บทที่ 3
อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการศึกษา

3.1 วัตถุดิบ อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ

- กากส้มเขียวหวานสด เป็นกากส้มเขียวหวานพันธุ์บางมด (ซึ่งสั่งซื้อจากตลาดไท) ได้มาจากโรงงานน้ำส้มเกล็ดหิมะตราบ้านส้มไท เลขที่ 541/127 ต. หนองหอย อ. เมือง จ.เชียงใหม่ กากส้มเขียวหวานที่นำมาใช้ เป็นส่วนเหลือจากการคั้นน้ำส้มด้วยเครื่องคั้นน้ำส้มกึ่งอัตโนมัติ

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

ก) อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต

- เครื่องหั่นกากส้มเขียวหวาน (ภาคผนวก ก-2)
- เครื่องบดแบบค้อน (Armfield : Model FT2, England)
- เครื่อง Hydraulic press (Sakaya : Model M310RZ, Thailand)

ข) อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

- เครื่องบดอาหาร (Moulinex : Model 320, Spain)
- เครื่องวัดสี (Minolta : Model CR-300, Japan)
- เครื่องปั่นเหวี่ยง (Hermle : Model Z200A, Germany)
- เครื่องเขย่า (Endecotts : Model Octagon200, England)
- ชุดตะแกรงร่อน (Endecotts, England)
- Scanning Electron Microscope (Jeol : Model JSM-5910LV, Japan)
- เครื่องชั่งไฟฟ้าสำหรับงานวิเคราะห์ (Sartorius analytical : Model A, Germany)

ค) อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

- เครื่องชั่งไฟฟ้าสำหรับงานวิเคราะห์ (Sartorius analytical : Model A, Germany)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

- ตู้อบลมร้อนแบบไฟฟ้า (Memmert, USA)
- เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (Precisa, Switzerland)
- เครื่องวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (Water activity, a_w) (Aqualab : Model CX3TE, USA)
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Unicam : Biomate5, England)
- ชุดย่อยโปรตีน (Kjeldahl digestion set, Tecator, USA)
- ชุดกลั่นโปรตีน (Kjeldahl distillation set, Tecator, USA)
- เตาเผาเถ้า (Gallenkamp, England)
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Gallenkamp, England)
- เครื่อง Hot plate and magnetic stirrer (Whatman : Model HPMS, England)
- Fritted crucible porousity no.2 (Robu, Germany)
- ไมโครปิเปต (Brand, Germany)
- เทอร์โมมิเตอร์
- กระดาษกรอง (Whatman เบอร์ 1 และ เบอร์ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร)
- อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ

3.1.3 สารเคมี

- น้ำกลั่น
- น้ำมันปาล์มโอเลอิน (ตราแวว, ประเทศไทย)
- ปิโตรเลียม อีเทอร์ (Lab-Scan, Ireland)
- กรดซัลฟูริก (Merck, Germany)
- กรดไดไนโตรซาลิซิลิก (Fluka, Switzerland)
- กรดบอริก (Merck, Germany)
- กรดไฮโดรคลอริก (Merck, Germany)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Merck, Germany)
- คอปเปอร์ซัลเฟต (Merck, Germany)
- เอทานอล (Merck, Germany)
- อะซีโตน (Merck, Germany)
- โซเดียมซัลเฟตปราศจากไนโตรเจน (Merck, Germany)
- โซเดียมฟอสเฟตไดเบสิคแอนไฮดรัส (Fisher Scientific, UK)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

- โซเดียมฟอสเฟตโมโนเบสิคไดไฮเดรต (Fisher Scientific, UK)
- เมทิลเรด (Fluka, Switzerland)
- โบรโมครีซอลกรีน (Fluka, Switzerland)
- กลูโคส (Ajax Finechem, New Zealand)
- ซีไลท์ (Fluka, Switzerland)
- สารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 (แบ่งบรรจุโดย หจก. โอ.วี. เคมิเคิล แอนด์ ซัพพลาย, เชียงใหม่)

3.1.4 เอนไซม์

- อัลฟาอะมัยเลส (α-amylase) (Himedia, India)
- โปรตีเอส (protease) (Fluka, Switzerland)
- อะมัยโลกลูโคซิเดส (amyloglucosidase) (Fluka, Switzerland)

3.1.5 เส้นใยอาหารผงที่ผลิตเป็นการค้า

- เซลลูโลสผงยี่ห้อ Solka-Floc เกรด 900 FCC (บริษัทอินเตอร์กู๊ดส์ จำกัด, กรุงเทพฯ)

3.1.6 เครื่องประมวลผลทางสถิติ

- เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- โปรแกรมประมวลผลข้อมูลสำเร็จรูป SPSS V.10.0
- โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft excel

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2 วิธีการศึกษา

ตอนที่ 1 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของกากส้มเขียวหวานสดที่จะนำมาผลิตเส้นใยอาหารผง

นำกากส้มเขียวหวานสดมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดอาหาร แล้วจึงนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติดังต่อไปนี้

1.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

- ค่าสีระบบ CIE หาค่า L, a^*, b^* ด้วยเครื่องวัดค่าสี (Minolta, CR300)
- ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยวิธีการปั่นเหวี่ยง (Ang, 1991b)
- ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน โดยวิธีการปั่นเหวี่ยง (Ang, 1991b)

1.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)
- ค่าความเป็นกรดด่าง ด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (Precisa, Switzerland)
- ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (Water activity, a_w) ด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี (Aqualab : Model CX3TE, USA)
- ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)
- ปริมาณน้ำตาล โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง (Miller, 1959)
- ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)
- ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

1.3 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการเก็บตัวอย่างกากส้มเขียวหวานสดตลอด 6 สัปดาห์ โดยเก็บทุก 2 สัปดาห์ และเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ครั้ง ในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งจะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างจากเครื่องคั้นน้ำส้มกึ่งอัตโนมัติประมาณ 100 กรัมจากถังเก็บกากส้มเขียวหวาน โดยเก็บทุกถังที่ 3 จากนั้นนำมาทำ

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ตอนที่ 2 ศึกษาผลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตที่มีต่อคุณสมบัติของเส้นใยอาหารผงจากกากส้มเขียวหวาน

2.1 กรรมวิธีการผลิตเส้นใยอาหารผง

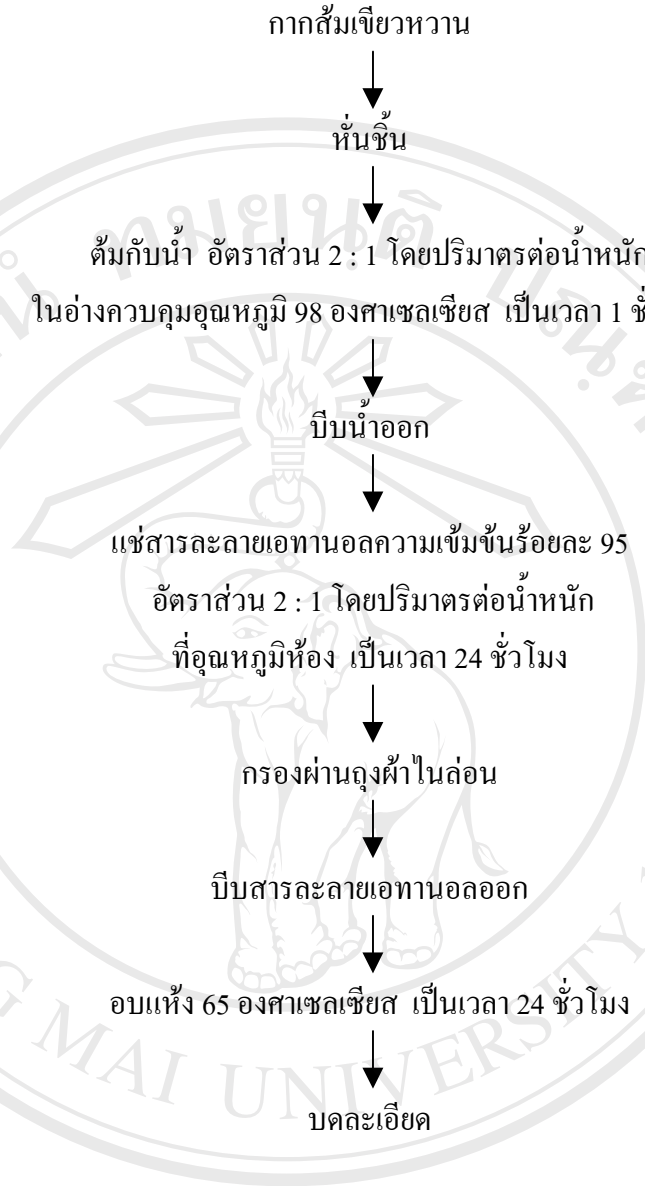
กรรมวิธีการผลิตเส้นใยอาหารผงที่ใช้ในการศึกษาดัดแปลงมาจาก Prakongpan *et al.* (2001) โดยนำกากส้มเขียวหวานสดมาหั่นให้มีขนาดตามต้องการ จากนั้นนำมาต้มกับน้ำโดยใช้อัตราส่วน 2 : 1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก (น้ำ : กาก) โดยต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดน้ำตาล ระหว่างที่ต้มให้คนเป็นครั้งคราว แล้วบีบเอาน้ำออก จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 เพื่อกำจัดสารให้สีและไขมัน โดยใช้อัตราส่วน 2 : 1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก (เอทานอล : กาก) เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นกรองผ่านถุงผ้าไนล่อน แล้วบีบเอาสารละลายเอทานอลออก นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อแห้งนำไปบดละเอียด กระบวนการผลิตเส้นใยอาหารผง แสดงดังภาพ 3.1

2.2 ศึกษาผลของขนาดการหั่นชิ้นกากส้มเขียวหวานที่มีต่อคุณสมบัติของเส้นใยอาหารผง

กากส้มเขียวหวานสดที่ได้จากเครื่องคั้นน้ำ ซึ่งมีความหนาโดยประมาณ 5 มิลลิเมตร ถูกนำมาหั่นด้วยเครื่องหั่นกากส้มเขียวหวานให้มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5, 10, 15, และ 20 มิลลิเมตร ทำการผลิตเส้นใยอาหารผงตามกรรมวิธีในตอนที่ 2.1 แล้วนำเส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้มาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านต่าง ๆ ดังนี้

- ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยวิธีการปั่นเหวี่ยง (Ang, 1991b)
- ปริมาณน้ำตาล โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง (Miller, 1959)
- ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 2000)
- ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (AOAC, 2000)
- ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (AOAC, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 3.1 กระบวนการผลิตเส้นใยอาหารผง (ดัดแปลงจาก Prakongpan *et al.*, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 ศึกษาผลของอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต้มล้างต่อปริมาณกากส้มเขียวหวานที่มีต่อคุณสมบัติของเส้นใยอาหารผง

เมื่อได้ขนาดการหั่นชิ้นกากส้มเขียวหวานที่เหมาะสมในตอนที่ 2.2 ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต้มล้างต่อปริมาณกากส้มเขียวหวาน โดยทำการผลิตเส้นใยอาหารผงตามกรรมวิธีในตอนที่ 2.1 โดยใช้ขนาดการหั่นชิ้นที่ได้จากตอนที่ 2.2 แล้วผันแปรอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต้มล้างต่อปริมาณกากส้มเขียวหวาน อัตราส่วนที่ศึกษาคือ 2 : 1, 3 : 1, 4 : 1 และ5 : 1 โดย

ปริมาตรต่อน้ำหนัก (น้ำ : กาก) แล้วนำเส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้มาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านต่าง ๆ เช่นเดียวกับในตอนที่ 2.2 และวัดค่าสีระบบ CIE หาค่า L, a^*, b^* ด้วยเครื่องวัดค่าสี (Minolta, CR300)

2.4 ศึกษาผลของจำนวนครั้งในการต้มล้างกากส้มเขียวหวานที่มีต่อคุณสมบัติของเส้นใยอาหารผง

เมื่อได้อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต้มล้างต่อปริมาณกากส้มเขียวหวานที่เหมาะสมในตอนที่ 2.3 ทำการศึกษาผลของจำนวนครั้งในการต้มล้างกากส้มเขียวหวาน โดยทำการผลิตเส้นใยอาหารผงตามกรรมวิธีในตอนที่ 2.1 โดยใช้ขนาดการหั่นชิ้นที่เหมาะสมจากตอนที่ 2.2 และอัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต้มล้างต่อปริมาณกากส้มเขียวหวานที่เหมาะสมจากตอนที่ 2.3 แล้วผันแปรจำนวนครั้งในการต้มล้างกากส้มเขียวหวาน จำนวนครั้งที่ศึกษาคือ 1, 2, 3, และ 4 ครั้ง โดยทำการเปลี่ยนน้ำที่ใช้ต้มทุกครั้ง แล้วนำเส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้มาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านต่าง ๆ เช่นเดียวกับในตอนที่ 2.3

2.5 ศึกษาผลของอัตราส่วนของสารละลายเอทานอลต่อปริมาณกากส้มเขียวหวานที่มีต่อคุณสมบัติของเส้นใยอาหารผง

เมื่อได้จำนวนครั้งในการต้มล้างกากส้มเขียวหวานที่เหมาะสมในตอนที่ 2.4 ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนของสารละลายเอทานอลต่อปริมาณกากส้มเขียวหวาน โดยทำการผลิตเส้นใยอาหารผงตามกรรมวิธีในตอนที่ 2.1 โดยใช้ขนาดการหั่นชิ้นที่เหมาะสมจากตอนที่ 2.2 อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต้มล้างต่อปริมาณกากส้มเขียวหวานที่เหมาะสมจากตอนที่ 2.3 และจำนวนครั้งในการต้มล้างกากส้มเขียวหวานที่เหมาะสมจากตอนที่ 2.4 แล้วผันแปรอัตราส่วนของสารละลายเอทานอลต่อปริมาณกากส้มเขียวหวาน อัตราส่วนที่ศึกษาคือ 2 : 1, 3 : 1, 4 : 1, และ 5 : 1 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก (เอทานอล : กาก) แล้วนำเส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้มาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านต่าง ๆ ดังนี้

- ค่าสีระบบ CIE หาค่า L, a^*, b^* ด้วยเครื่องวัดค่าสี (Minolta, CR300)
- ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)
- ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 2000)
- ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (AOAC, 2000)
- ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (AOAC, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6 ศึกษาผลของจำนวนครั้งในการแช่กากส้มเขียวหวานในสารละลายเอทานอลที่มีต่อคุณสมบัติของเส้นใยอาหารผง

เมื่อได้อัตราส่วนของสารละลายเอทานอลต่อปริมาณกากส้มเขียวหวานที่เหมาะสมในตอนที่ 2.5 ทำการศึกษาผลของจำนวนครั้งในการแช่กากส้มเขียวหวานในสารละลายเอทานอล โดยทำการผลิตเส้นใยอาหารผงตามกรรมวิธีในตอนที่ 2.1 โดยใช้ขนาดการหั่นชิ้นที่เหมาะสมจากตอนที่ 2.2 อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต้มล้างต่อปริมาณกากส้มเขียวหวานที่เหมาะสมจากตอนที่ 2.3 จำนวนครั้งในการต้มล้างกากส้มเขียวหวานที่เหมาะสมจากตอนที่ 2.4 และอัตราส่วนของสารละลายเอทานอลต่อปริมาณกากส้มเขียวหวานที่เหมาะสมจากตอนที่ 2.5 แล้วผันแปรจำนวนครั้งในการแช่กากส้มเขียวหวานในสารละลายเอทานอล จำนวนครั้งที่ศึกษาคือ 1, 2, 3, และ 4 ครั้ง โดยทำการเปลี่ยนสารละลายเอทานอลที่ใช้แช่ทุกครั้ง แล้วนำเส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้มาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านต่าง ๆ เช่นเดียวกับในตอนที่ 2.5

2.7 ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารผงที่มีต่อคุณสมบัติของเส้นใยอาหารผง

เมื่อได้จำนวนครั้งในการแช่กากส้มเขียวหวานในสารละลายเอทานอลที่เหมาะสมในตอนที่ 2.6 ทำการศึกษาผลของขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารผง โดยทำการผลิตเส้นใยอาหารผงตามกรรมวิธีในตอนที่ 2.1 โดยใช้ขนาดการหั่นชิ้นที่เหมาะสมจากตอนที่ 2.2 อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต้มล้างต่อปริมาณกากส้มเขียวหวานที่เหมาะสมจากตอนที่ 2.3 จำนวนครั้งในการต้มล้างกากส้มเขียวหวานที่เหมาะสมจากตอนที่ 2.4 อัตราส่วนของสารละลายเอทานอลต่อปริมาณกากส้มเขียวหวานที่เหมาะสมจากตอนที่ 2.5 และจำนวนครั้งในการแช่กากส้มเขียวหวานในสารละลายเอทานอลที่เหมาะสมจากตอนที่ 2.6 นำเส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้มาร่อนแยกขนาด ขนาดที่ศึกษาคือ ขนาดเล็กกว่า 0.15 มิลลิเมตร, ขนาด 0.15-0.43 มิลลิเมตร, และขนาดใหญ่กว่า 0.43 มิลลิเมตร นำเส้นใยอาหารผงแต่ละขนาดมาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติดังนี้

- ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยวิธีการปั่นเหวี่ยง (Ang, 1991b)
- ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน โดยวิธีการปั่นเหวี่ยง (Ang, 1991b)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองมาหาค่าเฉลี่ย และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One-way ANOVA) เมื่อพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS V.10.0

ตอนที่ 3 ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นใยอาหารผงจากกากส้มเขียวหวานที่ผลิตได้กับเส้นใยอาหารผงที่ผลิตเป็นการค้า

3.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเส้นใยอาหารผงจากกากส้มเขียวหวานกับเส้นใยอาหารผงที่ผลิตเป็นการค้า

ทำการผลิตเส้นใยอาหารผงจากกากส้มเขียวหวานด้วยกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสมซึ่งได้จากการศึกษาในตอนที่ 2 แล้วทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านต่าง ๆ กับเส้นใยอาหารผงที่ผลิตเป็นการค้า (เซลลูโลสผง ยี่ห้อ Solka-Floc เกรด 900 FCC) โดยคุณสมบัติที่วิเคราะห์และเปรียบเทียบ ได้แก่

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

- ค่าสีระบบ CIE หาค่า L, a^*, b^* ด้วยเครื่องวัดค่าสี (Minolta, CR300)
- ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยวิธีการปั่นเหวี่ยง (Ang, 1991b)
- ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน โดยวิธีการปั่นเหวี่ยง (Ang, 1991b)
- ค่าปริมาณผลผลิตที่ได้ (Yield) โดยคำนวณจากน้ำหนักเส้นใยอาหารผงที่ได้ต่อน้ำหนักกากส้มเขียวหวานสดที่ใช้
- ค่าการกระจายของขนาดอนุภาค (Particle size distribution) โดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรง (Prakongpan, 2002)
- ค่า Bulk density (Prakongpan, 2002)
- ค่า Packed density (Prakongpan, 2002)
- ค่า Hydrated density (Prakongpan, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

- ลักษณะ Microstructure ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)
- ค่าความเป็นกรดด่าง ด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (Precisa, Switzerland)
- ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (Water activity, a_w) ด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี (Aqualab : Model CX3TE, USA)
- ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)
- ปริมาณน้ำตาล โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง (Miller, 1959)
- ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)
- ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)
- ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 2000)
- ปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (AOAC, 2000)
- ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (AOAC, 2000)

3.2 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved