

สถิติวิจัยทางอาหาร

FOOD RESEARCH STATISTICS



พนิดา รัตนปิติกรณ์

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ประวัติและผลงาน



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนิดา รัตนปิติกรณ

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ประวัติการศึกษา

- 2534 วท.บ. (อุตสาหกรรมเกษตร) สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2542 วท.ม. (เทคโนโลยีทางอาหาร) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 2551 วท.ด. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ประวัติการทำงาน

- 2542 ถึงปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- 2535 -2537 เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร บริษัทแหลมทองอุตสาหกรรมอาหารจำกัด
จังหวัดนครปฐม
- 2534-2535 เจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิต บริษัทผลไม้กระป๋องประจวบ จำกัด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ประวัติทุนการศึกษาและรางวัลที่เคยได้รับ

- 2540-2542 ทุนพัฒนาอาจารย์สาขาวิชาที่ขาดแคลนจากสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา
ในการศึกษาระดับปริญญาโท
- 2546-2549 ทุนพัฒนาอาจารย์สาขาวิชาที่ขาดแคลนจากสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา
ในการศึกษาระดับปริญญาเอก ภายใต้โครงการแซนวิช โปรแกรม (sandwich program)
เรียนในมหาวิทยาลัยในประเทศไทยร่วมกับการทำงานวิจัยในมหาวิทยาลัยร่วมในต่างประเทศ
(University of Alberta, Edmonton, Canada)
- 2550 รางวัลชมเชยในการประกวดวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอกสาขาวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยีการอาหารระดับประเทศ ชื่อเรื่อง EFFECT OF EDIBLE BILAYER FILMS
FROM SODIUM CASEINATE AND FAT ON SURVIVAL OF IMMOBILIZED
BIFIDOBACTERIUM IN TAPIOCA STARCH BEADS

ประวัติการสอนและการทำวิจัย

ผู้เขียนมีประสบการณ์ในการสอนกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร และสถิติเพื่อการควบคุม
คุณภาพสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี กระบวนการวิเคราะห์อาหารสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาโท และ
มีประสบการณ์ด้านการทำวิจัยร่วมกับนักศึกษาทั้งระดับปริญญาตรี และปริญญาโท และอาจารย์ทั้งชาวไทย
และชาวต่างประเทศ



สถิติวิจัยทางอาหาร

FOOD RESEARCH STATISTICS

พนิดา รัตนปิติกรณ์

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



สถิติวิจัยทางอาหาร

FOOD RESEARCH STATISTICS

บรรณาธิการ: อนุวัตร แจ่มชัด
ISBN (e-Book) : 978-616-398-560-6
ผู้แต่ง: พนิดา รัตนปิติกรณ์
จัดทำและจัดจำหน่ายโดย: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
สำนักงานบริหารงานวิจัย สำนักงานมหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200
โทรศัพท์: 0 5394 3603-4
โทรสาร: 0 5394 3600
<https://cmupress.cmu.ac.th>
E-mail: cmupress.th@gmail.com

พิมพ์ครั้งแรก: เมษายน 2564

ออกแบบและพิมพ์: สมสืบ คราฟท์

หนังสือเล่มนี้ผ่านการประเมินเพื่อตรวจสอบและรับรองการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการประเภทหนังสือหรือตำรา ซึ่งจัดพิมพ์โดยสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่เรียบร้อยแล้ว

©สงวนลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ห้ามลอกเลียนแบบ ทำซ้ำ ดัดแปลง ส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้ รวมทั้งการจัดเก็บถ่ายทอดไม่ว่ารูปแบบหรือวิธีการใดๆ ด้วยกระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ การถ่ายภาพ การบันทึกหรือวิธีการอื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาต

คำนิยม

หนังสือสถิติวิจัยอาหาร เป็นหนังสือที่ผู้เขียนพยายามอย่างยิ่งที่จะใช้เทคนิคหรือวิธีการทางสถิติในการวิจัยทางอาหาร อธิบายตั้งแต่พื้นฐานถึงการวิเคราะห์ขั้นสูงในบางวิธีการ พร้อมมีตัวอย่างประกอบเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายทั้งการนำข้อมูล การวิเคราะห์ และการอ่านผลการวิเคราะห์ ตลอดจนการเขียนสรุป รวมทั้งมีการแสดงการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมาช่วยในการคำนวณ รวมทั้งผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม หนังสือเล่มนี้เหมาะสำหรับนิสิตในระดับปริญญาตรี และบัณฑิตศึกษาเพื่ออ่านประกอบการเรียน และการทำวิจัยทางอาหาร

รองศาสตราจารย์ ดร.อนุวัตร แจ่มชัด

คำนำ

สถิติวิทยาทางอาหารเป็นศาสตร์ที่มีความสำคัญสำหรับนักศึกษาทั้งในระดับปริญญาตรี ปริญญาโท และปริญญาเอกในการทำวิจัยเพื่อความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมเกษตร หลักสูตรวิทยาศาสตร์การอาหารและเทคโนโลยีทางอาหาร ตลอดจนนักวิจัย หรือผู้ทำวิจัยในหน่วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภาคเอกชนและรัฐบาล

เนื้อหาของสถิติวิทยาทางอาหารเล่มนี้ไม่ได้เน้นทฤษฎีเชิงลึกทางสถิติ แต่เน้นหลักการและทฤษฎีที่สำคัญต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองหลัก 4 แบบคือ แผนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสิ่งทดลอง (Analysis of variance and compare mean) การทดลองแบบแฟกต์เกดต์ แอนด์ เบอร์แมน (Plackett and Burman design) แผนการทดลองแบบผสม (Mixture design) การทดลองส่วนประสมกลาง (Central composite design) และวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology) และเน้นตัวอย่างโจทย์การใช้งานในงานวิจัยทางด้านอุตสาหกรรมเกษตร

ลักษณะการเขียนเอกสารทางวิชาการฉบับนี้จะเน้นการอธิบายโดยการยกตัวอย่างโจทย์การคำนวณ และแสดงวิธีทำโดยละเอียด มีตัวอย่างการคำนวณโดยใช้สูตรการคำนวณ และการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเช่น โปรแกรม SPSS และโปรแกรม Minitab จึงเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาทั้งในระดับพื้นฐานให้ใช้งานได้ถึงระดับที่สามารถออกแบบการทดลองที่มีความซับซ้อนได้

ตัวอย่างโจทย์ที่นำมาใช้ศึกษาและดัดแปลงมาจากงานวิจัย บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในฐานข้อมูลที่ได้รับการยอมรับในระดับนานาชาติ (SCOPUS) และหนังสือวิชาการ พร้อมทั้งแนะนำแหล่งค้นคว้าเพิ่มเติมเพื่อให้ผู้อ่านได้เห็นตัวอย่างการใช้งานสถิติวิทยาทางอาหาร รูปแบบการใช้งานสถิติวิทยาทางอาหารในบทความวิจัยระดับนานาชาติ จะมีความซับซ้อนกว่ารูปแบบการวางแผนการทดลองตามหลักการทั่วไป

สถิติวิทยาทางอาหารแต่ละแบบจะมีหลักการ และเงื่อนไขเฉพาะ การศึกษาหลักการพื้นฐาน และทฤษฎีของสถิติวิทยาแต่ละแบบจะช่วยให้ผู้อ่านไม่เกิดความสับสนในการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลและประมวลผล จากคำกล่าวที่ว่า เมื่อเราป้อนข้อมูลอะไรเข้าไป และสั่งโปรแกรมให้ประมวลผลมักได้คำตอบเสมอ การที่จะมั่นใจได้ว่าการประมวลผลข้อมูลนั้นมีความถูกต้องหรือไม่ ต้องใช้หลักการและทฤษฎีพื้นฐานในการตรวจสอบ

สถิติวิทยาจะช่วยให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการวางแผน และออกแบบการทดลอง วิเคราะห์ และประมวลผลเพื่อนำไปสู่การสรุปผลการทดลองที่ถูกต้องเหมาะสม

ความรู้ และความเข้าใจในศาสตร์ของเรื่องที่ทำวิจัยเป็นสิ่งสำคัญเช่นเดียวกัน นอกเหนือจากองค์ความรู้เฉพาะที่เกี่ยวกับสถิติวิจัย ถ้าผู้วิจัยไม่มีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องที่จะทำวิจัย ผู้วิจัยจะไม่สามารถมองงานวิจัยออกมาบ้างที่จำเป็นต้องการศึกษามีอะไรบ้าง ค่าการตอบสนองใดบ้างที่จะนำไปสู่การสรุปผลที่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ ยกตัวอย่าง งานวิจัยต้องการศึกษาผลของภาวะในการควบคุมน้ำตาลฟักทองที่มีต่อปริมาณสารแอลฟา-โทโคฟีรอล (α -tocopherol) และแกมมา-โทโคฟีรอล (γ -tocopherol) และสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidants) ในน้ำมันที่สกัดได้ ผู้วิจัยควรมีความรู้ว่าปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อการควบคุมน้ำตาล ทำไมต้องวิเคราะห์หาปริมาณสารแอลฟา-โทโคฟีรอล และแกมมา-โทโคฟีรอลในน้ำมันที่สกัดได้ และปริมาณสารที่สกัดได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับสมบัติในการเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นต้น

ความสำเร็จของผลงานชิ้นนี้ส่วนหนึ่งเกิดจากความรู้ด้านการออกแบบการทดลอง และวิธีในการดำเนินงานวิจัยที่มีอาจารย์เป็นผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.พันธิพา จันทวัฒน์ ผู้เป็นทั้งอาจารย์ผู้สอน และที่ปรึกษางานวิจัยในระดับปริญญาโท ขอขอบคุณ อาจารย์ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ ที่แนะนำเรื่องการใช้งานโปรแกรม Minitab ขอขอบคุณ รศ.ดร.นิรมล อุดมอ่าง ที่กรุณาให้คำแนะนำเรื่องการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ขอขอบคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ซื้อลิขสิทธิ์โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติเพื่อการเรียนการสอน และงานวิจัย ตลอดจนนักศึกษาแต่ละรุ่นที่ผู้เขียนได้สอนมาทำให้ผู้เขียนสามารถพัฒนาองค์ความรู้ของตนเองจนสามารถถ่ายทอดออกมาเป็นเอกสารทางวิชาการฉบับนี้ได้ ขอขอบคุณ บรรณารักษ์ และเจ้าหน้าที่ของห้องสมุดคณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่มีความเอื้อเฟื้อในการอำนวยความสะดวกด้านการค้นคว้า และสืบค้นข้อมูลจากแหล่งหนังสือทางวิชาการ

สิ่งสำคัญที่สุดในส่วนท้ายนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณการสนับสนุนด้านเวลา และกำลังใจจากบิดา มารดา และพี่ชาย ตลอดจนพี่สะใภ้ที่เห็นความสำคัญในงานที่ผู้เขียนทำ และด้วยเจตจำนงที่ว่าการให้ความรู้จะเป็นประโยชน์กับผู้อื่นนั้นเปรียบเสมือนการทำคุณความดีอย่างหนึ่ง และเป็นหน้าที่ที่มีเกียรติของเราในฐานะคนไทยคนหนึ่งจะมีให้กับประเทศชาติอันเป็นที่รัก

ด้วยคำขอบคุณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พินดา รัตนปิติกรณ์

กุมภาพันธ์ 2564

CONTENT

1	บทนำ	1
	1.1 ความสำคัญของการใช้สถิติวิจัยในการออกแบบและวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง	2
	1.2 วิธีป้องกันความผิดพลาดของการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	4
	1.3 คำศัพท์ที่มีการใช้ในการออกแบบการทดลอง	21
	1.4 หลักในการเลือกและออกแบบการทดลอง	25
	1.5 ระดับนัยสำคัญและค่าร้อยละของความเชื่อมั่นทางสถิติที่ใช้ในการพิสูจน์สมมติฐานในการออกแบบการทดลอง	27
	1.6 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล	29
	1.7 การคำนวณหาขนาดการทดลอง (sample size) หรือจำนวนการทำซ้ำการทดลองที่เหมาะสม	31
	1.8 สรุป	34
	1.9 แหล่งข้อมูล และหัวข้อที่แนะนำให้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม	35
	1.10 คำถามท้ายบท	36
	1.11 เอกสารอ้างอิง	37

สารบัญ

2	แผนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสิ่งทดลองและ การใช้งานในอุตสาหกรรมเกษตร	39
2.1	แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD	40
2.2	แผนการทดลองที่มีการสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete block Design, RCBD)	50
2.3	การทดลองแบบแฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in Completely Randomized Design, Factorial in CRD)	60
2.4	การทดลองแบบแฟคทอเรียลในแผนการทดลองที่มีการสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Factorial in Randomized Complete Block Design, Factorial in RCBD)	70
2.5	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลอง (treatment)	81
2.6	ตัวอย่างการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ข้อมูลทางประสาทสัมผัสของแผนการทดลองแบบ CRD และ RCBD	90
2.7	สรุป	103
2.8	แหล่งข้อมูล และหัวข้อที่แนะนำให้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม	104
2.10	คำถามท้ายบท	105
2.11	เอกสารอ้างอิง	108

CONTENT

3	สมการถดถอยเชิงเส้น เชิงเดียว และเชิงพหุคูณ และการใช้งานในอุตสาหกรรมเกษตร	109
3.1	แผนภาพแสดงการกระจายตัวของข้อมูล (Scatter Diagram)	111
3.2	วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของข้อมูล	112
3.3	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r)	113
3.4	ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูล	114
3.5	สมการถดถอยเชิงเส้นเชิงเดียว	123
3.6	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2)	125
3.7	การทดสอบสมมติฐานในการวิเคราะห์การถดถอย	127
3.8	การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)	128
3.9	การสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นเชิงเดียว	130
3.10	การสร้างสมการถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple regression model)	147
3.11	วิธีการลดรูปสมการ เพื่อเพิ่มค่า R^2	165
3.12	สรุป	166
3.13	แหล่งข้อมูล และหัวข้อที่แนะนำให้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม	166
3.14	คำถามท้ายบท	167
3.15	เอกสารอ้างอิง	170

สารบัญ

4

การทดลองแบบแฟกเตอร์ แอนด์ เบอร์แมน 171 และการใช้งานในอุตสาหกรรมเกษตร

4.1	การกำหนดสูตรของการทดลองแบบแฟกเตอร์ แอนด์ เบอร์แมน	173
4.2	การวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองแบบแฟกเตอร์ แอนด์ เบอร์แมน	175
4.3	ตัวอย่างการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab	184
4.4	ตัวอย่างการดัดแปรโมเดลของการทดลองแบบ แฟกเตอร์ แอนด์ เบอร์แมน	186
4.5	สรุป	195
4.6	แหล่งข้อมูล และหัวข้อที่แนะนำให้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม	196
4.7	คำถามท้ายบท	196
4.8	เอกสารอ้างอิง	198

CONTENT

5	แผนการทดลองแบบผสมและการใช้งานใน	199
	อุตสาหกรรมเกษตร	
	5.1 แผนการทดลองแบบผสมที่มี 2 ตัวแปร	200
	5.2 แผนการทดลองแบบผสมที่มี 3 ตัวแปร	202
	5.3 วิธีการประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูลของ	207
	แผนการทดลองแบบผสม 3 ตัวแปร	
	5.4 สรุป	251
	5.5 แหล่งข้อมูล และหัวข้อที่แนะนำให้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม	252
	5.6 คำถามท้ายบท	253
	5.7 เอกสารอ้างอิง	254

สารบัญ

6	การทดลองแบบส่วนประสมกลาง	255
	และวิธีพื้นผิวตอบสนอง	
	และการใช้งานในอุตสาหกรรมเกษตร	
	6.1 ระดับของปัจจัยที่ศึกษาในการทดลองแบบส่วน	257
	ประสมกลาง	
	6.2 การประมวลผลข้อมูลของการทดลองแบบส่วน	264
	ประสมกลางโดยใช้โปรแกรม Minitab	
	6.3 สรุป	291
	6.4 แหล่งข้อมูล และหัวข้อที่แนะนำให้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม	292
	6.5 คำถามท้ายบท	293
	6.6 เอกสารอ้างอิง	294

ดัชนี	295
-------	-----

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่ 1.1	การแสดงความผิดปกติของชุดข้อมูล เมื่อใช้คำสั่ง Explore ของโปรแกรม SPSS	21
ภาพที่ 1.2	ตัวอย่างแผนภูมิฮิสโตแกรมที่แสดงการแจกแจงของข้อมูลที่สร้างโดยใช้โปรแกรม Minitab	30
ภาพที่ 1.3	กราฟความน่าจะเป็นที่แสดงการแจกแจงของข้อมูล	31
ภาพที่ 3.1	แผนภาพการกระจายตัวของข้อมูล เพื่อดูแนวโน้มการมีสหสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกันของตัวแปร x และตัวแปร y	111
ภาพที่ 3.2	การกระจายตัวของข้อมูลจากเส้นตรงที่สร้างจากสมการถดถอยเชิงเส้นเชิงเดียว	124
ภาพที่ 3.3	แผนภาพแสดงการกระจายตัวของเศษตกค้าง	130
ภาพที่ 3.4	รูปแบบการกรอกข้อมูลในโปรแกรม SPSS	140
ภาพที่ 3.5	รูปแบบการกรอกข้อมูลในโปรแกรม Minitab	141
ภาพที่ 3.6	รูปแบบการกรอกข้อมูลในโปรแกรม SPSS	153
ภาพที่ 3.7	รูปแบบการกรอกข้อมูลในโปรแกรม Minitab	155
ภาพที่ 3.8	การวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดของสมการถดถอยที่สร้างขึ้นโดยสร้างแผนภาพการกระจายตัวของเศษตกค้าง (residual, e_i) ของข้อมูลผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อความชื้น	156
ภาพที่ 3.9	การวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดของสมการถดถอยที่สร้างขึ้นโดยสร้างแผนภาพการกระจายของข้อมูล และแผนภาพการกระจายตัวของเศษตกค้างของข้อมูล y	164
ภาพที่ 5.1	แผนภาพซิมเพล็กซ์ ข้อจำกัด : $\sum X_i = 1, i=1,2,3$ โดยที่ $X_i =$ ส่วนประกอบของ i และ $0 < X_i < 1$	203
ภาพที่ 5.2	แผนภาพแสดงพื้นผิวตอบสนองและแผนภาพคอนทัวร์ของค่าการตอบสนองด้านแรงกดให้แตก และเวลาของการแตกตัว เมื่อ A แทน แอลฟาแลกโตสที่มีน้ำ 1 โมเลกุล B แทน แป้งมันฝรั่ง และ C แทน แอลฟาแลกโตสที่ปราศจากโมเลกุลของน้ำ	214

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่ 5.3	(a) แผนภาพคอนทัวร์ของแรงกดให้แตก และการแสดงจุดที่ได้จากการทำนายค่าจากสมการถดถอยที่สร้างขึ้น (b) แผนภาพคอนทัวร์ของเวลาการแตกตัว และการแสดงจุดที่ได้จากการทำนายค่าจากสมการถดถอยที่สร้างขึ้น เมื่อ A แทน แอลฟาแลกโตสที่มีน้ำ 1 โมเลกุล B แทน แป้งมันฝรั่ง และ C แทน แอลฟาแลกโตสที่ปราศจากโมเลกุลของน้ำ	216
ภาพที่ 5.4	แผนภาพคอนทัวร์แสดงพื้นที่ทับซ้อนของค่าการตอบสนองที่กำหนดของค่าแรงกดให้แตกกับเวลาของการแตกตัว เมื่อ A แทน แอลฟาแลกโตสที่มีน้ำ 1 โมเลกุล B แทน แป้งมันฝรั่ง และ C แทน แอลฟาแลกโตสที่ปราศจากโมเลกุลของน้ำ	219
ภาพที่ 5.5	กรอบคำสั่งของโปรแกรมในการเลือกชนิดของแผนการทดลองแบบผสมและจำนวนตัวแปรที่ใช้	227
ภาพที่ 5.6	กรอบคำสั่งของโปรแกรมในการเลือกโมเดลที่ต้องการจุดไหนบ้าง และต้องการทำซ้ำทั้งการทดลองหรือเฉพาะจุด	227
ภาพที่ 5.7	กรอบคำสั่งของโปรแกรมที่ต้องการให้สุ่มเลือกโมเดลหรือไม่ ถ้าต้องการให้ได้โมเดลตั้งต้นเหมือนกันให้กดเอา Randomize runs ออก	228
ภาพที่ 5.8	กรอบคำสั่งกำหนดช่วงของตัวแปรที่ศึกษา	228
ภาพที่ 5.9	กรอบคำสั่งกำหนดค่าการตอบสนองที่ต้องการวิเคราะห์ข้อมูล	229
ภาพที่ 5.10	กรอบคำสั่งกำหนดพจน์ในสมการทำนายที่สร้างขึ้น	229
ภาพที่ 5.11	แผนภาพคอนทัวร์ แสดงพื้นที่ทับซ้อนของค่าการตอบสนองทั้งสามได้แก่ค่าความหนืด ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ และค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ และแผนภาพแสดงจุดเหมาะสมที่สุดโดยการทำนายค่า	248
ภาพที่ 6.1	หน้าต่างแสดงการเลือกใช้คำสั่งของการทดลองแบบส่วนประสมกลาง	266
ภาพที่ 6.2	หน้าต่างแสดงโมเดลมาตรฐานของการทดลองแบบส่วนประสมกลางของโปรแกรม Minitab	267
ภาพที่ 6.3	หน้าต่างแสดงคำสั่งการตั้งชื่อและการกำหนดระดับของปัจจัย	267
ภาพที่ 6.4	หน้าต่างแสดงการยกเลิกคำสั่งสร้างโมเดลแบบสุ่ม (Randomize runs) ออก	268

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่ 6.5	โมเดลของการทดลองแบบส่วนประสมกลางและการกรอกข้อมูลค่าการตอบสนอง	269
ภาพที่ 6.6	แผนภาพแสดงพื้นผิวการตอบสนอง และแผนภาพคอนทัวร์ระหว่างระดับของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยที่ผันแปรกับค่าการตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (ปริมาณโปรตีน)	272
ภาพที่ 6.7	หน้าตาแสดงการป้อนชื่อค่าการตอบสนอง เพื่อวิเคราะห์หาจุดเหมาะสมที่สุด	273
ภาพที่ 6.8	หน้าตาแสดงการกำหนดระดับของผลการตอบสนองที่ต้องการ	274
ภาพที่ 6.9	แผนภาพแสดงการทำนายจุดเหมาะสมที่สุดตามค่าการตอบสนองที่ตั้งไว้	274
ภาพที่ 6.10	หน้าตาแสดงการถอดรหัสของระดับปัจจัยที่ผันแปร	276
ภาพที่ 6.11	แผนภาพแสดงการประมาณค่าจุดเหมาะสมที่สุด	277
ภาพที่ 6.12	หน้าตาแสดงการกรอกข้อมูล เพื่อกำหนดพจน์ลงในสมการถดถอยเชิงพหุคูณที่สร้างขึ้น	279
ภาพที่ 6.13	การวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดของสมการถดถอยที่สร้างขึ้นโดยสร้างแผนภาพการกระจายตัวของเศษตกค้าง (residual, e_i) ของข้อมูล	281
ภาพที่ 6.14	การวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดของสมการถดถอยที่สร้างขึ้นโดยสร้างแผนภาพการกระจายตัวของเศษตกค้าง (residual, e_i) ของข้อมูล	288

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	การบันทึกผลการทดลองชุดที่หนึ่งของการทำซ้ำที่ 1 ทดสอบโดยใช้ตัวอย่างปลาเส้น จำนวน 3 เส้น	7
ตารางที่ 1.2	การบันทึกผลการทดลองการทำซ้ำที่ 1 ทดสอบโดยใช้ตัวอย่างปลาเส้น จำนวน 5 เส้น	7
ตารางที่ 1.3	การบันทึกผลการทดลองของการทำซ้ำที่ 2 ใช้ตัวอย่างปลาเส้น จำนวน 5 เส้น	8
ตารางที่ 1.4	บันทึกผลการทดลองของการทำซ้ำที่ 3 ทดสอบโดยใช้ตัวอย่างปลาเส้น จำนวน 5 เส้น	8
ตารางที่ 1.5	บันทึกผลการทดสอบค่าความทนแรงดึงของผลิตภัณฑ์ปลาเส้น จากการทดลอง 3 ซ้ำ	9
ตารางที่ 1.6	ค่าความทนแรงดึงของผลิตภัณฑ์ปลาเส้น ผันแปรปริมาณโซเดียม เคซีนต ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก	9
ตารางที่ 1.7	การคำนวณค่า C.V. ของส่วนประกอบทางเคมี และสมบัติในการเป็น สารต้านอนุมูลอิสระของแป้งข้าวเจ้า	12
ตารางที่ 1.8	การคำนวณค่า C.V. ของสมบัติทางกายภาพด้านค่าสีในระบบซีไออีของ ผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวเจ้าเสริมโพรไบโอติก ภายหลังการหมักด้วยเชื้อ แลคโตบาซิลลัส แอซิโดฟิลัส (<i>Lactobacillus acidophilus</i>) กับ แป้งข้าวเจ้าที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน	13
ตารางที่ 1.9	การคำนวณค่า C.V. ของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัส ของพุดดิ้งนมที่มีการเติมเส้นใยอาหารจากแป้งข้าวเจ้าเทียบกับตัวอย่าง ควบคุม	16
ตารางที่ 1.10	การคำนวณค่า C.V. ของสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของ พุดดิ้งนมที่มีการเติมเส้นใยอาหารจากข้าวเจ้าเทียบกับตัวอย่างควบคุม	17
ตารางที่ 1.11	การผันแปรระดับของปัจจัยในการทดลองแบบแฟคทอเรียล	24
ตารางที่ 1.12	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่แสดงผลของความเข้มข้นของ สารเมโรเซล (A) มอลโทเดกซ์ทรีน (B) และโซเดียมคลอไรด์ (C) ที่มีต่อ สมบัติการเกิดโฟมของน้ำคั้นจากใบเตยหอม	25
ตารางที่ 1.13	สูตรการคำนวณ ค่า df_{error} ของแต่ละวิธีการทดลอง	32

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA Table) ของแผนการทดลองแบบ CRD	43
ตารางที่ 2.2	ข้อมูลการทดลอง	44
ตารางที่ 2.3	รูปแบบการป้อนข้อมูลในโปรแกรม SPSS ของแผนการทดลองแบบ CRD	48
ตารางที่ 2.4	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทีวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS	49
ตารางที่ 2.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลของแผนการทดลองแบบ RCBD	52
ตารางที่ 2.6	รูปแบบการกรอกข้อมูลในโปรแกรม SPSS สำหรับแผนการทดลองแบบ RCBD	57
ตารางที่ 2.7	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทีวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS	58
ตารางที่ 2.8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลในการทดลองแบบ Factorial in CRD	62
ตารางที่ 2.9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลในการทดลองแบบ Factorial in CRD	65
ตารางที่ 2.10	รูปแบบการกรอกข้อมูลในโปรแกรม SPSS สำหรับการทดลองแบบ Factorial in CRD	68
ตารางที่ 2.11	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทีวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS	69
ตารางที่ 2.12	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลในการทดลองแบบ Factorial in RCBD	71
ตารางที่ 2.13	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลในการทดลองแบบ Factorial in RCBD	75
ตารางที่ 2.14	รูปแบบการกรอกข้อมูลในโปรแกรม SPSS สำหรับการทดลองแบบ Factorial in RCBD	79
ตารางที่ 2.15	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลของการทดลองแบบ Factorial in RCBD ด้วยโปรแกรม SPSS	80
ตารางที่ 2.16	ปริมาณกรดแอมิโนอิสระของแป้งหัวเลื่องไขมันต่ำโดยใช้วิธีการสกัดที่แตกต่างกัน	85

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.17	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณกรดแอมิโนอิสระของถั่วเหลือง ที่สกัดไขมันโดยใช้วิธีการสกัดที่แตกต่างกัน	85
ตารางที่ 2.18	ปริมาณความชื้นของเส้นใยอาหาร	86
ตารางที่ 2.19	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของเส้นใยอาหารชนิดแห้ง	86
ตารางที่ 2.20	คะแนนค่าสีเทียบกับแผ่นเทียบสีมาตรฐานของผลิตภัณฑ์น้ำส้มกระป๋อง	87
ตารางที่ 2.21	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนค่าสีของน้ำส้ม	88
ตารางที่ 2.22	ปริมาณความชื้นของเนื้อปลาจารดินอบแห้งรมควัน แสดงผลของปัจจัย เดี่ยวแต่ละตัวและปัจจัยร่วมที่ศึกษา	89
ตารางที่ 2.23	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของเนื้อปลาจารดิน อบแห้งรมควัน	90
ตารางที่ 2.24	รูปแบบการกรอกข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS	93
ตารางที่ 2.25	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ โปรแกรม SPSS	93
ตารางที่ 2.26	คะแนนด้านเนื้อสัมผัสของบะหมี่เสริมเนื้อฟักทอง	94
ตารางที่ 2.27	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านเนื้อสัมผัสของบะหมี่เสริมฟักทองทั้งสามสูตร	94
ตารางที่ 2.28	รูปแบบการกรอกข้อมูลในโปรแกรม Minitab	95
ตารางที่ 2.29	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดย โปรแกรม Minitab	98
ตารางที่ 2.30	คะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ ทดสอบ	100
ตารางที่ 2.31	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ของผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบด้านลักษณะปรากฏ (การแสดงรูปแบบตาราง แบบเต็ม)	101
ตารางที่ 2.32	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ของผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดย รวม (การแสดงรูปแบบตารางแบบย่อ)	102

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1	ข้อมูลการทดลองแสดงเฉพาะค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทำซ้ำการทดลอง	114
ตารางที่ 3.2	ผลที่ได้จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม Minitab	115
ตารางที่ 3.3	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลชุดที่ 1	116
ตารางที่ 3.4	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลชุดที่ 1	116
ตารางที่ 3.5	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลชุดที่ 1	116
ตารางที่ 3.6	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลชุดที่ 1	116
ตารางที่ 3.7	ข้อมูลการทดลองทั้งหมดจากการทำซ้ำ	119
ตารางที่ 3.8	ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Minitab	120
ตารางที่ 3.9	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลชุดที่ 2	120
ตารางที่ 3.10	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลชุดที่ 2	121
ตารางที่ 3.11	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลชุดที่ 2	121
ตารางที่ 3.12	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลชุดที่ 2	121
ตารางที่ 3.13	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงเดียว	127
ตารางที่ 3.14	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลในการทดสอบ Lack-of-Fit	128
ตารางที่ 3.15	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงเดียว	133
ตารางที่ 3.16	ข้อมูลการทดลองระหว่างอัตราการกวนกับปริมาณกรดซิดริกที่ได้	136
ตารางที่ 3.17	การแสดงผลที่ได้จากโปรแกรม SPSS	140
ตารางที่ 3.18	ผลที่ได้จากโปรแกรม Minitab	142
ตารางที่ 3.19	ข้อมูลการทดลองและการสร้างพจน์การคำนวณที่ใช้ในสมการ	143
ตารางที่ 3.20	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงเดียว	145
ตารางที่ 3.21	ข้อมูลการทดลองผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการรมควันที่มีต่อปริมาณความชื้นของเนื้อปลารมควัน	148
ตารางที่ 3.22	ผลที่ได้จากโปรแกรม SPSS	154
ตารางที่ 3.23	ผลที่ได้จากโปรแกรม Minitab	155
ตารางที่ 3.24	การค้นพบระดับของปัจจัยที่ศึกษาทั้งในรูปแบบตัวแปรใส่รหัส และตัวแปรถอดรหัส	157

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.25	กำหนดการผันแปรระดับของปัจจัย	161
ตารางที่ 3.26	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ใช้โปรแกรม Minitab	163
ตารางที่ 4.1	การผันแปรระดับของปัจจัยในการทดลองแฟกต์เกดต์ แอนด์ เบอร์แมน (N เท่ากับ 12)	174
ตารางที่ 4.2	ค่าการตอบสนองจากการผันแปรระดับของปัจจัยในการศึกษาภาวะในการผลิตสารสกัดจากใบเตยชนิดผงโดยวิธีการทำแห้งแบบโพรแมท	177
ตารางที่ 4.3	สรุปปัจจัยที่มีผลต่อค่าการตอบสนอง	181
ตารางที่ 4.4	ผลของปัจจัยและ t -test ที่คำนวณได้โดยโปรแกรม Minitab	183
ตารางที่ 4.5	การผันแปรระดับของปัจจัยในการทดลองแบบแฟกต์เกดต์ แอนด์ เบอร์แมน โดยใช้คำสั่งแบบสุ่มในโปรแกรม Minitab กรณีที่มีปัจจัยที่ศึกษา 7 ปัจจัย และใช้ 12 สิ่งทดลอง	184
ตารางที่ 4.6	การผันแปรระดับของปัจจัยในการทดลองแบบแฟกต์เกดต์ แอนด์ เบอร์แมน โดยการยกเลิกคำสั่งแบบสุ่มในโปรแกรม Minitab กรณีที่มีปัจจัยที่ศึกษา 7 ปัจจัย และ ใช้ 12 สิ่งทดลอง	185
ตารางที่ 4.7	การผันแปรระดับของปัจจัย และค่าการตอบสนอง	187
ตารางที่ 4.8	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Minitab	189
ตารางที่ 4.9	สมการถดถอยสี่ของค่าการตอบสนอง (ไม่แสดงระดับของจุดกึ่งกลางในสมการ)	190
ตารางที่ 4.10	ปัจจัย และการผันแปรระดับของปัจจัย	191
ตารางที่ 4.11	การผันแปรระดับของปัจจัย และค่าการตอบสนอง	192
ตารางที่ 4.12	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab	193
ตารางที่ 5.1	การผันแปรระดับของปัจจัยอย่างเป็นสัดส่วนกันในแผนการทดลองแบบผสม ปรับลดสัดส่วนครึ่งละ 25 ส่วน	201
ตารางที่ 5.2	การผันแปรระดับของปัจจัยอย่างเป็นสัดส่วนกันในแผนการทดลองแบบผสม (ปริมาณเป็นกรัม)	201
ตารางที่ 5.3	การผันแปรระดับของปัจจัยอย่างเป็นสัดส่วนกันในแผนการทดลองแบบผสม ปรับลดสัดส่วนครึ่งละ 20 ส่วน	202

สารบัญตาราง

ตารางที่ 5.4	การผันแปรระดับของปัจจัยอย่างเป็นสัดส่วนกันในแผนการทดลองแบบผสม (ปริมาณเป็นกรัม)	202
ตารางที่ 5.5	การผันแปรระดับของปัจจัยอย่างเป็นสัดส่วนกันของแผนการทดลองแบบซิมเพล็กซ์แอกเซียล	204
ตารางที่ 5.6	การผันแปรระดับของปัจจัยอย่างเป็นสัดส่วนกันของแผนการทดลองแบบซิมเพล็กซ์เซนทรอยด์	205
ตารางที่ 5.7	การผันแปรระดับของปัจจัยอย่างเป็นสัดส่วนกันของแผนการทดลองแบบซิมเพล็กซ์ แลกทิกซ์แบบที่มี 6 การทดลอง	206
ตารางที่ 5.8	การผันแปรระดับของปัจจัยอย่างเป็นสัดส่วนกันของแผนการทดลองแบบซิมเพล็กซ์ แลกทิกซ์ แบบที่มี 9 การทดลอง	206
ตารางที่ 5.9	การผันแปรระดับของปัจจัยของแผนการทดลองแบบผสม รูปแบบเอ็กซ์ทรีมเวอร์ทิกซ์	207
ตารางที่ 5.10	ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง	209
ตารางที่ 5.11	สูตรมาตรฐานที่โปรแกรม Minitab กำหนดให้	210
ตารางที่ 5.12	สูตรที่ปรับแก้ และการกรอกข้อมูลค่าการตอบสนอง	211
ตารางที่ 5.13	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแผนการทดลองแบบผสมโดยโปรแกรม Minitab	212
ตารางที่ 5.14	สมการถดถอยของแผนการทดลองแบบผสม (ใส่รหัส)	213
ตารางที่ 5.15	การวิเคราะห์ข้อมูลหาจุดเหมาะสมที่สุดที่ให้ค่าการตอบสนองทั้งสองในช่วงที่กำหนด	217
ตารางที่ 5.16	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Minitab	221
ตารางที่ 5.17	ผลการทดลองแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละสิ่งทดลอง	223
ตารางที่ 5.18	การผันแปรระดับของปัจจัยและข้อมูลของการทำซ้ำ	225
ตารางที่ 5.19	รูปแบบการป้อนข้อมูล และผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab แสดงความสำคัญของจำนวนข้อมูลจากการทำซ้ำการทดลอง	230
ตารางที่ 5.20	สมการใส่รหัสของความหนืด (Viscosity) : แสดงผลของจำนวนชุดข้อมูล (จำนวนซ้ำการทดลอง) ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	238

สารบัญตาราง

ตารางที่ 5.21	สมการใส่รหัสของความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) : แสดงผลของจำนวนชุดข้อมูล (จำนวนซ้ำการทดลอง) ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	239
ตารางที่ 5.22	สมการใส่รหัสของความแน่นเนื้อ (Firmness) : แสดงผลของจำนวนชุดข้อมูล (จำนวนซ้ำการทดลอง) ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	240
ตารางที่ 5.23	การเปรียบเทียบผลการทำนายค่าความหนืดโดยใช้สมการถดถอยที่สร้างขึ้น (สมการใส่รหัส) ทั้ง 3 สมการ เมื่อกำหนดสัดส่วนให้ $A = 0.5$, $B = 0.0$ และ $C = 0.5$	241
ตารางที่ 5.24	การเปรียบเทียบผลการทำนายค่าความสามารถในการอุ้มน้ำโดยใช้สมการถดถอยที่สร้างขึ้น (สมการใส่รหัส) ทั้ง 3 สมการ เมื่อกำหนดสัดส่วนให้ $A = 0.5$, $B = 0.0$ และ $C = 0.5$	241
ตารางที่ 5.25	การเปรียบเทียบผลการทำนายค่าความแน่นเนื้อโดยใช้สมการถดถอยที่สร้างขึ้น (สมการใส่รหัส) ทั้ง 3 สมการ เมื่อกำหนดสัดส่วนให้ $A = 0.5$, $B = 0.0$ และ $C = 0.5$	242
ตารางที่ 5.26	การเปรียบเทียบผลการทำนายค่าการตอบสนองโดยใช้สมการถดถอยที่สร้างขึ้น ของความหนืด	243
ตารางที่ 5.27	การเปรียบเทียบผลการทำนายค่าการตอบสนองโดยใช้สมการถดถอยที่สร้างขึ้น ของความสามารถในการอุ้มน้ำ	244
ตารางที่ 5.28	การเปรียบเทียบผลการทำนายค่าการตอบสนองโดยใช้สมการถดถอยที่สร้างขึ้น ของความแน่นเนื้อ	245
ตารางที่ 5.29	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองโดยวิธี Tukey's test โปรแกรม Minitab	246
ตารางที่ 5.30	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสมบัติทางกายภาพของครีมทาขนมปังที่ทำจากนมถั่วเหลืองผสมกาก และผ่านการหมักด้วยเชื้อแล็กโตบาซิลลัสแอซิโดฟิลัส	247
ตารางที่ 5.31	ผลการวิเคราะห์หาจุดเหมาะสมที่สุดที่ให้ค่าการตอบสนองตามที่กำหนด โดยโปรแกรม Minitab	249
ตารางที่ 5.32	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างระดับของปัจจัยที่ผันแปร กับค่าการตอบสนองที่ได้จากการทดลอง	250

สารบัญตาราง

ตารางที่ 6.1	ค่าแอลฟาที่คำนวณได้จากจำนวนของปัจจัยที่ศึกษา	259
ตารางที่ 6.2	การผันแปรระดับของปัจจัยในการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีสองปัจจัยแสดงทั้งการใส่รหัสและการถอดรหัสของปัจจัย	260
ตารางที่ 6.3	การผันแปรระดับของปัจจัยโดยการใส่รหัส และการถอดรหัส	262
ตารางที่ 6.4	ตัวอย่างโมเดลของแผนการทดลองแบบ Box-Behnken	263
ตารางที่ 6.5	ตารางแสดงระดับของปัจจัยที่ผันแปร	264
ตารางที่ 6.6	การผันแปรระดับของปัจจัยในแต่ละสิ่งทดลองและค่าการตอบสนองที่ได้	265
ตารางที่ 6.7	ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Minitab	270
ตารางที่ 6.8	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการหาจุดเหมาะสมที่สุด	275
ตารางที่ 6.9	ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการถอดรหัสแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนที่สกัดได้กับปัจจัยที่ศึกษา เมื่อ A: ความเข้มข้นของเอนไซม์, B: ค่าพีเอช, C: เวลาในการบ่ม และ D: อุณหภูมิ	277
ตารางที่ 6.10	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษากับค่าการตอบสนองที่ได้	278
ตารางที่ 6.11	ผลที่ได้จากการใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองแบบส่วนประสมกลาง	279
ตารางที่ 6.12	รูปแบบของสมการถดถอยเชิงพหุคูณ	280
ตารางที่ 6.13	ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่คำนวณได้จากสมการถดถอยเชิงพหุคูณกับค่าที่ได้จากการทดลองตามโจทย์	282
ตารางที่ 6.14	ตารางแสดงระดับของปัจจัยที่ผันแปร	284
ตารางที่ 6.15	การผันแปรระดับของปัจจัยในแต่ละสิ่งทดลองและค่าการตอบสนองที่ได้	284
ตารางที่ 6.16	ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Minitab	286
ตารางที่ 6.17	สมการถดถอยเชิงพหุคูณของปริมาณโปรตีนที่สกัดได้	287
ตารางที่ 6.18	ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่คำนวณได้จากสมการถดถอยเชิงพหุคูณกับค่าที่ได้จากการทดลองตามโจทย์	289
ตารางที่ 6.19	ผลการวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้โปรแกรม Minitab	290



สถิติวิจัยทางอาหาร
FOOD RESEARCH STATISTICS

บทนำ

chapter

01

01

1.1 ความสำคัญของการใช้สถิติวิจัยในการออกแบบและวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง

งานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทั้งในระดับหลักสูตรปริญญาตรี ปริญญาโท และปริญญาเอก ตลอดจนการทำวิจัยในระดับหน่วยงานวิจัยและพัฒนาทั้งภาคเอกชน และภาครัฐบาล ต้องอาศัยหลักการของสถิติวิจัยในการออกแบบการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือ และมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

สถิติวิจัยจะช่วยออกแบบการทดลองให้มีความเหมาะสม ช่วยป้องกันข้อผิดพลาดจากการทดลองซึ่งเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น ความผิดพลาดที่เกิดจากผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมปัจจัยในการทดลองให้มีความสม่ำเสมอ หรือความผิดพลาดเนื่องจากไม่ได้คุมความแปรปรวนซ่อนเร้นของวัตถุดิบ หรือเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย ดังนั้นการใช้สถิติวิจัยในการวิเคราะห์ข้อมูลให้มีประสิทธิภาพนั้น ผู้วิจัยต้องทำความเข้าใจถึงเงื่อนไข หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดจนนำไปสู่การวิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลที่ไม่ถูกต้อง

ตัวอย่างเงื่อนไขของแผนการทดลอง

เงื่อนไขของแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) ต้องมีการควบคุมปัจจัยที่ใช้ในการทดลองให้มีความสม่ำเสมอทั้งหมด ยกเว้นแต่ปัจจัยที่ต้องการศึกษาเพียงปัจจัยเดียวเท่านั้นที่ต้องการผันแปรระดับของปัจจัย และโอกาสที่ทุกหน่วยของสิ่งทดลองได้รับการสุ่มมาต้องเท่ากัน

ในทางปฏิบัติตามเงื่อนไขของแผนการทดลองนั้น ทุกหน่วยของสิ่งทดลองต้องได้รับโอกาส สุ่มมาอย่างเท่ากัน และต้องมีการควบคุมปัจจัยในการทดลองให้มีความสม่ำเสมอกันทุกครั้งที่ทำ การทดลอง เงื่อนไขเหล่านี้เป็นเรื่องสำคัญ เพราะถ้าควบคุมไม่ได้จะทำให้ข้อมูลจากการทดลองมีความแปรปรวนสูงมาก และการกระจายของข้อมูลจะไม่เป็นการกระจายแบบปกติ (normal distribution) ข้อมูลที่มีความแปรปรวนสูงเมื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ใน 2 กรณี ต่อไปนี้

ความผิดพลาดชนิดที่ 1 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก เมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริง

(Type I error: Reject H_0 when H_0 is true)

ความผิดพลาดชนิดที่ 2 ยอมรับสมมติฐานหลัก เมื่อสมมติฐานหลักเป็นเท็จ

(Type II error: Accept H_0 when H_0 is false)

งานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีทางอาหาร โดยทั่วไปจะตั้งสมมติฐานว่า ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลอง ดังนั้นความผิดพลาดที่มักเกิดขึ้นทั้งสองกรณีจะอธิบายได้ดังนี้

- (1) เมื่อมีการผันแปรปัจจัยที่ศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว พบว่า ระดับของปัจจัยที่ผันแปร ส่งผลต่อค่าการตอบสนองแตกต่างกัน ทั้งที่ในความเป็นจริงแล้วไม่มีความแตกต่างกัน กรณีนี้คือ ความผิดพลาดชนิดที่ 1
- (2) เมื่อมีการผันแปรปัจจัยที่ศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว พบว่า ระดับของปัจจัยที่ผันแปร ส่งผลต่อค่าการตอบสนองไม่แตกต่างกัน ทั้งที่ในความเป็นจริงแล้วมีความแตกต่างกัน กรณีนี้คือ ความผิดพลาดชนิดที่ 2

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นทั้งสองกรณี ล้วนไม่ส่งผลดีต่อข้อสรุปจากผลการวิจัย พิจารณาได้จากตัวอย่างงานวิจัยต่อไปนี้

งานวิจัยต้องการศึกษาผลของการแช่สารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (sodium tripolyphosphate) ที่มีต่อสมบัติในการอุ้มน้ำของเนื้อปลาหมึกสดแช่เยือกแข็ง โดยการทดลองผันแปรปริมาณของสารที่ใช้ 5 ระดับ คือ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 มิลลิกรัมต่อเนื้อปลาหมึก 100 กรัม วางแผนการทดลองแบบ สุ่มสมบูรณ์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ต้องการทราบว่า สารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตช่วยเพิ่มสมบัติการอุ้มน้ำไว้ในเนื้อปลาหมึกสดระหว่างการแช่เยือกแข็งหรือไม่ และต้องใช้ในปริมาณเท่าใดจึงจะเหมาะสม ถ้าผู้วิจัยทำการทดลองผิดพลาด จะเกิดความผิดพลาดในสองกรณีดังต่อไปนี้

ความผิดพลาดชนิดที่ 1 สรุปว่า ความเข้มข้นของสารโซเดียมไตรโพลิฟอสเฟตมีผลต่อค่าการอุ้มน้ำของเนื้อปลาหมึกแช่เยือกแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งที่จริงแล้วไม่มีผล สิ่งตามมาคือ ผู้ผลิตจะต้องเสียเวลาและเงินทุนในการเพิ่มขึ้นตอนในการแช่เนื้อปลาหมึกด้วยสารโซเดียมไตรโพลิฟอสเฟตก่อนการแช่เยือกแข็ง ทั้งที่สารโซเดียมไตรโพลิฟอสเฟตในปริมาณที่ทดลองไม่มีส่วนช่วยให้สมบัติในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

ความผิดพลาดชนิดที่ 2 สรุปว่า ความเข้มข้นของสารโซเดียมไตรโพลิฟอสเฟตไม่มีผลต่อค่าการอุ้มน้ำของเนื้อปลาหมึกแช่เยือกแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งที่จริงแล้วมีผล สิ่งตามมาคือ ผู้ผลิตเสียโอกาสที่จะปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพเพิ่มขึ้น อาจเป็นการลดโอกาสในการแข่งขันได้ทางธุรกิจในตลาดเดียวกัน ถ้าผลิตภัณฑ์ของบริษัทคู่แข่งมีคุณภาพมากกว่า

1.2 วิธีป้องกันความผิดพลาดของการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การป้องกันความผิดพลาดในการทดลองสามารถทำได้หลายวิธี โดยพิจารณาเงื่อนไขของแผนการทดลองอย่างละเอียด และพยายามควบคุมปัจจัยในการทดลองให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ การเพิ่มความเชื่อมั่นให้กับผลการทดลอง เช่น การเพิ่มจำนวนตัวอย่าง และการเพิ่มจำนวนซ้ำ (replication) ให้มากขึ้น การพิจารณาตัดค่าผิดปกติ (outlier) ออกไป

(1) การควบคุมการทดลองให้เป็นไปตามเงื่อนไขของแผนการทดลอง

แผนการทดลองทางสถิติมีข้อกำหนด หรือเงื่อนไขระบุไว้ชัดเจน ยกตัวอย่างเช่น แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มีข้อกำหนดว่า ทุกหน่วยของสิ่งทดลองต้องมีโอกาสได้รับเลือกเท่ากัน และต้องสามารถควบคุมการทดลองให้มีความสม่ำเสมอเหมือนกันทั้งหมดได้ ยกเว้นระดับปัจจัยที่ต้องการศึกษาให้มีการผันแปรเพียงปัจจัยเดียว

แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ต้องควบคุมทุกปัจจัยที่เกี่ยวข้องให้มีความสม่ำเสมอเพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไข ตั้งแต่การเลือกวัตถุดิบที่จะใช้ในการทดลอง ทักษะความชำนาญของผู้ทำการทดลอง ตลอดจนเครื่องมือ และอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการทดลองต้องมีมาตรฐานและความเที่ยงตรง

มีคำแนะนำว่า เครื่องมือที่ใช้ควรเป็นเครื่องเดียวกันตลอดทั้งการทดลอง เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ชนิดเดียวกัน รุ่นเดียวกัน แต่อาจมีอายุการใช้งาน การบำรุงรักษา และการปรับเทียบตามมาตรฐานแตกต่างกัน อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือแตกต่างกัน แต่หากต้องเปลี่ยนเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ควรมีการเทียบค่าที่ทดสอบได้ โดยใช้ตัวอย่างเดียวกัน ค่าที่ทดสอบได้

ควรมีค่าใกล้เคียงกัน หากค่าที่ทดสอบได้มีความแตกต่างกันมาก ควรพิจารณาทำการทดสอบใหม่หมดทั้งการทดลอง

วิธีการควบคุมความสม่ำเสมอของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง ให้พิจารณาวิธีการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลในผลส้มสดแต่ละสายพันธุ์ ระหว่าง 3 วิธี ดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1 ใช้ส้มที่ซื้อมาจากตลาดสายพันธุ์ละ 1 กก. สุ่มตัวอย่างผลส้มสดมาสายพันธุ์ละ 1-2 ลูก เพื่อปั่นน้ำแยกกาก และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล สำหรับการทดลอง 1 ซ้ำ

วิธีที่ 2 ใช้ส้มที่ซื้อมาจากตลาดสายพันธุ์ละ 1 กก. ใช้ผลส้มทั้งหมดปั่นน้ำแยกกาก ผสมให้เข้ากันจากนั้นสุ่มตัวอย่างนำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล สำหรับการทดลอง 1 ซ้ำ

วิธีที่ 3 ใช้ส้มที่ซื้อมาจากตลาดสายพันธุ์ละ 2-3 กก. คัดความแก่อ่อนของผลส้มโดยใช้วิธีพิจารณาจากพื้นผิวของส้มที่เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองส้ม และกำหนดเกณฑ์ที่เลือกใช้ เช่น จะใช้ที่ระดับการเปลี่ยนสีร้อยละ 80 ของพื้นที่ผิวส้มทั้งหมด จากนั้นใช้ตัวอย่างสายพันธุ์ละ 1 กก. ปั่นน้ำแยกกาก ผสมให้เข้ากันจากนั้นสุ่มตัวอย่างนำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล สำหรับการทดลอง 1 ซ้ำ

เมื่อพิจารณาตัวเลือกทั้งสามจะพบว่า วิธีที่ 3 น่าจะให้ข้อมูลที่มีความถูกต้อง สามารถใช้เป็นตัวแทนสมบัติของส้มทั้งหมดได้เหมาะสมกว่าวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 เนื่องจากวิธีที่ 1 และ 2 นั้นมีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้เนื่องจากความแปรปรวนของวัตถุดิบ หากส้มที่ซื้อมาแต่ละครั้งมีความแก่อ่อนไม่เท่ากัน ปริมาณน้ำตาลของผลส้มขึ้นกับสายพันธุ์ และความแก่อ่อนของผลส้ม ดังนั้นการทดลองควรควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบตั้งต้นให้มีความสม่ำเสมอมากที่สุด

(2) การเพิ่มจำนวนตัวอย่างหรือจำนวนซ้ำให้มากขึ้น

งานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหารจะใช้วัตถุดิบส่วนใหญ่เป็นผลผลิตทางการเกษตร เช่น ผักผลไม้ เนื้อสัตว์ ธัญชาติ ทั้งนี้สมบัติทางเคมี กายภาพของผลผลิตทางการเกษตรจะมีความแปรปรวนสูง ขึ้นกับสภาพภูมิอากาศ ความเหมาะสมและสมบูรณ์ของแหล่งดินที่ปลูก หรือการดูแล เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยต้องศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุดิบอย่างละเอียด ควรใช้ตัวอย่างที่ทดลองให้มากพอ หรือเพิ่มการทำซ้ำการทดลองให้มากขึ้น เพื่อลดความแปรปรวนของวัตถุดิบไม่ให้มีอิทธิพลต่อผลการทดลองที่ได้

อิทธิพลของการเพิ่มจำนวนตัวอย่างหรือการทำซ้ำ การเพิ่มจำนวนตัวอย่างที่ทดสอบในการทดลองแต่ละซ้ำ จะเรียกว่า **การทำซ้ำภายใน** ยกตัวอย่างเช่น การเพิ่มจำนวนขึ้นของปลาเส้นในการทดสอบด้านเนื้อสัมผัสของแต่ละสูตร จาก 10 ชิ้น เป็น 25 ชิ้น ส่วนการเพิ่มจำนวนการทำซ้ำทั้งการทดลอง จะเรียกว่า **การทำซ้ำทั้งการทดลอง หรือการทำซ้ำนอก** ยกตัวอย่างเช่น การแปรรูป

ผลิตภัณฑ์ปลาเส้นโดยใช้แป้งสาลีร้อยละ 0, 25, 50, 75, 100 ทดแทนแป้งมันสำปะหลัง โดยทำการทดลองตั้งแต่ต้นเริ่มจากการชั่งส่วนผสม ผสม ขึ้นรูปและย่าง โดยทดลองทั้งหมด 3 ครั้งในแต่ละสูตรหรือทำซ้ำ 3 ซ้ำ การทดลองนี้จะได้อตัวอย่างทั้งหมด 5×3 เท่ากับ 15 ตัวอย่าง

ผู้ทำวิจัยควรให้ความระมัดระวังในการวางแผนการทำซ้ำการทดลองเพื่อไม่ให้เกิดความสับสน และเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในผลการทดลอง เพราะการทำซ้ำทั้งการทดลองนั้นผู้ทำการทดลองจะต้องเริ่มการทดลองใหม่ตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบจนถึงแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองที่ได้ว่า เป็นผลของการผันแปรระดับของปัจจัยที่ศึกษาจริง ยกตัวอย่างเพื่อประกอบความเข้าใจดังนี้

ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการทำซ้ำทั้งการทดลอง

การทดลองต้องการศึกษาเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปลาเส้น โดยผันแปรปริมาณโซเดียมเคซีเนต (sodium caseinate) ว่ามีผลต่อความเหนียวของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นหรือไม่ เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมสารโซเดียมเคซีเนต การทดลองผันแปรปริมาณสารเป็น 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด ค่าการตอบสนองที่ทดสอบคือ ค่าความทนแรงดึงของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นที่ผลิตได้ เนื่องจากการทดลองนี้ศึกษาผลของปัจจัยเดียว ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลจะวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD)

คำนวณจำนวนซ้ำจากค่า df of error (CRD) = $n - t$ เมื่อ t แทนจำนวนสิ่งทดลอง (treatment) มีค่าเท่ากับ 5 และ $n = t \times r$ เมื่อ r แทน จำนวนซ้ำของการทดลอง (replication)

เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นของการทดลอง กำหนดให้ค่า df of error มีค่าเท่ากับ 9 ขึ้นไป ดังนั้นจำนวนซ้ำ หรือค่า r มีค่าเท่ากับ $(5 \times r) - 5 \geq 9$ จะได้ค่า r มีค่าเท่ากับ 3 ขึ้นไป แสดงว่าการทดลองนี้ควรมีการทำซ้ำอย่างน้อย 3 ซ้ำขึ้นไป

ผู้วิจัยต้องการทดลองตั้งแต่ต้นโดยการสุ่มเลือกวัตถุดิบ แปรรูปจนได้อตัวอย่างผลิตภัณฑ์ปลาเส้นของการทดลองชุดที่หนึ่ง กรณีนี้เรียกว่า **การทำซ้ำการทดลอง** ได้ผลการทดลองดังแสดงต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 การบันทึกผลการทดลองชุดที่หนึ่งของการทำซ้ำที่ 1 ทดสอบโดยใช้ตัวอย่างปลาเส้น จำนวน 3 เส้น

ความเข้มข้นของ โซเดียมเคซีเนต (ร้อยละ)	ค่าความทนแรงดึง (กรัม)	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
0 (ชุดควบคุม)	481, 400, 350	410.3	66.1
5	492, 510, 460	487.3	25.3
10	500, 498, 530	509.3	17.9
15	510, 512, 550	524.0	22.5
20	550, 570, 600	573.3	25.2

เมื่อพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการทดลอง พบว่า ตัวอย่างชุดควบคุมมีความแปรปรวนมากกว่าสิ่งทดลองชุดอื่น ผู้ทดลองควรพิจารณาเพิ่มจำนวนตัวอย่างให้มากขึ้น กรณีนี้เรียกว่าการทำซ้ำในได้ผลการทดลองดังแสดงต่อไปนี้

ตารางที่ 1.2 การบันทึกผลการทดลองการทำซ้ำที่ 1 ทดสอบโดยใช้ตัวอย่างปลาเส้น จำนวน 5 เส้น

ความเข้มข้นของ โซเดียมเคซีเนต (ร้อยละ)	ค่าความทนแรงดึง (กรัม)	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
0 (ชุดควบคุม)	481, 400, 350, 410, 390	406.2	47.6
5	492, 510, 460, 500, 490	490.4	18.7
10	500, 498, 530, 520, 540	517.6	18.4
15	510, 512, 550, 540, 556	533.6	21.4
20	550, 570, 600, 580, 610	582.0	23.9

ผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 1.2 พบว่า เมื่อเพิ่มจำนวนตัวอย่างที่ทดสอบมากขึ้น ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความทนแรงดึงของชุดควบคุม และสิ่งทดลองอื่น มีแนวโน้มลดลง

จากนั้นผู้วิจัยต้องทำการทดลองใหม่ตั้งแต่ต้นโดยการสุ่มเลือกวัตถุดิบ แปรรูปจนได้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ปลาเส้นของการทดลองชุดที่สอง แล้วทดสอบค่าความทนแรงดึง แสดงผลในตารางที่ 1.3