หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 4

# ผลการทดลองและวิจารณ์

## 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อสด

วัตถุดิบที่ใช้ คือ หอยเป๋าฮื้อสด *H. asinina* ที่มีน้ำหนักรวมเปลือกประมาณ 30 กรัมต่อตัว เมื่อแกะเปลือกและเอาเครื่องในออกแล้วมีน้ำหนักประมาณ 12-15 กรัมต่อตัว จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อหอยเป๋าฮื้อด้วยวิธีมาตรฐาน AOAC (1995) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อสด (โดยน้ำหนักเปียก)

| องค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์ | ปริมาณที่พบ (%) |
|---|---|
| โปรตีน | 14.39 ± 0.32 |
| ไขมัน | 0.27 ± 0.21 |
| ความชื้น | 84.32 ± 0.36 |
| เถ้า | 1.02 ± 0.17 |

หอยเป๋าฮื้อ *H. asinina* นี้ประกอบด้วยโปรตีน 14.39% ไขมัน 0.27% ความชื้น 84.32% และเถ้า 1.02% โดยมีค่าใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์หอยเป๋าฮื้อ *H. asinina* ขนาดน้ำหนักประมาณ 20 กรัม ที่อุบลวรรณ พึ่งฉิม (2546) พบว่ามีองค์ประกอบที่เป็นโปรตีน 15.31% ไขมัน 0.06% ความชื้น 82.22% และเถ้า 1.00% นอกจากนี้องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อ *H. asinina* ที่พบยังมีค่าใกล้เคียงกับหอยเป๋าฮื้ออื่นๆ เช่น หอยเป๋าฮื้อ *H. giantea sieboldii* ที่พบในญี่ปุ่นมีความชื้น 78%-83% โปรตีน 12%-17% ชนิด *H. gigantea discus* มีความชื้น 78%-90% โปรตีน 9.4%-17.5% และชนิด *H. discus hannai* มีความชื้น 72%-78% โปรตีน 7.5%-12.5% (Takayama และคณะ, 1970) ส่วนหอยเป๋าฮื้อที่พบในสหรัฐอเมริกา *H. cracheroidii* มีความชื้น 68%-72% โปรตีน 18%-23% (Webber, 1970) หอยเป๋าฮื้อ *H. rubber* ที่พบในออสเตรเลียมีความชื้น 74%-78% โปรตีน 16%-19.5% (Olley และ Thrower, 1977) และจากการศึกษาของ Olaechea และคณะ (1993) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อ kuro-awabi (*H. discus*) ที่เพาะเลี้ยงและจับจากธรรมชาติในแต่ละช่วงเวลาของปีที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นค่อนข้างคงที่

ตลอดทั้งปี ประกอบด้วยโปรตีน 16.10% ไขมัน 0.58% ความชื้น 76.20% และเถ้า 1.52% ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Hatae และคณะ (1995, 1996) ที่พบว่าหอยเป๋าฮื้อ *H. discus* มีโปรตีน 14.20%–18.40% ไขมัน 0.26%–0.93% ความชื้น 72.30%–82.10% และเถ้า 1.11%–1.29% การที่หอยเป๋าฮื้อมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันส่งผลให้กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏแตกต่างกัน (Olley และ Thrower, 1977) ซึ่งปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันของสัตว์แต่ละชนิดขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิด ขนาด อายุ เพศ แหล่งที่อยู่ อาหาร สภาพภูมิอากาศ ฤดูกาล และสภาวะการวางไข่ เป็นต้น (Pigott และ Tucker, 1990)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อ จะเห็นว่าหอยเป๋าฮื้อมีปริมาณโปรตีนสูง แต่มีไขมันต่ำ เช่นเดียวกับอาหารทะเลอื่นๆ ที่มีปริมาณไขมันต่ำ (Shahidi, 1994) ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพในปัจจุบันที่นิยมบริโภคอาหารทะเลเพราะนอกจากจะให้โปรตีนคุณภาพสูง ร่างกายสามารถย่อยได้ง่าย อีกทั้งยังมีแร่ธาตุสำคัญหลายชนิด มีกรดไขมันที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย รวมทั้งมีไขมันต่ำ และให้พลังงานน้อยด้วย (Pigott และ Tucker, 1990) สัตว์พวกมีเปลือกแข็งหุ้ม (shellfish) โดยทั่วไปจะมีไขมันต่ำ เช่น กุ้งและปูบางชนิดมีปริมาณไขมันต่ำกว่า 1% (Sidwell, 1981) แต่ในหอยนางรมบางชนิดอาจสูงถึง 4% (Pigott และ Tucker, 1990) หอยเป๋าฮื้อมีปริมาณไขมันต่ำเนื่องจากไม่ได้เก็บไขมันไว้เป็นแหล่งพลังงานเหมือนปลา (Hatae และคณะ, 1995) แต่คาดว่ามีการเก็บพลังงานไว้ในรูปของไกลโคเจน ซึ่งทำให้เนื้อของสัตว์พวกมีเปลือกแข็งหุ้ม รวมถึงหอยเป๋าฮื้อมีรสชาติหวานเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว โดยหอยเป๋าฮื้อ หอยนางรม หอยลาย (clam) หอยแมลงภู่ (mussel) และหอยทาก (snail) มีปริมาณไกลโคเจน 3%-5% (Bennion, 1980; Pigott และ Tucker, 1990) ส่วนในหอย scallop พบถึง 7.5% (Wongso และ Yamanaka, 1998)

## 4.2 ผลของวิธีการจัดการ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเกิดฮิสตามีนในหอยเป๋าฮื้อสด

ฮิสตามีนเป็นสารพิษประเภท biogenic amine ที่เกิดจากปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน (decaboxylation) ของกรดอะมิโนฮิสติดีน โดยมีเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลสที่สร้างโดยแบคทีเรียทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยา และทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ histamine fish poisoning ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเจ็บป่วยจากการบริโภคอาหารทะเลทั้งสดและอาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ เช่น อาหารกระป๋อง อาหารรมควัน เป็นต้น ฮิสตามีนมีความคงตัวสูงและไม่ถูกทำลายด้วยกระบวนการแช่แข็ง การหุงต้ม หรือการแปรรูปด้วยความร้อนสูง (Lehane และ Olley, 2000) ฮิสตามีนถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์กำหนดด้านความปลอดภัยของอาหาร (food safety)

ในทางการค้าระหว่างประเทศ ดังนั้นเพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว ในฐานะที่เป็นประเทศผู้ผลิตหอยเป๋าฮื้อในเชิงพาณิชย์ จึงควรมีการศึกษาฮิสตามีนในหอยเป๋าฮื้อสดเพื่อเป็นข้อมูลไว้ด้วย

การวิจัยส่วนนี้ทดลองเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก ที่อุณหภูมิ 0°C และ 10°C เนื่องจากการขนส่งอาหารทะเลสดภายในประเทศหรือการขนส่งระยะทางไกล มักใช้การแช่น้ำแข็งหรือการแช่ในอุณหภูมิตู้เย็นเพื่อรักษาคุณภาพของอาหาร โดยอุณหภูมิตู้เย็นอยู่ระหว่าง 7°C-10°C (Ashie, Smith, และ Simpson, 1996; Lopez-Sabater และคณะ, 1996) นอกจากนี้มีหลายงานวิจัยพบว่าการเอาเครื่องในออกช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารทะเลสดได้ (Scott และคณะ, 1986) แต่ก็มีบางรายงานที่พบว่าการเอาเครื่องในออกกลับเร่งการเสื่อมคุณภาพของปลาบางชนิดและไม่ได้ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาปลาให้นานขึ้น (Huss และ Asenjo, 1976) การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่างๆ ได้แก่ ค่า pH เนื้อสัมผัส จุลินทรีย์ และการเกิดฮิสตามีนในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก ที่อุณหภูมิ 0°C และ 10°C ระหว่างการเก็บรักษา

### 4.2.1 การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ระหว่างการเก็บรักษา

จากการทดลอง พบว่า ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาคงที่ มีอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการจัดการหอยเป๋าฮื้อ (เก็บรักษาแบบทั้งตัวหรือแกะเปลือกเอาเครื่องในออก) และระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของหอยเป๋าฮื้อ (แสดงในภาคผนวก ซ.1 และ ซ.2) โดยที่อุณหภูมิการเก็บรักษาเท่ากัน หอยเป๋าฮื้อที่เก็บแบบทั้งตัวมีค่า pH สูงกว่าแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก ($p \leq 0.05$) การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0°C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ในขณะที่ pH ของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาที่ 10°C มีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 4.2)

หอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0°C มีค่า pH เพิ่มขึ้น อาจเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายโปรตีนทำให้เกิดสาร volatile amine เช่น แอมโมเนีย เป็นต้น ทำให้ค่า pH สูงขึ้น (Ashie และคณะ, 1996; สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545) รวมถึงเกิดสารอื่นๆ เช่น สารประกอบ amines และ sulfides ถ้าเกิดในปริมาณมากอาจทำให้เกิดกลิ่นและรสผิดปกติขึ้นได้ (Sofos, 1994) Scott และคณะ (1986) รายงานว่าปลา orange roughy ที่เก็บแบบทั้งตัว และแบบตัดหัวและเอาเครื่องในออกเกิดกลิ่นที่ทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับหลังการเก็บรักษาด้วยน้ำแข็ง 11 และ 13 วัน ตามลำดับ และพบว่าค่า pH ของปลาที่เก็บทั้งสองแบบเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น เนื่องจากเกิดสารพวก volatile bases เช่น แอมโมเนีย dimethylamine และ trimethylamine เป็นต้น แต่ไม่พบความสัมพันธ์ของค่า pH ที่เพิ่มขึ้นกับการไม่ยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองเก็บรักษาปู Dungeness crab (*Cancer magister*) (Parkin และ Brown, 1983) กุ้ง brown shrimp (*Penaeus aztecus*) (Lannelongue และคณะ, 1982) และกุ้งน้ำจืด (*Pacifastacus leniusculus*) (Wang และ Brown, 1983) ในบรรยากาศปกติ ที่พบว่าค่า pH เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตลอดการเก็บรักษา แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่า pH กับการเจริญของแบคทีเรียที่ต้องการอากาศและการเกิดแอมโมเนีย

หอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาแบบทั้งตัวมีค่า pH สูงกว่าแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก อาจเนื่องจากการเก็บแบบทั้งตัวมีการปนเปื้อนของแบคทีเรียในลำไส้หรือท้องมากกว่าและมีหลายชนิดที่สามารถเจริญได้ดี โดยแบคทีเรียพวกที่ทำให้ค่า pH สูงขึ้น เช่น Pseudomonas Moraxella และ Acinetobacter เป็นต้น (Sofos, 1994) อาจมีการเจริญมากกว่าพวกที่สร้างกรดแลคติก ทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง pH มากกว่า

**ตารางที่** 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0°C และ 10°C

| ระยะเวลาการเก็บ | 0°C | | ระยะเวลาการเก็บ | 10°C | |
|---|---|---|---|---|---|
| (วัน) | ทั้งตัว | แกะเปลือกเอาเครื่องในออก | (วัน) | ทั้งตัว | แกะเปลือกเอาเครื่องในออก |
| 0 | $6.12^{b}\pm0.01$ | $6.12^{b}\pm0.01$ | 0 | $6.12^{i}\pm0.01$ | $6.12^{i}\pm0.01$ |
| 3 | $6.22^{e}\pm0.01$ | $6.07^{a}\pm0.01$ | 1 | $6.20^{l}\pm0.02$ | $6.06^{h}\pm0.01$ |
| 6 | $6.29^{f}\pm0.01$ | $6.11^{b}\pm0.01$ | 2 | $6.16^{k}\pm0.02$ | $5.95^{f}\pm0.01$ |
| 9 | $6.29^{f}\pm0.01$ | $6.08^{a}\pm0.01$ | 3 | $6.19^{l}\pm0.02$ | $6.04^{g}\pm0.01$ |
| 12 | $6.37^{g}\pm0.01$ | $6.14^{c}\pm0.01$ | 4 | $6.17^{k}\pm0.02$ | $5.92^{e}\pm0.01$ |
| 15 | $6.42^{h}\pm0.01$ | $6.15^{c}\pm0.01$ | 5 | $6.14^{j}\pm0.01$ | $5.79^{c}\pm0.01$ |
| 18 | $6.42^{h}\pm0.01$ | $6.19^{d}\pm0.02$ | 6 | $6.06^{h}\pm0.01$ | $5.64^{b}\pm0.02$ |
| 21 | $6.42^{h}\pm0.01$ | $6.23^{e}\pm0.01$ | 7 | $5.86^{d}\pm0.01$ | $5.47^{a}\pm0.01$ |

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

หอยเป๋าฮื้อที่เก็บที่อุณหภูมิ 10°C มีแนวโน้มค่า pH ลดลง อาจเนื่องมาจากสัตว์จำพวกหอยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตซึ่งอยู่ในรูปไกลโคเจน เมื่อสัตว์น้ำตายเซลล์จะไม่ได้รับออกซิเจน ไกลโคเจนจึงไม่สามารถเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้เหมือนในสภาพที่ยังมี

ชีวิตอยู่ แต่ไกลโคเจนยังคงแตกตัวต่อไปโดยการเกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซีส (glycolysis) จากการทำงานของเอนไซม์ภายใต้ภาวะไม่มีอากาศ ทำให้เกิดกรดแลคติกขึ้น เมื่อมีการสะสมของกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้นทำให้กล้ามเนื้อมี pH ลดต่ำลง (James และ Olley, 1970; นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2531) สอดคล้องกับการทดลองของ Baldwin และคณะ (1992) ซึ่งพบว่าเมื่อเก็บหอยเป๋าฮื้อ *H. iris* ไว้ 1 วัน ที่อุณหภูมิ 5.5°C ค่า pH จะลดลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซิสแบบไม่ใช้ออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อ และจากการศึกษาของ Chiou และคณะ (2002) พบว่าเมื่อเก็บหอยเป๋าฮื้อ small abalone (*H. diversicolor*) ที่อุณหภูมิ 5°C 15°C และ 25°C ค่า pH มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และพบว่าค่า pH ที่ลดลงมีความสัมพันธ์กับปริมาณไกลโคเจนในเนื้อหอยที่ลดลงด้วย เช่นเดียวกับที่พบในหอย hard clam (Chiou, Lin, และ Shiau, 1998) และหอย Japanese baking scallop (Wongso และ Yamanaka, 1998)

นอกจากนี้การลดลงของค่า pH อาจเกิดจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแลคติกได้ เช่น Lactobacilli, Streptcocci และ ยีสต์ เป็นต้น (Ashie และคณะ, 1996) เช่นเดียวกับที่พบว่าค่า pH ของหอยนางรมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7°C เป็นเวลา 2 วัน ลดลงเนื่องจากการเจริญของ acid-tolerant lactic acid bacteria ซึ่งพบมากถึง 75% ของปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Fieger และ Novak, 1961) James และ Olley (1970) รายงานว่าการเก็บหอยเป๋าฮื้อแบบทั้งตัวและแกะเปลือกที่อุณหภูมิสูงกว่า 5°C-7°C ค่า pH ลดลงมากอย่างเห็นได้ชัดและทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมากด้วย ในขณะที่เมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า ค่า pH เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ก็มีการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อ อาจเนื่องมาจากผลกระทบจากความเย็น และสรุปว่าค่า pH ที่ต่ำลงและการสูญเสียน้ำของหอยเป๋าฮื้อมีผลทำให้ปริมาณน้ำในเนื้อลดลง ทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อบรรจุกระป๋องเหนียวขึ้นด้วย

### 4.2.2 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัส

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก ที่อุณหภูมิ 0°C และ 10°C พบว่า ค่า firmness มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0°C มีผลให้ค่า firmness ของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออกมีค่าลดลงมากอย่างเห็นได้ชัดหลังจากเก็บ 3 และ 12 วันตามลำดับ และเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 10°C ค่า firmness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) หลังการเก็บ 2 และ 5 วันตามลำดับ (ตารางที่ 4.3)

**ตารางที่** 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่า firmness ($\times 10^3$ g.mm) ของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0°C และ10°C

| ระยะเวลาการเก็บ | 0°C | | ระยะเวลาการเก็บ | 10°C | |
|---|---|---|---|---|---|
| (วัน) | ทั้งตัว | แกะเปลือกเอาเครื่องในออก | (วัน) | ทั้งตัว | แกะเปลือกเอาเครื่องในออก |
| 0 | $18.62^{f}\pm2.48$ | $18.62^{f}\pm2.48$ | 0 | $24.62^{i}\pm2.64$ | $24.62^{i}\pm2.64$ |
| 3 | $10.26^{c}\pm0.80$ | $15.17^{e}\pm1.57$ | 1 | $21.23^{h}\pm1.67$ | $28.97^{j}\pm0.93$ |
| 6 | $5.24^{b}\pm0.05$ | $14.96^{e}\pm2.37$ | 2 | $16.38^{fg}\pm1.85$ | $25.22^{i}\pm1.46$ |
| 9 | $4.64^{b}\pm0.06$ | $15.49^{e}\pm1.26$ | 3 | $11.92^{de}\pm0.72$ | $25.16^{i}\pm2.37$ |
| 12 | $1.79^{a}\pm0.02$ | $12.17^{d}\pm1.28$ | 4 | $9.59^{cd}\pm1.08$ | $23.17^{hi}\pm2.59$ |
| 15 | $1.51^{a}\pm0.01$ | $4.87^{b}\pm0.66$ | 5 | $7.40^{bc}\pm0.75$ | $17.52^{g}\pm2.55$ |
| 18 | $1.20^{a}\pm0.01$ | $1.90^{a}\pm0.23$ | 6 | $6.13^{b}\pm0.59$ | $14.15^{ef}\pm1.43$ |
| 21 | $1.55^{a}\pm0.02$ | $1.67^{a}\pm0.01$ | 7 | $3.54^{a}\pm0.64$ | $12.75^{e}\pm1.58$ |

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

หอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาแบบทั้งตัวมีค่า firmness ต่ำกว่าแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออกที่ทุกอุณหภูมิการเก็บรักษา เนื่องจากการเสื่อมเสียของหอยเป๋าฮื้อเป็นไปอย่างรวดเร็วถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงและไม่มีการเอาเปลือกออก การเอาเปลือกและเครื่องในออกเป็นการป้องกันการปนเปื้อนจากแบคทีเรียที่อยู่ในเครื่องในและป้องกันการเสื่อมเสียจากเอนไซม์ด้วย (James และ Olley,1974) ลำไส้ของปลาตามปกติต้องชำแหละออกก่อนที่ปลาจะเสีย เนื่องจากแบคทีเรียในลำไส้สามารถปนเปื้อนเข้าไปในเนื้อปลาโดยอาศัยเอนไซม์ย่อยโปรตีนช่วยในกลไกนี้ (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545) การเจริญของจุลินทรีย์ที่พบได้ทั่วไปบริเวณผิวหนัง เหงือก หรือลำไส้ และการย่อยสลาย (autolysis) ของ endogenous enzyme ของแบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ ทำให้เกิดการเน่าเสียและมีผลให้เกิดลักษณะที่ไม่ดีต่างๆ เช่น การทำลายเนื้อสัมผัส (texture deterioration) การเกิดกลิ่นไม่ดี (off-flavors) และการเปลี่ยนสี (discoloration) เป็นต้น (Ashie และคณะ, 1996) Robbins และคณะ (1979) พบว่าการที่ปลาหรืออาหารทะเลมีเนื้อสัมผัสนิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่เป็นที่ต้องการ นอกจากเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์จากจุลินทรีย์แล้วยังพบว่า endogenous protease ในกล้ามเนื้อบางชนิดที่สามารถทำงานได้ดีที่ pH ระหว่างการเก็บซึ่งอยู่ในช่วง 5.5-6.5 ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสด้วย ดังนั้นหอยเป๋าฮื้อที่เก็บแบบทั้งตัว

จึงเกิดการเน่าเสียได้เร็วกว่า ทำให้ค่า firmness ลดลงมากกว่าเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์และเอนไซม์ นอกจากนี้การเปลี่ยนกลูโคสไปเป็นกรดแลคติกซึ่งมีผลให้ค่า pH ลดลงก็อาจมีผลกระทบต่อเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏของเนื้อปลาได้ (Konagaya และ Konagaya, 1979; Ang และ Haard, 1985)

### 4.2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์

#### 4.2.3.1 ปริมาณแบคทีเรียที่ต้องการอากาศ

ปริมาณแบคทีเรียที่ต้องการอากาศที่พบในหอยเป๋าฮื้อสดมีประมาณ $2\times10^4$ cfu/g เมื่อระยะเวลาการเก็บหอยเป๋าฮื้อนานขึ้นปริมาณแบคทีเรียเพิ่มมากขึ้น ($p\leq0.05$) เมื่อใช้ปริมาณจุลินทรีย์เท่ากับ $10^6$ cfu/g หรือประมาณ 6 log cfu/g เป็นเกณฑ์ในการกำหนดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเป็นปริมาณที่คาดว่าจะทำให้เกิดการเน่าเสีย (Gram และ Dalgaard, 2002) และมักเป็นระดับที่ทำให้อาหารไม่เป็นที่ยอมรับทางประสาทสัมผัส (Olafsdottir และคณะ, 1997) พบว่าสามารถเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออกที่อุณหภูมิ 0°C ได้เป็นเวลา 6 และ 9 วัน ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 3 และ 4 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4) การเก็บรักษาที่ 0°C ช่วยชะลอเมตาบอลิซึมต่าง ๆ ภายในเซลล์ของหอยเป๋าฮื้อและเซลล์จุลินทรีย์ได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่ 10°C รวมถึงการแกะเปลือกเอาเครื่องในออกช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ด้วย สอดคล้องกับการศึกษาของ Scott และคณะ (1986) ที่พบว่าปลา orange roughy ที่ตัดหัวและเอาเครื่องในออกมีอายุการเก็บรักษานานกว่าปลาที่เก็บแบบทั้งตัว โดยสามารถเก็บได้นานถึง 13-16 วัน ในขณะที่ปลาที่เก็บแบบทั้งตัวมีอายุการเก็บ 11 วัน James และ Olley (1970, 1974) พบว่าการเสื่อมเสียของหอยเป๋าฮื้อเป็นไปอย่างรวดเร็วถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงและไม่มีการเอาเปลือกออก การแกะเปลือกและเครื่องในออกเป็นการป้องกันการปนเปื้อนจากแบคทีเรียที่อยู่ในเครื่องในและป้องกันการเสื่อมเสียจากเอนไซม์ด้วย จึงควรเก็บหอยเป๋าฮื้อในสภาพที่แกะเปลือกและเอาเครื่องในออกภายใต้อุณหภูมิต่ำ

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นหรือต่ำกว่าจะช่วยยืดอายุของอาหารได้ เนื่องจากอุณหภูมิที่ต่ำไม่เหมาะสมกับการเจริญของแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophiles) แต่เหมาะสมกับแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (psychrophiles) หรือแบคทีเรียที่ปรับตัวเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ (psychrotrophs) แม้ว่าแบคทีเรียจำพวก psychrotrophs เจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ แต่การเจริญก็เป็นไปอย่างช้าๆ การเน่าเสียจึงเกิดขึ้นช้ากว่า (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545; Ashie และคณะ, 1996) Wei และคณะ (1990) รายงานว่าแบคทีเรียในเนื้อปลาทูน่าที่เก็บ

รักษาที่อุณหภูมิ 10°C เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วจนถึง $10^7$ cfu/g หลังการเก็บ 6 วัน แต่เนื้อปลาเกิดกลิ่นเหม็น (putrefactive odors) และเกิดเมือกขึ้นหลังจากเก็บได้ 3 วัน ในขณะที่การเก็บที่อุณหภูมิ 2°C เกิดกลิ่นไม่ดีหลังจากเก็บ 10 วัน ส่วนปริมาณแบคทีเรียที่ต้องการอากาศในเนื้อปลาซึ่งคาดว่าเป็นแบคทีเรียพวก psychrotrophs บางชนิด มีการเพิ่มขึ้นช้ากว่าที่ 10°C และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น แบคทีเรียพวก psychrotrophs ที่มักปนเปื้อนในอาหารทะเล ได้แก่ *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Acinetobacter*, *Moraxella*, *Shewanella*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, และ *Bacillus spp.* เป็นต้น โดยแบคทีเรียในจีนัส Pseudomonas ปริมาณ $10^7$ cfu/$m^2$ ขึ้นไป ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นและเกิดเมือกในเนื้อที่เก็บรักษาในตู้เย็น (Sofos, 1994)

**ตารางที่ 4.4** การเปลี่ยนแปลงปริมาณแบคทีเรียที่ต้องการอากาศ ($\times 10^6$ cfu /g) ของหอยเป๋าฮื้อที่เก็บแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0°C และ 10°C

| ระยะเวลาการเก็บ | 0°C | | ระยะเวลาการเก็บ | 10°C | |
|---|---|---|---|---|---|
| (วัน) | ทั้งตัว | แกะเปลือกเอาเครื่องในออก | (วัน) | ทั้งตัว | แกะเปลือกเอาเครื่องในออก |
| 0 | $0.02^{a}$±0.01 | $0.02^{a}$±0.01 | 0 | $0.02^{a}$±0.01 | $0.02^{a}$±0.01 |
| 3 | $0.27^{a}$±0.02 | $0.10^{a}$±0.01 | 1 | $0.01^{a}$±0.01 | $0.05^{a}$±0.01 |
| 6 | $1.16^{a}$±0.06 | $0.46^{a}$±0.01 | 2 | $0.08^{a}$±0.02 | $0.20^{a}$±0.01 |
| 9 | $5.07^{b}$±0.06 | $1.08^{a}$±0.06 | 3 | $5.64^{a}$±0.04 | $0.86^{a}$±0.07 |
| 12 | $7.52^{c}$±0.07 | $3.41^{b}$±0.10 | 4 | $13.27^{a}$±0.57 | $4.87^{a}$±0.20 |
| 15 | $12.65^{d}$±0.07 | $9.39^{c}$±0.02 | 5 | $124.10^{c}$±5.42 | $44.31^{b}$±1.01 |
| 18 | $20.87^{f}$±0.89 | $18.36^{e}$±0.75 | 6 | $226.29^{e}$±6.86 | $130.32^{c}$±9.31 |
| 21 | $92.80^{h}$±0.90 | $56.04^{g}$±4.09 | 7 | $226.29^{f}$±41.54 | $188.63^{d}$±13.24 |

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

### 4.2.3.2 ปริมาณแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลส

จากการทดลองพบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออกที่อุณหภูมิ 0°C และ 10°C ไม่พบแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลสซึ่งช่วยเร่งปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันของกรดอะมิโนฮิสติดีนไปเป็นฮิสตามีน

โดยปกติแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลสพบได้ทั่วไปในวัตถุดิบและสภาพแวดล้อมของกระบวนการผลิตหรือการเก็บรักษา แบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลสมักเป็นแบคทีเรียพวก mesophile ที่สำคัญ ได้แก่ แบคทีเรียในแฟมิลี Enterobacteriaceae เช่น *Morganella morganii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Klebsiella oxytoca* และ *Hafnia alvei* เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรียในจีนัส Clostridium และ Lactobacillus สามารถสร้างฮิสตามีนในอาหารได้เช่นกัน (Taylor และคณะ, 1978) Lopez-Sabater และคณะ (1994) พบการปนเปื้อนของแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลสในเนื้อปลาทูน่าจากขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋องก่อนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ โดยพบ *Morganella* และ *Enterobacter* spp. ถึง 73% ของปริมาณแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลสที่พบทั้งหมด ซึ่งโดยปกติจะไม่พบแบคทีเรียเหล่านี้ได้ทั่วไป (natural microflora) ในปลาที่ถูกจับขึ้นมาใหม่ๆ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ควบคุมการเจริญและการสร้างฮิสตามีนของแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลส โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของ *M. morganii* อยู่ที่ 25°C ซึ่งสามารถสร้างฮิสตามีนได้ถึง 5,253 mg/kg ในเวลา 48 ชั่วโมง แต่ไม่พบการเจริญและการสร้างฮิสตามีนของแบคทีเรียชนิดนี้ที่อุณหภูมิ 4°C เนื่องจากอุณหภูมิต่ำมีผลไปลดเมตาบอลิซึมต่างๆ ของเซลล์แบคทีเรีย เช่น การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ หรือการเคลื่อนย้ายสารผ่านเนื้อเยื่อเซลล์ เป็นต้น จึงทำให้แบคทีเรียพวก mesophile เจริญได้น้อยที่อุณหภูมิ 4°C หรือต่ำกว่า (Kim และคณะ, 2000) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Wei และคณะ (1990) ที่พบว่าแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลส *M. morganii*, *K. oxytoca* และ *H. alvei* ในเนื้อปลาทูน่าไม่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 2°C ส่วนที่ 10°C แบคทีเรียเพิ่มขึ้นเร็วกว่าที่อุณหภูมิ 2°C และสามารถสร้างฮิสตามีนได้มากกว่า 2,000 mg/kg หลังการเก็บรักษา 15 วัน จากรายงานของ Lopez-Sabater และคณะ (1996) พบว่า *M. morganii*, *K. oxytoca*, *Serratia marcescens*, และ *Plesiomonas shigelloides* ในเนื้อปลาทูน่าที่เก็บรักษาที่ 8°C มีการเจริญและสร้างฮิสตามีนเล็กน้อย หลังจาก 84 ชั่วโมง พบปริมาณฮิสตามีนเพียง 23, 28, 31, และ 43 mg/kg ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิ 0°C แบคทีเรียทั้ง 4 ชนิดไม่สามารถเจริญและสร้างฮิสตามีน

ได้ แม้จะพบ *M. morganii* หรือ *K. oxytoca* ซึ่งถือเป็นแบคทีเรียที่มีศักยภาพสูงที่ทำให้เกิดฮิสตามีนมากถึง 5 log cfu/g เนื่องจากอุณหภูมิไม่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียและไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลส ทำให้เอนไซม์มี activity ต่ำ จึงสร้างฮิสตามีนได้น้อยมาก และจากการศึกษาของ Du และคณะ (2002) พบว่าการเก็บปลาทูน่าที่อุณหภูมิ 0°C เป็นเวลา 9 วัน ปริมาณฮิสตามีนเกิดขึ้นน้อยกว่า 20 mg/kg แม้จะพบแบคทีเรียนี้สูงถึง 6 log cfu/g ในขณะที่การเก็บที่ 10°C และ 22°C ปริมาณแบคทีเรียเพียง 2-3 log cfu/g สามารถสร้างฮิสตามีนได้มากกว่า 50 mg/kg อาจเนื่องจากเป็นแบคทีเรียต่างชนิดกัน โดยแบคทีเรียพวกที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 22°C สามารถสร้างเอนไซม์ที่มี activity สูงกว่าแบคทีเรียพวกที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า จึงอาจกล่าวได้ว่าชนิดของแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลสมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดฮิสตามีนมากกว่าปริมาณของแบคทีเรียที่พบ ซึ่งอาจไม่ใช่พวกที่สร้างเอนไซม์ที่มี activity สูง ทำให้เกิดฮิสตามีนได้น้อย

### 4.2.4 ปริมาณฮิสตามีน

จากการวิเคราะห์ปริมาณฮิสตามีนในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก ที่อุณหภูมิ 0°C และ 10°C โดยใช้ชุดทดสอบฮิสตามีน (KIKKOMAN ,Kikkoman Corporation, Japan) ไม่พบฮิสตามีนในเนื้อหอยเป๋าฮื้อจากทุกภาวะการเก็บรักษา เนื่องจากไม่พบแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลสในหอยเป๋าฮื้อดังที่ได้กล่าวถึงในข้อ 4.2.3.2 จึงไม่มีการสร้างเอนไซม์ไปเร่งปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชันของกรดอะมิโนฮิสติดีนไปเป็นฮิสตามีน นอกจากนี้ปริมาณกรดอะมิโนฮิสติดีนที่เป็นสารตั้งต้นสำคัญของการเกิดฮิสตามีนในเนื้อหอยเป๋าฮื้อมีเพียง 10 mg/100g (Chiou และคณะ, 2002) ทำให้ไม่พบฮิสตามีนในหอยเป๋าฮื้อในทุกภาวะการเก็บ โดยปกติปลาที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ histamine fish poisoning เช่น ปลา kahawai kingfish และ albacore มีปริมาณกรดอะมิโนฮิสติดีนสูงกว่า 1,000 mg/100g (Flesher และคณะ, 1995) ส่วนปลาที่ไม่เกี่ยวข้องกับโรคอาหารเป็นพิษนี้ เช่น ปลา sea perch, flounder, และ red snapper มีปริมาณกรดอะมิโนต่ำกว่า 5 mg/100g (Arnold และ Brown, 1978) และการควบคุมการเกิดฮิสตามีนที่ดีที่สุด คือ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0°C หรือที่อุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งอุณหภูมิต่ำช่วยยับยั้งการเจริญและการสร้างฮิสตามีนของแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลสชนิดที่มีศักยภาพในการสร้างฮิสตามีนได้สูง ซึ่งมักเป็นพวก mesophile เช่น *M. morganii* เป็นต้น (Kim และคณะ, 2000; Du และคณะ, 2002) ในการศึกษาของ Du และคณะ (2002) พบว่าปลาทูน่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0°C เป็นเวลา 9 วัน มีปริมาณฮิสตามีนเกิดขึ้นน้อยกว่า 20 mg/kg ในขณะที่การเก็บที่ 10°C พบปริมาณฮิสตามีนสูงกว่า 100

mg/kg หลังการเก็บรักษาเพียง 3 วัน ซึ่งสูงกว่าระดับที่ The Food and Drug Administration (FDA) ได้กำหนดไว้ คือ 50 mg/kg ถือเป็นระดับที่ก่อให้เกิดอันตราย (hazard action level)

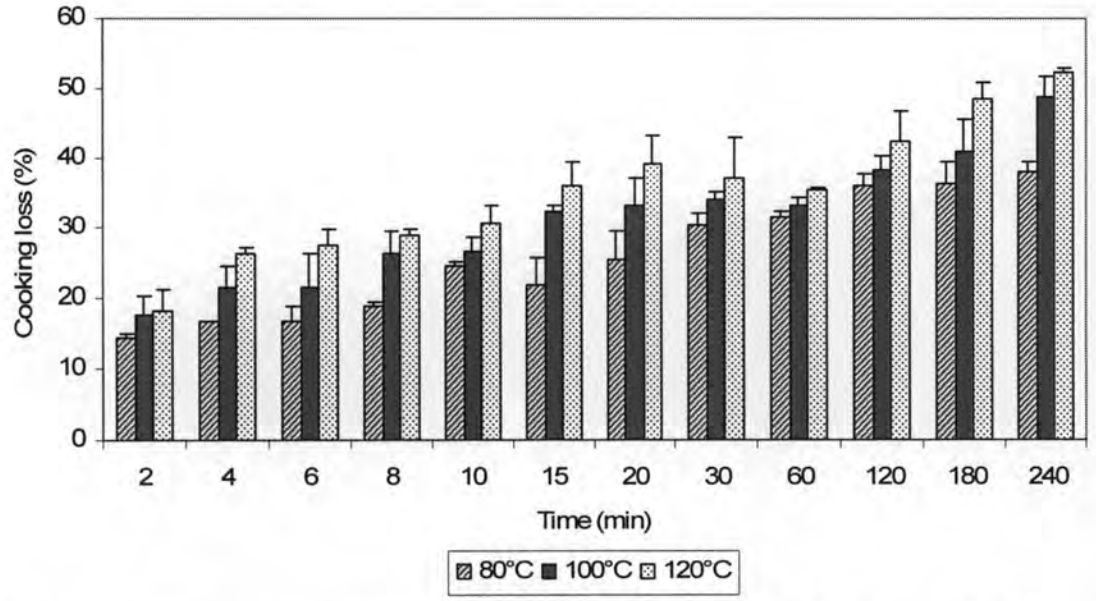
จากการทดลองนี้จึงช่วยยืนยันได้ว่าไม่มีฮิสตามีนเกิดขึ้นในหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาแบบทั้งตัวหรือแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก ที่อุณหภูมิ 0°C เป็นเวลา 21 วัน และที่ 10°C เป็นเวลา 7 วัน หอยเป๋าฮื้อนี้มีความปลอดภัยไม่ทำให้เกิดปัญหาโรคอาหารเป็นพิษ histamine fish poisoning

## 4.3 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยเป๋าฮื้อ

กระบวนการแปรรูปเนื้อสัตว์ด้วยความร้อนมีอิทธิพลต่อเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงของโปรตีน ปริมาณผลผลิต (cooking yield) และปัจจัยคุณภาพคุณภาพที่สำคัญอื่นๆ เช่น ความชุ่มน้ำ (juiciness) สี กลิ่นรส เป็นต้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความน่ารับประทานและการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค (Califano และคณะ, 1997) และเนื่องจากการแปรรูปหอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์เป็นการแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อนสูง ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ด้วย การวิจัยส่วนนี้จึงศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยเป๋าฮื้อ โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C โดยใช้อ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ และที่อุณหภูมิ 100°C และ 120°C ให้ความร้อนผ่านน้ำมันพืชในหม้อทอดควบคุมอุณหภูมิ เป็นระยะเวลา 2-240 นาที

### 4.3.1 ปริมาณ cooking loss

จากการทดลองเมื่อให้ความร้อนเนื้อหอยเป๋าฮื้อที่อุณหภูมิ 80°C 100°C และ 120°C เป็นเวลา 2-240 นาที พบว่าปริมาณ cooking loss มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิและเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น (ดังรูปที่ 4.1 และดูรายละเอียดข้อมูลเพิ่มเติมในภาคผนวก ฌ.1) โดยการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน (Laakkonen และคณะ, 1970; Bouton, Harris, และ Shorthose, 1975; Offer และคณะ, 1989) สอดคล้องกับการทดลองของ Chiou และคณะ (2004) ที่พบว่าเมื่อให้ความร้อนเนื้อหอยเป๋าฮื้อ small abalone (*H. diversicolor*) ที่อุณหภูมิ 98°C ทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นและน้ำหนักมากกว่าที่ 80°C และรายงานของ Gao และ Ogawa (2002) ที่พบว่าการต้มเนื้อหอยเป๋าฮื้อ *H. discus* เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง เนื้อหอยสูญเสียน้ำหนักถึง 34%-39%




**รูปที่** 4.1 ปริมาณ cooking loss ของเนื้อหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C 100°C และ 120°C เป็นเวลา 2-240 นาที

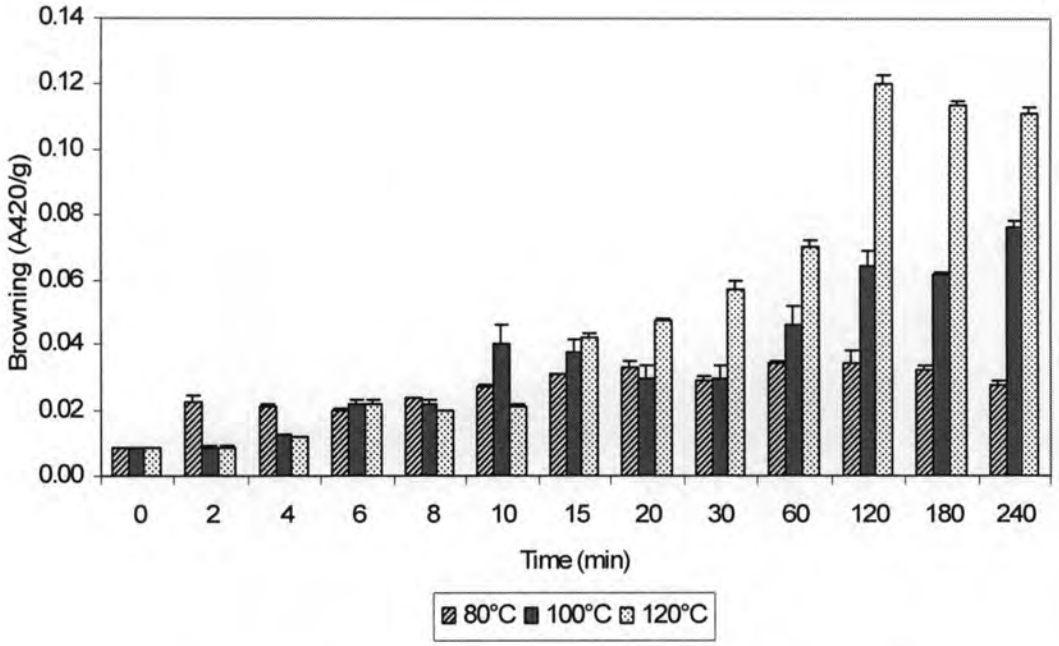
การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อนของโปรตีนโครงสร้าง 2 ชนิด คือ actomyosin complex และ คอลลาเจน มีผลต่อการสูญเสียน้ำของเนื้อ (Bailey และ Light, 1989; Tyszkiewicz, 1979) โดยไมโอซินเกิดการเสียสภาพที่อุณหภูมิ 40°C-60°C แอกตินเสียสภาพที่ 66°C-73°C และคอลลาเจนเกิดการหดตัวที่ 56°C-62°C ซึ่งการหดตัวของโปรตีนดังกล่าวเป็นสาเหตุทำให้น้ำที่อยู่ในกล้ามเนื้อถูกขับออกมา (Marten และคณะ, 1982) Gao และคณะ (2001) ศึกษาการเสียสภาพของโปรตีนกล้ามเนื้อหอยเป๋าฮื้อด้วยวิธี differential scanning calorimetry (DSC) พบว่าอุณหภูมิที่ไมโอซิน คอลลาเจน และแอกติน เกิดการเสียสภาพเท่ากับ 51.3°C 57.5°C และ 68.3°C ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Offer และคณะ (1984) Palka และ Daun (1999) และ Bertola และคณะ (1994) ที่รายงานว่าน้ำในเนื้อหอยเป๋าฮื้อส่วนใหญ่อยู่ในช่องว่างระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อ การสูญเสียน้ำของเนื้อเนื่องจากความร้อนเกี่ยวข้องกับการหดตัวของกล้ามเนื้อ 2 ช่วง (phase) การหดตัวครั้งแรกเกิดที่อุณหภูมิ 45°C-60°C โดยกล้ามเนื้อเกิดการหดตัวตามขวาง (transverse) กับแนวแกนเส้นใย (fiber axis) ซึ่งอาจเกิดจากการเสียสภาพของไมโอซินมีผลทำให้เกิดการสูญเสียน้ำในเนื้อไปปริมาณมาก และการหดตัวครั้งที่สองเกิดการหดตัวตามยาว (parallel) ที่อุณหภูมิ 60°C-90°C ซึ่งอาจเกิดจากการเสียสภาพของ actomyosin complex และนอกจากนี้การหดตัวของกล้ามเนื้อเนื่องจากความร้อนยังมีความสัมพันธ์กับการหดสั้นลงของซาร์โคเมียร์ ซึ่งความยาวซาร์โคเมียร์ที่สั้นลงมีผลให้เกิดการสูญเสียน้ำของเนื้อด้วย (Laakkonen และคณะ, 1970; Bouton และคณะ, 1975; Findlay, Stanley, และ Gullet, 1986)

จากการศึกษาของ Palka และ Daun (1999) พบว่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของซาร์โคเมียร์แปรผกผันกับปริมาณ cooking loss โดยเมื่ออุณหภูมิการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้ความยาวของซาร์โคเมียร์สั้นลงอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ปริมาณ cooking loss เพิ่มขึ้น และพบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C-90°C เท่านั้น ที่ปริมาณ cooking loss ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับค่า hardness ที่เพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อให้ความร้อนสูงขึ้นอีก ค่า hardness กลับมีแนวโน้มลดลง แม้ปริมาณ cooking loss เพิ่มขึ้นก็ตาม อาจเนื่องมาจากคอลลาเจนเปลี่ยนไปเป็นเจลาตินทำให้เนื้อนุ่มขึ้น แต่จากการทดลองให้ความร้อนแก่เนื้อหอยเป๋าฮื้อที่อุณหภูมิ 80°C 100°C และ 120°C เป็นเวลา 2-240 นาที พบว่าปริมาณ cooking loss ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลทำให้ความเหนียวของเนื้อหอยเป๋าฮื้อเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.4) และไม่พบความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ cooking loss กับค่า toughness

### 4.3.2 Degree of browning

อุณหภูมิและระยะเวลาการให้ความร้อนมีอิทธิพลร่วมกันต่อการเกิดสีน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อให้ความร้อนเนื้อหอยเป๋าฮื้อที่อุณหภูมิ 80°C 100°C และ 120°C เป็นเวลา 2-240 นาที การเกิดสีน้ำตาลของเนื้อหอยเป๋าฮื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.2 และดูรายละเอียดข้อมูลเพิ่มเติมในภาคผนวก ฌ.2) สีน้ำตาลของเนื้อหอยเป๋าฮื้อเกิดได้ดีเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80°C โดยจะเห็นว่าที่ 80°C การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อหอยค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการให้ความร้อน 4 ชั่วโมง แต่เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C การเกิดสีน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดหลังผ่านความร้อนเป็นเวลา 60 นาที ขึ้นไป ในขณะที่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120°C สีน้ำตาลเกิดได้เร็วและมากกว่าอย่างเห็นได้ชัดหลังให้ความร้อนเพียง 20 นาที เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 80°C และ 100°C

Kawashima และ Yamanaka (1996) รายงานว่าเนื้อหอย scallop มีสีน้ำตาลมากขึ้นหลังผ่านการให้ความร้อนเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดของ sugar phosphate โดยเฉพาะ glucose-6-phosphate กับกรดอะมิโนอิสระ เช่น taurine และ alanine เช่นเดียวกับการเกิดสีน้ำตาลที่พบในเนื้อหอยเป๋าฮื้อ *H. disversicolor* (Chiou และคณะ, 2004) นอกจากนี้ Nakayama และ Kimura (1979) และ Kawashima และ Yamanaka (1995, 1996) พบว่าปริมาณ glucose-6-phosphate มีความสัมพันธ์กับการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อหอยแครงเป็นอย่างมาก

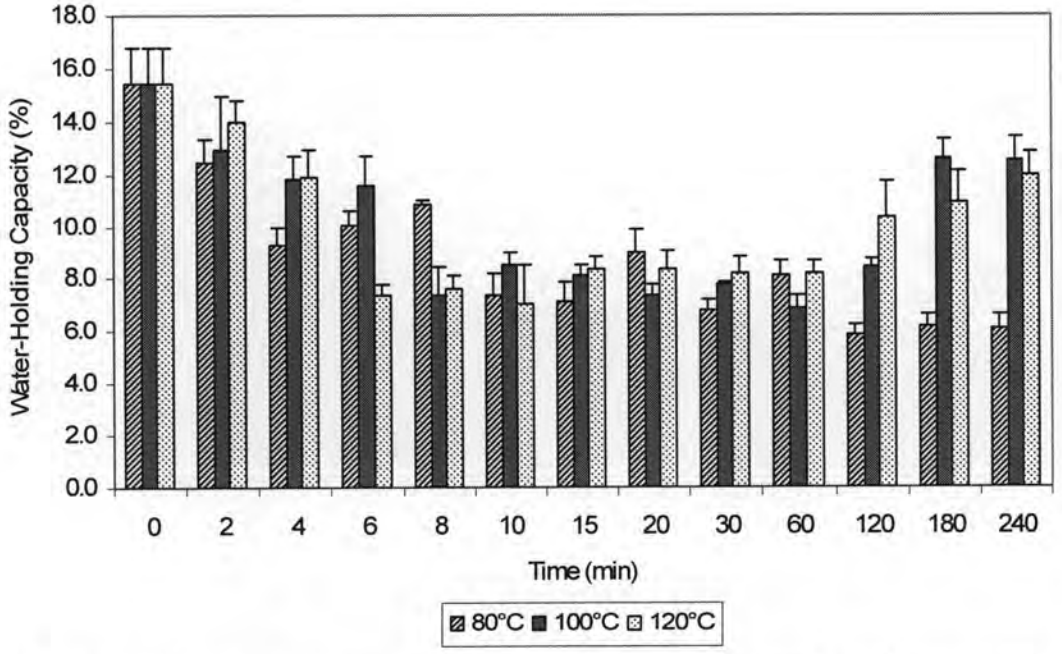



**รูปที่** 4.2 การเกิดสีน้ำตาลของเนื้อหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C 100°C และ 120°C เป็นเวลา 2-240 นาที

การเกิดสีน้ำตาลของเนื้อหอยแครงทั้งชนิดแห้งและบรรจุกระป๋องนั้นเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแปรรูป (Kawashima และ Yamanaka, 1995) ซึ่งในภาวะที่กรดอะมิโนอิสระและ glucose-6-phosphate รวมถึงน้ำตาลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลมีปริมาณสูง ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นได้ในระหว่างกระบวนการทำแห้งหรือกระบวนการให้ความร้อนอื่นๆ ได้ (Wongso และ Yamanaka, 1998) ปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงประมาณ 90°C (ชัยณรงค์ คันธพนิต, 2529) อัตราการการเกิดสีน้ำตาลในอาหารขึ้นกับองค์ประกอบของอาหารและปัจจัยอื่นๆ เช่น ค่า pH ค่า water activity เป็นต้น (Kumar และคณะ, 2006) แต่ปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาคือ อุณหภูมิ (Carabasa และ Ibarz, 2000) อัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นในภาวะที่สารตั้งต้นมีความเข้มข้นสูงและอุณหภูมิสูงปฏิกิริยาจะเกิดได้เร็วมาก เนื่องจากเกิด autocatalytic อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเป็น 2-3 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10°C (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Chiou และคณะ (2004) ที่พบว่าการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อหอยเป๋าฮื้อ *H. disversicolor* ที่ 98°C เกิดได้มากกว่าที่ 80°C

4.3.3 Water-holding capacity (WHC)

การให้ความร้อนแก่เนื้อหอยเป๋าฮื้อที่อุณหภูมิ 80°C 100°C และ 120°C ในช่วง 0-10 นาที มีผลให้ค่า WHC ลดลง ดังรูปที่ 4.3 (ดูรายละเอียดข้อมูลเพิ่มเติมในภาคผนวก ฌ.3) การลดลงของค่า WHC นี้เกิดจากการเสียสภาพของโปรตีน เกิดการหดรัดตัวของไมโอไฟบริลที่อุณหภูมิประมาณ 40°C-50°C (Cheng และ Parrish, 1976; Davey และ Gilbert, 1974; Jones และคณะ, 1977) และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเกิดการหดตัวเหลือ 1 ใน 3 ของความยาวเดิมที่อุณหภูมิ 60°C-65°C ทำให้สูญเสียน้ำออกไปจากกล้ามเนื้อ (มาลัยวรรณ และ วรรณวิบูลย์, 2540; Davey และ Gilbert, 1974) เนื่องจากน้ำในเนื้อส่วนใหญ่อยู่ในช่องว่างระหว่างเส้นใยหนาและเส้นใยบางของไมโอไฟบริลซึ่งถูกห่อหุ้มด้วยโครงข่ายของคอลลาเจน (collagen network) การหดตัวของกล้ามเนื้อเนื่องจากความร้อน ทำให้น้ำส่วนนี้ถูกบีบออกมาจากเนื้อ (Zayas, 1997) Hamm (1970) อธิบายว่าการจัดเรียงตัวของเส้นใยไมโอไฟบริลมีบทบาทอย่างมากในการกักเก็บน้ำอิสระไว้ในกล้ามเนื้อ ดังนั้นการจับตัวกันแน่นขึ้นของโปรตีนกล้ามเนื้อเนื่องจากการเสียสภาพของโปรตีน จึงอาจเป็นสาเหตุทำให้สูญเสียความสามารถในการจับน้ำได้




**รูปที่** 4.3 water-holding capacity ของเนื้อหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C 100°C และ 120°C เป็นเวลา 2-240 นาที

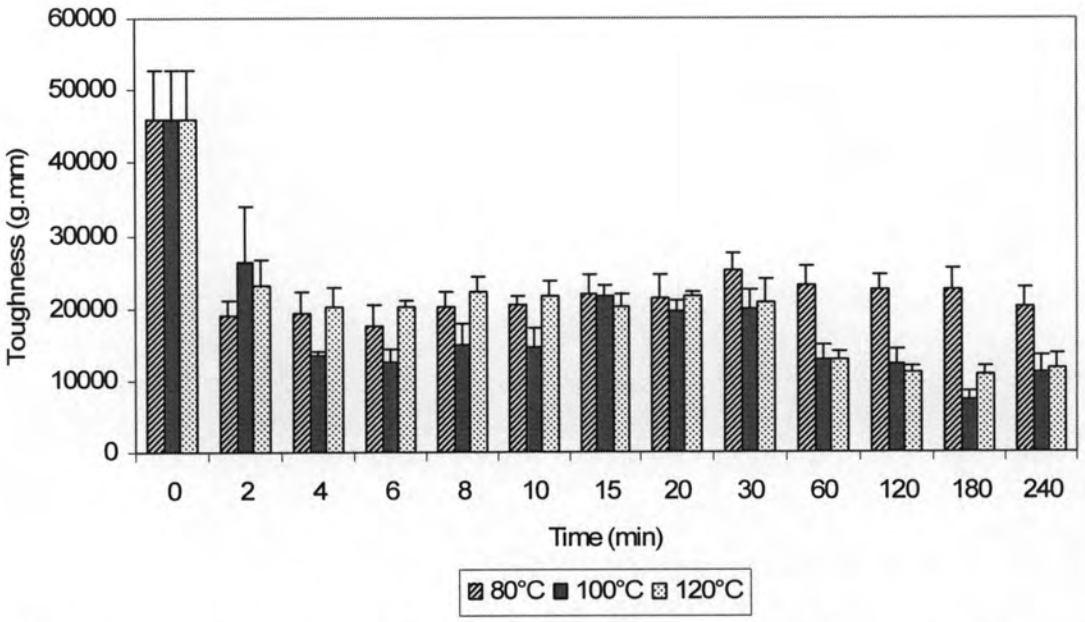
ค่า WHC มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C และ 120°C เป็นเวลา 60 นาที เนื่องจากคอลลาเจนเปลี่ยนไปเป็นเจลาติน ซึ่งอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากขึ้น ทำให้สามารถจับกับน้ำได้มากขึ้น (ชัยณรงค์ คันธพนิต, 2529) ส่วนการให้ความร้อนที่ 80°C ค่า WHC ไม่เพิ่มขึ้นและค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการให้ความร้อน แม้ว่าที่อุณหภูมิ 80°C คอลลาเจนที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันบริเวณเพอริไมเซียมบางส่วนเริ่มเปลี่ยนไปเป็นเจลาตินบ้างแล้วก็ตาม (Cheng และ Parrish, 1976; Jones และคณะ, 1977; Larick และ Turner, 1992) ทั้งนี้เนื่องจากคอลลาเจนส่วนใหญ่เปลี่ยนไปเป็นเจลาตินที่อุณหภูมิสูงกว่า 80°C (Davey และ Gilbert, 1974) Ledward (1984) รายงานว่าแม้ว่ากระบวนการที่คอลลาเจนเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้จะเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการหดตัวของคอลลาเจน แต่ก็พบว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 90°C อัตราการเปลี่ยนแปลงเกิดได้ช้ากว่าที่อุณหภูมิ 100°C ซึ่งอัตราการเกิดจะเพิ่มขึ้นมากว่าอย่างเห็นได้ชัด

### 4.3.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส

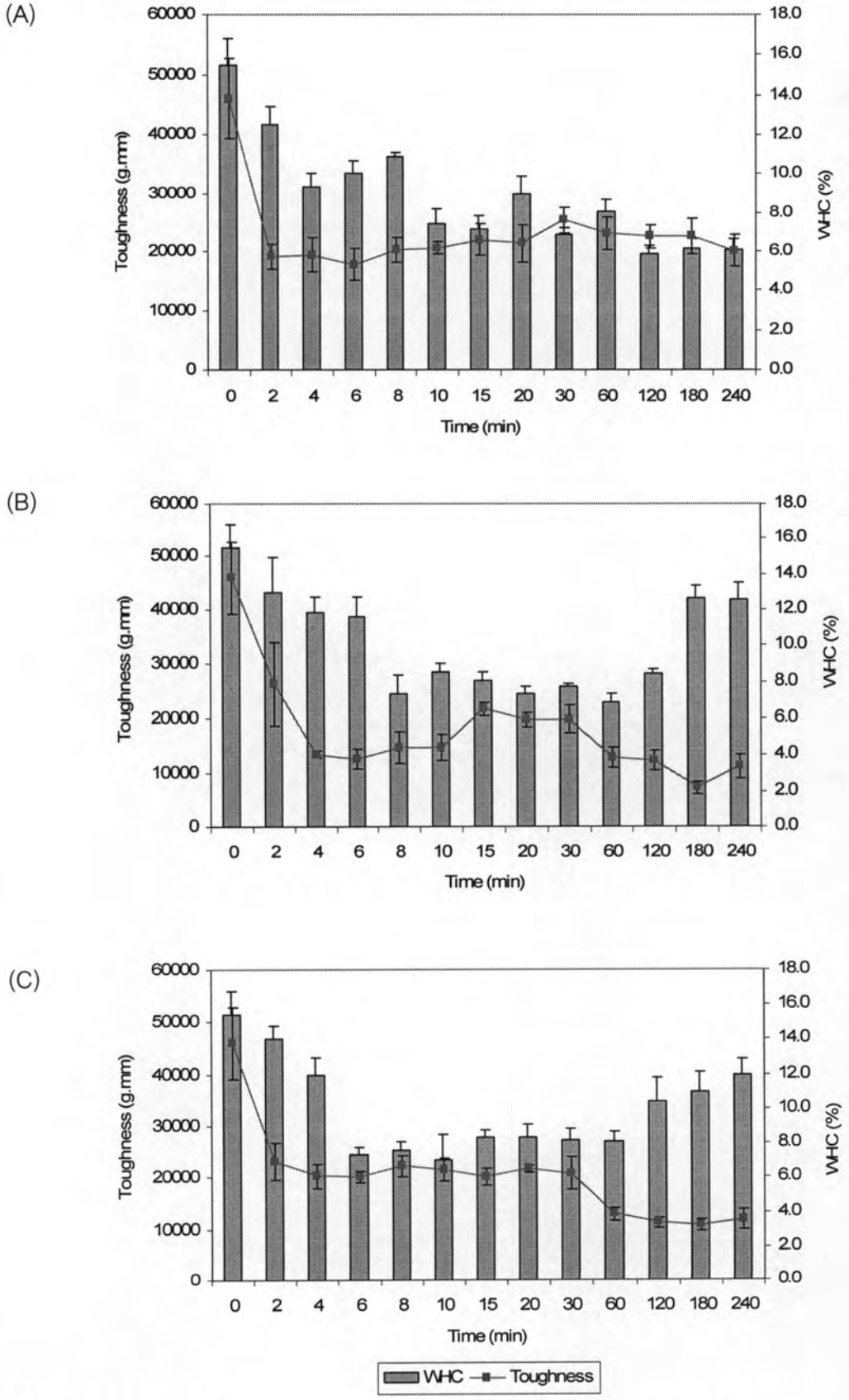
ค่า toughness ของเนื้อหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C 100°C และ 120°C เป็นเวลา 2-240 นาที ลดลงในช่วง 10 นาทีแรกของการให้ความร้อน (ดังรูปที่ 4.4 และดูรายละเอียดข้อมูลเพิ่มเติมในภาคผนวก ฌ.4) และจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า toughness ที่ลดลงสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่า WHC ที่มีแนวโน้มลดลงในช่วงแรกของการให้ความร้อนด้วยเช่นกัน (แสดงในรูปที่ 4.5) อาจเนื่องมาจากเกิดการเสียสภาพของโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมีผลทำให้ความแข็งแรงของโครงร่างเนื้อเยื้อเกี่ยวพัน (connective tissue network) ลดลง ซึ่งเกิดพร้อมกับการหดตัวของคอลลาเจนที่อุณหภูมิประมาณ 55°C-65°C (Ledward, 1979) โดยคอลลาเจนของเนื้อหอยเป๋าฮื้อเกิดการเสียสภาพที่อุณหภูมิ 57.5°C (Gao และคณะ, 2001) ในขณะที่คอลลาเจนเกิดการหดตัวเนื่องจากความร้อน จะมีชิ้นส่วนที่ละลายน้ำได้ (soluble fragments) ของเส้นใยบางส่วนละลายออกมา และทำให้ความเหนียวลดลงได้ (Ledward, 1979) โดยปกติเนื้อหอยเป๋าฮื้อประกอบด้วยคอลลาเจนสูงถึง 30%-50% ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด (Olaechea และคณะ, 1993) การเปลี่ยนแปลงของคอลลาเจนเนื่องจากความร้อนจึงมีอิทธิพลต่อเนื้อสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อมาก ในขณะที่ myofibrillar protein แทบไม่มีบทบาทต่อเนื้อสัมผัสเลย (Ochiai และคณะ, 1985; Olaechea และคณะ, 1993)

เมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น พบว่า เนื้อหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C และ 120°C มีค่า toughness ลดลงอย่างเห็นได้ชัดหลังการให้ความร้อน 60 นาทีขึ้นไป เช่นเดียวกับที่พบว่าค่า WHC เพิ่มสูงขึ้น (รูปที่ 4.5) คาดว่าเนื่องมาจากคอลลาเจนเปลี่ยนไป

เป็นเจลาตินอย่างสมบูรณ์ น้ำถูกจับไว้ในเนื้อมากขึ้น จึงทำให้เนื้อสัมผัสนุ่มมากขึ้นด้วย (Gao และคณะ, 2001) ในขณะที่การให้ความร้อนที่ 80°C ค่า toughness ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการให้ความร้อน (รูปที่ 4.4) เนื่องจากคอลลาเจนเปลี่ยนไปเป็นเจลาตินได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 80°C และอัตราการเกิดเจลาตินจะเพิ่มขึ้นเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า (Davey และ Gilbert, 1974; Ledward, 1984) จึงทำให้ค่า toughness มีการเปลี่ยนแปลงน้อย




**รูปที่ 4.4** ค่า toughness ของหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C 100°C และ 120°C เป็นเวลา 2-240 นาที




**รูปที่** 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่า toughness กับ ค่า water-holding capacity (WHC) ของเนื้อหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อนที่ (A) 80°C (B) 100°C และ (C) 120°C

### 4.3.5 Kinetic parameters ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อหอยเป๋าฮื้อ

จากการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่างๆ ของเนื้อหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อน ซึ่งได้แก่ ปริมาณ cooking loss ค่า degree of browning ค่า WHC และค่า toughness สามารถอธิบายได้ด้วยปฏิกิริยาแบบ first order kinetic ดังสมการข้างล่าง

$$-(dQ/dt) = kQ$$

$$\int_{Q0}^{Qt} (1/Q)\, dQ = -\int_{0}^{t} k\, dt$$

$$\ln Q - \ln Q_0 = -kt$$

$$\ln Q/Q_0 = -kt \qquad \text{---------- (1)}$$

เมื่อ $Q_t$ : ลักษณะคุณภาพที่วิเคราะห์ที่เวลาใดๆ

$Q_0$ : ลักษณะคุณภาพที่วิเคราะห์ที่เวลาเริ่มต้น

k : rate constant (นาที$^{-1}$)

t : เวลาในการให้ความร้อน (นาที)

Rizvi และ Tong (1997) กำหนดให้

$$\text{fractional conversion (f)} = (Q_0 - Q_t)/(Q_0 - Q_x)$$

โดย $Q_0$ : ลักษณะคุณภาพที่วิเคราะห์ที่เวลาเริ่มต้น

$Q_t$ : ลักษณะคุณภาพที่วิเคราะห์ที่เวลาใดๆ

$Q_x$ : ลักษณะคุณภาพที่วิเคราะห์ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 240 นาที

แทนค่า fractional conversion ลงในสมการ (1)

จะได้ $\ln Q_t/Q_0 = \ln (1-f) = -kt$ ---------- (2)

เมื่อสร้างกราฟระหว่าง ln (1-f) กับระยะเวลาการให้ความร้อน (t) ความชันของกราฟที่ได้ คือ ค่า rate constant ของปฏิกิริยา (แสดงในตารางที่ 4.5 และภาคผนวก ญ.1-ญ.4)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร เช่น เนื้อสัมผัส ที่ปฏิกิริยาอธิบายได้ด้วย first order kinetic อัตราเร็วของปฏิกิริยาแบ่งเป็น 2 ช่วง หรือเรียกว่า dual mechanism first order kinetic ช่วงแรกกราฟการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกับเวลามีความชันมาก ซึ่งหมายถึงอัตราเร็วของ

ปฏิกิริยาสูง และช่วงต่อมากราฟมีความชันต่ำ แสดงว่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาเกิดได้ช้า ค่า rate constant และ activation energy (Ea) ของปฏิกิริยาแต่ละช่วงจะถูกคำนวณแยกกัน ดังนั้นการทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารจึงต้องใช้พารามิเตอร์ที่ได้ทั้งสองค่าจากปฏิกิริยาแต่ละช่วงมาทำนาย

การนำเทคนิค fractional conversion มาใช้ ทำให้สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารจาก dual mechanism first order kinetic ให้เป็น simple first order kinetic และสามารถนำพารามิเตอร์ที่ได้มาทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร (โดยใช้สมการ (3)) ได้อย่างถูกต้อง น่าเชื่อถือ และใช้ได้สะดวกมากกว่าการอธิบายด้วย dual mechanism first order kinetic

$$Q_t = Q_x + (Q_0 - Q_x) \exp(-kt) \qquad \text{---------- (3)}$$

นอกจากนี้การใช้ fractional conversion ยังช่วยกำจัดความแปรปรวน (variability) ที่อาจมีผลต่อค่า rate constant ที่คำนวณได้ เช่น การใช้วิธีการวัด หรือพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัด หรือวิธีการเตรียมตัวอย่างที่แตกต่างกันมีผลทำให้ rate constant ที่คำนวณได้แตกต่างกัน แม้ว่าจะให้ความร้อนที่อุณหภูมิเดียวกัน Rizvi และ Tong (1997) ได้ยกตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของแครอทที่ผ่านการลวกที่ 74°C เป็นเวลา 4 นาที (Bourne, 1987) และไม่ผ่านการลวก (Heil และ McCarty, 1989) ก่อนให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C โดยใช้เครื่องมือวัดและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดต่างกัน พบว่าเมื่อสร้างกราฟ log (firmness) กับเวลา การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสเป็นแบบ dual mechanism และได้ rate constant ของปฏิกิริยาในช่วงแรกแตกต่างกัน แต่เมื่อนำเทคนิค fractional conversion มาใช้ ทำให้อธิบายการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของแครอทด้วยปฏิกิริยา simple first order kinetic ได้เนื่องจากการใช้ fractional conversion จะนำค่าที่ได้จากการวัดลักษณะคุณภาพหลังจากการให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานมาก ($Q_x$) มาใช้ในการคำนวณด้วย ทำให้ได้ rate constant เพียงค่าเดียวและค่าที่ได้จากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิเดียวกันมีค่าเท่ากันด้วย เมื่อนำ rate constant ที่ได้นี้มาทำนายการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของแครอทตามสมการ (3) พบว่าค่าความแข็งของแครอทที่คำนวณได้มีความถูกต้องและใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากการทดลองมาก แสดงให้เห็นว่าเทคนิค fractional conversion เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือด้วย

ความสัมพันธ์ระหว่าง rate constant และ activation energy เป็นไปตามสมการ Arrhenius คือ

$$\ln k = \ln A - (Ea/RT) \quad \text{---------- (4)}$$

เมื่อ A : ค่าคงที่สำหรับปฏิกิริยาหนึ่งๆ

Ea : activation energy (kcal/mol.K)

R : ค่าคงที่ของก๊าซ = 1.987 kcal/mol.K หรือ 8.314 kJ/mol.K

T : อุณหภูมิ (K)

เมื่อสร้างกราฟระหว่าง ln k กับ 1/T จะได้ค่า activation energy ของการเปลี่ยนแปลง (แสดงในตาราง 4.5 และภาคผนวก ญ.5)

ยกตัวอย่างการคำนวณ activation energy ของการเปลี่ยนแปลงค่า degree of browning ตามสมการ (5) โดยสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟระหว่าง ln k (แกน y) กับ 1/T (แกน x) ของค่า degree of browning คือ $y = 3.184x - 4.2559$ ($R^2 = 0.9962$) (แสดงในภาคผนวก ญ.6)

ความชันของกราฟ = Ea/R ---------- (5)

จะได้ว่า $Ea/R = 3.184$

$Ea/1.987 = 3.184$

$Ea = 6.33$ kcal/mol.K

จากตารางที่ 4.5 พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณ cooking loss ค่า degree of browning ค่า WHC และค่า toughness เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการให้ความร้อน และค่า Ea ของปริมาณ cooking loss ค่า degree of browning ค่า WHC และค่า toughness เท่ากับ 6.23 ($R^2$ = 0.9617), 6.33 ($R^2$ = 0.9962), 7.09 ($R^2$ = 0.9983), และ 13.34 ($R^2$ = 0.9019) kcal/mol.K ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Ma และคณะ (1983) ที่พบว่าการเปลี่ยนแปลงความนุ่มของเนื้อกุ้งกระป๋องที่ฆ่าเชื้อที่ 115°C 124°C 133°C และ 140°C สามารถอธิบายได้ด้วยปฏิกิริยาแบบ first order kinetic มีค่า k เท่ากับ 0.025, 0.048, 0.10, และ 0.17 $min^{-1}$ ตามลำดับ โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ส่วนค่า Ea ของการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 24 kcal/mol.K ซึ่งค่า k และ Ea ที่คำนวณได้สามารถนำไปทำนายการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสระหว่างกระบวนการให้ความร้อนของเนื้อกุ้งได้ และจากการศึกษาของ Bertola และคณะ (1994) พบว่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักและการเปลี่ยนแปลงความนุ่มของเนื้อเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการให้ความร้อน ค่า Ea ของการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 13.13 kcal/mol.K และ 144.50 kcal/mol.K

ตามลำดับ Ateba และ Mittal (1994) พบว่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของลูกชิ้นเนื้อทอดสามารถอธิบายได้ด้วยปฏิกิริยา first order kinetic อัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลงสีเท่ากับ $9.12\times10^{-4}$ $min^{-1}$ และ Ea เท่ากับ 4.03 kcal/mol.K และจากการทดลองให้ความร้อนแก่หอยเป๋าฮื้อจะเห็นว่า Ea ของการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อหอยเป๋าฮื้อเท่ากับ 6.33 kcal/mol ซึ่งต่ำกว่า Ea การเกิดสีน้ำตาลของเต้าหู้ทอด (18.16 kcal/mol.K) (Baik และ Mittal, 2003) และขนม gulabjaman ทอด (10.40 kcal/mol.K) (Kumar และคณะ, 2003) แต่มีค่าสูงกว่าการเกิดสีน้ำตาลของลูกชิ้นเนื้อทอด (Ateba และ Mittal, 1994) อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดของอาหารที่ต่างกัน อาจเกิดจากองค์ประกอบในอาหารและปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาล เช่น อุณหภูมิ ค่า pH ค่า water activity เป็นต้น มีความแตกต่างกัน ทำให้ Ea ของอาหารแต่ละชนิดต่างกัน (Kumar และคณะ, 2006)

**ตารางที่ 4.5** rate constant และ activation energy ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่างๆของเนื้อหอยเป๋าฮื้อ *H. asinina* ในระหว่างการให้ความร้อน

| ลักษณะทางคุณภาพ | อุณหภูมิ (°C) | k ($min^{-1}$) | * $R^2$ | Ea ($kcal.mol^{-1}.K$) | ** $R^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Cooking loss | 80 | 0.0197 | 0.9766 | 6.23 | 0.9617 |
| | 100 | 0.0272 | 0.9176 | | |
| | 120 | 0.0489 | 0.9733 | | |
| Degree of browning | 80 | 0.0084 | 0.8990 | 6.33 | 0.9926 |
| | 100 | 0.0143 | 0.9903 | | |
| | 120 | 0.0210 | 0.9554 | | |
| WHC | 80 | 0.0786 | 0.8644 | 7.09 | 0.9983 |
| | 100 | 0.1401 | 0.9766 | | |
| | 120 | 0.2196 | 0.9694 | | |
| Toughness | 80 | 0.0044 | 0.6719 | 13.34 | 0.9019 |
| | 100 | 0.0210 | 0.9920 | | |
| | 120 | 0.0299 | 0.9647 | | |

* $R^2$ ของ rate constant

** $R^2$ ของ activation energy

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่างๆ ของเนื้อหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อนซึ่งได้แก่ ปริมาณ cooking loss ค่า degree of browning ค่า WHC และค่า toughness ทำให้ได้ rate constant และ activation energy ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่างๆ ของหอยเป๋าฮื้อ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อกำหนดภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสมของเนื้อหอยเพื่อรักษาคุณภาพ เมื่อเปรียบเทียบอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหารกับอัตราการทำลายจุลินทรีย์ที่สำคัญในอาหาร เช่น *Clostridium botulinum* เป็นต้น ถ้าอัตราการทำลายจุลินทรีย์สูงกว่าอัตราการทำลายคุณภาพอาหาร แสดงว่าภาวะดังกล่าวเหมาะสมที่จะใช้การผลิตอาหาร แต่ในทางกลับกันถ้าอัตราการทำลายจุลินทรีย์ต่ำกว่าอัตราการสูญเสียคุณภาพอาหาร การเลือกภาวะดังกล่าวจึงไม่เหมาะสมต่ออาหารนั้น เพราะแม้ให้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์จนปลอดภัย แต่กลับทำให้อาหารสูญเสียคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับ

## 4.4 กระบวนการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมของหอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์

### 4.4.1 การแทรกผ่านความร้อนและเวลาในกระบวนการฆ่าเชื้อ

จากการศึกษาการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ ขนาด 130 มิลลิเมตร×170 มิลลิเมตร น้ำหนักสุทธิ 150 กรัม โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 50°C ให้ความร้อนที่อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ 110°C เป็นเวลา 50 นาที จากการทดลองเดินเครื่องฆ่าเชื้อ 2 ครั้ง จะเลือกนำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับเวลาที่ได้จากภาวะการฆ่าเชื้อที่แย่ที่สุด คือ เมื่อสิ้นสุดช่วงการฆ่าเชื้อ 50 นาที ทำให้ได้ $F_0$ เท่ากับ 3.8 นาที (ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับเวลาอีกชุดหนึ่งได้ $F_0$ เท่ากับ 3.9 นาที) มาสร้างกราฟการแทรกผ่านความร้อน heat penetration parameter ที่ได้จากกราฟ คือ $f_h$= 6.7 นาที และ j = 1.059 (การคำนวณแสดงในภาคผนวก จ.1)

### 4.4.2 จุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อไม่เพียงพอ

เนื่องจากผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์เป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใหม่ยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับอาหาร จึงจำเป็นต้องศึกษาจุลินทรีย์ที่มีในวัตถุดิบหรือปนเปื้อนจากขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตซึ่งอาจเป็นอันตรายหรือเป็นสาเหตุของการเน่าเสียของอาหาร

การกำหนดการฆ่าเชื้อให้ได้ $F_0$ เท่ากับ 2 นาที กำหนดขึ้นเพื่อเลียนแบบสภาวะการผลิตที่มีโอกาสเกิดขึ้นจากความผิดพลาดต่างๆ ทำให้อาหารได้รับการฆ่าเชื้อไม่เพียงพอ จึงมีความเสี่ยงที่จะก่ออันตรายแก่ผู้บริโภคหรืออาจเกิดการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ได้ ดังนั้นในการทดลองจึงเลือกศึกษาจุลินทรีย์ 2 ชนิด คือ *Clostridium botulinum* และ *Bacillus stearothermophilus* ในผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อไม่เพียงพอ เนื่องจากผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์จัดเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ จุลินทรีย์สำคัญที่ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค คือ *C. botulinum* ซึ่งมักใช้เป็นดัชนีบ่งชี้การฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ไม่เพียงพอ ส่วน *B. stearothermophilus* เป็นแบคทีเรียที่ทนความร้อนมากที่สุด ($D_{121.1°C}$ เท่ากับ 4-5 นาที) และทำให้อาหารเน่าเสียแบบ flat sour

จากการทดลองไม่พบ *C. botulinum* และ *B. stearothermophilus* ในผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อไม่เพียงพอ (ค่า $F_0$ เท่ากับ 2 นาที) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 6 เดือน การที่ไม่พบเชื้อ *B. stearothermophilus* อาจเนื่องจากการเลือกใช้วัตถุดิบหรือส่วนผสมต่างๆ ที่ไม่มีการปนเปื้อนของเชื้อดังกล่าว ซึ่งแม้ว่าโดยปกติ *B. stearothermophilus* พบกระจายทั่วไปในดิน น้ำ หรือพืชทั่วไป และการปนเปื้อนในอาหารกระป๋องอาจเกิดจากการปนเปื้อนของวัตถุดิบ หรือส่วนผสม เช่น น้ำตาล แป้ง เครื่องเทศ เป็นต้น การเลือกใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพจึงช่วยลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของเชื้อนี้ได้ และในขั้นตอนหลังผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว อาหารถูกลดอุณหภูมิให้เย็นลงอย่างรวดเร็วจะช่วยทำลายเชื้อได้ เนื่องจากเกิด heat shock (ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์, 2538)

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อได้ ที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิไม่เกิน 30-35°C) เป็นอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของ *B. stearothermophilus* ซึ่งปกติเชื้อนี้เจริญได้ดีที่ 55°C และสามารถเจริญได้แม้อุณหภูมิสูงถึง 65°C-75°C นอกจากนี้การใช้กรดอินทรีย์หรือการใช้โซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 0.5 mol/L (หรือประมาณร้อยละ 2.9) มีผลไปลดความสามารถต้านทานความร้อนของเชื้อได้ (Kotzekidou, 2000) ซึ่งในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตใช้น้ำเกลือความเข้มข้น 2% จึงมีผลให้ความต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์ลดลงด้วย

นอกจากนี้ไม่พบ *C. botulinum* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สำคัญที่สุดในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำ เนื่องจากสามารถสร้างสารพิษที่อันตรายมาก สปอร์ของจุลินทรีย์ *C. botulinum* สามารถพบได้ทั่วไปทั้งในดิน ชายฝั่งทะเล ในน้ำทะเล บ่อปลา หรือในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ ดังนั้นวัตถุดิบที่มาจากทะเล สวนหรือไร่ หรือในสัตว์ที่คลุกคลีอยู่กับดิน มีโอกาสปนเปื้อนจุลินทรีย์นี้ด้วยกันทั้งนั้น (ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์, 2538) แต่อาจเป็นไปได้ที่วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต คือ หอยเป๋าฮื้อ มีการเพาะเลี้ยงในระบบฟาร์มที่มีการควบคุมคุณภาพการผลิต ซึ่งช่วยลดโอกาสการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ และในขั้นตอนการผลิตมีการปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ที่ดีของการ

ผลิตอาหารกระป๋อง แม้อาหารจะไม่ได้ผ่านความร้อนจนอยู่ในสภาพปลอดจุลินทรีย์เชิงการค้า และยังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องซึ่งเป็นภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตด้วย ก็ไม่พบ *C. botulinum* ในผลิตภัณฑ์

สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใหม่หรือเปลี่ยนแปลงสูตรต่างออกไปจากเดิม จำเป็นต้องทำการศึกษาระดับอุณหภูมิและปริมาณความร้อนที่ต้องการเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่มีในวัตถุดิบหรือมีเฉพาะในบริเวณนั้น แม้ว่าจุลินทรีย์ดังกล่าวอาจไม่เป็นอันตรายแต่อาจเป็นสาเหตุของการเน่าเสียได้ โดยปกติแล้วจะใช้จุลินทรีย์ที่มีความทนทานมากกว่า *C. botulinum* เพื่อให้แน่ใจในความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ (ทิพาพร อยู่วิทยา, 2535) เนื่องจากไม่พบ *B. stearothermophilus* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ทนต่อความร้อนสูงที่สุดที่ทำให้เกิดการเน่าเสียแบบ flat sour ในอาหารกระป๋องชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะไม่พบจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนสูงกว่าและเป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าสียของอาหารด้วย จึงไม่ต้องทดสอบ thermal inactivation kinetics ของจุลินทรีย์นั้น

### 4.4.3 ผลของอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารและอุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อที่มีผลต่อภาวะการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์

เนื่องจากผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (pH>4.6) การฆ่าเชื้อจึงมุ่งหวังที่จะทำลายจำนวนสปอร์ของ *C. botulinum* ซึ่งมีค่า $D_{121.1°C}$ เท่ากับ 0.25 นาที ให้ได้ 12 log cycle ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาในการฆ่าเชื้อที่ 121.1°C ($F_0$) เท่ากับ 3 นาที แต่เพื่อความปลอดภัยของอาหาร ในงานวิจัยนี้จะฆ่าเชื้อให้ได้ $F_0$ เท่ากับ 4 นาที ซึ่งสามารถนำ heat penetration parameter ที่ได้มาทำนายเวลาในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6 (การคำนวณแสดงในภาคผนวก จ.2)

**ตารางที่ 4.6** ผลการคำนวณเวลาการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ที่อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารและอุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อต่างๆ ตามวิธี Formula

| ผลิตภัณฑ์ | น้ำหนักสุทธิ | $F_0$ | เวลาในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ (นาที) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร | อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ (°C) | |
| | (g) | (min) | (°C) | 114 | 121 |
| หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือ | 150 | 4 | 50 | 24.9 | 7.8 |
| | | | 70 | 23.1 | 6.3 |

จากตารางที่ 4.6 เมื่อนำ kinetic parameters ที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.4.1 มาคำนวณเวลาของกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ เพื่อให้ได้ $F_0$ เท่ากับ 4 นาที โดยที่อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเท่าเดิม (50°C) ต้องให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 114°C และ 121°C เป็นเวลา 24.9 และ 7.8 นาที ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเป็น 70°C ต้องให้ความร้อนเป็นเวลา 23.1 และ 6.3 นาที ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.7** เวลาการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ที่อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารและอุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อต่างๆ ที่ทำให้ได้ $F_0$ = 4 นาที โดยคำนวณตามวิธี General

| ผลิตภัณฑ์ | น้ำหนักสุทธิ | $F_0$ | เวลาในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ (นาที) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร | อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ (°C) | |
| | (g) | (min) | (°C) | 114 | 121 |
| หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือ | 150 | 4 | 50 | 22.3 | 6.2 |
| | | | 70 | 21.9 | 5.6 |

**ตารางที่ 4.8** เวลาในการฆ่าเชื้อจริงและค่า $F_0$ ของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ที่ได้จากกระบวนการผลิตจริง

| อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร (°C) | อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ (°C) | เวลาในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ (min) | $F_0$ ของการผลิตจริง (min) |
|---|---|---|---|
| 50 | 114 | 23 | 4.4 |
| | 121 | 7 | 4.5 |
| 70 | 114 | 22 | 4.2 |
| | 121 | 6 | 4.3 |

เมื่อทดลองเดินเครื่องภายใต้ภาวะที่คำนวณได้ พบว่าการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร 50°C ที่อุณหภูมิ 114°C และ 121°C เพื่อให้ได้ $F_0$ เท่ากับ 4 นาที ต้องให้ความร้อนเป็นเวลา 22.3 และ 6.2 นาที ตามลำดับ และเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเพิ่มขึ้นเป็น 70°C ต้องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 114°C และ 121°C เป็นเวลา 21.9 และ 5.6 นาที ตามลำดับ จึงทำให้ได้ $F_0$ เท่ากับ 4 นาที (ตารางที่ 4.7) และเพื่อให้สามารถนำเวลาในการฆ่าเชื้อที่

ได้ไปปรับใช้ในการเดินเครื่องจริง จึงกำหนดเวลาการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ที่ 114°C และ 121°C เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 50°C จากเดิม 22.3 และ 6.2 นาที ตามลำดับ ไปเป็น 23 และ 7 นาที ตามลำดับ ทำให้ค่า $F_0$ เพิ่มขึ้นเป็น 4.4 และ 4.5 นาที ตามลำดับ และเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเป็น 70°C จากเดิมต้องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 114°C และ 121°C เป็นเวลา 21.9 และ 5.6 นาที ตามลำดับ ปรับเป็น 22 และ 6 นาที ตามลำดับ ทำให้ค่า $F_0$ เพิ่มขึ้นเป็น 4.2 และ 4.3 นาที ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8)

จากการคำนวณเวลาการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์เพื่อให้มี $F_0$ เท่ากับ 4 นาที ตามวิธี Formula จะเห็นว่าเวลาการฆ่าเชื้อที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าภาวะการผลิตจริงเล็กน้อย จึงถือว่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองและนำมาคำนวณนี้ สามารถนำมาใช้ในการคำนวณเวลาการฆ่าเชื้อของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ได้อย่างปลอดภัยในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนภาวะการผลิต แต่ก่อนที่จะนำภาวะการผลิตที่คำนวณได้ไปใช้ในการผลิตจริงควรมีการยืนยัน โดยการหาค่าการฆ่าเชื้อของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อภายใต้ภาวะนั้นอีกครั้ง

ในทดลองนี้ทำการเดินเครื่องก่อนนำไปใช้จริงเพียงครั้งเดียว เนื่องจากกระบวนการฆ่าเชื้อมีความแปรปรวนน้อย โดยพิจารณาจากขั้นตอนการศึกษาการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์ที่ทดลอง 2 ครั้ง พบว่าค่า $F_0$ ที่ได้ต่างกันน้อยมาก (ต่างกันเพียง 0.1 นาที) และนอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ยังเป็นอาหารชนิดเดียวกัน มีลักษณะการถ่ายเทความร้อนไม่ต่างกัน ทำให้มีความแปรปรวนน้อย การทดลองเดินเครื่องเพื่อยืนยันกระบวนการฆ่าเชื้อเพียงครั้งเดียวมีความเหมาะสมและมั่นใจได้ว่ากระบวนการฆ่าเชื้อนั้นปลอดภัยต่อผลิตภัณฑ์ การทำซ้ำเพิ่มขึ้นจึงอาจไม่จำเป็นนัก เพราะหมายถึงค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นด้วย

และจากการทดลองฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์โดยใช้เวลาการฆ่าเชื้อที่คำนวณได้ด้วยวิธี Formula พบว่าค่า $F_0$ ของกระบวนการฆ่าเชื้อมากกว่าที่กำหนดไว้ เนื่องจากในการคำนวณด้วยวิธี Formula ใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากการศึกษาการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์ซึ่งใช้น้ำหนักบรรจุมากกว่าปกติมาคำนวณ แต่ในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์จริงๆ บรรจุน้ำหนักปกติ (50% ของน้ำหนักสุทธิ) ทำให้อัตราการแทรกผ่านความร้อนเร็วกว่า ดังนั้นเมื่อนำภาวะการฆ่าเชื้อที่คำนวณด้วยวิธี Formula มาฆ่าเชื้อโดยใช้น้ำหนักบรรจุปกติจึงได้ค่า $F_0$ มากกว่า

จากตารางที่ 4.6 4.7 และ 4.8 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อคงที่ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารมีผลเพียงเล็กน้อยต่อเวลาของกระบวนการฆ่าเชื้อ ในขณะที่เมื่อให้อุณหภูมิของอาหารคงที่ การเปลี่ยนอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อทำให้เวลาของกระบวนการฆ่าเชื้อต่างกันมากอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารและ

อุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อต่างกันมาก มีผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น จึงใช้เวลาในการให้ความร้อนสั้นลง (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2535)

**ตารางที่** 4.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำหนักเนื้อ ค่า degree of browning ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ และค่า toughness ของหอยเป๋าฮื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อในภาวะอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารและอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อต่างๆ

| Source of Variance | Drained weight | Degree of browning | Soluble collagen | Toughness |
|---|---|---|---|---|
| อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร (A) | * | * | ns | ns |
| อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ (B) | * | * | * | * |
| A*B | * | * | ns | ns |

* หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

**ตารางที่** 4.10 ลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ที่ฆ่าเชื้อในภาวะที่อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร (IT) และอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ (RT) ต่างๆ

| ภาวะการฆ่าเชื้อ (IT/RT) (°C) | ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | | |
|---|---|---|---|---|
| | drained weight (%) | degree of browning (Abs.420/ g sample $\times 10^{-3}$) | soluble collagen (%collagen/ total collagen) | toughness (g.mm $\times 10^{3}$) |
| 50/114 | $31.8^{a} \pm 0.8$ | $47.1^{d} \pm 0.1$ | $27.1^{b} \pm 1.5$ | $26.6^{a} \pm 4.5$ |
| 50/121 | $40.3^{c} \pm 0.1$ | $38.1^{b} \pm 0.1$ | $20.2^{a} \pm 0.9$ | $37.7^{b} \pm 5.3$ |
| 70/114 | $35.4^{b} \pm 1.3$ | $45.2^{c} \pm 0.2$ | $26.7^{b} \pm 0.1$ | $27.0^{a} \pm 4.8$ |
| 70/121 | $40.2^{c} \pm 0.1$ | $30.4^{a} \pm 0.2$ | $19.4^{a} \pm 2.6$ | $34.8^{b} \pm 3.9$ |

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

จากตารางที่ 4.9 และ 4.10 จะเห็นว่าเมื่อนำผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อทั้ง 4 ภาวะ มาวิเคราะห์คุณภาพต่างๆ ได้แก่ น้ำหนักเนื้อ (drained

weight) ค่า degree of browning ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ (soluble collagen) และค่า toughness พบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารและอุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อมีอิทธิพลร่วมกัน ($p \leq 0.05$) ต่อปริมาณน้ำหนักเนื้อและการเกิดสีน้ำตาล โดยที่อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเท่ากัน การฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูงกว่า (121°C) ทำให้มีน้ำหนักเนื้อมากกว่า และเกิดสีน้ำตาลได้น้อยกว่า ($p \leq 0.05$) เนื่องจากใช้เวลาการฆ่าเชื้อสั้นกว่า และพบว่าอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อมีอิทธิพลต่อปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้และค่า toughness อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อต่ำกว่า (114°C) ทำให้มีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ในเนื้อหอยเป๋าฮื้อสูงกว่าและค่า toughness ลดลงมากกว่าการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากใช้เวลาการฆ่าเชื้อนานกว่า ทำให้คอลลาเจนเปลี่ยนไปเจลาตินได้มากว่า เนื้อสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อจึงนุ่มกว่า

**ตารางที่ 4.11** คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อในภาวะที่อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารและอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อต่างๆ

| ความชอบ | คะแนนความชอบ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร (°C)/อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ (°C) | | | |
| | 50/114 | 50/121 | 70/114 | 70/121 |
| รวม | $3.6^{a}\pm1.5$ | $5.1^{bc}\pm0.8$ | $4.4^{b}\pm1.4$ | $5.6^{c}\pm1.0$ |
| สี $^{ns}$ | $4.8^{a}\pm1.3$ | $5.2^{a}\pm1.1$ | $5.1^{a}\pm1.2$ | $5.2^{a}\pm1.2$ |
| กลิ่น | $4.0^{a}\pm1.4$ | $5.0^{b}\pm1.0$ | $4.6^{ab}\pm1.6$ | $5.2^{b}\pm1.4$ |
| ความยืดหยุ่น | $3.6^{a}\pm2.1$ | $5.1^{b}\pm1.0$ | $4.2^{a}\pm1.5$ | $5.4^{b}\pm1.2$ |
| ความเหนียว | $3.5^{a}\pm1.5$ | $5.0^{b}\pm0.8$ | $4.0^{a}\pm1.6$ | $5.2^{b}\pm1.4$ |
| ความชุ่มน้ำ | $4.1^{a}\pm1.3$ | $5.2^{b}\pm1.1$ | $4.1^{a}\pm1.6$ | $5.4^{b}\pm0.8$ |

a, b, c ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแถวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึงค่าในแถวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.11 เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อทั้ง 4 ภาวะ มาทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบต่อลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านกลิ่น ความยืดหยุ่น ความเหนียว ความชุ่มน้ำ และความชอบรวมต่อผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อที่ 114°C ยกเว้นความชอบด้านสีที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยผู้ทดสอบให้คะแนน

ความชอบผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อที่ 121°C อยู่ในระดับค่อนข้างชอบถึงชอบปานกลาง (5-6 คะแนน) ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 114°C ได้คะแนนความชอบทุกด้าน ยกเว้นความชอบด้านสี อยู่ในระดับค่อนข้างไม่ชอบ (3-4 คะแนน)

**ตารางที่ 4.12** คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อในภาวะที่อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารและอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อต่างๆ

| ลักษณะคุณภาพ | คะแนนลักษณะคุณภาพ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร (°C)/อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ (°C) | | | |
| | 50/114 | 50/121 | 70/114 | 70/121 |
| สี | $2.8^{a}\pm0.7$ | $3.1^{a}\pm0.7$ | $3.0^{a}\pm0.7$ | $3.6^{b}\pm0.7$ |
| ความยืดหยุ่น | $3.0^{a}\pm1.0$ | $3.7^{b}\pm0.7$ | $3.2^{a}\pm0.8$ | $4.0^{b}\pm0.8$ |
| ความเหนียว | $2.8^{a}\pm1.1$ | $4.0^{b}\pm0.6$ | $3.2^{a}\pm0.8$ | $4.2^{b}\pm0.9$ |
| ความชุ่มน้ำ | $4.3^{c}\pm0.7$ | $3.8^{ab}\pm0.6$ | $4.2^{bc}\pm0.8$ | $3.4^{a}\pm0.6$ |

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

จากตารางที่ 4.12 ผู้ทดสอบชอบผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C ซึ่งใช้เวลาในการฆ่าเชื้อสั้นกว่า เพราะเนื้อสัมผัสมีความยืดหยุ่นปานกลาง (4 คะแนน) ค่อนข้างเหนียว (4 คะแนน) และชุ่มน้ำเล็กน้อยถึงปานกลาง (3-4 คะแนน) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 114°C ผู้ทดสอบไม่ค่อยชอบ เพราะมีเนื้อสัมผัสค่อนข้างเปื่อย (3 คะแนน) และมีความชุ่มน้ำค่อนข้างมาก (>4 คะแนน) ซึ่งสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ในเนื้อหอยที่มากกว่าและค่า toughness ที่ต่ำกว่า (ดังแสดงในตาราง 4.10) แต่จะเห็นว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบต่อสีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อทั้งที่อุณหภูมิ 114°C และ 121°C ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าสีของผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มีสีครีมไม่ต่างกัน (3 คะแนน) ยกเว้นผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C และอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 70°C มีสีครีมอ่อนกว่า (3.6 คะแนน) ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่ภาวะอื่น (แสดงในตารางที่ 4.12) แม้ว่าค่า degree of browning ของผลิตภัณฑ์ที่วิเคราะห์ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ก็ตาม (ตารางที่ 4.10)

ดังนั้นจึงเลือกภาวะการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C เพราะช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านสี กลิ่น และโดยเฉพาะเนื้อสัมผัสดีกว่า และแม้ว่าการกำหนดภาวะการฆ่าเชื้อที่

อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารที่ 70°C ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนการยอมรับสูงกว่าที่ 50°C แต่ในการผลิตจริงการควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารให้ได้ 70°C ทำได้ค่อนข้างยาก ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการผลิตในระดับที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และนอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นอาหารไม่มีผลต่อเวลาการฆ่าเชื้อ รวมถึงคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์มากนัก ดังนั้นจึงเลือกภาวะการผลิตที่กำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารที่ 50°C อุณหภูมิฆ่าเชื้อ 121°C เป็นเวลา 7 นาที ในการผลิตผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ เพื่อใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยาและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน ต่อไป

## 4.5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ ตลอดอายุการเก็บรักษา 6 เดือน

### 4.5.1 คุณภาพทางจุลชีววิทยา

ผลการตรวจคุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ทุกเดือน ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน ไม่พบจุลินทรีย์ flat sour, thermophilic anaerobes, putrefactive anaerobes และ sulfide spoilage ในผลิตภัณฑ์ แสดงว่าภาวะการฆ่าเชื้อดังกล่าวเพียงพอต่อการทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย จึงปลอดภัยต่อผู้บริโภคและสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน

### 4.5.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ ซึ่งใช้วิธีการให้คะแนนความชอบคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะในแต่ละเดือนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และให้คะแนนสูงกว่าเกณฑ์ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ (4 คะแนน) โดยอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (5-6 คะแนน) ดังแสดงในตารางที่ 4.13

**ตารางที่** 4.13 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ในระหว่างการเก็บรักษา 6 เดือน

| ความชอบ | คะแนนความชอบ (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 เดือน | 2 เดือน | 3 เดือน | 4 เดือน | 5 เดือน | 6 เดือน |
| สี $^{ns}$ | 5.9±0.7 | 5.3±1.0 | 5.4±1.4 | 5.8±0.6 | 5.8±0.8 | 5.4±1.3 |
| กลิ่น $^{ns}$ | 5.0±1.6 | 5.0±1.7 | 4.6±0.8 | 5.0±1.3 | 4.6±1.2 | 4.6±0.8 |
| ความยืดหยุ่น $^{ns}$ | 5.0±1.2 | 5.0±1.3 | 5.0±1.2 | 5.2±1.1 | 5.0±0.7 | 5.2±0.6 |
| ความเหนียว $^{ns}$ | 5.4±0.9 | 5.4±0.8 | 5.4±0.8 | 5.4±0.7 | 5.4±0.8 | 5.4±0.6 |
| ความชุ่มน้ำ $^{ns}$ | 5.1±1.0 | 5.0±1.0 | 4.9±0.8 | 5.0±0.8 | 5.0±1.0 | 5.0±0.9 |
| ความชอบรวม $^{ns}$ | 5.4±0.9 | 5.2±0.8 | 5.2±1.2 | 5.3±1.0 | 5.4±0.9 | 5.2±1.0 |

ns หมายถึงค่าในแถวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

**ตารางที่** 4.14 คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสของหอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ในระหว่างการเก็บรักษา 6 เดือน

| ลักษณะคุณภาพ | ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 เดือน | 2 เดือน | 3 เดือน | 4 เดือน | 5 เดือน | 6 เดือน |
| สี | $3.8^{b}$±0.6 | $3.6^{ab}$±0.5 | $3.8^{b}$±0.5 | $3.2^{a}$±0.6 | $3.2^{a}$±0.6 | $3.3^{a}$±0.7 |
| ความยืดหยุ่น $^{ns}$ | 3.6±0.6 | 3.5±0.7 | 3.4±0.7 | 3.4±0.5 | 3.4±0.7 | 3.5±0.8 |
| ความเหนียว $^{ns}$ | 4.0±0.7 | 4.0±0.8 | 4.0±0.6 | 4.0±0.6 | 4.0±0.7 | 4.0±0.8 |
| ความชุ่มน้ำ $^{ns}$ | 4.2±0.8 | 4.0±0.7 | 4.2±0.7 | 3.9±0.7 | 4.1±0.7 | 4.1±0.6 |

a, b ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแถวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p\leq0.05$)

ns หมายถึงค่าในแถวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

จากตารางที่ 4.13 และ 4.14 พบว่าผู้ทดสอบมีความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (5-6 คะแนน) โดยให้คะแนนความชอบต่อสีของผลิตภัณฑ์ซึ่งมีสีครีมถึงครีมอ่อนอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (5-6 คะแนน) มีความชอบต่อกลิ่นเล็กน้อย (4-5 คะแนน) อาจเนื่องมาจากผู้ทดสอบไม่คุ้นเคยกับกลิ่นของผลิตภัณฑ์ บางคนให้

ความเห็นว่าเป็นกลิ่นน้ำเกลือแต่ไม่ถือว่าเป็นกลิ่นแปลกปลอม แม้จะไม่ค่อยชอบกลิ่นมากนักแต่ก็สามารถยอมรับได้ ส่วนความชอบต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความยืดหยุ่น ความเหนียว ความชุ่มน้ำอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (5-6 คะแนน) โดยผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่นเล็กน้อยถึงปานกลาง (ระดับ 3-4 คะแนน) มีความเหนียวเล็กน้อย (ระดับ 4 คะแนน) มีความชุ่มน้ำปานกลาง (ระดับ 4-5 คะแนน)

ดังนั้นคาดว่าสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์เพาช์ได้มากกว่า 6 เดือนขึ้นไป โดยที่ยังคงรักษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสและทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ดี ซึ่งพิจารณาจากการศึกษาจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ (ข้อ 4.4.2 และข้อ 4.5.1) ที่ไม่พบทั้งจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียในอาหาร และพิจารณาจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ผู้ทดสอบยังคงให้คะแนนค่อนข้างสูง และสูงกว่าเกณฑ์ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์ จะเห็นว่าแม้ระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตใหม่ จนผู้ทดสอบไม่สามารถแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาในแต่ละเดือนได้ แสดงว่าผลิตภัณฑ์อาหารบรรจุในรีทอร์ตเพาช์นั้นสามารถยืดอายุการเก็บรักษาและคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ดีเช่นเดียวกับอาหารกระป๋อง เช่น จากรายงานของ Gopal และคณะ (2001) พบว่าว่าผลิตภัณฑ์ปลาแมคเคอเรลบรรจุรีทอร์ตเพาช์มีอายุการเก็บรักษาไม่ต่ำกว่า 12 เดือน โดยที่คุณภาพของอาหารยังเป็นที่ยอมรับ Heidelbaugh และ Karel (1970) รายงานว่าคะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์เบคอนในซอสบรรจุกระป๋องและบรรจุในรีทอร์ตเพาช์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในขณะที่ Chen และ George (1981) พบว่าถั่วลันเตาบรรจุในรีทอร์ตเพาช์มีคะแนนความชอบด้านกลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบรวมดีกว่าผลิตภัณฑ์บรรจุกระป๋อง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Durance และ Collins (1991) ที่พบว่าผู้ทดสอบยอมรับผลิตภัณฑ์ปลาแซลมอนบรรจุในถุงรีทอร์ตเพาช์มากกว่าบรรจุกระป๋อง และไม่พบกลิ่นผิดปกติเหมือนกับที่พบในผลิตภัณฑ์บรรจุกระป๋อง และจากการศึกษาของ Mohan และคณะ (2006) พบว่าผลิตภัณฑ์แกงกะหรี่กุ้ง (kuruma shrimp) บรรจุถุงรีทอร์ตใช้เวลาฆ่าเชื้อสั้นกว่าผลิตภัณฑ์บรรจุกระป๋องถึง 35% ทำให้ปริมาณ cooking loss น้อยกว่า และทำให้ปัจจัยคุณภาพด้านสี เนื้อสัมผัส และการยอมรับทางประสาทสัมผัสดีกว่าผลิตภัณฑ์บรรจุกระป๋อง