บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตข้าวเหนียวพาร์บอยล์เสริมคุณค่าทางโภชนาการ

- ข้าวเหนียว พันธุ์ กข 6 (ซื้อจากเกษตรกรในเขต อ.เมือง จ.ลำปาง ประเทศไทย)
- สารประกอบโซเดียมไอร์รอนอีดีทีเอ (NaFeEDTA.H_2O) เป็นแหล่งของธาตุเหล็ก (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Germany)
- สารประกอบแคลเซียมแลคเตท กลูโคเนท (Calcium Lactate Gluconate; CaLG) เป็นแหล่งของธาตุแคลเซียม (PURAC biochem bv., The Netherlands)
- สารประกอบโพแทสเซียมไอโอเดต (Potassium iodate; KIO_3) เป็นแหล่งของธาตุไอโอดีน (Farmitalia Carlo Erba S.p.A, Italy)
- สารประกอบแอล-ไลซีน ไฮโดรคลอไรด์ (L-Lysine HCl) เป็นแหล่งของกรดอะมิโน ไลซีน (HiMedia Laboratories Pvt. Ltd., India)
- สารประกอบแอล-ทรีโอนีน (L-Threonine) เป็นแหล่งของกรดอะมิโนทรีโอนีน (HiMedia Laboratories Pvt. Ltd., India)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตข้าวเหนียวพาร์บอยล์เสริมคุณค่าทางโภชนาการ

- เครื่องสีข้าว (คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย)
- เครื่องวัดความชื้นข้าว (Grain Moisture Tester, Kasetsart University: Model EE-KU version 6, Thailand)
- หม้อทอดสุญญากาศ (ใช้ประยุกต์ดัดแปลงเป็นเครื่องแช่ข้าวในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ, โรงงานแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ มูลนิธิโครงการหลวง ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย)
- หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Retort, โรงงานแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ มูลนิธิโครงการหลวง ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตข้าวเหนียวพาร์บอยล์เสริมคุณค่าทางโภชนาการ (ต่อ)

- ตู้อบลมร้อน (ใช้พลังงานจากก๊าซหุงต้ม, โรงงานแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์มูลนิธิโครงการหลวง ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย)
- เครื่องชั่งแบบดิจิตอล (A&D: Model SK-5001WP, Korea)
- บีกเกอร์ขนาด 3000 มิลลิลิตร
- แท่งแก้ว
- ชุดเตาแก๊ส
- หม้อสแตนเลส
- ไม้พาย
- เทอร์โมมิเตอร์
- ตะแกรงสแตนเลส
- ผ้าขาวบางชนิดผืนและชนิดถุง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางโภชนาการ

- เครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกเข็ง (Lyophilizer, Leybold–Heraeus: Model Lyovac GT 2, Germany)
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงระดับอะตอม (Atomic Absorption Spectrophotometer, Perkin-Elmer: Model 3100, USA)
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer, Shimudzu: Model UV-2101PC, Japan)
- ชุดวิเคราะห์โปรตีน (Tecator: Model Kjeltec System 1002, Sweden)
- เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Fat extractor, Leco: Model TFE 2000, USA)
- เครื่องอบแห้งสุญญากาศ (Vacuum Oven, Precision: Model 524, USA)
- เตาเผา (Muffle furnace, Vulcan: Model 3-1750, USA)
- อุปกรณ์ในการย่อย (เตา Digestion Block) (FOSS: Model Digester 2040, Sweden)
- เครื่อง Sonicator (Elma: Model Transsonic T700H, Germany)
- เครื่องเขย่า (Flask shaker, JANKE & KUNKEL: Model VX5, Germany)
- เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge, KUBOTA: Model 5200, Japan)
- เครื่องเขย่าผสมแบบหมุนวน (Mixer, Vortex Genie-2: Model G-560E, USA)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางโภชนาการ (ต่อ)

- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo: Model AB204-S, Switzerland)
- เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo: Model PB1502-S, Switzerland)
- เครื่องปั่น (Blender, National: Model MX-T700 GN, Taiwan)
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, Memmert: Model UNB400, USA)
- ชุดอุปกรณ์เครื่องแก้วและเครื่องมือวิทยาศาสตร์
- ไมโครปิเปต (Micro Pipette)
- พาราฟิล์ม (Parafilm)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- เครื่องวัดสี (Chroma camera meter, Minolta: Model CR310, Japan)
- เครื่องวัดแรงเฉือน (Instron: Model 5565 series, USA)
- เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Precisa: Model BJ1000C, Switzerland)
- ลังถึงสแตนเลส
- ตะแกรงสแตนเลส
- แม่พิมพ์สแตนเลส ขนาด 5.0x2.5x1.0 เซนติเมตร^3
- ถาดสแตนเลส
- ถ้วยพลาสติกเมลามีน
- ผ้าขาวบาง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

- ชุดอุปกรณ์ทดสอบชิม
- แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส (รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ค)

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- กรดบอริก (Boric acid; H_3BO_3, Fisher Scientific, USA)
- กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid; H_2SO_4, Merck, Germany)
- กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; HCl, Merck, Germany)
- กรดไนตริก (Nitric acid; HNO_3, Merck, Germany)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ (ต่อ)

- โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH, Merck, Germany)
- โบรโมครีซอล กรีน (Bromocresol green; $C_{21}H_{14}Br_4O_5S$, Merck, Germany)
- Kjel tab auto (1.5 g K_2SO_4 + 0.0075 g Se, Tecator, Sweden)
- กรดเปอร์คลอริก (Perchloric acid; $HClO_4$, Merck, Germany)
- เอทิล แอลกอฮอล์ ความเข้มข้นร้อยละ 100 (Absolute Ethanol, J.T.Baker, USA)
- แลนทานัม ออกไซด์ (Lanthanum oxide; La_2O_3, Sigma-Aldrich, USA)
- สารควบคุมคุณภาพ ได้แก่ Standard Reference Material 1549 และ 1577b (NIST, USA)
- ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether, Merck, Germany)
- โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide; KI, Merck, Germany)
- ซิงค์ ซัลเฟต (Zinc Sulfate; $ZnSO_4$, Merck, Germany)
- โพแทสเซียมคาร์บอเนต (Potassium carbonate; K_2CO_3, Merck, Germany)
- โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride; NaCl, Caro Erba Reagenti, Italy)
- โพแทสเซียมไทโอไซยาเนต (Potassium thiocynate; KSCN, Merck Germany)
- แอมโมเนียมไอร์รอนซัลเฟต (Ammonium iron (III) sulphate; $NH_4Fe(SO_4)_2$, Merck, Germany)
- โซเดียมไนไตรท์ (Sodium nitrite; $NaNO_2$, Merck, Germany)
- มาลาไคท์ กรีนออกซาเลต (Malachite greenoxalate, Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Germany)
- กรดไทรคลอโรอะซิติก (Trichloroacetic acid; CCl_3COOH, Merck, Germany)
- เซริกซัลเฟตเตตระไฮเดรต (Cerium (IV) Sulfate Tetrahydrate; $Ce(SO_4)_2.4H_2O$, Merck, Germany)
- แอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate; $(NH_4)Mo_7O_{24}$., Fisher Scientific, USA)
- โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogenphosphate; KH_2PO_4, Merck, Germany)
- ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide; H_2O_2, Merck, Germany)
- Polyvinyl alcohol solution (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Germany)
- Ethanol Absolute (C_2H_5OH, Riedel-de Haen AG, Germany)

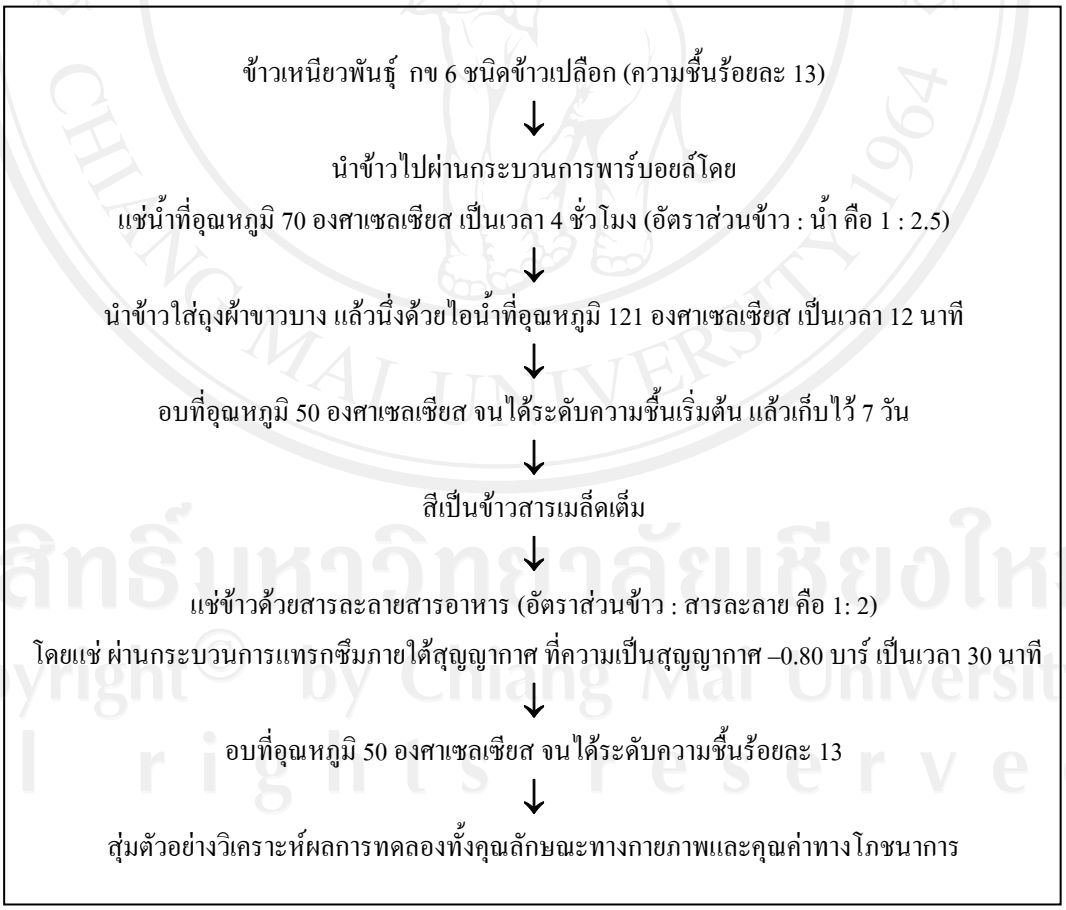
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เครื่องประมวลผลทางสถิติ

- เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer)
- โปรแกรมสำเร็จรูป Design-Expert version 6.0.10
- โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for windows version 13.0
- โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel version 2003

3.2 วิธีการทดลอง

การศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวเหนียวพาร์บอยล์ (Parboiled glutinous rice) เสริมคุณค่าทางโภชนาการด้วยธาตุเหล็ก แคลเซียม ไอโอดีน กรดอะมิโนไลซีนและทรีโอนีน ตัวอย่างในการศึกษา คือ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ชนิดข้าวเปลือก โดยเป็นข้าวใหม่ซึ่งมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 13 ถึง 14 กระบวนการผลิตข้าวเหนียวพาร์บอยล์ต้นแบบเป็นดังนี้



ภาพ 3.1 กระบวนการผลิตต้นแบบของข้าวเหนียวพาร์บอยล์เสริมเหล็ก แคลเซียม ไอโอดีน ไลซีน และทรีโอนีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3 แผนการทดลอง

ในการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวเหนียวพาร์บอยล์ (Parboiled glutinous rice) เสริมคุณค่าทางโภชนาการได้วางแผนการทดลองเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาความคงตัวของสารอาหารในระบบของสารละลาย

การทดลองที่ 1.1 การศึกษาความคงตัวของสารอาหารในระบบของสารละลาย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาความคงตัวระหว่างสารประกอบของสารอาหารที่ต้องการใช้เพื่อเสริมสารอาหารในข้าวเหนียวพาร์บอยล์ โดยจะพิจารณาในด้านความคงตัวของสารอาหารหลังจากที่นำมาผสมกันในรูปของสารละลาย

วิธีการในการทดลอง คือ ทำการเตรียมสารละลายจากสารประกอบที่ให้สารอาหารแต่ละชนิด คือ สารประกอบ NaFeEDTA.H_2O, Potassium Iodate (KIO_3), Calcium Lactate Gluconate (CaLG), L-Lysine HCL และ L-Threonine ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของธาตุเหล็ก ไอโอดีน แคลเซียม และกรดอะมิโนไลซีนและทรีโอนีน ตามลำดับ โดยเตรียมสารละลายในความเข้มข้นที่จะนำมาใช้จริง วิธีการคำนวณปริมาณสารประกอบแต่ละชนิดดังแสดงในภาคผนวก ข-1 จากนั้น นำสารละลายแต่ละชนิดมาผสมเข้าด้วยกันตามความเข้มข้นดังกล่าว แล้วนำมาตรวจสอบค่าปริมาณสารอาหารในสารละลายผสม โดยธาตุเหล็ก แคลเซียม ไอโอดีน ทำการตรวจวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) Model AA-3100 (ตามวิธีของ Perkin–Elmer Corporation, 1982) ส่วนปริมาณกรดอะมิโนไลซีนและทรีโอนีนนั้นจะทำการวิเคราะห์ในรูปของ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) โดยใช้วิธีการหาปริมาณโปรตีนในรูปของไนโตรเจนทั้งหมด (ตามวิธีของ Manual of Kjeldahl procedure, 1979) เพื่อหาปริมาณไนโตรเจนซึ่งเป็นตัวแทนของปริมาณไนโตรเจนของกรดอะมิโนทั้งสองชนิดในสารผสม

นำค่าปริมาณสารอาหารแต่ละชนิดที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละวิธีมาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณเพื่อให้ทราบว่าหลังจากทำการผสมสารประกอบของสารอาหารแต่ละชนิดเข้าด้วยกันแล้วสารอาหารแต่ละชนิดนั้นยังมีความคงตัวอยู่ได้หรือไม่ และสังเกตการตกตะกอนของสารอาหารที่อยู่ในระบบสารละลายนั้นว่าเกิดขึ้นหรือไม่

สำหรับเป้าหมายของปริมาณสารอาหารแต่ละชนิดที่ต้องการเสริมในข้าวเหนียวพาร์บอยล์แสดงดังตาราง 3.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 3.1 ปริมาณของสารอาหารแต่ละชนิดที่ต้องการเสริมในข้าวเหนียวพาร์บอยล์

สารอาหาร	รูปแบบของสารประกอบ	ปริมาณสารอาหารที่ต้องการเสริมต่อข้าวเหนียวพาร์บอยล์ 100 กรัม
เหล็ก	โซเดียมไอร์รอนอีดีทีเอ ($NaFeEDTA.H_2O$)	4.00 มิลลิกรัม
แคลเซียม	แคลเซียมแลคเตท กลูโคเนท (CaLG)	133.30 มิลลิกรัม
ไอโอดีน	โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3)	26.76 ไมโครกรัม
ไลซีน	แอล-ไลซีน ไฮโดรคลอไรด์ (L-Lysine HCL)	151.10 มิลลิกรัม
ทรีโอนีน	แอล-ทรีโอนีน (L-Threonine)	127.63 มิลลิกรัม

ตอนที่ 2 การพัฒนากระบวนการผลิตข้าวเหนียวพาร์บอยล์ (Parboiled glutinous rice) เสริมคุณค่าทางโภชนาการ

การทดลองที่ 2.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวในกระบวนการพาร์บอยล์

การทดลองนี้เป็นการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวที่มีผลต่อคุณภาพในการผลิตข้าวเหนียวพาร์บอยล์ในกระบวนการพาร์บอยล์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของกระบวนการพาร์บอยล์ที่มีต่อความสามารถในการดูดซึมสารอาหารของข้าวเหนียวได้แก่ ธาตุเหล็ก แคลเซียม และไอโอดีน ซึ่งใช้ปริมาณธาตุทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นดัชนีในการชี้วัดความสามารถในการเสริมสารอาหารในข้าวเหนียวพาร์บอยล์ โดยทำการผันแปรปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการพาร์บอยล์คือ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าว โดยทำการวางแผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment in Central Composite Design ซึ่งระดับปัจจัยของการทดลองและระดับปัจจัยของแต่ละสิ่งทดลองแสดงดังตาราง 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 3.2 ระดับปัจจัยของการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวเหนียว

ปัจจัย	ระดับสูง (+1)	ระดับต่ำ (-1)
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	74.14	45.86
เวลา (ชั่วโมง)	2 ชั่วโมง 43 นาที	1 ชั่วโมง 18 นาที

ทำการกำหนดจุดที่ทำการศึกษา ตามแผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment in Central Composite Design ได้ดังนี้

ตาราง 3.3 แผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment in Central Composite Design ในการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวเหนียว

สิ่งทดลอง	รหัสปัจจัย*	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา
1	(1)	45.86	1 ชั่วโมง 18 นาที
2	a	74.14	1 ชั่วโมง 18 นาที
3	b	45.86	2 ชั่วโมง 43 นาที
4	ab	74.14	2 ชั่วโมง 43 นาที
5	$-\alpha$a	40.00	2 ชั่วโมง
6	$+\alpha$a	80.00	2 ชั่วโมง
7	$-\alpha$b	60.00	1 ชั่วโมง
8	$+\alpha$b	60.00	3 ชั่วโมง
9	Cp1	60.00	2 ชั่วโมง
10	Cp2	60.00	2 ชั่วโมง

หมายเหตุ *ความหมายรหัสปัจจัยแต่ละรหัสเป็นดังนี้ : (1) = อุณหภูมิและเวลาที่ระดับต่ำ (-1), a = อุณหภูมิที่ระดับสูง (+1) และเวลาที่ระดับต่ำ (-1), b = อุณหภูมิที่ระดับต่ำ (-1) และเวลาที่ระดับสูง (+1), ab = อุณหภูมิและเวลาที่ระดับสูง (+1), $-\alpha$a = อุณหภูมิที่น้อยกว่าระดับกึ่งกลางระหว่างสูงและต่ำ (0) 1.414 เท่า และเวลาที่ระดับกึ่งกลางระหว่างสูงและต่ำ (0), $+\alpha$a = อุณหภูมิที่มากกว่าระดับกึ่งกลางระหว่างสูงและต่ำ (0) 1.414 เท่า และเวลาที่ระดับกึ่งกลางระหว่างสูงและต่ำ (0), $-\alpha$b = อุณหภูมิที่ระดับกึ่งกลางระหว่างสูงและต่ำ (0) และเวลาที่น้อยกว่าระดับกึ่งกลางระหว่างสูงและต่ำ (0) 1.414 เท่า, $+\alpha$b = อุณหภูมิที่ระดับกึ่งกลางระหว่างสูงและต่ำ (0) และเวลาที่มากกว่าระดับกึ่งกลางระหว่างสูงและต่ำ (0) 1.414 เท่า, Cp = อุณหภูมิและเวลาที่ระดับกึ่งกลางระหว่างสูงและต่ำ (0)

ข้าวเหนียวที่ผ่านการทดลองในกระบวนการพาร์บอยล์จะได้เป็นข้าวเหนียวพาร์บอยล์แล้วนำข้าวเหนียวพาร์บอยล์ที่ได้แต่ละสิ่งทดลองไปพักไว้เป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปขัดสี แล้วนำข้าวเหนียวพาร์บอยล์แต่ละสิ่งทดลองมาแช่สารละลายสารอาหาร (ใช้ปริมาณสารอาหารจากการทดลองที่ 1.1 ยกเว้นกรดอะมิโน) โดยแช่ข้าวเหนียวพาร์บอยล์โดยใช้กระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศซึ่งได้ทำการควบคุมสภาวะนี้ไว้ คือ แช่ข้าวเหนียวพาร์บอยล์ในสารละลายสารอาหารที่ความเป็นสุญญากาศ –0.80 บาร์ เป็นเวลา 30 นาที (อัตราส่วนข้าว ต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารละลาย คือ 1 ต่อ 2) แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จึงเก็บตัวอย่างข้าวเหนียวพาร์บอยล์ที่ผ่านการทดลองดังกล่าวไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

การวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ

- ค่าสี L, a และ b (ตามวิธีของ Minolta Camera Co., Ltd., 1991)
- ค่าแรงเฉือน (ตามวิธีของ Instron Corporation, 1993)

การวิเคราะห์คุณภาพด้านโภชนาการ

- ปริมาณธาตุเหล็ก (ตามวิธีของ Perkin–Elmer Corporation, 1982)
- ปริมาณธาตุแคลเซียม (ตามวิธีของ Perkin–Elmer Corporation, 1982)
- ปริมาณธาตุไอโอดีน (ตามวิธีของ Moxon and Dixon, 1980)
- ปริมาณโปรตีน (ตามวิธีของ Manual of Kjeldahl procedure, 1979)
- ปริมาณความชื้น (ตามวิธีของ AOAC, 2005)
- ปริมาณไฟเตท (ในรูปของกรดไฟติก) (ตามวิธีของ Makower, 1970)

การวิเคราะห์คุณภาพด้านประสาทสัมผัส

- แบบประเมินความชอบ 7-Point hedonic scale (ไพโรจน์, 2545) (รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ค)

ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะนำไปวิเคราะห์และประเมินผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design-Expert Version 6.0.10 เพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการแช่ข้าวในกระบวนการพาร์บอยล์ โดยอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวที่ได้จะเป็นสภาวะที่ทำให้ข้าวเหนียวพาร์บอยล์สามารถดูดซึมสารอาหารได้ตามที่ต้องการและจะนำผลที่ได้ไปใช้ในการทดลองต่อไป

การทดลองที่ 2.2 การศึกษาผลของความเป็นสุญญากาศและเวลาที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเหนียวพาร์บอยล์ในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาถึงผลความเป็นสุญญากาศและเวลาที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเหนียวพาร์บอยล์ในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่มีต่อความสามารถในการดูดซึมสารอาหารของข้าวเหนียวพาร์บอยล์ได้แก่ ธาตุเหล็ก แคลเซียม และไอโอดีน โดยทำการผันแปรปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศคือความเป็นสุญญากาศและเวลาที่ใช้ในการแช่ข้าว โดยทำการวางแผน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment in Central Composite Design ซึ่งระดับปัจจัยของการทดลองและระดับปัจจัยของแต่ละสิ่งทดลองแสดงดังตาราง 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

ตาราง 3.4 ระดับปัจจัยของการศึกษาผลของความเป็นสุญญากาศและเวลาในการแช่ข้าวเหนียวพาร์บอยล์

ปัจจัย	ระดับสูง (+1)	ระดับต่ำ (-1)
ความเป็นสุญญากาศ (บาร์)	-0.71	-0.29
เวลา (นาที)	37.07	22.93

ได้ทำการกำหนดจุดที่ทำการศึกษา ตามแผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment in Central Composite Design ดังนี้

ตาราง 3.5 แผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment in Central Composite Design ในการศึกษาผลของความเป็นสุญญากาศและเวลาการแช่ข้าวเหนียวพาร์บอยล์

สิ่งทดลอง	รหัสปัจจัย*	ความเป็นสุญญากาศ (บาร์)	เวลา (นาที)
1	(1)	-0.29	22.93
2	a	-0.71	22.93
3	b	-0.29	37.07
4	ab	-0.71	37.07
5	$-\alpha a$	-0.20	30.00
6	$+\alpha a$	-0.80	30.00
7	$-\alpha b$	-0.50	20.00
8	$+\alpha b$	-0.50	40.00
9	Cp1	-0.50	30.00
10	Cp2	-0.50	30.00

หมายเหตุ *ความหมายรหัสปัจจัยแต่ละรหัสเป็นดังนี้ : (1) = ความเป็นสุญญากาศเวลาที่ระดับต่ำ (-1), a = ความเป็นสุญญากาศที่ระดับสูง (+1) และเวลาที่ระดับต่ำ (-1), b = ความเป็นสุญญากาศที่ระดับต่ำ (-1) และเวลาที่ระดับสูง (+1), ab = ความเป็นสุญญากาศและเวลาที่ระดับสูง (+1), $-\alpha a$ = ความเป็นสุญญากาศที่น้อยกว่าระดับกึ่งกลางระหว่างสูงและต่ำ (0) 1.414 เท่า และเวลาที่ระดับกึ่งกลางระหว่างสูงและต่ำ (0), $+\alpha a$ = ความเป็นสุญญากาศที่มากกว่าระดับกึ่งกลางระหว่างสูงและต่ำ (0)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.414 เท่า และเวลาที่ระดับกึ่งกลางระหว่างสูงและต่ำ (0), -αb = ความเป็นสุญญากาศที่ระดับกึ่งกลางระหว่างสูงและต่ำ (0) และเวลาที่น้อยกว่าระดับกึ่งกลางระหว่างสูงและต่ำ (0) 1.414 เท่า, +αb = ความเป็นสุญญากาศที่ระดับกึ่งกลางระหว่างสูงและต่ำ (0) และเวลาที่มากกว่าระดับกึ่งกลางระหว่างสูงและต่ำ (0) 1.414 เท่า, Cp = ความเป็นสุญญากาศและเวลาที่ระดับกึ่งกลางระหว่างสูงและต่ำ (0)

ข้าวเหนียวพาร์บอยล์ที่ใช้ในการทดลองที่ 2.2 นี้เป็นข้าวเหนียวพาร์บอยล์ที่ได้จากกระบวนพาร์บอยล์ที่ดีที่สุดในการทดลองที่ 2.1 ซึ่งผ่านการพักไว้เป็นเวลา 7 วัน ณ อุณหภูมิห้อง และผ่านการขัดสีเรียบร้อยแล้ว จากนั้นนำข้าวเหนียวพาร์บอยล์แต่ละสิ่งทดลองมาแช่สารละลายสารอาหาร (ใช้ปริมาณสารอาหารจากการทดลองที่ 1.1 ยกเว้นกรดอะมิโน) โดยจะแช่ข้าวเหนียวพาร์บอยล์ในสารละลายสารอาหารโดยใช้กระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศตามแผนการทดลองที่แสดงดังตาราง 3.5 (อัตราส่วนข้าว ต่อ สารละลาย คือ 1 ต่อ 2) แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นเก็บตัวอย่างข้าวเหนียวพาร์บอยล์ที่ผ่านการทดลองดังกล่าวไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

การวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ

- ค่าสี L, a และ b (ตามวิธีของ Minolta Camera Co., Ltd., 1991)
- ค่าแรงเฉือน (ตามวิธีของ Instron Corporation, 1993)

การวิเคราะห์คุณภาพด้านโภชนาการ

- ปริมาณธาตุเหล็ก (ตามวิธีของ Perkin–Elmer Corporation, 1982)
- ปริมาณธาตุแคลเซียม (ตามวิธีของ Perkin–Elmer Corporation, 1982)
- ปริมาณธาตุไอโอดีน (ตามวิธีของ Moxon and Dixon, 1980)
- ปริมาณโปรตีน (ตามวิธีของ Manual of Kjeldahl procedure, 1979)
- ปริมาณความชื้น (ตามวิธีของ AOAC, 2005)
- ปริมาณไฟเตท (ในรูปของกรดไฟติก) (ตามวิธีของ Makower, 1970)

การวิเคราะห์คุณภาพด้านประสาทสัมผัส

- แบบประเมินความชอบ 7-Point hedonic scale (ไพโรจน์, 2545) (รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ค)

ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะนำไปวิเคราะห์และประเมินผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design-Expert Version 6.0.10 เพื่อหาความเป็นสุญญากาศและเวลาในการแช่ข้าวเหนียวพาร์บอยล์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่เหมาะสมในกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ โดยความเป็นสุญญากาศและเวลาในการแช่ข้าวเหนียวพาร์บอยล์ที่ได้จะเป็นสภาวะที่เหมาะสมซึ่งทำให้ข้าวเหนียวพาร์บอยล์สามารถดูดซึมสารอาหารได้ตามปริมาณที่ต้องการ และนอกจากนี้จะนำข้าวเหนียวพาร์บอยล์ที่ผลิตได้จากสภาวะที่ดีที่สุดในกระบวนการพาร์บอยล์และกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศไปตรวจวัดค่าปริมาณกรดอะมิโนไลซีนและทรีโอนีน (ตามวิธีของ AOAC, 2005) โดยผลที่ได้จะนำไปปรับปรุงและประยุกต์ใช้ในการทดลองต่อไป

การทดลองที่ 2.3 การประยุกต์ใช้กระบวนการพาร์บอยล์และกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสมในการเสริมกรดอะมิโนในข้าวเหนียวพาร์บอยล์

ในการทดลองที่ 2.1 และ 2.2 ที่ผ่านมาจะทำให้ทราบถึงกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเหนียวพาร์บอยล์เสริมคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งมีดัชนีชี้วัดคือ ปริมาณธาตุเหล็ก แคลเซียม และไอโอดีน ในการทดลองนี้จะใช้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากกระบวนการพาร์บอยล์และกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศดังกล่าวข้างต้นในการผลิตข้าวเหนียวพาร์บอยล์เสริมคุณค่าทางโภชนาการ โดยนำมาประยุกต์เสริมสารอาหารเพิ่มอีก 2 ชนิด คือ กรดอะมิโนไลซีนและทรีโอนีน ซึ่งจะทำการเสริมในรูปแบบสารละลายเพิ่มเข้าไปในสารละลายธาตุอาหารเดิม (ประกอบไปด้วยเหล็ก แคลเซียม และไอโอดีน)

วิธีการในการทดลองนี้คือ นำข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ชนิดข้าวเปลือกผ่านกระบวนการพาร์บอยล์ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจะได้เป็นข้าวเหนียวพาร์บอยล์ จากนั้นนำข้าวเหนียวพาร์บอยล์ที่ได้ไปพักไว้เป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปขัดสี นำข้าวเหนียวพาร์บอยล์มาแช่สารละลายสารอาหารซึ่งประกอบด้วยเหล็ก แคลเซียม ไอโอดีน กรดอะมิโนไลซีนและทรีโอนีน (ปริมาณสารประกอบแต่ละชนิดแสดงดังภาคผนวก ข-2 และตารางภาคผนวกที่ ข-3) โดยแช่ข้าวเหนียวพาร์บอยล์ในสารละลายสารอาหารโดยใช้กระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เป็นสภาวะที่ดีที่สุด (อัตราส่วนข้าว ต่อ สารละลาย คือ 1 ต่อ 2) แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างข้าวเหนียวพาร์บอยล์ที่ผ่านการทดลองไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ผลที่ได้จากการทดลองที่ 2.3 จะเป็นกระบวนการที่ดีที่สุดในการผลิตข้าวเหนียวพาร์บอยล์เสริมเหล็ก แคลเซียม ไอโอดีน ไลซีน และทรีโอนีน

การวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพ

- ค่าสี L, a และ b (ตามวิธีของ Minolta Camera Co., Ltd., 1991)
- ค่าแรงเฉือน (ตามวิธีของ Instron Corporation, 1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมีและโภชนาการ

- ปริมาณธาตุเหล็ก (ตามวิธีของ Perkin–Elmer Corporation, 1982)
- ปริมาณธาตุแคลเซียม (ตามวิธีของ Perkin–Elmer Corporation, 1982)
- ปริมาณธาตุไอโอดีน (ตามวิธีของ Moxon and Dixon, 1980)
- ปริมาณกรดอะมิโนไลซีน (ตามวิธีของ AOAC, 2005)
- ปริมาณกรดอะมิโนทรีโอนีน (ตามวิธีของ AOAC, 2005)
- ปริมาณความชื้น (ตามวิธีของ AOAC, 2005)
- ปริมาณค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ (ค่า a_w) (ตามวิธีของ Axair AG Ltd., 1995)
- ปริมาณเถ้า (ตามวิธีของ Pearson, 1976)
- ปริมาณโปรตีน (ตามวิธีของ Manual of Kjeldahl procedure, 1979)
- ปริมาณไขมัน (ตามวิธีของ Leco Corporation, 2002)
- ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (โดยวิธีการคำนวณค่า By difference)
- ปริมาณพลังงาน (โดยวิธีการคำนวณ)
- ปริมาณไฟเตท (ในรูปของกรดไฟติก) (ตามวิธีของ Makower, 1970)

การวิเคราะห์คุณภาพด้านประสาทสัมผัส

- แบบประเมินความชอบ 7-Points hedonic scale (ไพโรจน์, 2545) (รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ค)

นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาถึงวิธีการนึ่งหรือการทำข้าวเหนียวพาร์บอยล์ให้สุกที่เหมาะสม เพื่อให้คงคุณค่าของสารอาหารในข้าวเหนียวพาร์บอยล์ไว้ให้ได้มากที่สุด โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบการนึ่งข้าวเหนียวแบบปกติกับวิธีการนึ่งที่ได้พัฒนาและปรับปรุงขึ้นในการวิจัยนี้เพื่อทำให้สามารถคงคุณค่าทางอาหารไว้ได้มากที่สุดหรือสูญเสียให้น้อยที่สุดในระหว่างการนึ่ง

สำหรับวิธีการนึ่งข้าวเหนียวแบบปกติที่ได้ใช้ในงานวิจัยนี้ได้นำเอาวิธีการนึ่งข้าวเหนียวของมูลนิธิข้าวไทย (2549) มาประยุกต์ใช้ คือ ทำการแช่ข้าวเหนียวพาร์บอยล์เสริมสารอาหารในน้ำเป็นเวลา 15 นาที โดยใช้อัตราส่วนข้าว ต่อ น้ำ คือ 1 ต่อ 0.8 จากนั้นนำข้าวเหนียวพาร์บอยล์ห่อด้วยผ้าขาวบาง นึ่งด้วยไอน้ำในลังถึงเป็นเวลา 20 นาที จึงยกลง

สำหรับวิธีการนึ่งข้าวเหนียวที่ได้ปรับปรุงขึ้น จะมีวิธีการนึ่งคล้ายกับวิธีการหุงข้าวเจ้าทั่วไป กล่าวคือ ทำการแช่ข้าวเหนียวพาร์บอยล์เสริมสารอาหารในถ้วยสแตนเลสด้วยน้ำเป็นเวลา 15 นาที โดยใช้อัตราส่วนข้าว ต่อ น้ำ คือ 1 ต่อ 0.8 แล้วนำข้าวเหนียวพาร์บอยล์พร้อมทั้งถ้วยสแตนเลสไปนึ่งด้วยไอน้ำในลังถึงเป็นเวลา 20 นาที จึงยกลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้าวที่ได้จากการนึ่งทั้งสองวิธีดังกล่าวจะนำไปวิเคราะห์หาค่าปริมาณสารอาหารในข้าวแล้วเปรียบเทียบกับปริมาณสารอาหารในข้าวสารเหนียวก่อนนึ่ง นอกจากนี้จะทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของข้าวที่ได้จากการนึ่งทั้งสองวิธีโดยใช้แบบประเมินความชอบ 7-Points hedonic scale (ไพโรจน์, 2545) (รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ค) ผลการทดลองที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for windows version 13.0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved