

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### แนวคิด ทฤษฎี

รำข้าวเป็นส่วนที่ได้จากการขัดสีข้าวกล้อง ซึ่งประกอบด้วยเปลือกหุ้มผล เปลือกหุ้มเมล็ดชั้น แอลิวโรน และคัพภะ โดยในข้าวกล้องมีส่วนที่เป็นรำข้าวอยู่ประมาณร้อยละ 5 - 8 ซึ่งรำข้าวเป็นแหล่งของสารอาหารที่สำคัญ เช่น ไขมัน โปรตีน เส้นใยอาหาร วิตามินและเกลือแร่ โดยทั่วไปรำข้าวเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมัน และหลังจากผ่านการสกัดน้ำมันแล้วพบว่ายังมีปริมาณโปรตีนสูงประมาณร้อยละ 15 - 17 ซึ่งโปรตีนจากรำข้าวจัดเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี และมีปริมาณกรดอะมิโนไลซีนสูงกว่ารำ ชนิดอื่น ๆ โปรตีนรำข้าวยังจัดเป็น hypoallergenic protein คือไม่ทำให้เกิดอาการแพ้ สามารถนำมาผสมในอาหารเด็กอ่อนได้ โปรตีนจากรำข้าวสามารถทำให้เข้มข้นได้โดยการนำไปสกัดและทำให้เข้มข้นหรือทำแห้ง จนได้เป็นผลิตภัณฑ์โปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารได้ โดยสามารถใช้ทดแทนโปรตีนจากสัตว์หรือโปรตีนที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับรำข้าวที่เป็นผลพลอยได้จากการขัดสีข้าว โดยการนำโปรตีนจากรำข้าวนั้น ได้มีการนำโปรตีน รำข้าวไปเป็นส่วนผสมในอาหารเด็กอ่อนเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และมีการนำโปรตีนรำข้าวมาใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มประเภทต่าง ๆ เช่น เครื่องดื่มธัญชาติ เครื่องดื่มนักกีฬา เป็นต้น

#### รำข้าว

**รำข้าว** (rice bran) หมายถึง ส่วนประกอบของชั้นต่างๆ ที่อยู่ด้านนอกของข้าวกล้อง ซึ่งได้จากการนำ ข้าวกล้องไปทำ การขัดสีเป็นข้าวขาว ซึ่งรำข้าวประกอบด้วยชั้นต่างๆได้แก่ เยื่อหุ้มผล (pericarp), เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat), ชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) รวมทั้งบางส่วนของเอนโดสเปิร์ม และคัพภะ รำข้าวเป็นผลพลอยได้จากการขัดสีข้าวกล้องที่มีปริมาณมาก และราคาถูก โดยมีรำข้าวอยู่ประมาณ 5 - 8 % ของข้าวกล้อง นอกจากนี้รำข้าวยังเป็นแหล่งของสารอาหารที่สำคัญ เช่น ไขมัน โปรตีน วิตามิน เส้นใยอาหาร และแร่ธาตุ โดยทั่วไปรำข้าวมีปริมาณโปรตีนประมาณร้อยละ 12 - 16 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโปรตีนแอลบูมิน และโกลบูลิน โปรตีนรำข้าวจัดเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี เมื่อเทียบกับ เคซีนในด้านกรดอะมิโนที่จำเป็น โปรตีนรำข้าวยังจัดเป็น hypoallergenic protein คือไม่ทำให้เกิดอาการแพ้ สามารถนำมาผสมในอาหารเด็กอ่อนได้ และมีปริมาณกรดอะมิโนไลซีนสูงกว่ารำชนิดอื่นๆ

## องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว

ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับเมล็ดข้าว คือ พันธุ์ข้าว ความหนาของชั้นด้านนอก (autoclave outer layers), รูปร่างและขนาดของเมล็ดข้าว และความหนาของการแตกหักของเมล็ดข้าว ส่วนปัจจัยหลักซึ่งเกี่ยวข้องกับการขัดสีคือ วิธีการ เครื่องมือที่ใช้ และสถานะในการขัดสี

### 1. คาร์โบไฮเดรต

1.1 สตาร์ช (Starch) เป็นคาร์โบไฮเดรตหลักที่พบในรำข้าว สตาร์ชประกอบด้วยโครงสร้างของอะไมโลส และอะไมโลเพกติน สตาร์ชจะอยู่ในเม็ดสตาร์ชซึ่งเป็นเม็ดห้าเหลี่ยมขนาด 3 - 9 ไมโครเมตร รวมกันอยู่เป็นกลุ่มในอะไมโลพลาสต์ (amyloplast) ที่มีลักษณะกลมรี มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7-39 ไมโครเมตร โดยในแต่ละอะไมโลพลาสต์จะมีเม็ดสตาร์ชเกาะรวมกันอยู่ประมาณ 20-60 เม็ด

1.2 เซลลูโลส (cellulose) เป็น homopolymer ที่ไม่ละลายน้ำ เซลลูโลสเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ และเป็นเส้นตรง เกิดการรวมตัวเป็นเส้นใย (fibrous) ของโครงสร้างที่คล้ายผลึก (crystalline) จึงทำให้โมเลกุลของน้ำไม่สามารถเข้าไปแทรกตัวอยู่ได้ ซึ่งโดยทั่วไปจะพบเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ โดยทั่วไปในรำข้าวมีเซลลูโลสอยู่ในช่วง 9.6 - 12.8 %

2. ไขมัน รำข้าวจะประกอบด้วยไขมันประมาณ 16-32% ซึ่งขึ้นกับแต่ละสายพันธุ์ของข้าว Taira (1989) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบ, ชนิด และปริมาณของกรดไขมันในรำข้าว 2 สายพันธุ์หลักคือ *Indica* และ *Japonica* โดยสกัดไขมันออกจากรำข้าวด้วย diethyl ether จากนั้นนำไขมันไปวิเคราะห์หาชนิด และปริมาณกรดไขมันด้วยเครื่องโครมาโตกราฟีแบบแก๊ส พบว่า กรดไขมันที่พบมากที่สุดในรำข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์คือ กรดปาล์มมิติก (palmitic acid) รองลงมาคือ กรดสเตียริก (stearic acid), กรดไลโนเลนิก (linolenic acid) และกรดอะราชิโดนิก (arachidonic acid) ตามลำดับ ส่วนกรดไขมันที่มีอยู่ในปริมาณต่ำคือกรดไลโนเลอิก (linoleic acid) และกรดไอโคเซโรอิก (eicosanoic acid)

3. โปรตีนและสารประกอบไนโตรเจน รำข้าวมีปริมาณโปรตีนประมาณ 13.3 - 15.5 % และโปรตีนหลักในรำข้าว คือโปรตีนแอลบูมิน และโกลบูลิน ปริมาณไนโตรเจนในรำข้าวจะมีความแตกต่างกันประมาณ 1 - 3 % และเมื่อปริมาณไนโตรเจนคูณกับ 5.95 จะเป็นปริมาณโปรตีนของรำข้าว ซึ่งไนโตรเจนที่เป็นโปรตีนจะมีปริมาณมากที่สุดจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในรำข้าว สารประกอบไนโตรเจนอื่นๆที่พบ ได้แก่ กัวนีน แซนทีน อะดีนีน แอมโมเนีย กรดนิโคตินิก เป็นต้น

4. วิตามิน รำข้าวเป็นแหล่งของวิตามินบีและวิตามินอีที่สำคัญ โดยมีปริมาณวิตามินบีอยู่ในช่วง 9 - 28 ไมโครกรัม/กรัมรำข้าว และวิตามินอีอยู่ในช่วง 26 - 130 ไมโครกรัม/กรัม รำข้าวที่

ความชื้นร้อยละ 14 แต่มีปริมาณของวิตามินเอ, ดี และซี ต่ำหรือแทบไม่พบเลย ปริมาณของวิตามินในรำข้าวค่อนข้างแตกต่างกันออกไปในช่วงที่กว้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ และการขัดสี

**5. แร่ธาตุ** แร่ธาตุหลักที่พบในรำข้าวคือ ฟอสฟอรัส, โปแตสเซียม และแมกนีเซียม โดยมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 11,000 - 25,000 ไมโครกรัม/กรัมรำข้าว โปแตสเซียมอยู่ในช่วง 10,000 - 20,000 ไมโครกรัม/กรัมรำข้าว และแมกนีเซียมอยู่ในช่วง 500 - 13,000 ไมโครกรัม/กรัมรำข้าว แต่จะพบแคลเซียม, คลอรีน, เหล็ก และโซเดียมในปริมาณต่ำอยู่ในช่วง 66 - 1,200 ไมโครกรัม/กรัมรำข้าว ที่ความชื้นร้อยละ 14 โดยฟอสฟอรัสในรำข้าวจะพบมากในรูปของ phytic acid, nucleic acid, inorganic phosphate และ phosphatide

## โปรตีนรำข้าว

### 1. การจำแนกชนิดโปรตีนในรำข้าว

Betschart *et al.* (1977) ได้ทำ การจำแนกโปรตีนชนิดต่างๆในรำข้าวโดยใช้สมบัติการละลายซึ่งใช้ตัวทำ ละลายคือ น้ำกลั่น สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 5% เอทานอล 60 % และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.4 % พบว่าสามารถสกัดโปรตีนแอลบูมิน(albumin), โกลบูลิน (globulin), โปรลามิน (prolamin), กลูเตลิน (glutelin) จากรำข้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการให้ความคงตัวด้วยความร้อนได้ 26.5%, 13.6%, 1.8%, 24.4% และ 8.7, 4.7%, 1.5% และ 18.8% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Lasztity (1996) ที่รายงานว่า รำข้าวมีการสะสมของโปรตีนแอลบูมินและโกลบูลินมากกว่าส่วนอื่นๆของเมล็ดข้าว นอกจากนี้ Prakash and Ramanatham (1995a) ได้ทำการจำแนกโปรตีนชนิดต่างๆที่อยู่ในรำข้าวโดยใช้สมบัติการละลาย ซึ่งใช้การสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆตามลำดับคือ น้ำกลั่น pH 6.8, สารละลายเกลือ NaCl เข้มข้น 1 โมลาร์ pH 6.8, เอทิลแอลกอฮอล์ 75% และสารละลายต่าง (NaOH) ที่ pH11 โดยสามารถแยกได้โปรตีนแอลบูมิน โกลบูลิน โปรลามิน และกลูเตลิน ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า รำข้าวมีโปรตีนแอลบูมินและโกลบูลินเป็นโปรตีนหลัก โดยมีปริมาณมากกว่าโปรตีนชนิดอื่นๆเมื่อจำแนกตามสมบัติการละลาย

### 2. การสกัดโปรตีนจากรำข้าว

ความสามารถในการละลายของโปรตีน ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของโปรตีนเอง ในด้าน hydrophobic interaction และ ionic interaction เป็นสำคัญ โดย hydrophobic interaction ส่งเสริมให้เกิด protein-protein interaction ทำให้ความสามารถในการละลายลดลง ในขณะที่ ionic interaction ส่งเสริมการเกิด protein-water interaction ทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น สามารถแบ่งโปรตีนตามความสามารถในการละลายได้ 4 กลุ่ม คือ แอลบูมินละลายได้ในน้ำที่ pH 6.8 โกลบูลินละลายได้ในสารละลายเกลือเจือจางที่ pH 7.0 โปรลามินละลายได้ในเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 70 และกลูเตลินละลายได้ในสารละลายกรดที่ pH 2.0 และสารละลายด่างที่ pH 12.0 (Damodaran, 1996) รำข้าวประกอบด้วย แอลบูมิน : โกลบูลิน : โปรลามิน : กลูเตลิน ในสัดส่วน 37 : 36 : 5 : 22 โดยมีแอลบูมินและโกลบูลินเป็นโปรตีนหลัก (Juliano, 1985) แอลบูมิน ละลายได้

ในน้ำเพราะมีประจุเพียงพอ และไม่มีการเชื่อมโยงหรือเกาะกลุ่มกันอย่างมากด้วยพันธะไดซัลไฟด์ นอกจากนั้นแอลบูมินและโกลบูลินยังละลายได้ง่ายในสารละลายเกลือเพราะมีประจุเพียงพอ ส่วนโปรลามิน และกลูเตลินเป็น highly hydrophobic proteins จึงไม่ละลายน้ำ (Damodaran, 1996)

**2.1 การสกัดโปรตีนจากรำข้าวด้วยสารละลายต่าง** นอกจากปัจจัยภายในคือสมบัติทางเคมี และกายภาพของโปรตีนเองแล้ว ความสามารถในการละลายของโปรตีนยังขึ้นกับปัจจัยภายนอกด้วย ได้แก่ สภาพของสารละลาย เช่น pH อุณหภูมิ ตัวทำละลายอินทรีย์และกำลังไอออนิก โดยที่ค่า pH ต่ำกว่าหรือสูงกว่าค่า isoelectric point โปรตีนจะมีประจุสุทธิเป็นบวกหรือลบ ตามลำดับ ทำให้เกิด electrostatic interaction ระหว่างโปรตีนด้วยกัน และระหว่างโปรตีนกับน้ำ จึงช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของโปรตีน (Damodaran, 1996) นอกจากนั้นการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะทำลายพันธะไฮโดรเจน และพันธะไดซัลไฟด์ ซึ่งเป็นการลดการเกาะกลุ่มกันของโปรตีน และทำให้ขนาดโมเลกุลของโปรตีนเล็กลงจนสามารถละลายน้ำได้ (Hamada, 1997) ดังนั้นในการผลิตโปรตีนรำข้าว จึงนิยมใช้วิธีการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่าง แล้วตกตะกอนด้วยกรดหรือความร้อน ซึ่งมีรายงานว่าสามารถสกัดโปรตีนจากรำข้าวไขมันเต็มและรำ ที่สกัดไขมันออกแล้วได้ดีที่ pH 9-12 โดยเมื่อ pH เพิ่มขึ้น การละลายของโปรตีนจะเพิ่มขึ้นด้วย และสามารถตกตะกอนโปรตีนได้ด้วยกรดที่ pH 4.0-4.5 ซึ่งเป็น isoelectric point ของโปรตีนรำข้าว (Prakash, 1996)

Chen and Houston (1970) รายงานถึงผลของค่า pH และการลดขนาดรำสกัดไขมันในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่อง hammer mill ที่มีต่อความสามารถในการสกัดโปรตีน พบว่าช่วง pH 7 - 9 การลดขนาดรำสกัดไม่มีผลต่อการสกัดโปรตีน แต่ที่ pH ตั้งแต่ 10 สามารถสกัดโปรตีนจากรำสกัดที่ผ่านการลดขนาดได้เพิ่มขึ้น และที่ pH 12 สามารถสกัดโปรตีนจากรำ สกัดที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดขนาดได้มากกว่าร้อยละ 80 และพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากรำสกัดไขมันด้วยเครื่อง magnetic stirrer คือใช้อัตราส่วนระหว่างรำ สกัดต่อน้ำกลั่นเป็น 1:7.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สกัดที่ pH 11 เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งได้ผลผลิตโปรตีนร้อยละ 37 และโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่สกัดได้มีโปรตีนร้อยละ 85

Prakash and Ramanatham (1995b) ศึกษาการละลายของโปรตีนรำข้าวจากรำข้าวที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความคงตัว พบว่าความสามารถในการสกัดโปรตีนสูงสุดที่ pH 11.0 ซึ่งสกัดได้ร้อยละ 72 ของโปรตีนทั้งหมดในรำข้าว และร้อยละ 70 ของโปรตีนที่สกัดได้จะตกตะกอนที่ pH 4.0 รำข้าวที่ทำให้คงตัวด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 12 โมลาร์ สามารถสกัดและตกตะกอนได้มากใกล้เคียงกับรำข้าวที่ไม่ผ่านการให้ความคงตัว แต่รำข้าวที่ทำให้คงตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 10 นาที และรำข้าวหนึ่งสามารถสกัดและตกตะกอนโปรตีนได้ดีมาก อาจเนื่องจากการสูญเสียลักษณะทางธรรมชาติของโปรตีนจากความร้อน โปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่เตรียมจากรำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัว และรำข้าวที่ทำให้คงตัวด้วยกรด มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 71 - 73 โดยน้ำหนักแห้ง ขณะที่โปรตีนเข้มข้นจากรำข้าวที่ทำให้คงตัวด้วยความร้อน และรำข้าวจากรำข้าวหนึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 39.5 และ 54.5 ตามลำดับ

Gnanasambandam and Hettiarachchy (1995) เตรียมโปรตีนเข้มข้นจากรำข้าวที่ผ่านและไม่ผ่านการทำให้คงตัวที่มีขนาดอนุภาค 75 ไมครอน (200 เมช) ถึง 150 ไมครอน (100 เมช) โดยการสกัดด้วยสารละลายต่างๆที่ pH 9.5 กวนด้วยเครื่อง magnetic stirrer นาน 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง และตกตะกอนที่ pH 4.5 พบว่ารำข้าวที่มีขนาดอนุภาค 100-170 เมช สามารถสกัดโปรตีนได้ไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น น้อยกว่า 100 เมช จะสกัดโปรตีนได้น้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และพบว่าเมื่อ pH ในการสกัดสูงขึ้นในช่วง 8.0-11.0 โปรตีนเข้มข้นที่ได้จะมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยความร้อนโดยกระบวนการ extrusion ที่อุณหภูมิ 120 - 135 องศาเซลเซียส ที่ทุกขนาดอนุภาค จะสามารถสกัดโปรตีนได้น้อยกว่ารำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยความร้อน เนื่องจากการสูญเสียโครงสร้างทางธรรมชาติ เกิดการจับกลุ่มเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ขึ้น และความสามารถในการละลายน้อยลง จึงทำให้สามารถสกัดโปรตีนได้ลดลงและเมื่อนำโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวที่ผ่านและไม่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยความร้อนมาวิเคราะห์โดยเทคนิค electrophoresis (SDS-PAGE) พบว่าโปรตีนเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยความร้อนไม่มีโปรตีนที่มีมวลโมเลกุล 45-47 kDa และ 13-26 kDa เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวที่ไม่ผ่านการทำให้คงตัว แต่โปรตีนเข้มข้นที่ผลิตจากรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยความร้อนจะมีโปรตีนเพิ่มขึ้นมาในช่วงขนาดโมเลกุล 21-25 kDa อาจเนื่องจากความร้อนชักนำให้เกิดปฏิกิริยา polymerization ของโปรตีนระหว่างการสูญเสียโครงสร้างทางธรรมชาติ โดยโปรตีนจะเกิดการยึดตัวจึงแสดงโครงสร้างส่วนที่มีประจุออกมา และอาจจับกับสารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีนแต่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้มีผลต่อการสกัด และตกตะกอนโปรตีนได้ลดลง (Ledward, 1994)

### การสกัดโปรตีนจากรำข้าว

การสกัดโปรตีนจากรำข้าวจะอาศัยสมบัติการละลายของโปรตีนชนิดต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน โดยชนิดของโปรตีนที่พบในรำข้าวคือ อัลบูมิน โกลบูลิน โปรลามีน และกลูเตลิน (Prakash and Ramanatham, 1995b) นอกจากนั้นแล้วยังต้องคำนึงถึงสภาวะการละลายด้วย เช่น ค่า pH อุณหภูมิและกำลังไอออนิก เป็นต้น (Damodaran, 1996a)

การสกัดโปรตีนจากรำข้าวโดยทั่วไปจะใช้วิธีการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น สารละลายต่างๆที่ใช้จะทำลายพันธะไฮโดรเจนและพันธะไดซัลไฟด์ซึ่งเป็นการลดการเกาะกลุ่มกันของโปรตีน และทำให้ขนาดโมเลกุลของโปรตีนลดลงจนสามารถละลายได้ (Damodaran, 1996a) จากนั้นจึงตกตะกอนโปรตีนด้วยสารละลายกรดที่ pH 4.5 ซึ่งเป็น isoelectric point ของโปรตีนรำข้าว หรือใช้ความร้อนเพื่อทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติและตกตะกอนลงมา และนำไปทำแห้งด้วยวิธีการต่างๆ กัน จะได้ผลิตภัณฑ์โปรตีนรำข้าว ประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจะมีความแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ และวิธีในการสกัดโปรตีน

Gnanasambandam and Hettiarachchy (1995) ศึกษาการสกัดโปรตีนจากรำข้าวที่ผ่านและไม่ผ่านการเพิ่มความคงตัวด้วยความร้อน โดยใช้สารละลายต่างๆที่ pH 9.5 และตกตะกอนโปรตีน

ที่ pH 4.5 พบว่าโปรตีนรำข้าวที่สกัดได้จากรำสกัดที่ผ่านการเพิ่มความคงตัวด้วยความร้อนมีความเข้มข้นโปรตีน 33.5 - 50.9% น้อยกว่าโปรตีนรำข้าวที่สกัดได้จากรำสกัดที่ไม่ผ่านการเพิ่มความคงตัวซึ่งมีความเข้มข้นโปรตีน 58.4 - 71.5% เนื่องจากความร้อนอาจทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ ทำให้สกัดโปรตีนได้น้อยลง

Prakash and Ramanatham (1995a) ศึกษาการสกัดโปรตีนจากรำข้าวที่ผ่านและไม่ผ่านการเพิ่มความคงตัว พบว่า ที่ pH 11 สามารถสกัดโปรตีนได้สูงที่สุดเป็นร้อยละ 72 ของโปรตีนทั้งหมดในรำข้าว ส่วนรำข้าวที่ผ่านการเพิ่มความคงตัวด้วยกรดสามารถสกัดโปรตีนได้ใกล้เคียงกับรำข้าวที่ไม่ผ่านการเพิ่มความคงตัว แต่สำหรับรำข้าวที่ผ่านการเพิ่มความคงตัวด้วยความร้อนนั้น จะสามารถสกัดโปรตีนได้ต่ำมาก

Ansharullah and Chesterman (1997) ได้ทดลองใช้เอนไซม์ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรส (carbohydrase) ทางการค้า 2 ชนิดคือ Viscozyme และ Celluclast ช่วยในการสกัดโปรตีนจากรำข้าวพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดโปรตีนจากรำข้าวคือ ใช้เอนไซม์ทั้งสองชนิดร่วมกัน ที่ pH 3.8 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง สามารถสกัดไนโตรเจนได้สูงสุดคือร้อยละ 51

Wang *et al.* (1999) ได้ทำการทดลองศึกษาการใช้เอนไซม์ไฟเตส (phytase) และไซลานเนส (xylanase) ช่วยในการสกัดโปรตีนรำข้าวจากรำสกัด พบว่าการสกัดโปรตีนโดยใช้เอนไซม์ทั้งสองชนิดร่วมกันสามารถสกัดโปรตีนได้ร้อยละ 74.6 และมีความเข้มข้นของโปรตีนร้อยละ 92 มากกว่าการสกัดโดยไม่ใช้เอนไซม์ช่วย ซึ่งสามารถสกัดโปรตีนได้เพียงร้อยละ 34.2 และมีความเข้มข้นของโปรตีนร้อยละ 74.5

### คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนรำข้าว

คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนรำข้าวมีความสำคัญมากต่อคุณภาพของโปรตีนที่ใช้เป็นอาหาร Prakash (1996) รายงานค่า protein efficiency ratio (PER) ของรำข้าวอยู่ในช่วง 1.59-2.04 และโปรตีนรำข้าวเข้มข้นอยู่ในช่วง 1.99 - 2.19 ส่วน nitrogen digestibility ของรำข้าวเป็น 58.5 และของโปรตีนรำข้าวเข้มข้นมีค่าอยู่ในช่วง 57.3 - 96.0 ขึ้นกับชนิดของรำข้าวที่เป็นวัตถุดิบและวิธีการผลิตโปรตีนรำข้าวเข้มข้น โดยโปรตีนรำข้าวมีกรดอะมิโนที่จำกัด (limiting amino acid) คือ ไทโอนีนและไอโซลิวซีน โปรตีนรำข้าวเป็นโปรตีนที่มีปริมาณกรดอะมิโนไลซีนสูง ประมาณ 62.7 - 70.8 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน (Gnanasambandam and Hettiarachchy, 1995) และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของโปรตีนรำข้าวกับเคซีนซึ่งเป็นโปรตีนจากนม พบว่า โปรตีนรำข้าวถือเป็นโปรตีนคุณภาพดี เมื่อเทียบจากปริมาณ และชนิดของกรดอะมิโนที่จำเป็น (Maki และ Toshiro, 1989) นอกจากโปรตีนรำข้าวจะมีคุณภาพดีแล้ว ยังเป็นโปรตีนที่มีสมบัติเป็น hypoallergenic protein คือไม่ทำให้เกิดอาการแพ้ (Landers and Hamaker, 1994)

ดังนั้นจึงมีการศึกษาการนำโปรตีนรำข้าวเข้มข้นมาใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารเด็กอ่อน (weaning food) โดย Prakash และ Ramanatham (1995c) รายงานการนำโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่สกัดได้จากรำ ที่ผ่านการทำให้คงตัวด้วยสารละลายกรด มาเป็นส่วนผสมในอาหารเด็กอ่อน 2 สูตร โดยสูตรที่ 1 ผสมโปรตีนรำข้าวเข้มข้น 25% สูตรที่ 2 ผสมโปรตีนรำข้าวเข้มข้น 20% จากนั้นนำไป

วิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมี และค่า PER เปรียบเทียบกับอาหารเด็กอ่อนทางการค้า พบว่าอาหารเด็กอ่อนทั้งสูตรที่ 1 และ 2 มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าอาหารเด็กอ่อนทางการค้า และมีค่า PER = 2.04 และ 2.15 ตามลำดับ

### ข้าวกึ่งสำเร็จรูป

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวสารให้เป็นข้าวหุงสุกเร็ว (quick cooking rice) หรือข้าวกึ่งสำเร็จรูปเพื่อความสะดวกและรวดเร็วสำหรับแม่บ้านยุคใหม่ชาวเอเชีย หรือเพื่อการส่งออกไปขายให้ชาวเอเชียในยุโรป อเมริกา และแคนาดา ตลอดจนชาวต่างชาติที่ไม่คุ้นเคยกับการหุงต้มข้าวนั้นมีวิธีแปรรูปหลายวิธี ตัวอย่างวิธีทางการค้าวิธีหนึ่งจะทำโดยนำข้าวมาแช่ในน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือนานกว่านั้นเพื่อให้ถึงจุดสมดุลระดับความชื้นประมาณ 30 – 33 % แล้วนำไปต้มให้สุกด้วยไอน้ำหรือความดัน ทำให้แห้งด้วยอุณหภูมิต่ำจนมีความชื้นพอเหมาะแล้วอาจนำไปทำให้พองที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้เกิดโครงสร้างภายในที่โปร่งอุ้มน้ำได้ง่ายเป็นข้าวกึ่งสำเร็จรูป ส่วนการรับประทานนั้นสามารถทำได้ง่าย โดยเติมน้ำที่แห้งลงไปใต้น้ำเดือดที่ตวงไว้ปริมาตรที่แน่นอน ปิดฝาประมาณ 2 – 5 นาที โดยไม่ต้องให้ความร้อนอีก

#### กระบวนการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป

การผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูปมีด้วยกันหลายวิธี เช่น Soak-cook-dry, Stepwise hydration and cooking process-dry, Expanded and pregelatinized rice, Dry heat treatment, Freeze drying เป็นต้น ส่วนมากจะใช้กรรมวิธีการผลิตมากกว่า 2 วิธีขึ้นไป คือรวมวิธี คือการรวมวิธี Soak-cook-dry เข้ากับ Dry heat treatment หรือรวม Stepwise hydration and cooking process-dry กับ Dry heat treatment วิธี Soak-cook-dry เข้ากับ Dry heat treatment ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกประหยัดและหาเครื่องมือได้ง่าย โดยมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

1. การให้ความร้อนขั้นต้น (Preheating) เป็นการให้ความร้อนข้าวสารเกิดรอยแตกเล็กๆ หรือที่เรียกว่า fissure ขยายจากผิวเข้าไปภายในเมล็ดจนทั่วทั้งเมล็ดก่อนการแช่ หรือทำให้สุกบางส่วน การให้ความร้อนขั้นต้นอาจใช้วิธีลมร้อน ซึ่งจะเป็น force air หรือ Hot air อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 50 - 350 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ 2 – 15 นาที

2. การแช่ เพื่อให้เมล็ดข้าวดูดน้ำช่วยลดเวลาในการให้ความร้อนขั้นต่อไปในการที่ดูดน้ำเพิ่มขึ้นอีกให้เพียงพอแก่การสุกของแป้ง เมื่อนำเมล็ดข้าวแช่ในน้ำ น้ำจะเข้าเอนโดสเปอร็มแล้วกระจายไปทั่วทำให้เมล็ดชุ่มชื้น อัตราเร็วของการดูดซึมน้ำเข้าสู่เมล็ดจะขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ปริมาณที่ถูกซัดสีโดยถ้าซัดสีมากน้ำจะเข้าเร็ว นอกจากนี้ยังขึ้นกับอุณหภูมิของน้ำที่แช่ ถ้าอุณหภูมิสูงจะเพิ่มการดูดซึมน้ำดีขึ้นและช่วยลดเวลาในการแช่ข้าวลง การแช่จะลดแนวโน้มของข้าวที่แตกหรือฉีกขาดอันเนื่องมาจากแรงดันออสโมซิสภายในระหว่างการทำต้มเดือด มีผลให้แป้งสูญเสียออกมาในน้ำ นอกจากนี้จะทำให้เมล็ดเกิดรอยร้าวอีกด้วย เป็นการลดเวลาการทำให้ข้าวสุก เพราะความชื้นสามารถซึมผ่านเข้าสู่เมล็ดได้มากขึ้น อุณหภูมิที่ใช้แช่อยู่ในช่วง 10 – 100 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ 3 – 60 นาที

3. การทำให้สุก เพื่อให้ได้ลักษณะของเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มเหนียวเล็กน้อยของข้าวสุก เป็นการทำให้เกิดเจลาตินในเซชัน ที่ทำสุกใช้การนึ่งด้วยไอน้ำ น้ำ เวลาที่เหมาะสมในการใช้ไอน้ำขึ้นกับชนิดของเครื่องมือ ชนิดของพันธุ์ข้าว ส่วนมากใช้เวลา 5 – 15 นาที ไอน้ำควรมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

4. การทำแห้ง เป็นการลดความชื้นให้ต่ำพอที่จะเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ การทำแห้งในขั้นแรกต้องการลดความชื้นจากบริเวณผิวให้เร็วกว่าที่ดูดซึมจากข้างใน ทำให้เกิดของแข็งที่เรียกว่า Casehardening จะช่วยทำให้โครงสร้างอยู่ตัวช่วยป้องกันการหดตัว ซึ่งการหดตัวจะทำให้สมบัติการดูดน้ำคืนได้ลดลง นอกจากนี้การทำแห้งในขั้นแรกนี้ยังทำให้ข้าวแห้งเกิดรูพรุนและพอง ซึ่งจะทำให้ดูดน้ำเร็วในขณะคั้นรูป ในการทำแห้งขั้นแรกจึงต้องใช้อุณหภูมิสูงแล้วจึงลดอุณหภูมิการทำแห้งในขั้นต่อไปจนได้ความชื้นตามต้องการ

ดังนั้นการทำแห้งจึงควรทำเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นแรกใช้อากาศร้อนที่อุณหภูมิสูงทำให้โครงสร้างอยู่ตัวแต่ใช้เวลาสั้นๆ เพื่อป้องกันการไหม้ของเมล็ดขณะพอง อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 200 – 250 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ 1 – 5 นาที หลังจากนั้นใช้อุณหภูมิต่ำลงเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ต้องการ อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 30 – 150 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ 2 – 4 ชั่วโมง เมื่อความชื้นร้อยละ 7 – 14 เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดสีน้ำตาลอ่อนที่ไม่ต้องการ

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chen และHouston (1970) การสกัดไขมันออกจากรำข้าว เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นหืนในระหว่างการเก็บรักษา และเพื่อช่วยส่งเสริมให้การสกัดโปรตีนได้มากยิ่งขึ้น

Betschart, Fong and Saunders(1977) โครงสร้างรำข้าวและรำสกัดไขมันมี cellulose emicellulose ในรูปของ xylose และ arabinose ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ xylose ประกอบด้วย D- xylose โปรตีนในรำข้าวเรียงตัวอยู่รอบ ๆ phytate anion ทำให้เกิด insoluble protein-phytate complex (Wangและคณะ,1999) โปรตีนในรำข้าวจะจับกับไขมันในขณะที่โปรตีนในรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันจะจับไขมันน้อยลงเนื่องจากปริมาณไขมันลดลง(ผ่านการสกัดไขมันออกไปแล้ว) ดังนั้นการทำให้เยื่อชั้นนอกหรือเยื่อหุ้มผล (pericarp) แตกออกและลดขนาดอนุภาคของเนื้อเยื่อภายในหรือการย่อยองค์ประกอบในรำข้าวออกจะทำให้สกัดโปรตีนออกมาได้มากขึ้น

Lasztity (1996) การใช้ประโยชน์จากรำข้าว นอกเหนือไปจากการผลิตเป็นน้ำมันรำข้าวแล้ว ยังได้แก่ การผลิตโปรตีนจากรำข้าว โดยพบว่า รำหลังจากการสกัดน้ำมันจะมีโปรตีนซึ่งมีคุณภาพสูง ในปริมาณร้อยละ 15-17 ดังนั้นจึงมีการวิจัยเพื่อหาวิธีการสกัดโปรตีนจากรำข้าวเพื่อให้ได้เพื่อให้ได้โปรตีนรำข้าวที่ปริมาณ และคุณภาพสูง ด้วยวิธีการสกัดที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณโปรตีนรวมทั้งสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนรำข้าวที่สกัดได้แตกต่างกัน

Betchart และคณะ (1977) พบว่าจากการสกัดโปรตีนจากรำข้าวโดยวิธี sequential extraction ซึ่งเป็นการสกัดด้วยน้ำ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ เอทานอล และสารละลายเบส

ตามลำดับ เพื่อแยกชนิดของโปรตีนตามสมบัติการละลายซึ่งจะได้โปรตีนชนิดต่าง ๆ ได้แก่ แอลบูมิน โกลบูลิน โปรลามิน และกลูเตลิน ในปริมาณร้อยละ 26.5, 13.6, 1.8 และ 24.0 ตามลำดับ

โปรตีนในข้าวมีไนโตรเจนอยู่ร้อยละ 16.8 ดังนั้นปริมาณโปรตีนจึงคำนวณจาก Kjeldahl nitrogen คูณด้วย 5.95 ปริมาณไนโตรเจนนี้มาจาก glutelin ซึ่งเป็นโปรตีนส่วนใหญ่ในข้าว

Gnanasambandam และ Hettiarachchy (1995) สกัดโปรตีนจากรำข้าวที่ผ่าน และไม่ผ่านการเพิ่มความคงตัวด้วยความร้อน พบว่าโปรตีนที่สกัดจากรำข้าวที่ไม่ผ่านการเพิ่มความคงตัวจะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าปริมาณโปรตีนรำข้าวที่ผ่านการเพิ่มความคงตัว เนื่องจากความร้อนทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนลดลง

Prakash and Ramanatham (1995) ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งที่มีต่อสมบัติการละลายของโปรตีนรำข้าวเข้มข้น พบว่าโปรตีนรำข้าวเข้มข้นที่ผ่านการทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีการละลายน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนที่ผ่านการทำแห้งแบบลาด และแบบแช่เยือกแข็ง อาจเนื่องจากการทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีการให้ความร้อนสูงกับโปรตีนในขณะที่มีความชื้นต่ำ ทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพทางธรรมชาติ โปรตีนทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ การละลายของโปรตีนจึงลดลง

Connor *et al.* (1976) รายงานว่า การตกตะกอนโปรตีนรำข้าวด้วยกรด ทำให้โปรตีนมีสมบัติการละลายดีกว่าโปรตีนรำข้าวที่ตกตะกอนโดยการให้ความร้อน และ Bera and Mukherjee (1989) ศึกษาการละลายของโปรตีนรำข้าวเข้มข้น และผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อสมบัติการละลาย พบว่าเมื่อ pH ของสารละลายมากกว่า 7.0 โปรตีนรำข้าวมีการละลายเพิ่มขึ้นอย่างมากและโปรตีนรำข้าวเข้มข้นมีการละลายเพิ่มขึ้นในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.1 โมลาร์ เมื่อเทียบกับการละลายในสถานะที่ไม่มีเกลือ เนื่องจากผลของการเกิด salting in แต่เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นเป็น 1.0 โมลาร์ จะทำให้โปรตีนรำข้าวมีการละลายลดลงอย่างมากเนื่องจากผลของการเกิด salting out