บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ผลพลอยได้จากการผลิตซุปไก่สกัด

ในกระบวนการผลิตซุปไก่สกัดซึ่งใช้ไก่ชำแหละมาผลิตนั้น เมื่อผ่านกระบวนการผลิตแล้วในขั้นแรกจะได้ผลผลิตเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของของแข็งเรียกว่า กากไก่ ซึ่งประกอบด้วยเศษเนื้อ หนัง รวมทั้งกระดูกปนกัน และอีกส่วนคือส่วนของของเหลวซึ่งเป็น ส่วนของน้ำซุปที่สกัดได้กับน้ำมันไก่ ส่วนนี้จะต้องผ่านกระบวนการแยกน้ำมันไก่ออกเพื่อให้ได้น้ำซุปไก่สกัด เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าต่อไป (ขั้นตอนการผลิตซุปไก่สกัดดังรูป 2.1)

ไก่ทั้งตัวชำแหละตัดหัวเท้าและแยกเครื่องในออก

↓

สับอย่างหยาบๆด้วยเครื่องสับ

↓

ให้ความร้อนในหม้อนึ่งความดันไอน้ำจนสุก

↓

กรองผ่านแผ่นกรอง → กากไก่

↓

ผ่านเครื่องแยกไขมัน (fat separator)→ น้ำมันไก่

↓

ทำให้เข้มข้นด้วยการระเหยน้ำออกไป

↓

บรรจุในขวดแก้วแล้วปิดฝา

↓

ทำการฆ่าเชื้อ (สเตอร์ริไลซ์เซชัน)

รูป 2.1 ขั้นตอนการผลิตซุปไก่สกัด

ที่มา: เอกภพ ศุภกรชูวงศ์ (2541)

2.1.1 กากไก่

กากไก่ที่ได้จากกระบวนการผลิตซุปไก่สกัดนั้น หากมีการนำมามาผลิตเป็นอาหารน่าจะทำให้เกิดประโยชน์ ทั้งแก่ผู้ผลิตและผู้บริโภคเนื่องจากกากไก่มีปริมาณแคลเซียมสูง และมีราคาไม่แพง มีผู้ทดลองนำกากไก่มาผลิตเป็นอาหารต่างๆ ดังนี้

Anon (1980) ได้รายงานว่าสามารถใช้เศษเนื้อและหนังไก่ ที่ได้จากการผลิตชิ้นเนื้อไก่สุกมาผลิตเป็นน้ำซุป ซึ่งจะนำน้ำซุปที่ได้มาสกัดเอาเจลาติน เพื่อนำไปเป็นสารเชื่อม (binding agent)ในอาหารที่มีเนื้อไก่เป็นส่วนประกอบ (chicken product) และยังสามารถนำไปทดแทนในอาหารที่ใช้เนื้อไก่เป็นส่วนประกอบประเภท fabricated foods

Kondaiah, Anjaneyulu และ Lakshmanan (1993) ได้ศึกษาคุณภาพของนักเกต (Nugget)ที่ผลิตจากกากไก่ผสมกับเนื้อไก่ โดยแปรอัตราส่วน เนื้อไก่ : กากไก่ พบว่าที่อัตราส่วนเนื้อไก่ : กากไก่ เป็น 5 : 2 มีลักษณะการเกิดอีมัลชันของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกับการใช้เนื้อไก่ล้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยประเมินผลจากค่าความคงตัวของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังพบว่า การสูญเสียน้ำหนักในกระบวนการผลิตแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกัน

Shiow , Suey และ Sheng (1995) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทจากกากไก่ ด้วยเอนไซม์จากพืช 2 ชนิดคือ โบรมิเลน และ ปาเปน และเอนไซม์โปรติเอสที่ผลิตจากเชื้อจุลินทรีย์ 2 ชนิด คือ *Aspergillus oryzae.* และ *Streptomyces pronase E.* พบว่ารูปแบบการย่อยของเอนไซม์ทั้ง 4 ชนิดจะเหมือนกัน ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทคือ ใช้ปริมาณเอนไซม์ 0.03% โดยน้ำหนัก และทำการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 50 °C ค่าความเป็นกรดด่างเป็น 7 ใช้เวลา 13 ชั่วโมง พบว่าเอนไซม์ทั้ง 4 ชนิดให้ผลเป็นไปในแนวทางเดียวกัน คือใน 13 ชั่วโมงแรก อัตราการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่หลังจากนั้นอัตราการผลิตจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

สถาบันวิทยบริการ

2.1.2 น้ำมันไก่

น้ำมันไก่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตซุปไก่สกัด มีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลือง ใส ที่อุณหภูมิห้อง มีกลิ่นไก่อยู่มาก ลักษณะคล้ายกับน้ำมันไก่ปกติ นำไปผลิตเป็นอาหารได้ มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันไก่ดังนี้

Anon (1980) รายงานว่า สามารถใช้น้ำมันไก่ที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตชิ้นเนื้อไก่สุกมาใช้ทดแทนน้ำมันพืชและมาการีน ในอุตสาหกรรมการผลิตเบเกอรี่ได้

Shimamura , Yoshinaka และ Kamata (1965) ได้ใช้น้ำมันไก่ที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตชิ้นเนื้อไก่สุกมาผลิตเป็นมาการีนด้วยการเติมไฮโดรเจน แล้วทำการศึกษาการลดระยะเวลาในกระบวนการเติมไฮโดรเจนของน้ำมันไก่ โดยใช้คอปเปอร์-โครเมียม-แมงกานีสออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 200 °C ความดันบรรยากาศ 0-4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แล้วประเมินผลโดยการวัดค่าไอโอดีนนัมเบอร์ พบว่าที่อุณหภูมิ 200°C ความดันบรรยากาศ จะให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์เป็น 66-68 เมื่อเพิ่มความดันเป็น 4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าไอโอดีนนัมเบอร์จะลดลงเป็น 60.6

Pereira, Mikulski, Pratt และ Stadelman (1979) ได้ศึกษาคุณภาพการใช้น้ำมันไก่เมื่อนำไปทอดไก่โดยเปรียบเทียบกับ น้ำมันพืช และน้ำมันเป็ด โดยนำเนื้อไก่มาทอดในน้ำมันทั้ง 3 ชนิด ที่อุณหภูมิ 180°C แล้วประเมินผลทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับไก่ทอดที่ทอดจากน้ำมันทั้ง 3 ชนิดแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Gwo, Flick, Dupuy, Ory และ Baran (1985) ศึกษาการลดการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันไก่ โดยการเติมแอสคอบิลปาล์มิเตด (Ascobyl pamitate) ลงในน้ำมันไก่ที่ระดับ 0.02% จะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันไก่ ทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เพิ่มขึ้น และยังช่วยลดปริมาณการเกิดสารระเหยพวก เดคานัล และ 2,4-เดคาไดอีนัล ของน้ำมันไก่ภายหลังการนำไปทอดอาหารได้อีกด้วย

2.2 ซุปกึ่งสำเร็จรูป

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการผลิตซุปกึ่งสำเร็จรูปในประเทศไทย (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2533) ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า ซุปกึ่งสำเร็จรูป(Instant soup) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัตว์หรือผักผสมกับไขมัน เกลือ และอาจมีส่วนประกอบอื่น ๆ ด้วยก็ได้ เช่นโปรตีนที่ย่อยสลายแล้ว เครื่องเทศ แป้ง เครื่องปรุงแต่งกลิ่นรสต่าง ๆ ผ่านกรรมวิธีทำให้แห้ง โดยรักษาคุณภาพและกลิ่นรสของส่วนประกอบไว้ และทำให้สุกเป็นซุปรับประทานได้หลังจากผ่านกรรมวิธีง่าย ๆ และใช้เวลาสั้นโดยไม่ต้องเติมส่วนประกอบอื่นใดอีกนอกจากน้ำหรือนมหรือครีม ซุปกึ่งสำเร็จรูปแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือซุปใสและซุปข้น ทั้งซุปใสและซุปข้นแบ่งได้อีกอย่างละ 2 ชนิดคือ ซุปที่มีเนื้อสัตว์เป็นส่วนผสมและซุปที่ไม่มีเนื้อสัตว์เป็นส่วนผสม ลักษณะทั่วไปของซุปเมื่อเติมน้ำหรือครีมตามอัตราส่วนที่แจ้งไว้ที่ฉลาก ต้มจนเดือดและต้มต่อไปอีกเป็นเวลาไม่เกิน 10 นาที จะได้ซุปที่พร้อมรับประทาน โดยมีลักษณะตามประเภทของซุปชนิดนั้น ๆ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กำหนดลักษณะของซุปที่ได้มาตรฐานไว้ดังนี้คือ ซุปชนิดก้อนที่มีเนื้อสัตว์เป็นส่วนประกอบ ต้องมีโปรตีนไม่น้อยกว่า 14% และมีไขมันไม่น้อยกว่า 12% ส่วนซุปชนิดผงที่มีเนื้อสัตว์เป็นสวนประกอบ ต้องมีโปรตีนไม่น้อยกว่า 6% และมีไขมันไม่เกิน 12% และซุปกึ่งสำเร็จรูปทั้ง 2 ชนิดต้องมีความชื้นไม่เกิน 6%

ซุปกึ่งสำเร็จรูปมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญหลายอย่างเช่น เกลือแกง ผงชูรส และโปรตีนไฮโดรไลเซท (Binsted และ Dever, 1970)

2.2.1 เกลือแกง (NaCl)

เกลือแกงหรือเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นสารที่ให้รสชาติและเป็นส่วนประกอบหลักของซุปกึ่งสำเร็จรูป นอกจากนี้ยังเป็นสารกันบูดที่ใช้กันมานาน (Lueck, 1980) และสามารถช่วยในการเก็บรักษาอาหารชนิดต่าง ๆ ได้ การใช้เกลืออาจจะใช้ความเข้มข้นต่ำคือประมาณ 2-4% ร่วมกับอุณหภูมิต่ำหรือใช้ร่วมกับกรดเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลนทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (Sinskey, 1980) นอกจากนี้เกลือแกงเป็นสารที่ทำลายแบคทีเรีย และเป็นสารพื้นฐานในส่วนผสมที่ใช้หมัก และเป็นตัวดึงน้ำออกทำให้แรงดันออสโมติกเปลี่ยนไป ในซุปกึ่งสำเร็จรูปเกลือสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และจำกัดจำนวนแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการเน่าเสียได้ด้วย (Jensen, 1954) ผลของเกลือจะเหมือนกับการอบแห้ง คือเกลือจะทำให้ค่า วอเตอร์แอคติวิตี้ของระบบลดลง ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร (Kranlich, Peerson และ Tuber, 1973)

2.2.2 ผงชูรส (MSG)

เป็นส่วนประกอบหลักที่ใช้ในการผลิตซุปกึ่งสำเร็จรูป เป็นวัตถุปรุงแต่งรสอาหาร และทำให้ซุปกึ่งสำเร็จรูปมีรสอร่อย มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการผลิตซุปกึ่งสำเร็จรูปได้ระบุไว้ว่าสามารถใช้ผงชูรส หรือ โมโนโซเดียม-แอล-กลูตาเมตในอาหารประเภทซุปกึ่งสำเร็จรูปได้ในปริมาณที่เหมาะสม สูตรโครงสร้างของผงชูรส เป็นดังนี้

$$COOH - CH_2(NH_2) - CH_2 - CH_2 - COONa \cdot H_2O$$

ลักษณะทั่วไปของผงชูรสคือ เป็นผงผลึกสีขาวละลายน้ำได้ดีมากและละลายได้เล็กน้อยในแอลกอฮอล์ สารประกอบนี้สามารถผลิตได้จากแป้งมันสำปะหลัง (จินตนา อุปดิสสกุล, 2535) ผงชูรสมีรสเฉพาะตัวที่เรียกว่า รส Umami หมายถึง รสอร่อย ซึ่งเป็นชื่อที่ชาวญี่ปุ่นตั้งขึ้นมา ถือว่าเป็นรสที่ 5 นอกเหนือจากรสหวาน เค็ม เปรี้ยว และ ขม นิยมนำมาใช้ในการปรุงอาหารอย่างกว้างขวาง เพราะทำให้อาหารมีรสชาติดีขึ้น แต่ถ้าใส่ในปริมาณมากเกินไป อาจทำให้ผู้บริโภคที่แพ้สารนี้เกิดอาการปวดศีรษะ เจ็บหน้าอก รู้สึกร้อนตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย และแน่นในกระเพาะอาหาร อย่างไรก็ตาม กลไกการทำงานของผงชูรสที่มีต่อประสาทสัมผัสการรับรสของผู้บริโภค ยังไม่มีผู้ทราบแน่นอน (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2535) ปกติแล้วโมโนโซเดียมกลูตาเมทเป็นส่วนประกอบตามธรรมชาติที่พบในอาหารแทบทุกชนิด กลูตาเมทจะพบมากใน Kelp ซึ่งเป็นสาหร่ายทะเลชนิดหนึ่ง และคุณสมบัติทั่วไปของผงชูรสที่จะนำมาใช้คือจะต้องมีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 ของน้ำหนัก (จินตนา อุปดิสสกุล, 2535)

2.2.3. โปรตีนไฮโดรไลเซท

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายสารประกอบของโปรตีนด้วยเอนไซม์ สารเคมี หรือความร้อนให้ได้กรดอะมิโนและสายเปปไทด์ออกมา มีทั้งชนิดที่ได้จากพืชและจากสัตว์ โปรตีนไฮโดรไลเซทที่ได้จากการย่อยสลายเนื้อจะมีกลิ่นของเนื้อ(meaty flavors)อยู่ด้วย (Weir, 1986) โปรตีนไฮโดรไลเซทได้ถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ซุปกึ่งสำเร็จรูป เนื่องจากให้รสชาติที่เรียกว่ารสอร่อย (Umami) คล้ายกับผงชูรส นอกจากนี้ยังมีกลิ่นรสที่ดีต่ออาหารซึ่งเกิดจากกรดอะมิโน โดยเฉพาะกรดกลูตามิกและสายเปปไทด์อีกด้วย (จินตนา อุปดิสสกุล, 2535)

มีงานวิจัยเกี่ยวกับซุปกึ่งสำเร็จรูปในด้านต่าง ๆ เช่น Ishii , Takagi และ Satani (1973) ได้ศึกษาความคงตัวของ5-ไรโบนิวคลีโอไทด์ในซุปกึ่งสำเร็จรูป ศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ฟอสฟาเตสในซุปกึ่งสำเร็จรูป รวมทั้งความคงตัวของ 5-ไรโบนิวคลีโอไทด์ พบว่าในเครื่องเทศจำพวก พริกไทย ใบกะเพรา ใบโหระพา และใบสะระแหน่ มีกิจกรรมของเอนไซม์ฟอสฟาเตส ค่อนข้างสูง และมีผลต่อความคงตัวของ5-ไรโบนิวคลีโอไทด์ด้วย เอนไซม์ฟอสฟาเตสจะสูญเสียสภาพการทำงานที่อุณหภูมิ 80 °C 10 นาที ส่วนสารให้ความข้นหนืดในซุปผง เช่น นมผง และแป้งนั้น พบว่าไม่มีกิจกรรมของเอนไซม์ฟอสฟาเตส แต่ในธรรมชาติแล้วแป้งถั่วเหลือง แป้งสาลี และแป้งข้าวโพด จะมีกิจกรรมของเอนไซม์ฟอสฟาเตสอยู่สูง ความคงตัวของ 5-ไรโบนิวคลีโอไทด์ จะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นและกิจกรรมของเอนไซม์ฟอสฟาเตส อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่า 5-ไรโบนิวคลีโอไทด์มีความคงตัวอยู่มากในซุปกึ่งสำเร็จรูปที่มีความชื้นอยู่ระหว่าง 5 ถึง 8%

Rio และคณะ (1981) ได้ศึกษาคุณค่าทางอาหารของซุปกึ่งสำเร็จรูป ที่มีถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบ พบว่าปริมาณโปรตีนในซุปกึ่งสำเร็จรูปมีค่าประมาณ 20% โดยเป็นโปรตีนจากถั่วเหลืองประมาณ 65% ของโปรตีนทั้งหมด เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโนที่มีกำมะถัน ปริมาณแคลเซียม ธาตุเหล็ก วิตามินบี1 บี2 และไนอะซิน พบว่าในน้ำซุปที่ผ่านการต้มเป็นเวลา 5-15 นาที มีปริมาณกรดอะมิโนที่มีกำมะถันอยู่ในช่วง 2.8-3.0 กรัมต่อไนโตรเจน 16 กรัม มีปริมาณไนอะซิน อยู่ในช่วง 4.3-5.1 กรัมต่อไนโตรเจน 16 กรัม

Pokomy และคณะ (1981) ได้ศึกษาปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาซุปกึ่งสำเร็จรูป โดยใช้ซุปกึ่งสำเร็จรูปรสไก่เติมในพาสต้า 70 กรัม บรรจุในถุงลามิเนทชนิดที่ประกอบด้วย อะลูมิเนียม กระดาษ และ โพลีเอทิลีน บรรจุที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ โดยเปิดปากถุงเพื่อให้สัมผัสกับอากาศ แล้วเปรียบเทียบผลการเก็บรักษาที่อุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 60°C โดยวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ และ ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวมของซุปกึ่งสำเร็จรูป พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 60°C ซุปกึ่งสำเร็จรูปจะมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงขึ้นและจะส่งผลให้คะแนนทางประสาทสัมผัสลดลง โดยที่อุณหภูมิ 60°C จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นสูงกว่า ทำให้คะแนนทางประสาทสัมผัสลดลงมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิห้อง

Egorova (1982) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ในซุปกึ่งสำเร็จรูประหว่างการเก็บรักษา พบว่าเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18-22 °C แบคทีเรียและเชื้อราจะมีอัตราการลดจำนวนลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 2° C นอกจากนี้ยังประเมินสุขลักษณะในกระบวนการผลิตด้วยการตรวจสอบปริมาณ coliform และ enterococci ในช่วงเวลา 5-6 เดือน ที่อุณหภูมิ 2°C พบว่า coliform และ *Clostridium perfringens* มีชีวิตอยู่รอดได้จนถึงเดือนที่ 3 ส่วน *Mucor* และ *Staphylococcus* จะมีชีวิตรอดอยู่ได้จนถึงเดือนที่ 4 และ 5

2.3 ผงโรยข้าว (Furikake)

เป็นอาหารญี่ปุ่นที่รับประทานโดยนำมาโรยในข้าว มีรสชาติอร่อย มีสีสันสวยงาม และยังมีคุณค่าทางอาหารเนื่องจากผลิตจาก เนื้อไก่แห้ง ไข่ไก่แห้ง งาขาว และสาหร่ายเป็นต้น ส่วนประกอบหลักของผงโรยข้าวรสไก่ได้แก่

2.3.1 เนื้อไก่

เป็นอาหารที่ให้คุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะสารอาหารประเภทโปรตีนที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของร่างกายและพัฒนาการทางสมองซึ่งให้คุณค่าทางโภชนาการดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อไก่ส่วนอกต่อส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

สารอาหาร (หน่วย)	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	115
โปรตีน (กรัม)	25.7
ไขมัน (กรัม)	2.2
เส้นใยอาหาร (กรัม)	0.1
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	114
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.2
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.11
วิตามินบี 3 (มิลลิกรัม)	0.13
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	3.5

ที่มา : กองโภชนาการ (2535)

เนื้อไก่ที่ใช้ในการผลิตผงโรยข้าว ปกติแล้วใช้วิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dried) ซึ่งการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนี้ นิยมใช้กับอาหารที่ต้องการรักษาคุณสมบัติด้านกลิ่นรสไว้ เนื่องจากเป็นการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532) และทำให้ได้อาหารที่มีคุณภาพและลักษณะที่ดีกว่าการทำแห้งปกติ จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของไก่ที่ทำแห้งด้วยวิธีใช้ลมร้อนกับวิธีแช่เยือกแข็ง Farkas และ Singh (1991) ได้รายงานว่าเนื้อไก่ที่ได้จากวิธีแช่เยือกแข็ง มีคุณสมบัติด้านต่าง ๆ เช่น มีรูปร่าง ขนาด และคุณสมบัติการคืนตัวและมีกลิ่นรสที่ดีกว่าด้วย

2.3.2. ไข่ไก่

เป็นอาหารให้คุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากเป็นแหล่งอาหารของตัวอ่อน ไก่แต่ละตัวจะให้ไข่โดยเฉลี่ย 220-300 ฟองต่อปี ขึ้นกับพันธุ์และวิธีการเลี้ยง ไข่จำนวนนี้จะถูกนำมาบริโภคประมาณ 90 % หรือมากกว่า นอกจากนั้นจะถูกนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ไข่แช่แข็งและไข่ผง (รัชนี ตันฑะพานิชกุล, 2535)

ตาราง 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของไข่ไก่ต่อส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

สารอาหาร (หน่วย)	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	160
โปรตีน (กรัม)	12.3
ไขมัน (กรัม)	11.7
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	1.4
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	204
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	126
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.6
วิตามิน เอ (หน่วยสากล)	1140
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.15
วิตามินบี 3 (มิลลิกรัม)	0.35
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.4

ที่มา : กองโภชนาการ (2535)

ไข่ไก่ที่ใช้ในการผลิตผงโรยข้าวจะใช้ไข่ทั้งฟองตีให้เข้ากัน แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยไอน้ำจนสุกตัดเป็นชิ้นแล้วนำไปทำแห้ง การทำแห้งไข่ไก่สำหรับผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวนิยมทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dried) เนื่องจากวิธีดังกล่าว จะทำให้ไข่ไก่ที่ได้มีสีสันสวยงามและมีเนื้อสัมผัสที่ดี (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532)

2.3.3. งา

งาเป็นพืชชนิดหนึ่งที่สามารถปลูกได้ดีในแถบร้อน เมล็ดงาเป็นพืชที่ให้คุณค่าทางอาหารสูงมากชนิดหนึ่ง นอกจากให้ไขมันสูงแล้วยังมีโปรตีนค่อนข้างสูง ในน้ำมันงา ประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูง และกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายเช่น กรดลิโนเลอิกอยู่มาก ซึ่งกรดไขมันชนิดนี้จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย (สำนักงานวิจัยเกษตรกรรม, 2533)

ตาราง 2.3 คุณค่าทางโภชนาการของงาขาวต่อส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

สารอาหาร (หน่วย)	ปริมาณ
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	553
โปรตีน (กรัม)	21.9
ไขมัน (กรัม)	46.3
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	12.1
เส้นใยอาหาร (กรัม)	9.9
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	1100
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	570
เหล็ก (มิลลิกรัม)	16.0
วิตามิน เอ (หน่วยสากล)	35
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.02
วิตามินบี 3 (มิลลิกรัม)	0.28
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	4.1

ที่มา : กองโภชนาการ (2535)

งาที่ใช้ในการผลิตผงโรยข้าว จะใช้งาขาวนำไปให้ความร้อนจนมีสีเหลืองนวล แล้วนำไปผสมกับส่วนผสมต่าง ๆ ของผงโรยข้าว

2.3.4. สาหร่าย

มนุษย์รู้จักสาหร่ายและนำมาใช้ประโยชน์เป็นเวลานานแล้ว โดยเฉพาะชาวจีนและชาวญี่ปุ่นใช้สาหร่ายมาทำเป็นอาหารมากที่สุดทั้งในสภาพสดและแห้ง สาหร่ายมีปริมาณโปรตีนสูงและมีคุณภาพดีกว่าโปรตีนจากถั่วเหลือง และหากมีการเติมกรดอะมิโนบางตัวลงไป โปรตีนจะมีคุณภาพใกล้เคียงกับโปรตีนที่ได้จากน้ำนมโค อุดมไปด้วยเกลือแร่หลายชนิด โดยเฉพาะเหล็ก แคลเซียม และไอโอดีน นอกจากนี้ 40-60% ของเนื้อสาหร่าย เป็นเส้นใยซึ่งช่วยกระตุ้นการทำงานของลำไส้ ทำให้ระบบขับถ่ายทำงานเป็นปกติ สาหร่ายประกอบด้วยสารพิเศษชนิดหนึ่งที่เรียกว่าฟูโคอิดอน
(fucoidon) ซึ่งเชื่อว่าสารนี้มีฤทธิ์ต่อต้านโรคมะเร็ง ไม่ควรรับประทานสาหร่ายเกินวันละ100 กรัมต่อคน เนื่องจากสาหร่ายมีปริมาณกรดนิวคลีอิกสูง ถ้ารับประทานมากเกินไปจนเกิดการสะสมในร่างกายในปริมาณมากแล้ว จะเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดโรคเกาต์ (สำนักงานวิจัยเกษตรกรรม,2533) อย่างไรก็ตามในผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวมีสาหร่ายเป็นส่วนประกอบเพียงเล็กน้อยเท่านั้นหากเทียบกับส่วนประกอบอื่น ๆ และการรับประทานผงโรยข้าวแต่ละครั้งก็ไม่ได้รับประทานครั้งละมาก ๆ

2.4 กลไกการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันและน้ำมันเป็นส่วนประกอบ (ศิวาพร ศิวเวช, 2535)

ขุปกึ่งสำเร็จรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะเกิดกลิ่นหืนเนื่องจากไขมันได้ ซึ่งกลไกลการเกิดกลิ่นหืนเป็นไปได้ดังนี้

1. ขั้นตอนเริ่มต้น เป็นขั้นตอนที่มีแรดิคอลอิสระ (free radical) เกิดขึ้น

2. ขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ เป็นขั้นตอนที่แรดิคอลอิสระทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดเพอออกซิแรดิคอล (peroxy radical) ซึ่งเพอออกซิแรดิคอลที่เกิดขึ้นนี้จะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันเกิดไฮโดรเพอออกไซด์ (hydroperoxide) และแรดิคอลอิสระ ซึ่งแรดิคอลอิสระจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเป็นลูกโซ่ต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ

3. ขั้นตอนสุดท้าย เป็นขั้นตอนที่แรดิคอลอิสระรวมตัวกันใหม่ในแบบต่าง ๆ ซึ่งการรวมตัวกันนี้ทำให้การเกิดปฏิกิริยาหยุดลงได้

2.5 Response Surface Methodology (RSM)

RSM เป็นการใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ร่วมกับทางสถิติ วางแผนและวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่าตอบสนองที่สนใจเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Multiple Regression Analysis ซึ่งหากมีตัวแปรใดที่มีผลต่อค่าการตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตัวแปรนั้นจะปรากฏในสมการ สมการที่ได้อาจเป็นสมการกำลังหนึ่ง (first order model) ที่มีลักษณะกราฟเป็นเส้นตรง หรือ สมการกำลังสอง (second order model) ที่มีลักษณะเส้นกราฟเป็นเส้นโค้ง

ในความเป็นจริง การหาจุดที่เหมาะสมนั้นต้องสุ่มทดลอง เพื่อหาช่วงที่มีจุดเหมาะสมหากพบว่าผลที่ได้ยังห่างจากจุดที่เหมาะสม ต้องเปลี่ยนตำแหน่งหรือช่วงการทดลองเพื่อให้ได้จุดที่เหมาะสมโดยพิจารณาทิศทางการเปลี่ยนตำแหน่งจากผลการทดลองเดิม

รูป 2.2 กราฟ 2 มิติของสมการกำลังหนึ่ง ที่ช่วงการทดลองยังห่างจากจุดที่เหมาะสม

ที่มา : Montgomery (1991)

สิ่งที่พอสังเกตได้ว่าใกล้จะถึงจุดที่เหมาะสมแล้วคือ สมการที่ได้จากการทดลองจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสมการกำลังสอง และจากรูป 2.2 แกน X_1 คือตัวแปรอิสระที่ 1 X_2 คือตัวแปรอิสระที่ 2 เส้นขนานที่ปรากฏในกราฟคือค่าการตอบสนอง Y ที่เกิดจากตัวแปร X_1 และ X_2

เพื่อหาค่า Y ในช่วงที่เหมาะสม ขั้นตอนในการวางแผนการทดลองแบบ RSM แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

2.5.1 <u>กำหนดตัวแปรอิสระ</u> (independent variable)

ชนิดของตัวแปรอิสระที่จะนำมาทำการทดลองนั้น จะต้องมีผลต่อการตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นหากต้องการหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งในเครื่องทำแห้งแบบถาด อาจเลือกใช้ตัวแปรอิสระคือ อุณหภูมิ เวลาในการให้ความร้อน หรือความหนาของวัตถุดิบเป็นต้น นอกจากจะต้องกำหนดชนิดของตัวแปรอิสระให้สอดคล้องกับการทดลองแล้วยังต้องกำหนดช่วงการทดลองด้วย ซึ่งช่วงการทดลองนี้หากกำหนดแคบเกินไป จะมีผลทำให้เส้นกราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง ยากต่อการทำนายทิศทางว่าจะทดลองในทิศทางใดเพื่อให้ได้จุดที่เหมาะสม แต่หากแปรช่วงการทดลองกว้างเกินไป อาจจะทำให้ไม่สามารถหาภาวะที่เหมาะสมได้ชัดเจน ดังนั้นในการทดลองขั้นแรก จะต้องสุ่มการทดลองโดยเลือกตัวแปรที่มีผลต่อค่าตอบสนอง กรณีของ Yamaguchi และ Kimisuka (1978) ได้ทดลองแปรปริมาณเกลือแกงกับผงชูรส พบว่า เมื่อใช้เกลือแกงและผงชูรสปริมาณน้อย ๆ คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านการยอมรับรวมจะมีค่าต่ำ หากเพิ่มปริมาณเกลือแกงและผงชูรสมากขึ้น คะแนนจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นไปจนถึงสูงสุด และเมื่อเพิ่มปริมาณเกลือแกงและผงชูรสต่อไปอีก คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวมจะค่อย ๆ ลดลง นำคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวมมาหาสมการที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนการวิเคราะห์แบบ Multiple Regression ของโปรแกรม STATGRAPHIC ในขั้นตอนนี้จะเลือกตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หากตัวแปรใดมีผลต่อค่าตอบสนองตัวแปรนั้นจะปรากฏอยู่ในสมการแล้วนำสมการมาสร้างกราฟ 3 มิติ ที่มีลักษณะโค้งนูนช่วงกลางและค่าจะค่อย ๆ ลดลงไป เมื่อใช้ปริมาณเกลือแกงหรือผงชูรสมากหรือน้อยเกินไป

2.5.2 กำหนดแผนการทดลอง

แผนการทดลองที่เหมาะสมสำหรับวิธี RSM มีหลายแบบด้วยกัน โดยทั่วไปจะใช้ Fractional Factorial Design คือเลือกบางจุดที่สามารถทำนายผลได้อย่างครอบคลุมและมีประสิทธิภาพ โดยไม่ทำการทดลองทุกจุด ช่วงที่ทดลองส่วนใหญ่จะทำการทดลองที่จุดกึ่งกลาง จุดสูงสุดและต่ำสุดของตัวแปรอิสระ เพื่อที่จะทำนายผลจากช่วงเหล่านี้ แผนการทดลองที่เหมาะสมมีหลายแบบด้วยกันเช่น การทดลองแบบ Central Composite Design จะศึกษา 2 ตัวแปร ตัวแปรละ 5 ระดับ โดยทำการกระจายจุดกึ่งกลางไปในทิศทางต่าง ๆ ดังรูป 2.3 พบว่ามีจุดที่จะต้องทดลองทั้งหมด 9 จุด แต่เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด จะต้องทดลองที่จุดกึ่งกลางเป็นจำนวน 5 ซ้ำ จะได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 13 การทดลองดังตาราง 2.4 ส่วนในการทดลองแบบ Box - Behnken Design กระจายการทดลองเป็น 3 มิติ คล้ายรูปกล่องสี่เหลี่ยม ดังรูป 2.4 ซึ่งจะได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 15 การทดลองจากจุดทดลองทั้งหมด 15 จุด ซึ่งการทดลองทั้ง 15 การทดลองเป็นไปตามตาราง 2.5

รูป 2.3 การวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design แบบ 2 ตัวแปร

ที่มา : Montgomery (1991)

ตาราง 2.4 วางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design แบบ 2 ตัวแปร

การทดลองที่	รหัสตัวแปรที่ 1	รหัสตัวแปรที่ 2
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	+1	+1
7	+1	-1
8	+1.414	0
9	-1.414	0
10	0	+1.414
11	0	-1.414
12	-1	+1
13	-1	-1

ที่มา : Montgomery (1991)

รูป 2.4 การวางแผนการทดลองแบบ Box - Behnken Design แบบ 3 ตัวแปร

ที่มา : Montgomery (1991)

ตาราง 2.5 การวางแผนการทดลองแบบ Box - Behnken Design แบบ 3 ตัวแปร

การทดลองที่	รหัสตัวแปรที่ 1	รหัสตัวแปรที่ 2	รหัสตัวแปรที่ 3
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	-1
7	1	0	-1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	-1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

ที่มา : Montgomery (1991)

ตาราง 2.4 และ 2.5 เป็นตารางแสดงรหัสการทดลองซึ่งการกำหนดรหัสและจำนวนการทดลองของแต่ละแบบการวางแผนการทดลองจะมีจำนวนการทดลองและมีการกำหนดรหัสที่แน่นอนเช่น จากตาราง 2.4 จะมีการกระจายการทดลองไปในลักษณะวงกลม ค่า 0 หมายถึง ค่ากึ่งกลางของตัวแปรหากแปรไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้นจะมีรหัสตัวแปรเป็น +1 และหากแปรเพิ่มขึ้นไปอีกรหัสตัวแปรจะเป็น +1.414 โดยต้องกำหนดให้ช่วงของการเพิ่มหรือลดเท่ากันในแต่ละการทดลอง หากตัวแปรแปรไปในทิศทางที่ลดลงจะมีรหัสเป็น -1 และหากแปรลดลงไปอีกรหัสตัวแปรจะเป็น -1.414 สำหรับช่วงการทดลองจริงนั้น ผู้ทดลองจะต้องพิจารณากำหนดช่วงขึ้นมาเอง โดยช่วงการทดลองจะต้องไม่แคบหรือกว้างเกินไปซึ่งสามารถทำได้โดยการทดลองสุ่มดูว่าช่วงที่ใช้นั้นเหมาะสมหรือไม่ โดยพิจารณาจากสมการที่ได้ ว่าจะมีค่า R^2 สูงกว่า 0.6 และสมการที่ได้มีความสัมพันธ์เป็นอนุพันธ์อันดับสองหรือไม่ ตัวอย่างเช่นในการทดลองของ Yamaguchi และ Kimisuka (1978) ได้แปรปริมาณเกลือแกงและผงชูรสในมิโซซุป (Miso soup) โดยใช้ค่าจุดกึ่งกลางคือใช้ปริมาณเกลือแกงเป็น 0.35% (รหัสเป็น 0) ผงชูรสเป็น 0.27% (รหัสเป็น 0) แล้วทำการแปรค่าสำหรับทดลอง โดยกำหนดให้ช่วงของการแปรเกลือแกงมีความกว้างเป็น 0.2% ของผงชูรสเป็น 0.1% โดยความกว้างของช่วงนี้ ผู้ทดลองจะกำหนดขึ้นมาเอง สามารถเขียนสมการและค่าจริงได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

ค่าการทดลองจริง = ค่าการทดลองจากจุดกึ่งกลาง + รหัส (ความกว้างช่วงของการแปร)

<u>เกลือแกง</u>

รหัส 0 หรือค่ากึ่งกลางมีปริมาณเกลือแกงเป็น 0.35%

รหัส +1 จะได้ปริมาณเกลือแกงเป็น 0.35 + (+ 1)(0.2) = 0.55%

รหัส -1 จะได้ปริมาณเกลือแกงเป็น 0.35 +(- 1)(0.2)= 0.15%

รหัส +1.414 จะได้ปริมาณเกลือแกงเป็น 0.35 + (+1.414)(0.2) = 0.633%

รหัส -1.414 จะได้ปริมาณเกลือแกงเป็น 0.35 + (- 1.414)(0.2) = 0.67%

<u>ผงชูรส</u>

รหัส 0 หรือค่ากึ่งกลางมีปริมาณผงชูรสเป็น 0.27%

รหัส +1 จะได้ปริมาณผงชูรสเป็น 0.27 +(+1)(0.1) = 0.37%

รหัส -1 จะได้ปริมาณผงชูรสเป็น 0.27 +(-1) (0.1) = 0.17%

รหัส +1.414 จะได้ปริมาณผงชูรสเป็น 0.27 + (+1.414)(0.1) = 0.4114%

รหัส -1.414 จะได้ปริมาณผงชูรสเป็น 0.27 + (-1.414)(0.1) = 0.1286%

2.5.3. <u>วิเคราะห์ข้อมูล</u>

นำข้อมูลของค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลองด้วยแบบแผนการทดลองที่เหมาะสม มาหาค่าความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระที่ศึกษา โดยวิธี Multiple Regression ในรูปของสมการกำลังสอง รูปแบบของสมการที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ คือ สมการโพลีโนเมียลกำลังสอง ซึ่งมีรูปแบบโดยทั่วไปดังนี้

$$Y = B_0 + \sum B_i X_i + \sum B_{i,i+1} X_i X_{i+1} + \sum B_{ii} X_i^2 \qquad (1)$$

เมื่อ

Y คือ ค่าตอบสนองที่เกิดจากการแปรค่าตัวแปร X_i

B_0 คือ ค่าเทอมคงที่

$\sum B_i X_i$ คือ เทอมที่แสดงถึงอิทธิผลของตัวแปรอิสระ X_i

$\sum B_{i,i+1} X_i X_{i+1}$ คือ เทอมที่แสดงอิทธิผลร่วมของตัวแปรอิสระ 2 ตัวแปร X_i, X_{i+1}

$\sum B_{ii} X_i^2$ คือ เทอมที่แสดงอิทธิผลของกำลังสองของตัวแปรอิสระ

เนื่องจาก สามารถอธิบายผลของตัวแปรอิสระที่มีค่าตอบสนอง (Linear effect) ผลของความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ (ตัวแปรกำลังหนึ่ง) ที่มีต่อค่าตอบสนอง (Interaction effect) และผลร่วมของตัวแปรอิสระ (ตัวแปรกำลังสอง) ที่มีต่อค่าตอบสนองได้ จากสมการดังกล่าว เมื่อได้ตัวแปรที่มีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญแล้ว จะสามารถสร้างกราฟ Contour plot โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป กราฟ Contour plot จะมีลักษณะเป็นอนุกรมของเส้นตรงหรือเส้นโค้ง ซึ่งแสดงภาวะที่ให้ค่าตอบสนองคงที่มีหลายรูปแบบขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรอิสระกับค่าตอบสนอง ดังนั้น จาก Contour plot ที่ได้ ทำให้สามารถเลือกภาวะของตัวแปรที่ให้ค่าตอบสนองที่เหมาะสม (Optimum point) ได้ เมื่อนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี Multiple Regression ได้สมการดังตัวอย่างต่อไปนี้

ศุภฤกษ์ บูรณะคงคาตรี (2538) ได้ทดลองผลิตน้ำใบบัวบกด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) โดยวางแผนการทดลองแบบ Box - Behnken Design 3 ตัวแปร จำนวน 15 การทดลอง ซึ่งกำหนดตัวแปรการทดลองได้ดังนี้ ตัวแปรที่ 1 คือ อุณหภูมิลมเข้ามีทั้งหมด 3 ระดับคือ 150 °C (รหัสเป็น 0) 180 °C (รหัสเป็น +1) 120 °C (รหัสเป็น -1) ตัวแปรที่ 2 คือ ปริมาณสารไซโครเดกซ์ตริน (กรัมต่อน้ำใบบัวบก 100 มิลลิลิตร)มีทั้งหมด 3 ระดับคือ 73 กรัม (รหัสเป็น 0) 113 กรัม (รหัสเป็น +1) 33 กรัม (รหัสเป็น -1) ตัวแปรที่ 3 คือ อัตราการไหลของน้ำใบบัวบกเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย (มิลลิลิตรต่อนาที) มีทั้งหมด 3 ระดับ

คือ 19 มิลลิลิตรต่อนาที (รหัสเป็น 0) 29 มิลลิลิตรต่อนาที (รหัสเป็น +1) 92.85 มิลลิลิตรต่อนาที (รหัสเป็น-1)ประเมินผลทางประสาทสัมผัสทางด้านสีแล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Multiple regression โดยค่าคงที่และตัวแปรที่จะเกิดขึ้นในสมการนั้น ต้องมีค่าความแตกต่าง (Significant level) ในสมการน้อยกว่า 0.05 จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทำให้ได้สมการดังนี้

$$y= 310.7720-3.2994x_1-210.1870x_2- 6.2184\ x_3 +0.07975x_1^2+14.3067\ x_2^2$$
$$0.015906\ x_3^2 +1.3366\ x_1\ x_2+0.041031\ x_1\ x_3$$

เมื่อ y คือ ทางประสาทสัมผัสทางด้านสี

x_1 คือ อุณหภูมิลมเข้า (°C)

x_2 คือ ปริมาณสารไซโครเดกซ์ตริน (กรัมต่อน้ำใบบัวบก 100 มิลลิลิตร)

x_3 คือ อัตราการไหลของน้ำใบบัวบกเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย(มิลลิลิตรต่อนาที)

การหาจุดที่เหมาะอาศัยวิธีการดิฟเฟอร์เรนทิเอจ (differentiate) โดยเทียบค่า y กับค่า x ทีละตัวได้ดังนี้

$$dy/dx_1 = -3.2994+0.015594x_1+1.3366\ x_2+0.04131x_3-0.062169x_2x_3 = 0$$
$$dy/dx_2 = -210.1870+28.6134\ x_2 +1.3366x_1+0.062169x_1x_3 = 0$$
$$dy/dx_3 = -6.2184+0.0318\ x_3+0.0410x_1-0.062169x_1x_3= 0$$

ดังนั้นเมื่อทำการแก้สมการแล้วจะได้

x_1=150.00

x_2=0.665

x_3=12.77

จากการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า ในการผลิตน้ำใบบัวบกแบบพ่นฝอย คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสีจะมีค่าสูงสุด (จุดที่เหมาะสม) ที่อุณหภูมิลมเข้ามีค่า 150°C ปริมาณสารไซโครเดกซ์ตริน เป็น 0.665 กรัมต่อน้ำใบบัวบก 100 มิลลิลิตร อัตราการไหลของน้ำใบบัวบกเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจายเป็น 12.77 มิลลิลิตรต่อนาที