บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การย่อยสลายเลือดด้วยกรด

ขั้นตอนนี้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายโปรตีนด้วยกรด ได้แก่ ปริมาณกรด hydrochloric 4 M. แปรเป็น 3, 4 และ 5 % โดยน้ำหนัก เวลาแปรเป็น 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยสลายแปรเป็น 30 และ 40 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.1-4.2 แสดงค่า DH ค่าความคงตัวของอาหารในน้ำ และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดังกล่าว พบว่าปริมาณกรด hydrochloric และเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายมีผลต่อค่า DH ขณะที่อุณหภูมิไม่มีผลต่อค่าดังกล่าว นอกจากนั้น ปริมาณกรดกับเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย ปริมาณกรดกับอุณหภูมิ และอิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย มีผลต่อค่าDH อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณกรด hydrochloric กับเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายเพิ่มขึ้น ปริมาณกรด hydrochloric กับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น หรือทั้งปริมาณกรด เวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยสลายเพิ่มขึ้นพร้อม ๆ กัน มีผลทำให้ค่า DH เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาการย่อยสลายพันธะ peptide ในโมเลกุลของโปรตีนเป็นปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นการเพิ่มทั้งปริมาณกรด hydrochloric เวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยสลายมีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้น เกิดการย่อยสลายพันธะ peptide ในโมเลกุลโปรตีนเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลให้ค่า DH เพิ่มขึ้น

โปรตีนสามารถใช้เป็นสารเชื่อมในอาหารได้เนื่องจากโมเลกุลของโปรตีนมีหมู่ $-NH_3^+$ และ $-COO^-$ ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนหรือพันธะ covalent กับโมเลกุลข้างเคียง ทำให้วัตถุดิบอาหารรวมตัวกันได้ดีขึ้น (36) ดังนั้นเมื่อพันธะ peptide ถูกย่อยสลายทำให้มีหมู่ $-NH_3^+$ และ $-COO^-$ มากขึ้นสมบัติการเป็นสารเชื่อมควรจะเพิ่มขึ้น แต่จากผลการทดลองพบว่าปริมาณกรด เวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยสลาย รวมทั้งอิทธิพลร่วมของ 2 และ 3 ปัจจัย

มีผลต่อค่าความคงตัวของอาหารในน้ำอย่างไม่มีนัยสำคัญ กล่าวคือโปรตีนไฮโดรไลเซทที่เตรียมได้จากแต่ละภาวะมีความสามารถในการเป็นสารเชื่อมได้ดีไม่แตกต่างกัน และค่าดังกล่าวยังไม่แตกต่างจากค่าที่วัดได้จากอาหารที่ใช้เลือดสดเป็นสารเชื่อมอีกด้วย ผลดังกล่าวนี้อาจเนื่องจากเลือดประกอบด้วยน้ำและโปรตีน 80 % และ 17 % โดยปริมาตร ตามลำดับ (4) ดังนั้นการใช้โปรตีนไฮโดรไลเซทที่ไม่ผ่านการทำแห้งเป็นสารเชื่อมในปริมาณ 2.5 % ของสูตรอาหาร คิดเทียบเป็นปริมาณโปรตีนในสูตรอาหารได้เพียง 0.425% ซึ่งนับว่าน้อยมากจึงไม่เห็นความแตกต่างในการเป็นสารเชื่อมได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามผลการทดลองแสดงว่าอาหารที่ใช้เลือดสดและโปรตีนไฮโดรไลเซทที่เตรียมได้เป็นสารเชื่อม ให้ค่าความคงตัวของอาหารในน้ำเป็น 85 % และ 84.84-89.68 % (ตามลำดับ) ซึ่งสูงกว่าอาหารที่ไม่ได้ใช้สารเชื่อมที่ให้ค่าความคงตัวของอาหารในน้ำเพียง 79.12% แสดงให้เห็นว่า native โปรตีนในเลือดมีสมบัติในการเป็นสารเชื่อมเองอยู่แล้ว ผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับผลจากการทดลองของ Kearns และคณะ (37) ที่ใช้เลือดสดเป็นสารเชื่อมในสูตรอาหารลัตว์ที่ประกอบด้วย กากถั่วเหลือง กากเนื้อ ข้าวโพด wheat midds ปลาป่น และสารเชื่อมในปริมาณ 55% , 17% , 14% , 7% , 6% และ 1% ตามลำดับ พบว่าอาหารที่ได้มีความคงตัวในน้ำสูงถึง 86 %

เนื่องจากวัตถุประสงค์ในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทนั้นนอกจากต้องการให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติเป็นสารเชื่อมที่ดีแล้วยังต้องการคุณค่าทางโภชนาการที่ดีอีกด้วย จากรายงานของ Nissen (15) ซึ่งกล่าวไว้ว่าโปรตีนที่มีค่า DH สูงจะย่อยและดูดซึมในร่างกายสัตว์ได้เร็วขึ้น การเลือกภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเลือดด้วยกรด จึงพิจารณาภาวะที่ให้ค่าความคงตัวของอาหารในน้ำและค่า DH สูงสุด แต่เนื่องจากค่าความคงตัวของอาหารในน้ำไม่แตกต่างกัน จึงพิจารณาเฉพาะค่า DH ซึ่งจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DH โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test พบว่าเมื่อใช้กรด hydrochloric 4 M. 5% โดยน้ำหนักย่อยสลายเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า DH สูงสุด จึงเลือกภาวะดังกล่าวนี้เป็นภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการย่อยสลายโปรตีนจากเลือดด้วยกรด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 การย่อยสลายเลือดด้วยเอนไซม์

ขั้นตอนนี้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์ได้แก่ ปริมาณสารละลายเอนไซม์ alcalase (0.06 unit/g) แปรเป็น 0.5, 1.0 และ 1.5% โดยปริมาตร และเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายแปรเป็น 5, 10, 15 และ 20 นาที

ตารางที่ 4.3-4.4 แสดงค่า DH ค่าความคงตัวของอาหารในน้ำ และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดังกล่าว พบว่า ทั้งปริมาณสารละลายเอนไซม์ alcalase และเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย รวมทั้งอิทธิพลร่วมของทั้ง 2 ปัจจัย มีผลต่อค่า DH ของผลิตภัณฑ์ที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อปริมาณสารละลายเอนไซม์ alcalase กับเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายเพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์มีค่า DH เพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะขึ้นกับความเข้มข้นของเอนไซม์ กล่าวคือเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มสูงขึ้น (ปริมาณสารละลายเอนไซม์ alcalase เพิ่มจาก 0.5-1.5 % โดยปริมาตร) โอกาสที่เอนไซม์จะจับกับโมเลกุลของโปรตีนย่อมเกิดได้สูงขึ้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาการย่อยสลายจึงเกิดได้มากขึ้น พันธะ peptide ในโมเลกุลของโปรตีน เกิดการย่อยสลายเพิ่มมากขึ้น เป็นผลให้ค่า DH เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีเวลามากพอที่เอนไซม์จะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของโปรตีนได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น การย่อยสลายพันธะ peptide ในโมเลกุลของโปรตีน และค่า DH จึงเพิ่มขึ้น และเนื่องจากที่ภาวะสูงสุดของการทดลองนี้ คือการใช้ปริมาณสารละลายเอนไซม์ alcalase (0.06 unit/g) 1.5 % โดยปริมาตร ย่อยสลายเป็นเวลา 20 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้ให้ค่า DH สูงถึง 96.08 % และสูงมากกว่าเลือดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยกรดซึ่งให้ค่า DH สูงสุดเท่ากับ 90.18 % จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาภาวะอื่นที่อาจมีผลในการเพิ่มค่า DH ให้สูงมากไปกว่า 96.08%

เมื่อพิจารณาค่าความคงตัวของอาหารในน้ำสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้โปรตีนไฮโดรไลเซททุกตัวอย่างเป็นสารเชื่อมพบว่า ปริมาณสารละลายเอนไซม์ alcalase เวลาในการย่อยสลาย และอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัย มีผลต่อค่าดังกล่าวอย่างไม่มีนัยสำคัญ และค่าที่ได้ไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ใช้เลือดสดเป็นสารเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ ผลดังกล่าวนี้เหมือนผลที่ได้จากการใช้โปรตีนไฮโดรไลเซทจากการย่อยสลายด้วยกรด (ข้อ 5.1) เป็นสารเชื่อมและอาจใช้เหตุผลทำนองเดียวกันในการอธิบายได้ด้วย ดังนั้นการเลือกภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเลือดด้วยเอนไซม์จึงพิจารณาภาวะที่ให้ค่า DH สูงสุด เช่นเดียวกับกรณีของผลิตภัณฑ์ที่เตรียม

โดยใช้กรด hydrochloric จึงเลือกสารละลายเอนไซม์ alcalase (0.06 unit/g) 1.5% โดยปริมาตร เวลาย่อยสลาย 20 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นภาวะเหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองนี้

5.3 การวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโน

วิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนอิสระของเลือดสด เลือดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยกรด และเลือดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ โดยส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่ ศูนย์เครื่องมือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และตัวอย่างที่ส่งไปวิเคราะห์นั้นไม่ได้ย่อยสลายด้วยกรด hydrochloric อีกครั้งก่อนการวิเคราะห์โดยเครื่อง Amino Acid Analyzer

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณกรดอะมิโนของเลือดทั้ง 3 ตัวอย่าง จะเห็นได้ว่า เลือดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยกรด มีปริมาณกรดอะมิโนส่วนใหญ่น้อยกว่าเลือดสด ตัวอย่างเช่นเลือดสดมีปริมาณกรดอะมิโน isoleucine และ leucine เท่ากับ 5.82 และ 15.29 กรัม/100 กรัมโปรตีน ตามลำดับ ขณะที่เลือดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยกรดมีปริมาณกรดอะมิโนดังกล่าวลดลงเป็น 5.02 และ 13.46 กรัม/100กรัมโปรตีน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับคำอธิบายของ Hill (12) ที่กล่าวไว้ว่ากรดอะมิโนบางชนิดเช่น isoleucine และ leucine จะถูกทำลายในภาวะที่เป็นกรด สำหรับกรณีของเลือดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์มีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นได้แก่ lysine,methionine,valine,phenylalanine,leucine,isoleucine,histidine และกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นได้แก่ arginine, aspartic acid, serine, glutamic acid, glycine , alanine, tyrosine สูงกว่าเลือดสด เนื่องจากเอนไซม์ alcalase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพและมีความจำเพาะเจาะจงต่อการตัดพันธะ peptide (38) ในขณะที่การย่อยสลายด้วยกรดเป็นการตัดพันธะ peptide อย่างสุ่ม ดังนั้นการย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์ชนิดนี้จึงทำให้มีกรดอะมิโนอิสระชนิดต่าง ๆ เป็นจำนวนมากและยังอาจกล่าวได้ว่าเลือดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์มีคุณค่าโภชนาการสูงขึ้น เนื่องจากมีปริมาณกรดอะมิโน methionine และ isoleucine อิสระซึ่งร่างกายย่อยสลายได้ทันทีเพิ่มสูงขึ้นเป็น 8.90 และ 7.99 กรัม/100 กรัมโปรตีน ตามลำดับ ขณะที่เลือดสดมีเพียง 2.84 และ 5.82 กรัม / 100 กรัมโปรตีน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 การทำแห้งเลือดสดและโปรตีนไฮโดรไลเซท

5.4.1 การอบแห้งด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่าน

อบแห้งตัวอย่างเลือดสด เลือดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยกรด และเลือดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ด้วยตู้อบแห้งแบบมีลมเป่าผ่าน ที่อุณหภูมิ 60,70 และ 80 องศาเซลเซียส แปรปริมาณความชื้นสุดท้ายเป็น 10% และ 20 % จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (รูปที่ 4.1-4.3) จะเห็นว่าช่วงแรกของการอบแห้งอัตราการสูญเสียน้ำจากผลิตภัณฑ์จะค่อนข้างช้า เรียกช่วงนี้ว่าช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้น(39) ช่วงต่อมาที่ปริมาณความชื้น 60 % ถึง 10 % ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างรวดเร็วเป็นช่วงที่พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ผลิตภัณฑ์ได้รับใช้ไปในการระเหยน้ำเท่านั้น อัตราการสูญเสียน้ำจากผลิตภัณฑ์ในช่วงนี้จะคงที่ เรียกช่วงนี้ว่าช่วงอัตราคงตัว (constant rate period) (39) และช่วงสุดท้ายของการอบแห้งคือช่วงอัตราลดลง (falling rate period) คือช่วงที่ปริมาณความชื้นต่ำกว่า 10 % อัตราเร็วในการเสียความชื้นจะลดลงเนื่องจากการหดตัวของเนื้อเยื่อที่แห้งแล้วบริเวณผิว ทำให้น้ำภายในผลิตภัณฑ์แพร่ออกมาที่พื้นผิวได้ช้ากว่าการระเหยน้ำจากผิวของผลิตภัณฑ์ จากกราฟดังกล่าวพบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นเวลาที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสุดท้ายตามต้องการจะลดลง อย่างไรก็ตามการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง เพื่อประมาณเวลาสำหรับการทำแห้งผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 60,70 และ 80 องศาเซลเซียส จึงไม่พิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิ ปริมาณความชื้นสุดท้าย ชนิดของเลือด ต่อเวลาในการอบแห้งและจากรูป 4.1-4.3 สรุปเวลาในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ที่ 60 , 70 และ 80 องศาเซลเซียส จนถึงความชื้น 10 % ได้เป็น 9 ชั่วโมง 50 นาที - 10 ชั่วโมง 40 นาที, 7 ชั่วโมง 40 นาที - 8 ชั่วโมง 15 นาที และ 5 ชั่วโมง 30 นาที - 5 ชั่วโมง 50 นาที ตามลำดับ และเวลาทำแห้งที่อุณหภูมิเดียวกันถึงความชื้น 20 % เป็น 7 ชั่วโมง 25 นาที - 8 ชั่วโมง 55 นาที , 5 ชั่วโมง 5 นาที - 6 ชั่วโมง 15 นาที และ 4 ชั่วโมง 20 นาที - 4 ชั่วโมง 50 นาที ตามลำดับ เนื่องจากการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานอาจมีผลต่อสมบัติด้านการเป็นสารเชื่อมของโปรตีนไฮโดรไลเซท จึงใช้ค่าความคงตัวของอาหารในน้ำเป็นเกณฑ์เลือกภาวะที่เหมาะสมสำหรับสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์ ตารางที่ 4.6 และ 4.7 แสดงค่าความคงตัวของอาหารในน้ำและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดังกล่าว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พบว่าชนิดของเลือดมีผลต่อค่าความคงตัวของอาหารในน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือ เลือดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ เมื่อนำมาทำแห้งให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมดีกว่าเลือดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยกรด และเลือดสดตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเลือดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์มีค่า DH สูงถึง 96.08 % ซึ่งหมายถึงปริมาณพันธะ peptide ในโมเลกุลของโปรตีนถูกย่อยสลายมากกว่าเลือดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยกรดที่มีค่า DH เป็น 90.18 % และเลือดสดที่ไม่ได้ย่อยสลายเลย จึงเกิดพันธะไฮโดรเจนหรือพันธะ covalent กับโมเลกุลข้างเคียงได้มากกว่า ทำให้มีสมบัติเป็นสารเชื่อมที่ดีกว่าและให้ค่าความคงตัวของอาหารในน้ำสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้เลือดซึ่งย่อยสลายด้วยกรดหรือเลือดสด ซึ่งสอดคล้องกับ Chervan และ Desslie (2) ที่กล่าวไว้ว่าเลือดที่ผ่านการย่อยสลายจะมีสมบัติในการเป็นสารเชื่อมได้ดีขึ้น นอกจากนั้นผลจากการทดลองข้อ 5.1 และ 5.2 แสดงว่าตัวอย่างเลือดทั้ง 3 ชนิดที่ไม่ผ่านการทำแห้งทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมได้ดีไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.1 และ 4.3) แต่เมื่อผ่านการทำแห้งแล้วชนิดของเลือดจะส่งผลต่อการเป็นสารเชื่อม ทั้งนี้เพราะการใช้ตัวอย่างเลือดที่ไม่ผ่านการทำแห้งเป็นสารเชื่อมในปริมาณ 2.5 % ของสูตรอาหาร จะมีโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมเพียง 0.42 % ของสูตรอาหาร ทำให้ไม่เห็นความแตกต่างของค่าความคงตัวของอาหารในน้ำ แต่เมื่อใช้ตัวอย่างเลือดทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการทำแห้งเป็นสารเชื่อมในปริมาณที่เท่ากันจะมีโปรตีนถึง 2.00 % ของสูตรอาหาร ซึ่งสูงมากพอที่จะทำให้เห็นความแตกต่างของค่าความคงตัวของอาหารในน้ำ

อุณหภูมิและปริมาณความชื้นสุดท้ายในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่านมีผลต่อค่าความคงตัวของอาหารในน้ำอย่างไม่มีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเนื่องจากระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลไม่มากพอที่จะทำให้เกิดการแปลงสภาพของโปรตีนจนเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับจำนวนหมู่ $-NH_3^+$ และ $-COO^-$ อิสระในโมเลกุลของโปรตีน ส่วนผลความชื้นสุดท้ายซึ่งสืบเนื่องจากความแตกต่างของเวลาในการอบแห้งก็ไม่มีผลต่อสภาพโปรตีนในลักษณะเดียวกัน ทั้ง 2 ปัจจัยจึงไม่ทำให้สมบัติด้านการเป็นสารเชื่อมของโปรตีนไฮโดรไลเซทต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่านที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เพื่อลดเวลาในการอบแห้งและอบจนถึงความชื้นสุดท้าย 10% เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เก็บได้นาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4.2 การทำแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศ

อบแห้งตัวอย่างเลือดสด เลือดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยกรด และเลือดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ด้วยตู้อบแบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ควบคุมความดันสุญญากาศภายในตู้อบให้คงที่ตลอดเวลาที่ 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งเป็นค่าสูงสุด เพื่อลดระยะเวลาในการอบแห้งให้สั้นที่สุด แปรปริมาณความชื้นสุดท้ายเป็น 10% และ 20% รูปที่ 4.4-4.6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาในการอบแห้งตัวอย่างด้วยตู้อบแบบสุญญากาศซึ่งมีลักษณะเดียวกับรูปกราฟจากการอบแห้งด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่าน จากรูป 4.4-4.6 สรุปเวลาในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ที่ 60,70 และ 80 องศาเซลเซียส ถึงความชื้น 10 % ได้เป็น 7 ชั่วโมง 20 นาที - 7 ชั่วโมง 35 นาที , 5 ชั่วโมง 55 นาที - 7 ชั่วโมง 5 นาที และ 5 ชั่วโมง - 5 ชั่วโมง 35 นาที ตามลำดับ และเวลาทำแห้งที่อุณหภูมิเดียวกันถึงความชื้น 20 % เป็น 6 ชั่วโมง - 6 ชั่วโมง 25 นาที, 4 ชั่วโมง 50 นาที - 5 ชั่วโมง 50 นาที และ 4 ชั่วโมง 20 นาที - 4 ชั่วโมง 50 นาที ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันกับผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่านได้ใช้ค่าความคงตัวของอาหารในน้ำเป็นเกณฑ์เลือกภาวะที่เหมาะสมสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์ ตารางที่ 4.9-4.10 แสดงค่าความคงตัวของอาหารในน้ำ และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดังกล่าว พบว่าชนิดของเลือดมีผลต่อค่าความคงตัวของอาหารในน้ำเช่นเดียวกับการอบแห้งด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่าน (ข้อ 5.4.1) กล่าวคือการใช้เลือดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์เป็นสารเชื่อมจะให้อาหารที่มีความคงตัวในน้ำสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้เลือดที่ผ่านการย่อยสลายด้วยกรดและเลือดสด

อุณหภูมิและปริมาณความชื้นสุดท้ายในการอบแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศมีผลต่อค่าความคงตัวของอาหารในน้ำอย่างไม่มีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับกรณีที่อบแห้งด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่าน คือทั้งอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสุดท้ายไม่ทำให้สมบัติด้านการเป็นสารเชื่อมของโปรตีนไฮโดรไลเซทต่างกัน จึงเลือกอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยตู้อบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพื่อลดระยะเวลาในการอบแห้ง และเลือกปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ 10% เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บเป็นเวลานาน โดยเลือดสดและโปรตีนไฮโดรไลเซทที่ได้ยังมีสมบัติในการเป็นสารเชื่อมได้ดี

เมื่อเปรียบเทียบค่าความคงตัวของอาหารในน้ำ ของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อบแห้งทั้งสองชนิด จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ให้มีความชื้นต่ำกว่า 10 % ตู้อบแบบสุญญากาศจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าตู้อบแบบมีลมเป่าผ่านประมาณ 2 ถึง 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ออกแบบสำหรับการทดลองนี้

5.5 ศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์

5.5.1 ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่าน

ศึกษาอายุการเก็บของตัวอย่างเลือดที่ผ่านการทำแห้ง ด้วยตู้อบแบบมีลมเป่าผ่านที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยบรรจุแบบสุญญากาศในถุง HDPE และ Eval film เก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บได้เป็นเวลานาน ระหว่างการเก็บวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เวลา 1,2,3 และ 4 เดือน จากตารางที่ 4.12-4.14 พบว่า เวลาเก็บและชนิดของภาชนะบรรจุ รวมทั้งอิทธิพลของ 2 ปัจจัยมีผลต่อปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าถุง Eval film สามารถป้องกันการแลกเปลี่ยนความชื้นได้ดีกว่าถุง HDPE กล่าวคือถุง Eval film สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ให้มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 12 % ได้นานถึง 4 เดือน ขณะที่ถุง HDPE เก็บได้เพียง 2 เดือน ที่เวลาเก็บ 4 เดือน ผลิตภัณฑ์ที่เก็บในถุง Eval film มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจากเดิม 1.77% ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เก็บในถุง HDPE มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น 3.32 % ผลดังกล่าวนี้เนื่องจากถุง Eval film มีสมบัติกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดีกว่า HDPE โดยค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 % เป็น 1.86 และ 0.71 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร-วัน สำหรับ HDPE และ Eval film ตามลำดับ (40) อย่างไรก็ตามหลังเก็บเป็นเวลานาน 4 เดือนลักษณะปรากฏของเลือดแห้งทั้ง 3 ชนิดที่เก็บในถุง Eval film และถุง HDPE ยังมีลักษณะเป็นผงแห้งสีน้ำตาลแดงเหมือนก่อนเก็บไม่มีลักษณะติดเป็นก้อน หรือมีน้ำเยิ้มแต่อย่างใด

เมื่อพิจารณาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในวัสดุภาชนะบรรจุทั้ง 2 ชนิด (ตารางที่ 4.15-4.16) พบว่าทั้งชนิดของเลือด ภาชนะบรรจุ และอายุการเก็บ รวมทั้งอิทธิพลร่วมของ 2 และ 3 ปัจจัย มีผลต่อค่าดังกล่าวอย่างไม่มีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์ก่อนเก็บได้ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 5 ชั่วโมง ทำให้จุลินทรีย์บางส่วนถูกทำลายไป และวัสดุภาชนะบรรจุทั้ง 2 ชนิดป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ได้ดีพอ นอกจากนั้นการบรรจุที่ภาวะสุญญากาศยังมีผลในการจำกัดปริมาณและชนิดของจุลินทรีย์บางอย่างในผลิตภัณฑ์ได้ด้วย ผลิตภัณฑ์ที่เก็บในภาชนะบรรจุทั้ง 2 ชนิด จึงมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่ามาตรฐานของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ควรมีในอาหารแห้ง (ความชื้น 11 %) คือไม่เกิน $1X10^5$ โคโลนี/กรัม ตัวอย่าง (35) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าถุง Eval film และถุง HDPE สามารถป้องกันการปนเปื้อนจุลินทรีย์ได้ดีเท่ากัน แต่ถุง Eval film เป็นวัสดุภาชนะบรรจุที่ดีกว่าถุง HDPE ในด้านการป้องกันความชื้น คือสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ให้มีความชื้นต่ำกว่า 12% ได้นานอย่างน้อย 4 เดือนขณะที่ถุง HDPE เก็บได้นานเพียง 2 เดือน

5.5.2 ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศ

ศึกษาอายุการเก็บของตัวอย่างเลือดที่ผ่านการทำแห้ง ด้วยตู้อบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดันภายในตู้อบ 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยบรรจุแบบสุญญากาศในถุง HDPE และ Eval film เก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ของตัวอย่างทุก 1 เดือนเป็นเวลา 4 เดือน พบว่าทั้งเวลาเก็บและชนิดของภาชนะบรรจุ มีผลต่อปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ($p\leq 0.05$) กล่าวคือถุง Eval film สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ให้มีปริมาณความชื้นน้อยกว่า 12% ได้นานถึง 4 เดือนขณะที่ถุง HDPE เก็บได้เพียง 3 เดือน โดยผลิตภัณฑ์ที่เก็บในถุง Eval film มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 1.76% ส่วนถุง HDPE มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 2.31 % แต่หลัง 4 เดือนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 ชนิด ในถุง Eval film และ ถุง HDPE ยังคงมีลักษณะเป็นผงแห้งสีน้ำตาลแดงเหมือนผลิตภัณฑ์ก่อนเก็บ เมื่อพิจารณาผลของเวลาเก็บและชนิดของภาชนะบรรจุต่อจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่าปัจจัยทั้ง 2 มีผลต่อจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอย่างไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่า Eval film และ HDPE สามารถป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ดีเท่ากัน เช่นเดียวกับผลจากข้อ 5.5.1 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าถุง Eval film และ HDPE ป้องกันการปนเปื้อนจุลินทรีย์ได้ดีเท่ากัน แต่ Eval film เป็นวัสดุภาชนะบรรจุที่ดีกว่า HDPE ในด้านการป้องกันความชื้น คือสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ให้มีความชื้นต่ำกว่า 12 % ได้นานอย่างน้อย 4 เดือน ขณะที่ HDPE เก็บได้เพียง 3 เดือน

ปริมาณความชื้นและจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบ

แบบมีลมเป่าผ่านและตู้อบแบบสุญญากาศหลังเก็บ 4 เดือน ใกล้เคียงกัน และผลิตภัณฑ์จากการทำแห้งด้วยตู้อบแห้งทั้ง 2 ชนิดในถุง Eval film และ HDPE มีลักษณะเป็นผงแห้งสีน้ำตาลแดงเหมือนกันแสดงว่าการทำแห้งทั้ง 2 วิธีมีผลต่อเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บไม่แตกต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย