17 \times 10^4$	$3.31 \times 10^5 \pm 1.40 \times 10^5$	$5.23 \times 10^5 \pm 8.51 \times 10^4$	$5.45 \times 10^5 \pm 1.03 \times 10^5$

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

a และ b ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)