สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาแนวทางการลดการเกิดสีน้ำตาลเข้มในน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น

STUDY ON REDUCTION OF DARK BROWN COLOR IN CONCENTRATED STEEPED-CORN LIQUID

นายบรพันธุ์ ศรีปัญญา
นายสิทธิพล เลขาวิจิตร
นายสุรินทร์ สุทธิปรีชาวงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เลขหมู่ 62635
21 ธ.ค. 2549
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาแนวทางการลดการเกิดสีน้ำตาลเข้มในน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น

STUDY ON REDUCTION OF DARK BROWN COLOR IN CONCENTRATED STEEPED-CORN LIQUID

นายบรพันธุ์ ศรีปัญญา

นายสิทธิพล เลขาวิจิตร

นายสุรินทร์ สุทธิปรีชาวงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาแนวทางการลดการเกิดสีน้ำตาลเข้มในน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น

STUDY ON REDUCTION OF DARK BROWN COLOR IN CONCENTRATED STEEPED-CORN LIQUID

ผู้จัดทำ

1. นายบรพันธุ์ ศรีปัญญา รหัสประจำตัว 46015576
2. นายสิทธิพล เลขาวิจิตร รหัสประจำตัว 46015597
3. นายสุรินทร์ สุทธิปรีชาวงศ์ รหัสประจำตัว 45010880

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาแนวทางการลดการเกิดสีน้ำตาลเข้มในน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น

นายบรพันธุ์	ศรีปัญญา	46015576
นายสิทธิพล	เลขาวิจิตร	46015597
นายสุรินทร์	สุทธิปรีชาวงศ์	45010880
ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ	พรเฉลิมพงศ์	

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษาที่ 2548

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการลดการเกิดสีน้ำตาลของสีน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตแป้งข้าวโพด ขั้นตอนแรกเริ่มจากการสำรวจสภาวะการผลิตจริงในโรงงานผลิตแป้ง พบว่าการผลิตประกอบด้วยถังแช่ข้าวโพดทั้งหมด 8 ถัง บรรจุถังละ 60 ตัน เวลาที่ใช้ในการแช่ 58 -70 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งมีค่าความถ่วงจำเพาะ 3.8-4.0 โบเม่ จึงนำไปผ่านการระเหยและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 50°C ค่าความถ่วงจำเพาะกับปริมาณน้ำตาลรีดิ้วซ์ของน้ำแช่ข้าวโพดเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาณซัลเฟอร์ลดลงระหว่างกระบวนการแช่ ขั้นตอนที่สองเป็นการพิจารณาผลของปริมาณซัลเฟอร์เริ่มต้นที่ 910 ,950 และ 1050 ppmต่อค่าจลศาสตร์ของการเปลี่ยนสี(L*,a*,b* and ΔE) ของน้ำแช่ข้าวโพดในระหว่างการเก็บรักษาด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 40 , 50 , 60 และ 70 °C พบว่าค่าคงที่ของปฏิกิริยา (k) กับ ค่าพลังงานกระตุ้น (Ea) ที่ระดับซัลเฟอร์ 1050 ppm มีค่าสูงที่สุด อธิบายได้ว่าพลังงานกระตุ้นในการเกิดปฏิกิริยาของน้ำแช่ข้าวโพดหลังผ่านการระเหยมีมาก เมื่อนำไปผ่านการให้ความร้อนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีได้ยากและผลของความหนืดของน้ำแช่ข้าวโพดที่มีอุณหภูมิ 25 และ 45 °C มีค่า $n < 1$ (Flow Behavior index) จึงจัดเป็น non-newtonian fluid และค่า k (consistency index) ของน้ำข้าวแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิ 45 °C ซึ่งแสดงว่าความหนืดของน้ำแช่ข้าวโพดลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON REDUCTION OF DARK BROWN COLOR IN CONCENTRATED STEEPED-CORN LIQUID

Borrapun Sripunya 46015576

Sittipol Lekravichitr 46015597

Surin Sutthiprichawong 45010880

Asst.prof.Dr.Pimpen Pornchalermpong

Advisor

2005

ABSTRACT

This research was to study on reduction of dark brown color in concentrated steeped corn liquid which is a by-product of the corn-starch manufacturing. The first step was to observe the real processing operation of the corn starch plant.The steeping process contains 8 silos (60 tones per silo) and the steeping time are 57-70 hr. or util specific gravity of the steeped water reach 3.5-4.0 Baume,then the liquid was evaporated and stored at 50 °C. The specific gravity and reducing sugar of the steeping water increase while sulfer content decrease during steeping process.The second step was to investigate effect of the initial sulfur concentration of steeping water (ranging from 910,950 and 1050 ppm) on kinetics of color (L*,a*,b* and ΔE) change during heat treatment (ranging from 40,50,60 and 70°C). The reaction rate (k) and activation energy (Ea) at the sulfur of 1050 ppm indicated that its color changed slowest and had high activation energy. The flow behavior index(n) of concentrated corn liquid at 25 and 45 °C were 0.242 and 0.3362 indicated that is non-newtonian fluid (n<1).The consistency index (k) at the temperature 25 and 45were 2.9688 and 2.8832 shown that the viscosity decreased while the temperature increased.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

ผศ.ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่างๆ เสมอมาจนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

อาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์รวมทั้งให้ความช่วยเหลือต่างๆ

นางสาวพิทยาพร รสด้วง และพนักงาน บริษัท เฟรนด์ชิพ คอร์น สตาร์ช จำกัด ช่วยเก็บตัวอย่างและข้อมูลตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่ดูแลช่วยเหลือในทุกๆ ด้านตลอดมา

เพื่อนๆในภาควิชาวิศวกรรมอาหาร ที่คอยให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำแก่ผู้วิจัย

และสุดท้ายคุณประโยชน์ของงานวิจัยที่พึงมี คณะผู้วิจัยขอมอบความดีทั้งหมดนี้ให้แก่ บิดา มารดา และ ครูอาจารย์ทั้งในอดีตและปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

สารบัญ.....ก
สารบัญตาราง.....ค
สารบัญรูป.....ง
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....2
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร.....3
2.1 ส่วนประกอบและคุณค่าทางอาหาร.....3
2.2 การใช้ประโยชน์ของข้าวโพด.....3
2.2.1 ใช้เป็นอาหารมนุษย์.....4
2.2.2 ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม.....4
2.2.3 ใช้เป็นอาหารสัตว์.....4
2.3 กระบวนการผลิตน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น.....4
2.4 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล จากปฏิกิริยา Maillard.....5
2.5 การวัดปฏิกิริยาเมลลาร์ด.....10
2.6 การควบคุมปฏิกิริยาเมลลาร์ด.....11
2.7 ระบบการวัดสี.....12
2.8 ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....13
บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....15
ตอนที่ 1 การสำรวจการแช่ข้าวโพด.....15
ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณซัลเฟอร์ต่อสีของน้ำแช่ข้าวโพด.....16
ตอนที่ 3 ผลของปริมาณซัลเฟอร์ต่อจลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสีน้ำแช่ข้าวโพด
เข้มข้น.....17
ตอนที่ 4 ศึกษาผลของความหนืดของน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นการวัดค่าความหนืด.....19
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....20
ตอนที่ 1 การสำรวจการแช่ข้าวโพด.....20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณซัลเฟอร์ต่อสีของน้ำแช่ข้าวโพดคุณภาพ
ของน้ำระหว่างการแช่น้ำข้าวโพดที่ LSW.....21
ตอนที่ 3 ผลของปริมาณซัลเฟอร์ต่อจลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสีน้ำ
แช่ข้าวโพดเข้มข้น.....22
ตอนที่ 4 ศึกษาผลของความหนืดของน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น.....28
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....30
ภาคผนวก.....31
ภาคผนวก ก. ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง–คุณภาพและสภาวะของการแช่ข้าวโพด.....31
ภาคผนวก ข. ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง – คุณภาพด้านสี.....34
ภาคผนวก ค. ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง -- คุณภาพด้านความหนืด.....40
ภาคผนวก ง. ภาพแสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....43
เอกสารอ้างอิง.....45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 แสดงข้อมูลของตัวอย่าง ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ pH ความชื้น และปริมาณโปรตีน ของน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นที่ใช้ในการทดลอง.....20

4.2 แสดงข้อมูลคุณภาพและสภาวะของการแช่ข้าวโพดที่ใช้ในการทดลอง.....21

4.3 ค่าเฉลี่ย L* a* b* เริ่มต้นของน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น (25 °C).....23

4.4 ค่าเฉลี่ย L* a* b*และΔE ของน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นที่อุณหภูมิ 40 ,50 ,60 และ70°C.....23

4.5 ค่า Ea ของสีในระบบ CIE ของ L* a* b* กับ ΔE.....27

ก.1 แสดงข้อมูลคุณภาพและสภาวะของการแช่ข้าวโพดที่ปริมาณซัลเฟอร์ต่างๆ กับ น้ำตาลรีดิวซ์ (%).....31

ก.2 แสดงข้อมูลคุณภาพและสภาวะของการแช่ข้าวโพดที่ปริมาณซัลเฟอร์ต่างๆกับpH.....32

ก.3 แสดงข้อมูลคุณภาพและสภาวะของการแช่ข้าวโพดที่ปริมาณซัลเฟอร์ต่างๆกับความถ่วงจำเพาะ.....33

ข.1 ข้อมูลด้านคุณภาพสีของน้ำแช่ข้าวโพดที่ปริมาณซัลเฟอร์ 910 (ppm).....34

ข.2 ข้อมูลด้านคุณภาพสีของน้ำแช่ข้าวโพดที่ปริมาณซัลเฟอร์ 950 (ppm).....36

ข.3 ข้อมูลด้านคุณภาพสีของน้ำแช่ข้าวโพดที่ปริมาณซัลเฟอร์ 1050 (ppm).....38

ค.1 conversion factor เพื่อหาค่า Apparent Viscosity.....40

ค.2 conversion factor เพื่อหาค่า Shear rate.....40

ค.3 แสดงค่า log Apparent Viscosity กับ log rpm ที่ใช้ในการหาค่า n ของน้ำแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 25 °C.....41

ค.4 แสดงค่า log Apparent Viscosity กับ log rpm ที่ใช้ในการหาค่า n ของน้ำแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 45 °C.....41

ค.5 แสดงค่า log Shear stress กับ log Shear rate ที่ใช้ในการหาค่า k ของน้ำแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 25 °C.....42

ค.6 แสดงค่า log Shear stress กับ log Shear rate ที่ใช้ในการหาค่า k ของน้ำแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 45 °C.....42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น.....5
2.2 ขั้นตอนการเกิดสารไกลโคซิลเอมีน.....6
2.3 ขั้นตอนการเกิดสาร 5-ไฮดรอกซีเมทัล-2-เฟอรัลดีไฮด์.....7
2.4 ขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอมไซม์.....10
2.5 แสดงค่าสีในระบบ Hunter color system.....13
3.1 กระบวนการผลิตน้ำแช่ข้าวโพด.....15
4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงเวลาในการแช่ข้าวโพดกับปริมาณซัลเฟอร์ , ค่าความถ่วงจำเพาะ (โบเม่) ที่ปริมาณ ซัลเฟอร์ 910 ,950 , 1050 ppm.....21
4.2 การเปลี่ยนแปลงเวลาในการแช่ข้าวโพดกับปริมาณซัลเฟอร์ของน้ำแช่ข้าวโพด กับ น้ำตาลรีดิวซ์ (%) 22
4.3 กราฟแสดงค่า ln(k) กับ 1/ T (a) ปริมาณซัลเฟอร์ 910 ppm (b) ปริมาณซัลเฟอร์ 950 ppm (C) ปริมาณซัลเฟอร์ 1050 ppm (d) ค่าความแตกต่างรวมของสี (ΔE).....25
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง log Apparent viscosity กับ log rpm ของน้ำแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 25 กับ 45°C.....28
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง log shear stress กับ log shear rate น้ำแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 25 กับ 45 °C.....29
ง.1 เครื่องวัดสีรุ่น JC801/JUKI.....43
ง.2 อุปกรณ์วัดความถ่วงจำเพาะ Hydrometer (modul 145 ช่วง 0 – 10 โบเม).....43
ง.3 เครื่องวัด pH meter (Yokava , modul pH81, Japan).....44
ง.4 เครื่องวัดความหนืด Rotational Viscometer (Brookfield RVT DV-1).....44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

บริษัท Friendship Corn Starch ซึ่งเป็นบริษัทผลิตแป้งข้าวโพดซึ่งมีผลพลอยได้จากการผลิตแป้งข้าวโพดเป็นน้ำแช่ข้าวโพดซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงใช้ผสมกับกากข้าวโพดอบแห้งเพื่อไปขายเป็นอาหารสัตว์โดยบริษัทประสบปัญหาคือไม่ได้ควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อน้ำแช่ข้าวโพดจึงได้น้ำแช่ข้าวโพดที่มีสีไม่สม่ำเสมอ

ขั้นตอนในการผลิตน้ำแช่ข้าวโพดจากการผลิตแป้งข้าวโพด(corn starch)เริ่มจากการทำความสะอาดเมล็ดข้าวโพดแยกสิ่งเจือปนเช่นเมล็ดข้าวโพดหักหรือฝุ่นผงออกแล้วนำมาแช่น้ำ (steeping) ปกติจะมีการพ่นควันกำมะถันเผา (SO_2) ผสมลงในน้ำที่ใช้แช่นี้ให้ได้สารละลายกรดซัลฟูรัส อุณหภูมิของน้ำแช่ประมาณ 50 องศาเซลเซียส แช่ในสารละลาย ใช้ระยะเวลาประมาณ 58 – 70 ชั่วโมง เพื่อทำให้เปลือกเมล็ดอ่อนนุ่ม และทำลายโครงสร้างโปรตีนในเอนโดสเปอร์มหลังจากนั้นปล่อยน้ำแช่ข้าวโพดออกมาจะได้น้ำแช่ข้าวโพด (corn steep liquor) เมื่อนำไประเหยน้ำออกก็จะเป็นน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นที่มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ โปรตีน แป้ง น้ำตาลรีดิวซ์และส่วนประกอบอื่นๆ

โครงการนี้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาแนวทางที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นเพื่อให้เป็นมาตรฐาน

จากสมมติฐานการเกิดสีน้ำตาลของน้ำแช่ข้าวโพดจากปฏิกิริยา Maillard ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (นิธิยา รัตนาปนนท์,2539) ซึ่งเกิดจากโปรตีนและน้ำตาลรีดิวซ์ที่ละลายออกมากับน้ำแช่ข้าวโพด และเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นระหว่างการทำให้เข้มข้นก็จะทำให้ความเข้มของสีเพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับมีการเก็บรักษาน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นของทางโรงงานที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะเป็นการเร่งให้เกิดปฏิกิริยา Maillard โดยเหตุผลที่โรงงานเก็บรักษาน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นภายใต้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำแช่ข้าวโพดมีค่าความหนืดสูงและเกิดเจล

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้เพื่อสามารถลดปัญหาการเกิดสีน้ำตาลเข้มของน้ำแช่ข้าวโพด โดยมีจุดประสงค์หลักดังนี้

1. สำรวจการแช่ข้าวโพดในภาวะการผลิตจริงของโรงงาน
2. ศึกษาผลของปริมาณซัลเฟอร์ต่อจลศาสตร์ของการเปลี่ยนสีน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ศึกษาผลของความหนืดของน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น

ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาตามกระบวนการผลิตจริงของทางโรงงาน
2. ศึกษาปริมาณซัลเฟอร์อยู่ในช่วง 910 ถึง 1050 ppm
3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีน้ำแช่ข้าวโพดในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 40 ถึง 70 ºC
4. ศึกษาความหนืดซึ่งมีอุณหภูมิในช่วงระหว่าง 25 ถึง 45 ºC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

2.1 ส่วนประกอบและคุณค่าทางอาหาร

ข้าวโพดจัดเป็นอาหารจำพวกแป้งเช่นเดียวกับข้าว ประกอบด้วยสารอาหารคาร์โบไฮเดรท และไขมัน แต่มีปริมาณโปรตีนต่ำ ข้าวโพดมีวิตามินบีต่าง ๆ เช่น วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และไนอะซินในปริมาณต่ำ รวมทั้งปริมาณแคลเซียมและเหล็กด้วย และพบว่าวิตามินเอมีเฉพาะในข้าวโพดสีเหลือง

1. **คาร์โบไฮเดรท** ในส่วนเนื้อในของเมล็ดข้าวโพดที่แก่จัด มีสารอาหารคาร์โบไฮเดรทประมาณร้อยละ 72
2. **ไขมัน** เมล็ดข้าวโพดที่แก่จัดมีไขมันอยู่ประมาณร้อยละ 4 สามารถสกัดเป็นน้ำมันใช้ประกอบอาหาร น้ำมันข้าวโพดมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวโดยเฉพาะกรดไลโนเลอิก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นในปริมาณสูงถึงร้อยละ 40 ซึ่งจะมีฤทธิ์ควบคุมโคเลสเตอรอลให้อยู่ในระดับปกติ ช่วยลดหรือแก้ไขโรคความดันโลหิตสูงเนื่องจากมีโคเลสเตอรอลสูงได้
3. **โปรตีน** ข้าวโพดมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 4 โปรตีนในข้าวโพดมีประโยชน์ต่อร่างกายน้อย เพราะขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย คือ ไลซีน และทริปโตแฟน ดังนั้น จึงควรรับประทานข้าวโพดร่วมกับถั่วเมล็ดแห้งต่าง ๆ เพื่อให้ข้าวโพดมีคุณค่าทางอาหารมากขึ้น
4. **วิตามิน** ข้าวโพดมีวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 ในปริมาณ 0.08-0.18 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม มีไนอะซีนในปริมาณต่ำ 1.1-1.5 มิลลิกรัม ประเทศที่มีการบริโภคข้าวโพดเป็นอาหารหลักจะเกิดเป็นโรคเพลลากา Pellagra กันมากเพราะขาดสารอาหารไนอะซีน สำหรับวิตามินเอ มีเฉพาะในข้าวโพดสีเหลือง
5. **เกลือแร่** ข้าวโพดมีส่วนประกอบเกลือแร่ที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย เช่น แคลเซียม และเหล็กแต่ก็มีในปริมาณน้อยมาก

2.2 การใช้ประโยชน์ของข้าวโพด

เมล็ดข้าวโพดและส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพดสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง อาจแบ่งการใช้ออกเป็น 3 ประเภท คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ใช้เป็นอาหารมนุษย์

ในประเทศไทย ประชาชนนิยมรับประทานฝักสดของข้าวโพดหวาน ข้าวโพดข้าวเหนียวและข้าวโพดไร่โดยการต้มหรือเผาให้สุกเสียก่อน นอกจากนั้น ฝักอ่อนของข้าวโพดยังนิยมรับประทานกันอย่างแพร่หลายนับเป็นผักชนิดหนึ่งที่นำมาปรุงอาหาร นอกจากจะรับประทานในประเทศแล้วยังบรรจุกระป๋องส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศเป็นอุตสาหกรรมชนิดหนึ่งด้วย

ประชาชนในบางประเทศอาศัยบริโภคข้าวโพดเป็นอาหารหลักในรูปต่างๆ กัน เช่น ในอเมริกากลางและอเมริกาใต้ใช้แป้งบดจากเมล็ดแก่มาทำเป็นแผ่นนึ่งหรือย่างให้สุก รับประทานกับอาหารอื่นคล้ายกับการรับประทานขนมปังในฟิลิปปินส์นิยมตำเมล็ดข้าวโพดแก่ให้แตกเป็นชิ้นเล็กเท่า ๆ เมล็ดข้าว แล้วต้มรับประทานแทนข้าว

2.2.2 ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม

เมล็ดและผลิตผลจากเมล็ดข้าวโพด สามารถนำไปใช้ในการอุตสาหกรรมได้หลายประเภท เช่น ทำแอลกอฮอล์ แป้ง น้ำตาลชนิดต่าง ๆ น้ำเชื่อมและน้ำมันผลิตผลเหล่านี้อาจนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้อีกต่อหนึ่ง เช่น ยารักษาโรค กระดาษ กระดาษแก้ว ผ้าสังเคราะห์ กรด น้ำหอม น้ำมันใส่ผม และ แบตเตอรี่ นอกจากเมล็ดแล้ว พวกฝัก ใบ และลำต้น อาจนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น กระดาษ ปุ๋ย และฉนวนไฟฟ้า

2.2.3 ใช้เป็นอาหารสัตว์

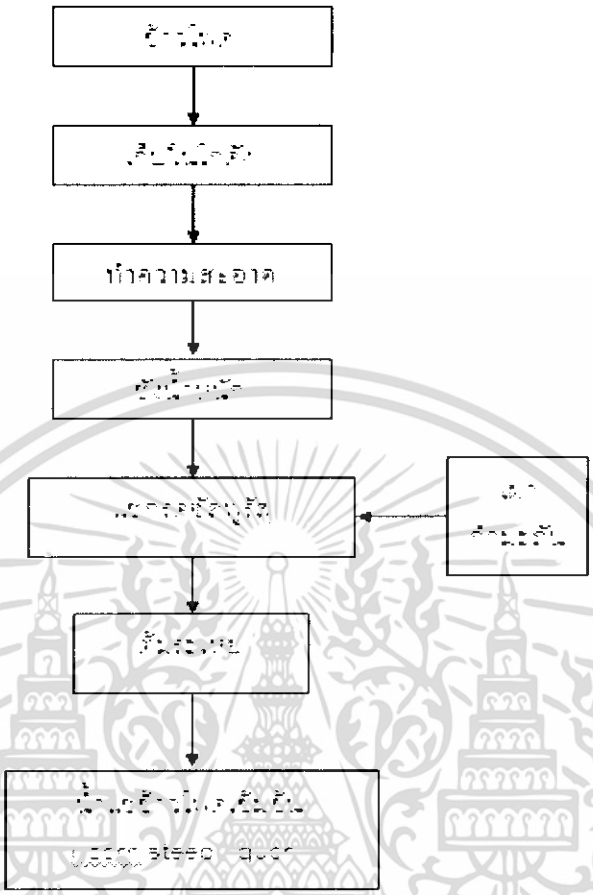
ข้าวโพดนับเป็นพืชที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ดีชนิดหนึ่ง การใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อาจทำได้หลายอย่าง เช่น ใช้เมล็ด กากน้ำตาล กากแป้งที่เหลือจากสกัดน้ำมัน ตัดต้นสดให้สัตว์กินโดยตรง ตัดต้นสดหมัก และใช้ต้นแก่หลังเก็บเกี่ยวฝักแล้ว ในต่างประเทศนิยมใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์กันมาก แต่ในประเทศไทยยังใช้กันน้อย ทั้งนี้เนื่องจากราคายังสูงอยู่ ถ้าสามารถลดต้นทุนการผลิตลง และ ราคาข้าวโพดอยู่ในระดับพอสมควรอาจมีการใช้เลี้ยงสัตว์เพิ่มขึ้น

2.3 กระบวนการผลิตน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น

เริ่มจากการทำความสะอาดเมล็ดข้าวโพด โดยแยกสิ่งเจือปน เช่น เมล็ดข้าวโพดหัก หรือฝุ่นผงออก แล้วนำมาแช่น้ำ (steeping) ปกติจะมีการพ่นควันกำมะถันเผา (SO_2) ผสมลงไปในน้ำที่ใช้แช่นี้ ให้ได้สารละลานกรดซัลฟูรัส อุณหภูมิของน้ำแช่ประมาณ 50 ^oC แช่ในสารละลายเป็นเวลา 36 - 50 ชั่วโมง เพื่อทำให้เปลือกของเมล็ดอ่อนนุ่มและทำลายโครงสร้างของโปรตีนในเอนโดสเปอร์ หลังจากนั้นปล่อยน้ำที่แช่ข้าวโพดออกมา จะได้ผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต คือ น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แช่ข้าวโพด (corn steep liquor) ซึ่งมีโปรตีนและเกลือแร่อยู่สูง เมื่อนำไปต้มระเหยเอาน้ำออก ก็จะเป็นวัตถุดิบในอาหารเลี้ยงสัตว์ได้



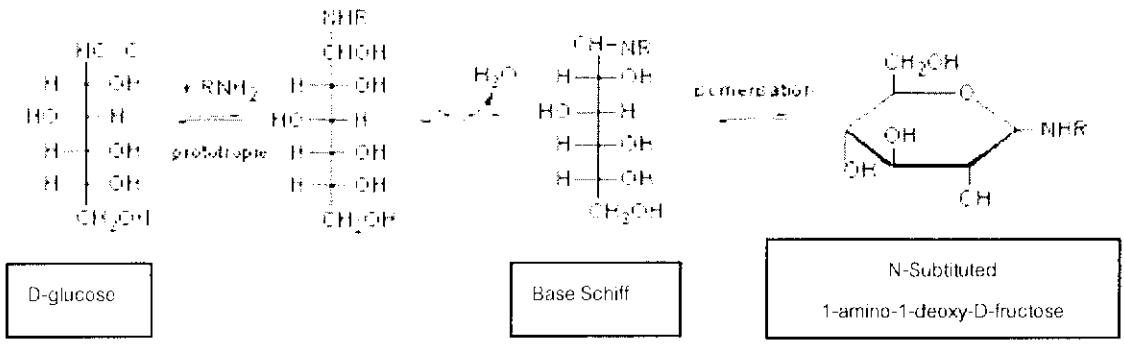
รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น

2.4 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล จากปฏิกิริยา Maillard

เมื่อน้ำตาลแอลโดสหรือคีโตสซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซิ่งได้รับความร้อนในภาวะที่มีน้ำ (a_w>0.2) กับเอมีนจะทำให้เกิดสารประกอบต่างๆมากมายหลายชนิด ซึ่งมีผลแต่สี กลิ่น และรสของอาหาร และอาจเป็นสิ่งที่พึงประสงค์หรือไม่พึงประสงค์ก็ได้ปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดขึ้นขณะทอด ปิ้ง อบ ย่าง หรือระหว่างเก็บรักษาอาหาร น้ำตาลรีดิวซิงจะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมีโน และโปรตีนได้เป็นไกลโคซิลาเอมีน (N-substituted glyceosylamine) และจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาล เรียกว่าปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งต่างจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ นิธิยา (2539) ได้อธิบายขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ไว้ดังนี้

1. น้ำตาลรีดิวซิงทั้งคีโตสและแอลโดส จะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการเกิดสารไกลโคซิลเอมีน

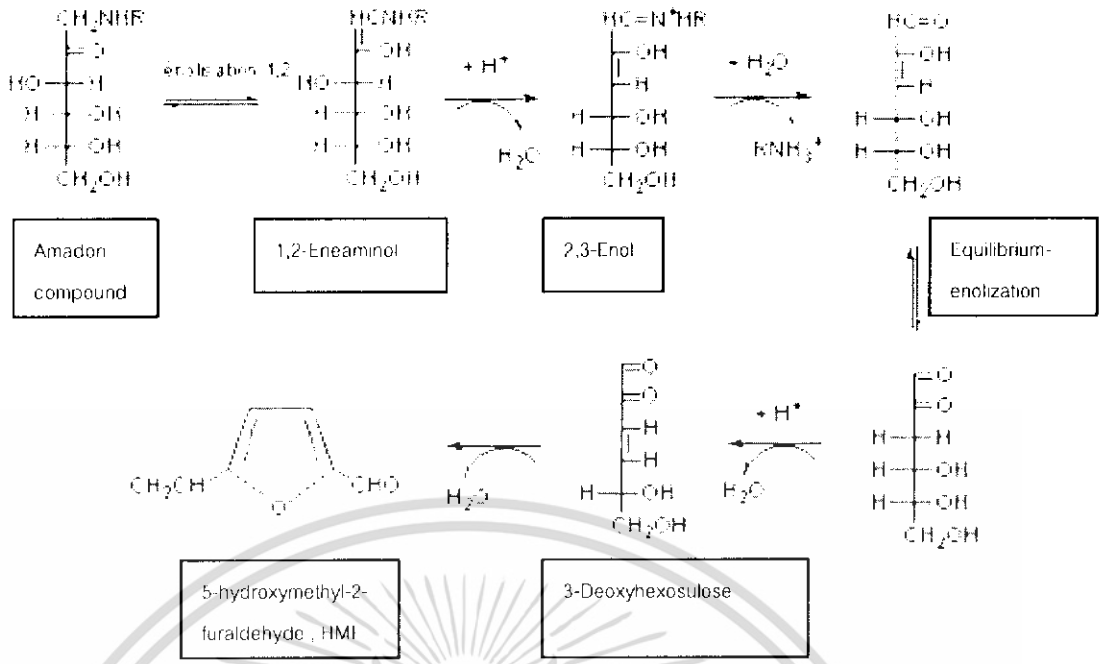
2. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้เป็นอีมีน (imine หรือ Schiff base) และมีการเรียงตัวใหม่เรียกว่า Amadori rearrangement ได้เป็นแอลโดสเอมีน (aldoseamine) หรือคีโตสเอมีน (ketoseamone) เรียกว่า Amadori product เช่น 1-อะมิโน-1-ดีออกซี-คีโตส ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้ เมื่อมี pH 5 หรือต่ำกว่า (ดูรูป 2.3)

3. เกิดปฏิกิริยา enolization ของ Amadori product ได้เป็นไดคีโตสเอมีน หรือ ไดอะมิโนซูการ์ เช่น 3-ดีออกซีเฮกโซซูโลส

4. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันต่อได้อนุพันธ์ของฟูแรน(furan) ถ้าเป็นน้ำตาลเฮกโซสอนุพันธ์ฟูแรน คือ 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอรัลดีไฮด์(5-hydroxymathyl-2-furaldehyde หรือ HMF) ดังรูปที่ 2.3

5. อนุพันธ์ของฟูแรนวงแหวน เช่น HMF จะเกิดพอลิเมอไรซ์อย่างรวดเร็วได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยและไม่ละลายน้ำซึ่งต่างจากการเกิดคาราเมไลเซชันซึ่งมีน้ำตาลเพียงอย่างเดียวสารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนี้จึงเรียกว่าเมลานอยดิน(melanoidins)ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาโมลต่อโมล (mole per mole reaction) ดังนั้นโพรดักต์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดจึงมีพอลิเมอร์ที่ละลายและไม่ละลายในน้ำและพบได้ในอาหารที่มีน้ำตาลรีดิวซิง กรดอะมิโน โปรตีน หรือ สารประกอบไนโตรเจนอื่นๆอยู่รวมกันและได้รับความร้อน เช่นการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ขนมอบ ปฏิกิริยานี้ยังมีความสำคัญต่อการทำคาราเมล ทอฟฟี่ และช็อกโกแลตนม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการเกิดสาร 5-ไฮดรอกซีเมทัล-2-เฟอรัลดีไฮด์

ข้อเสียของปฏิกิริยาเมลลาร์ด คือทำให้กรดอะมิโนไลซีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็น ทั้งที่อยู่ในรูปอิสระและที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของโปรตีนลดน้อยลงดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบนี้ จะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลงด้วยนอกจากนั้น หากเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูง และ ได้รับความร้อนสูงด้วยโพรดักต์ที่เกิดขึ้นจะเป็นสาร heterocyclic amine ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง

สำหรับการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดของน้ำตาลฟรักโทส จะเกิดปฏิกิริยาไดแอนไฮไดรด์ (dianhydrides) และเกิดสีน้ำตาลในภายหลัง สารอินเตอร์มิเดียตของปฏิกิริยา คือ ดีออกซีแอลโดซูโลส (deoxyaldosulose) ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็น 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอราลดีไฮด์ ปฏิกิริยาเริ่มต้นจะเป็น sugar enolization หลังจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสารอินเตอร์มิเดียต์ คือ ดีออกซีแอลโดซูโลสก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นกรดแซ็กคารินิก (saccaharinic acid) แทนที่จะเป็นเฟอรัลดีไฮด์ เมื่อได้รับความร้อนต่อไปอีกก็จะเกิดปฏิกิริยารวมตัวได้ เป็นสารสีน้ำตาลซึ่งทั้งสองกรณีที่เกิดขึ้นโมเลกุลของน้ำตาลจะสลายตัวและสูญเสียน้ำเพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบคีโตน เฟอเรน อะซิตัล (acetals) กรดอินทรีย์ และเอสเทอร์ ซึ่งสารเหล่านี้จะทำให้เกิดกลิ่นและเมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันก็จะกลายเป็นสารสีน้ำตาล กลไกการเกิดพอลิเมอไรเซชันเป็น แอลดอลคอนเดนเซชัน (aldol condensation)

ดังสมการ $CH_3\text{-}CH{=}O + CH_3\text{-}CH{-}O \longrightarrow CH_3\text{-}CHOH\text{-}CH_2\text{-}CH{=}O$

อะซิตัลดีไฮด์ แอลดอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอนิลมีได้มากมายโดยใช้ pathway ต่างๆสารที่เกิดขึ้นเช่น รีดักโตน (Reductones) ดีออกซีเฮกโซโซน (Deoxyhexosones) และเฟอรัลดีไฮด์ เช่นกลิ่นของผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการคั่วหรืออบสารให้กลิ่นที่เกิดขึ้นจะเป็นไพราซีน (Pyrazines) และ อิมิดาโซล (imidazoles) ดังนั้นสารที่ให้กลิ่นและรสชาติที่เกิดจาก ปฏิกิริยาของสารประกอบคาร์บอนิลและเอมีนจึงค่อนข้างจะผันแปรขึ้นอยู่กับชนิดของเอมีนที่ทำปฏิกิริยากับสารประกอบคาร์บอนิลด้วย

สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหารถ้ามีแอมโมเนียอิสระจะทำปฏิกิริยากับสาร ประกอบคาร์บอนิลก่อน ส่วนหมู่อะมีนอาจได้มาจากกรดอะมิโน เพปไทด์ โปรตีน และวิตามินบีหนึ่งหรือไทอะมิน หากปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ได้สารสีน้ำตาเข้มและจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันของกรดอะมิโนด้วย ซึ่งเรียกว่า Strecker degradation โดยกรดอะมิโนจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบไดคาร์บอนิลได้

Strecker aldehydes ที่เกิดขึ้นจะมีจำนวนคาร์บอนน้อยกว่ากรดอะมิโน 1 อะตอม สารที่เกิดขึ้นนี้จะมีบทบาทต่อกลิ่นและรสชาติของอาหารเท่าๆกับสารที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบอื่นๆ เช่น เป็นสารให้กลิ่นในขนมปัง ถั่วลิสงคั่ว และโกโก้ เป็นต้น

สารสารประกอบคาร์บอนิลและเอมีนที่มีความคงตัวต่ำและสลายตัวได้ง่ายจึงเปิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ได้ที่อุณหภูมิห้อง เช่น ระหว่างการเกิดรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงสูงจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้อย่างรวดเร็วน้ำตาลเพนโตสจะเกิด ปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลเฮกโซสและน้ำตาลเฮกโซสจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลรีดิวซิ่งที่เป็นไดเซกคาไรด์ น้ำตาลนอนรีดิวซิ่ง เช่น น้ำตาลซูโครสจะเกิดปฏิกิริยาได้ภายหลังถูกไฮโดรไลซ์เป็นน้ำตาลรีดิวซิงแล้วสำหรับน้ำตาลรีดิวซิง แต่ละชนิดน้ำตาลฟรักโทสเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุด ส่วนน้ำตาลเอลโดเฮกโซสการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดน้ำตาลแมนโนสมากกว่ากาแล็กโทสและกลูโคส

ชนิดของกรดอะมิโนก็มีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ด กรดอะมิโนชนิดแอลฟ่า เช่น ไกลซีนจะเกิดปฏิกิริยาเร็วที่สุด เมื่อกรดอะมิโนมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาช้าลง สำหรับกรดชนิดโอเมก้า จะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้เร็วขึ้น เมื่อความยาวของสายโมเลกุลเพิ่มขึ้น เช่นออร์นิทีนเกิดได้รวดเร็วกว่าไลซีน สำหรับกรดอะมิโนที่อยู่ในโมเลกุลของโปรตีน หมู่อะมิโนของโมเลกุลของไลซีนจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วที่สุด กรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นด่าง เช่นไลซีน และกรดอะมิโนที่เป็นอนุพันธ์เอไมด์ เช่น แอสพาราจีน และกลูตามีนจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่ากรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นกรดและเป็นกลาง

ปัจจัยที่มีผลต่ออิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด คือ อุณหภูมิ พีเอช ความชื้น ออกซิเจน โลหะ ฟอสเฟต และซัลเฟอร์ไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราเร็วปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นภาวะที่สารมีความเข้มข้นสูง และอุณหภูมิสูงจะเกิดปฏิกิริยาเร็วที่สุด เนื่องจากเกิด autocatalysic อัตราเร็วของปฏิกิริยานี้จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 - 3 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส ถ้าในอาหารมีน้ำตาลฟรักโทสจะทำให้อัตราเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 5 - 10 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส และเพิ่มความเร็วขึ้นเมื่อปริมาณน้ำตาลมากขึ้นความเข้มของสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการเก็บรักษาอาการที่อุณหภูมิต่ำจะชะลอปฏิกิริยาเมลลาร์ดให้ช้าลงได้

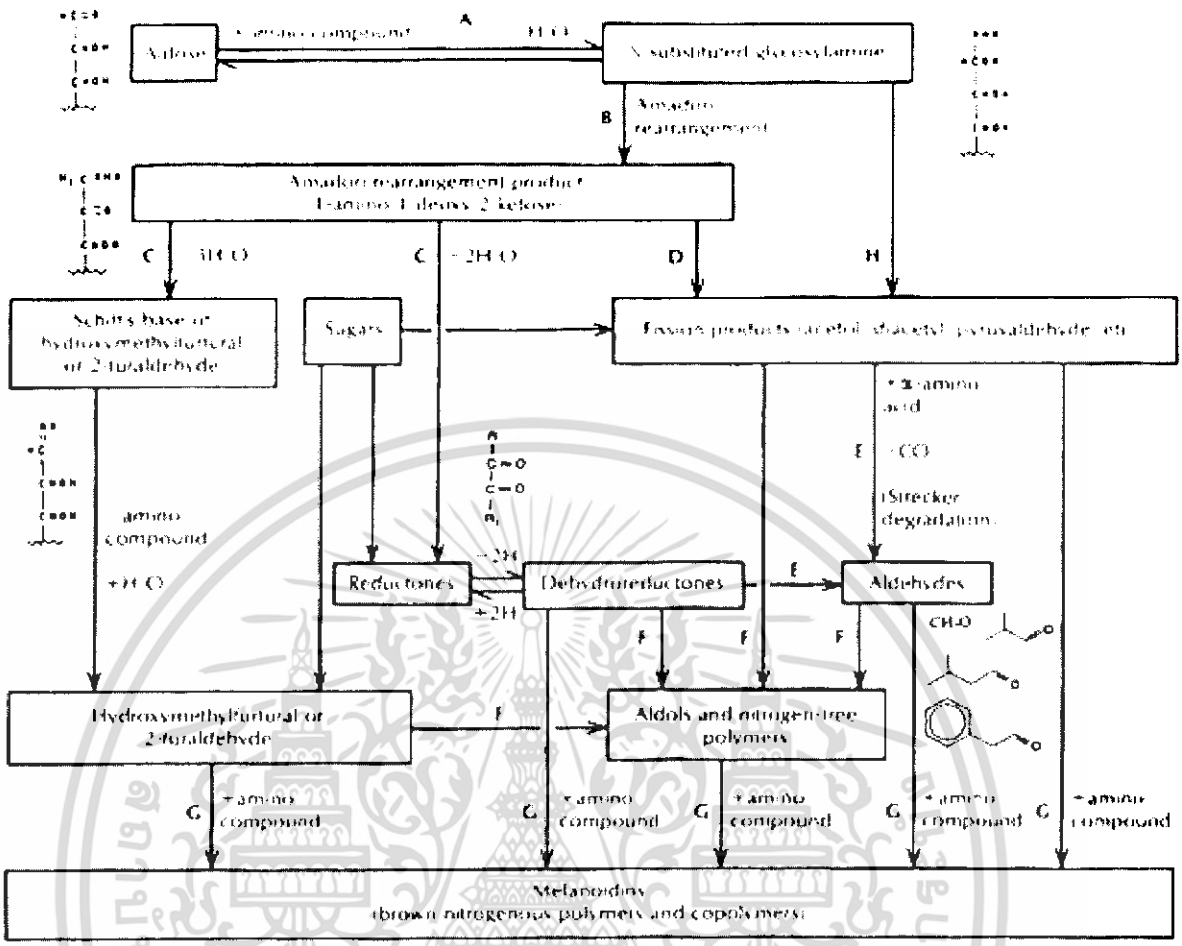
นอกจากนี้ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนิลกับเอมีนยังสามารถยับยั้งได้เมื่อลดค่าพีเอชให้ ต่ำลง เช่น ที่พีเอช 3 น้ำตาลจะมีความคงตัวมากในรูป pyranose hemiacetal ring เมื่อ พีเอชสูงขึ้น น้ำตาลจะเปลี่ยนเป็นรูป reactive acyclic aldehydo ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยารวมตัวกันระหว่างน้ำตาลกับเอมีนได้อย่างรวดเร็ว การที่เอชพีลดลงทำให้การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดช้าลง ดังนั้นการสูญเสียกรดอะมิโนซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่างในปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเป็นการยับยั้งปฏิกิริยาด้วยตัวเองได้ (self inhibition)

น้ำหรือ a_w เป็นปัจจัยซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด เช่นในภาวะแห้งน้ำตาลกลูโคสกับกรดอะมิโนไกลซีนจะคงตัวและไม่เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดถึงแม้จะมีอุณหภูมิสูงถึง 50 องศาเซลเซียสก็ตาม เมื่อมีน้ำเพียงเล็กน้อยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นทันทีดังนั้นที่อุณหภูมิต่ำ การเกิดปฏิกิริยานี้จึงขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนรูปของน้ำตาลเป็นรูป reactive aldehydo แต่ที่อุณภูมิสูงการสูญเสียน้ำออกจากโมเลกุลของน้ำตาลจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด เพราะทำให้มีน้ำเกิดขึ้นอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะช้าลงอีกครั้งเมื่อมีปริมาณน้ำมากจนทำให้สับสเตรตเจือจางลงซึ่งปริมาณน้ำสูงสุดสำหรับปฏิกิริยาสีน้ำตาล คือ ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

ออกซิเจนไม่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด นอกจากนี้ออกซิเจนจะช่วยออกซิไดส์ สารอื่นให้เป็นรูปที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้จึงเกิดขึ้นได้ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ส่วนแร่ธาตุที่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้แก่ ไอออนทองแดง เหล็ก และสังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอมไซม์



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอมไซม์

2.5 การวัดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

การวัดปฏิกิริยาเมลลาร์ดของสับสเตรตแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน และ ยังผันแปรตามขั้นตอนของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดอีกด้วยซึ่งจะทำให้เกิดสี กลิ่น และรสธรรมชาติของผลิตภัณฑ์อาหารแตกต่างกันออกไป

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ ปฏิกิริยาของน้ำตาลกรดอะมิโน ซึ่งสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของ optical rotatory power ของสารละลายน้ำตาลได้ หรือติดตามการเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายเมื่อหมู่อะมิโนที่มีสมบัติเป็นด่างถูกทำปฏิกิริยาทำให้มีปริมาณลดน้อยลง นอกจากนั้นยังอาจใช้วิธี potentionmetric titration , cryoscopyและ polargraphy ก็ได้

สำหรับปฏิกิริยาในขั้นตอนต่อไป อาจเป็นการวัดอัตราการหายไปของน้ำตาล หรือกรดอะมิโนแต่ละชนิด ติดตามการเกิดสารใหม่ ได้แก่ ไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรัลหรืออาจวัดปฏิกิริยาขั้นตอนสุดท้าย คือ วัดความเข้มของสีน้ำตาลที่เกิดขึ้น ค่า optical density ของสารละลายนิยมวัดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่นในช่วง 420 – 490 นาโนเมตร แต่ควรเลือกใช้ความยาวคลื่นที่ให้ค่าดูดกลืนแสงสูงที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดนอกจากนี้ยังอาจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นซึ่งปริมาณจะแปรผันตามความเข้มของสี

2.6 การควบคุมปฏิกิริยาเมลลาร์ด

ปฏิกิริยาเมลลาร์ดสามารถยับยั้งได้โดยวิธีการต่างๆ ดังนี้

1. การควบคุมปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่ดีที่สุด คือ การกำจัดสารเริ่มที่เป็นสับสเตรตของปฏิกิริยาซึ่งน้ำตาลกลูโคสเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ค่อนข้างช้ากว่าน้ำตาลชนิดอื่น และสามารถกำจัดน้ำตาลกลูโคสได้โดยออกซิไดส์ให้เป็นกรดกลูโคนิกด้วยเอมไซม์กลูโคสออกซิเดส

2. การล้างก็เป็นวิธีการง่ายๆ ที่ช่วยลดปริมาณน้ำตาลและกรดอะมิโนออกไปจากผิวนอกได้ เพราะสารละลายเหล่านี้ละลายได้ดีในน้ำ สำหรับอาหารบางชนิด เช่น มันฝรั่ง การเก็บรักษาไว้ระยะเวลาหนึ่ง จะทำให้ปริมาณน้ำตาลเปลี่ยนเป็นสตาร์ช จะช่วยลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลให้น้อยลงระหว่างการแปรรูป หรือระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้

3. ภาวะที่ใช้แปรรูปอาหาร ควรใช้อุณหภูมิต่ำที่สุดเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดน้อยที่สุด

4. ควบคุมปริมาณน้ำในอาหารให้ลดน้อยลง หรือ เพิ่มปริมาณน้ำให้มากขึ้นจนทำให้สับสเตรตเจือจางลง

5. การลดพีเอชก็ช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ และ อาจเพิ่มพีเอชของผลิตภัณฑ์อาหารให้สูงขึ้นตามที่ต้องการในภายหลัง

6. ใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับ degradaion product ของอะมิโนซูการ์ ป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวกันเกิดพอลิเมอไรเซชั่นเป็นเมลานอยดิน

ข้อเสียของการใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คือ จะไปทำปฏิกิริยากับวิตามินบีหนึ่งและโปรตีนด้วยทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลง จึงไม่อนุญาตให้ใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับอาหารที่เป็นแหล่งวิตามินบีหนึ่งหรือไทอะมิน

7. การใช้สารเคมีช่วยยับยั้งการทำหน้าที่ของหมู่คาร์บอนิลอิสระ หรือสารประกอบคาร์บอนิลอื่นๆ ก็ช่วยป้องกันปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ เช่น ใช้สารประกอบซัลไฟต์ คือ โซเดียมและโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์จะยับยั้งปฏิกิริยาการรวมตัวของสารประกอบที่มีหมู่คาร์บอนิลกับเอมีน โดยหมู่ซัลไฟต์จะไปรวมตัวกับหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลแอนโดส และทำให้เกิดสารประกอบดังสมการ

$$NaHSO_3 + RCHO \longrightarrow RCHOHSO_3Na$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันยังไม่พบว่าสารเคมีใดที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ดีเท่ากับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และเกลือโซเดียมและโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ก็ให้ผลยับยั้งไม่ดีเท่ากับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

8. หากสารประกอบคาร์บอนิลเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด การยับยั้งอาจทำได้โดยใช้สารต้านออกซิเดชันสำหรับปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่มีเอมไซม์ เป็นตัวเร่งอาจใช้กรดแอสคอร์บิกได้ แต่การใช้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงในปฏิกิริยาเมลลาร์ดอาจจะทำให้เกิด ปฏิกิริยาได้เร็วขึ้นเนื่องจากเกิด oxidation degradation ของกรดแอสคอร์บิกและทำปฏิกิริยากับสารประกอบคาร์บอนิล ผ่านทางแอลคอนเดนเซชัน หรือทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนเกิดเป็นสีน้ำตาลได้

อย่างไรก็ตามถึงแม้ปฏิกิริยาเมลลาร์ดนี้ไม่พึงประสงค์ให้เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิดเพราะทำให้คุณภาพของอาหารลดต่ำลงแต่ก็มีผลิตภัณฑ์อาหารอีกหลายชนิดที่ต้อง การให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด เพื่ออาหารนั้นมีสี กลิ่น และรสชาติดี เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมอบต่างๆ อาหารขบเคี้ยว นัท เนื้ออบ บาร์บิคิว

การปรุงอาหารโดยใช้ไมโครเวฟจะไม่เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดดังนั้นอาจจะต้องใช้ brow ning precursor เติมลงไปในผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นระหว่างการทำให้อาหารร้อนด้วยเตาไมโครเวฟนอกจากนี้สารให้กลิ่นที่ระเหยได้หลายชนิดจะเกิดขึ้นจาก ปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างการปรุงอาหาร เพื่อให้อาหารมีกลิ่นและรสชาติดี ดังนั้น ปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดนี้ขึ้นกับองค์ประกอบของอาหาร เช่นmaillard precursor หรือกรดแอสคอร์บิก ค่า (a_w) การได้รับออกซิเจน อุณหภูมิ และระยะเวลาที่เก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร

2.7 ระบบการวัดสี

เป็นระบบที่กำหนดขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1976 โดย C.I.E. โดยใช้ค่า L* , a* , b* ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ใหม่มาแสดงค่าสี และสามารถนำมาหาค่า Chroma และ Hue (ปานมนัส ศิริสมบูรณ์, พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และสาทิป รัตนภาสกร, 2538) ข้อดีของระบบ C.I.E. LAB คือสามารถหาค่าความแตกต่างระหว่าง 2 สี หรือค่า ΔE^* (total difference) ได้จากสมการ

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่า L* หมายถึงค่าความสว่างหรือค่าความขาว

มีค่า 0 – 100 ที่ 0 แสดงถึงสีดำ

ที่ 100 แสดงถึงสีขาว

ค่า a* คือค่า Hue ซึ่งเป็นค่าที่บอกสีโดยแสดงในสองแกน

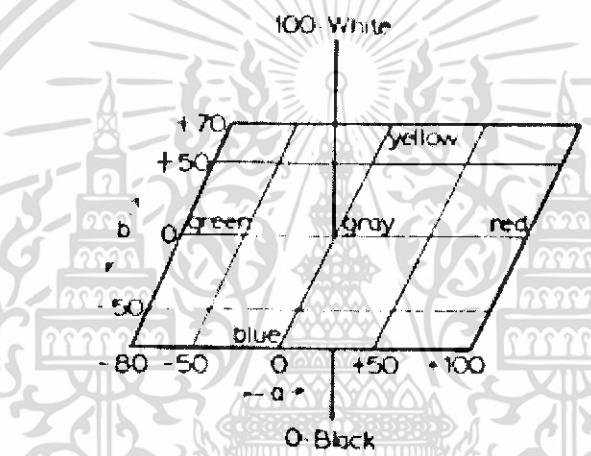
a* = มีค่า + อยู่ภายใต้อิทธิพลของสีแดง

a* = มีค่า – อยู่ภายใต้อิทธิพลของสีเขียว

ค่า b* คือค่า Hue ซึ่งเป็นค่าที่บอกสีโดยแสดงในสองแกน

b* = มีค่า + อยู่ภายใต้อิทธิพลของสีเหลือง

b* = มีค่า – อยู่ภายใต้อิทธิพลของสีน้ำเงิน



รูปที่ 2.5 แสดงค่าสีในระบบ Hunter color system

2.8 ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lazano และ Ibarz (1995) ได้ศึกษาผลของความร้อนต่อการเปลี่ยนสีของเนื้อแอปเปิ้ล พีช และพลัม บดให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทำการให้ความร้อนโดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 56 66 80 และ 94 °C แล้วนำมาวัดค่าสีด้วยพารามิเตอร์ Hunter L ,a ,b โดยใช้ Hunterlab colour difference meter , Model D25L-2 (Hunter Assoc. Laboratory,VA,USA) โดยการเทียบค่ามาตรฐานแป้ง (L = 92.8 ,a = -0.8 , b = 0.1) แล้วนำมาหาค่า k และค่าพลังงานกระตุ้น (Ea)

Barreio และคณะ (1997) ได้ศึกษาการเปลี่ยนสีของมะเขือเทศเข้มข้นด้วยความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 70 - 100 °C โดยวิธี Capillary tube method โดยวัดสีในระบบ Hunter L,a,b คำนวนค่าความแตกต่างของสี (Color Difference, ΔE) จากการคำนวนค่าจลศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางเคมี (Ea และ k) จากสมการ Arrhenius พบว่า ค่าการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของสีเป็นความสัมพันธ์อันดับหนึ่ง ยกเว้นค่า ΔE ซึ่งเป็นความสัมพันธ์อันดับศูนย์ และยังพบว่าค่า L มีการเปลี่ยนแปลงเป็นความสัมพันธ์แบบ 2 ช่วงต่อเนื่องกัน

Avila และ Silva (1998) ได้ศึกษาผลของความร้อนต่อการเปลี่ยนสีของเนื้อพีชบดที่อุณหภูมิ 110 – 135 °C โดยวัดค่าสีในระบบ L,a,b และคำนวนค่าความแตกต่างของสี (ΔE) แล้วคำนวนค่าพารามิเตอร์ทางจลศาสตร์ โดยใช้สมการ Arrhenius พบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า L, a, b, La/b และ ΔE เป็นความสัมพันธ์อันดับหนึ่ง

Ibarz at el. (1998) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลง a* และ ΔE^* ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของสีสามารถอธิบายได้ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดและขั้นตอนที่สองจากเม็ดสีถูกทำลาย ซุปผลแพร์จะสูญเสียสีเหลืองขณะที่สีแดงเพิ่มขึ้น การไฮโดรไลด์ของน้ำตาลเมื่ออุณหภูมิในการแปรรูปเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการลดน้ำตาลกลูโคสและฟรักโตส ซึ่งจะเป็นสารเริ่มต้นของปฏิกิริยาเมลลาร์ดโดยใช้เอนไซม์

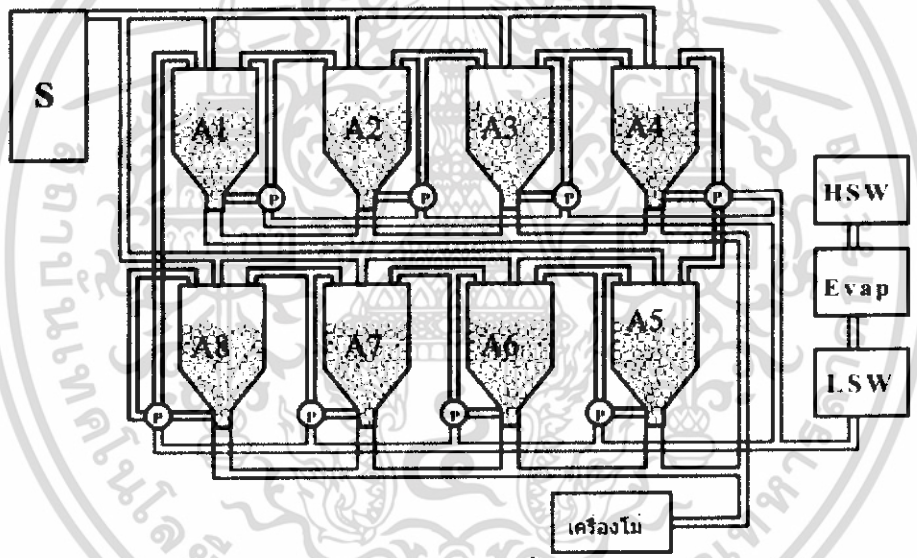
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3
วิธีการทดลอง

3.1 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การสำรวจการแช่ข้าวโพด

จากการสำรวจสภาวะการแช่ข้าวโพดตัวอย่างที่ บริษัท Friendship Corn Starch ตั้งอยู่ที่ 110 ถนนสุขุมวิท กม. 47.5 ต. บางปู อ. เมือง จ. สมุทรปราการ 10280 ตามกระบวนการผลิตปกติดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วยถังแช่ข้าวโพด 8 ใบ (A1 – A8)ใส่ข้าวโพดถังละ 60 ตันและเติมน้ำแช่ให้ท่วมข้าวโพดแล้วจึงทำตามกระบวนการผลิตและเก็บตัวอย่างน้ำแช่ข้าวโพดเพื่อมาทำการวิเคราะห์ผล



รูปที่3.1 กระบวนการผลิตน้ำแช่ข้าวโพด

1). S ถังดูดซึมซัลเฟอร์ 2). A1-A8 คือ ถังแช่ข้าวโพด 3).LSW (light steep water) น้ำแช่ข้าวโพดก่อนการระเหย 4).Evap (evaporator) เครื่องระเหย 5).HSW (heavy steep water) น้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น

การวัดค่าตั้งแต่เริ่มมีการแช่ข้าวโพดโดยนักศึกษากับพนักงานทำการเก็บวัดค่าทำการวัดที่ถัง กระบวนการแช่ข้าวโพดเริ่มจากนำกำมะถันผงชั่งน้ำหนักที่ต้องการแล้วเผาให้เกิดการซึมเข้ากับน้ำที่ถัง S ในรูปที่ 1 ให้ได้ปริมาณซัลเฟอร์เริ่มต้นอยู่ในช่วง 900 – 1000 ppm หลังจากนั้นนำสารละลายซัลฟูริค แช่พร้อมกับข้าวโพดที่ถัง A เรียงตามลำดับจาก A1 – A8 โดยคงอุณหภูมิน้ำแช่ข้าวโพดที่ 50 °C มีการวนน้ำทุกๆ 10 ชั่วโมง เมื่อน้ำแช่ข้าวโพดมีค่าความถ่วงจำเพาะที่ 3.5 – 4 โบเม ไปยังถังพัก LSW แล้วนำน้ำแช่ข้าวโพดที่ถังพัก LSW ไปทำการระเหยด้วยเครื่องระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Evaporator)แบบ4-effects น้ำแช่ข้าวโพดที่ผ่านการระเหยแล้วไปพักที่ถัง HSW มีการอุ่นน้ำแช่ข้าวโพดหลังผ่านการระเหยที่อุณหภูมิที่ 50°C เพื่อใช้ผสมกับกากข้าวโพด เมื่อผสมเป็นที่เรียบร้อยก็นำไปผ่านเครื่องทำแห้งแบบสองลูกกลิ้ง(Double drum drier) ก่อนบรรจุใส่กระสอบส่งขายให้กับโรงงานอาหารสัตว์

ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณซัลเฟอร์ต่อสีของน้ำแช่ข้าวโพด

2.1 คุณภาพของน้ำระหว่างการแช่น้ำข้าวโพดก่อนการระเหย

ในการสุ่มเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

การวัดค่าความถ่วงจำเพาะ

เขย่าน้ำแช่ข้าวโพดอย่างช้าๆ เทลงในกระบอกตวงขนาดความจุ 250 ml. และใช้อุปกรณ์วัดค่าความถ่วงจำเพาะ Hydrometer (modul 145 ช่วง 0 – 10 โบเม) พร้อมทั้งบันทึกอุณหภูมิ

การวัดปริมาณซัลเฟอร์

ใช้วิธีการไทเทรต โดยเตรียม stock solution จาก Potassium iodide 60 g ชั่งไอโอดีน 40 g นำมาละลายรวมกันด้วยน้ำกลั่น 900 ml. แล้วนำ stock solution 90 ml. ใส่ในกระบอกตวงขนาด 1000 ml. เติมน้ำกลั่นปรับปริมาณได้ 1000 ml. เขย่าให้เข้ากัน ปิเปตสารละลาย 20 ml. ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml. แล้วไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไทรโอซัลเฟส 0.05 normal ต้องไตเตรตให้ได้ 12.5 ml. พอดี แต่ถ้าไตเตรตแล้วเกิน 12.5 ml. ให้เติมน้ำกลั่น ถ้าไตเตรตแล้วไม่ถึง 12.5 ml. ให้เติม stock solution

นำสารละลายดังกล่าวมาไตเตรตกับน้ำแช่ข้าวโพดเพื่อคำนวนหาปริมาณซัลเฟอร์ โดยปริมาณสารละลายที่ใช้ในการไตเตรตหน่วยเป็น ml คูณด้วย100 จะได้ค่าปริมาณซัลเฟอร์หน่วยเป็น ppm

การวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ใช้วิธีการไตเตรต ระหว่างน้ำแช่ข้าวโพดหลังผ่านการระเหยประมาณ 10 g (+ 0.01 g) เทลงใน Kohlrausch flask ขนาด 200 ml.ด้วยน้ำกลั่นเติม phosphotungstic acid 2 g. และผสมให้เข้ากัน เจือจางด้วยน้ำกลั่น 201 mlใช้ amyl alcohol หยดลงไปผสมให้เข้ากันกรองโดยน้ำหนักผ่านกระดาษกรอง Whatman No. 1 ปิเปตสารละลาย Fehling's A 10.0 ml. และสารละลาย Fehling"s B 10.0 ml. ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml. เติมตัวอย่างที่เติมได้ 20.0 ml. และน้ำกลั่น 10 mlใส่ลูกแก้ว 2 ลูกเพื่อป้องกันการกระแทกในระหว่างการต้มเดือดและปิดปาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขวดด้วยกรวยแก้วเล็กหรือกระเปาะแก้ววางขวดลงบน hot plate ปรับความร้อนให้สารละลายเดือดใน 3 นาที และต้มต่อไปอีก 2 นาที (รวมเวลาให้ความร้อน 50 นาที) ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้องในอ่างน้ำแข็งหรือให้น้ำเย็นไหลผ่านเติมสารละลาย potassium iodide 30 % 10 ml. และสารละลาย Sulfuric acid 25 % 10 ml. ไตเตรตทันทีด้วยสารละลายมาตรฐาน sodium thiosulfate 01. N ใกล้จุดยุติ เติมสารละลายอินดิเคเตอร์น้ำแป้ง 1 ml. แล้วไตเตรตต่อจนกระทั่งสีน้ำเงินจาก starch – iodine ปรากฏหายไป ทำการทดสอบ blank 2 ครั้ง ในแบบเดียวกัน (Standard Analytical Methods of the Member Companies of Corn Industries Research Foundation A Division of Corn Refiners Association,Inc.)

$$\% \text{ Reducing Sugars แสดงในรูปของ Dextrose} = \frac{\text{mg. Dextrose} \times 20 \text{ ml.} \times 100}{\text{sample Wt. (g)} \times 20 \text{ ml.} \times 1000} \quad (3.1)$$

การวัดค่า pH

วัดค่าด้วย pH meter (Yokava , modul pH81, Japan)

2.2 คุณภาพของน้ำแช่น้ำข้าวโพดเข้มข้นหลังผ่านการระเหย

ปรับปริมาณซัลเฟอร์ของน้ำที่เข้าในกระบวนการแช่ข้าวโพดออกเป็น 3 ระดับคือ 910 , 950 และ 1050 ppm โดยทำการวัดค่าความถ่วงจำเพาะ , ปริมาณซัลเฟอร์ ,ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และ pHด้วยวิธีการเช่นเดียวกับหัวข้อ 2.1 ที่กล่าวมาข้างต้น

ตอนที่ 3 ผลของปริมาณซัลเฟอร์ต่อจลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสีน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น

เก็บน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงสี มีปริมาณซัลเฟอร์ 910 , 950 และ 1050 ppm มาทำการละลายที่อุณหภูมิห้องเพื่อศึกษาจลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นทำโดยบรรจุน้ำแช่ข้าวโพดในหลอดทดลองปริมาณ 10 ml ปิดหลอดทดลองด้วยฟิล์มพาราฟินเพื่อป้องกันการระเหยอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคือ 40 ,50 ,60 และ 70 °C ควบคุมอุณหภูมิโดยอ่างควบคุมอุณหภูมิชนิดใช้น้ำเป็นตัวกลางความร้อน (Memmert 854 Schwabach W-GERMAY ,Germay)ทำการวัดค่าสีด้วยเครื่อง Colourmeter (model J.C 801, Japan) ในระบบ C.I.E เพื่อวัดค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง(a*) และค่าสีเหลือง(b*) ตัวอย่างละ 2 หลอด โดยวัดค่าสีทุกๆ 6 ชั่วโมง จนครบ 24 ชั่วโมงแต่ละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62635

ตัวอย่างวัดหลอดละ 3 ซ้ำและคำนวนค่า ΔE ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างรวมของสีโดยเทียบกับสีของตัวอย่างเริ่มต้นที่ไม่ได้ให้ความร้อน

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2} \quad (3.2)$$

การนำผลการทดลองมาวิเคราะห์

ค่า k และ Ea เป็นค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของลักษณะของสีทางกระบวนการให้ความร้อน

1 ค่าคงที่ปฏิกิริยา (constant : k)

สมการ $A = A_0 e^{-kt}$ (3.3)

โดย A = ค่าสีสุดท้าย

A_0 = ค่าสีเริ่มต้น

k = ค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยา (1/t)

t = ระยะเวลา (นาที)

หาค่าคงที่ปฏิกิริยาจากความสัมพันธ์แบบปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ln y) กับ (t) โดย y คือค่าสี L^* , a^* , b^* ที่เวลาใดๆ เพื่อหาค่า (constant : k) ที่อุณหภูมิ 40 , 50 , 60 และ 70 โดยความชันของกราฟที่ได้คือค่า –k

2 ค่าพลังงานกระตุ้น (activation energy : E_a)

สมการ $k = A_0 e^{\frac{-Ea}{RT}}$ (3.4)

โดย Ea = พลังงานกระตุ้น (kcal/kmol)

R = ค่าคงที่ของ gas = 1.9872 (kcal/kmol . °K)

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (°K)

จากสมการ Arrhenius เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง ln k กับ 1/T เพื่อหาค่า (activation energy : E_a) โดยค่าความชันที่ได้จากกราฟ คือ –Ea/R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 4 ศึกษาผลของความหนืดของน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น

การวัดค่าความหนืด

น้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นที่ผ่านการระเหยที่มีอุณหภูมิสูงมาทำการแช่เย็นด้วยน้ำแข็งเพื่อลดอุณหภูมิของน้ำแช่ข้าวโพดนำน้ำแช่ข้าวโพดใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1000 ml โดยใส่น้ำแช่ข้าวโพดปริมาณ 500 ml ทำการควบคุมอุณหภูมิน้ำแช่ข้าวโพดในอ่างควบคุมอุณหภูมิชนิดใช้น้ำเป็นตัวกลางความร้อน โดยทำการคงอุณหภูมิที่ 25 และ 45°C วัดความหนืดด้วย Rotational Viscometer (Brookfield RVT DV-1) อ่านค่า%Torqe โดยทำการปรับความเร็วรอบการหมุนของใบพัด ตั้งแต่ 0.5 ,1 ,2.5 ,5 ,10 ,20 ,50 และ100 rpm แล้วบันทึกค่า

ค่า n (Flow Behavior Index)

นำค่า %Torqe มาคำนวนหาค่า apparent viscosity โดยใช้ %Torqe คูณกับ conversion factor จากตาราง ค.1 ของความเร็วรอบต่างๆของใบพัดเบอร์ 1 นำผลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่าง log apparent viscosity กับ log rpm ซึ่งความชันที่ได้มีค่าเป็น n -1 (rpm แปรผันตรงกับ shear rate) ค่า n คือ Flow Behavior Index

ค่า k (consistency index)

นำค่า n มาหาค่า conversion factor เพื่อหาค่า shear rate

$$\text{shear rate} = \text{conversion factor จากตาราง ค.2} \times n \times \text{rpm} \qquad (3.5)$$

และจากความสัมพันธ์

$$\text{apparent viscosity} = \text{shear stress}/\text{shear rate} \qquad (3.6)$$

เขียนกราฟระหว่าง shear stress กับ shear rate บนกราฟ log – log จะได้ค่าจุดตัดแกน y เท่ากับ k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การสำรวจการแช่ข้าวโพด

ปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อคุณภาพสีของน้ำแช่ข้าวโพดซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ปัจจัย คือปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ได้แก่ ความอ่อนแก่ของข้าวโพด และขนาดเมล็ดข้าวโพด และปัจจัยที่ควบคุมได้ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะและ ปริมาณซัลเฟอร์เริ่มต้น

ในช่วงก่อนการวิจัยทางโรงงานผู้ผลิตยังไม่มีการกำหนดค่าปัจจัยที่มีผลต่อสีของน้ำแช่ข้าวโพด ทำให้สีน้ำแช่ข้าวโพดที่ได้มีความแปรปรวน จึงเลือกทำการศึกษาปัจจัยที่ควบคุมได้ คือ กำหนดปริมาณซัลเฟอร์ให้อยู่ในช่วง 910 ถึง 1050 ppm และ ค่าความถ่วงจำเพาะในช่วง 3.5 ถึง 4 โบเม

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลของตัวอย่าง ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ pH ความชื้น และปริมาณโปรตีนของน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นที่ใช้ในการทดลอง

ปริมาณซัลเฟอร์เริ่มต้น (ppm)	910	950	1050
ค่าความถ่วงจำเพาะ (โบเม)	21.2	21.1	21.2
pH	4.04	4.32	4.02
ความชื้น (%)	61.85	57.9	61.85
ปริมาณโปรตีน (%)	46.39	48.4	46.39

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลของน้ำแช่ข้าวโพดเริ่มต้นที่มีปริมาณซัลเฟอร์ 910 950 และ 1050 ppm มีค่าความถ่วงจำเพาะเป็น 21.2 21.1 และ 21.2 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่ต่างกันมากนัก ค่า pH เป็น 4.04 4.32 และ 4.02 ตามลำดับ ค่าความชื้นเป็น 61.85 57.9 และ 61.85 ตามลำดับและปริมาณโปรตีนเป็น 46.39 48.4 และ 46.39 ตามลำดับ พบว่าที่ปริมาณซัลเฟอร์ 950 ppm มีค่า pH และปริมาณโปรตีนสูงสุด แต่มีความชื้นต่ำ ซึ่งปริมาณโปรตีนที่สูงอาจเกิดจากการที่เมล็ดข้าวโพดมีปริมาณโปรตีนที่สูงเมื่อนำมาเข้าสู่กระบวนการแช่โปรตีนจึงแยกออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

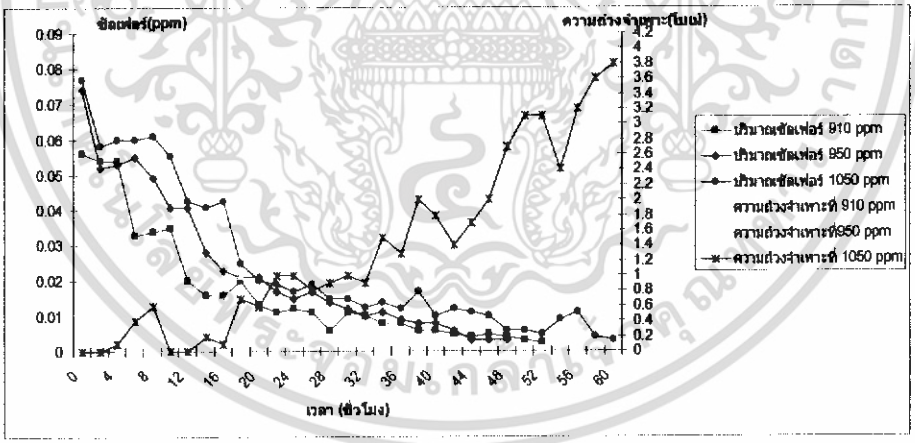
ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณซัลเฟอร์ต่อสีของน้ำแช่ข้าวโพดคุณภาพของน้ำระหว่างการแช่น้ำข้าวโพดที่ LSW

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลคุณภาพและสภาวะของการแช่ข้าวโพดที่ใช้ในการทดลอง

ปริมาณซัลเฟอร์เริ่มต้น (ppm)	910	950	1050
ความถ่วงจำเพาะระหว่างการแช่น้ำข้าวโพด(โบเม)	3.8	4	3.8
ปริมาณซัลเฟอร์สุดท้ายหลังการแช่ (ppm)	30	30	25
เวลาในการแช่ (ชั่วโมง)	62	62.3	64.15

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าปริมาณซัลเฟอร์เริ่มต้นที่ 910 950 และ 1050 ppm โดยนำน้ำแช่ข้าวโพดไปผ่านการระเหยหลังน้ำแช่ข้าวโพดมีความถ่วงจำเพาะ 3.8 4 และ 3.8 ตามลำดับ ซึ่งใช้เวลาในการแช่ 62 62.3 และ 64.15 ชั่วโมง ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงซัลเฟอร์กับความถ่วงจำเพาะ



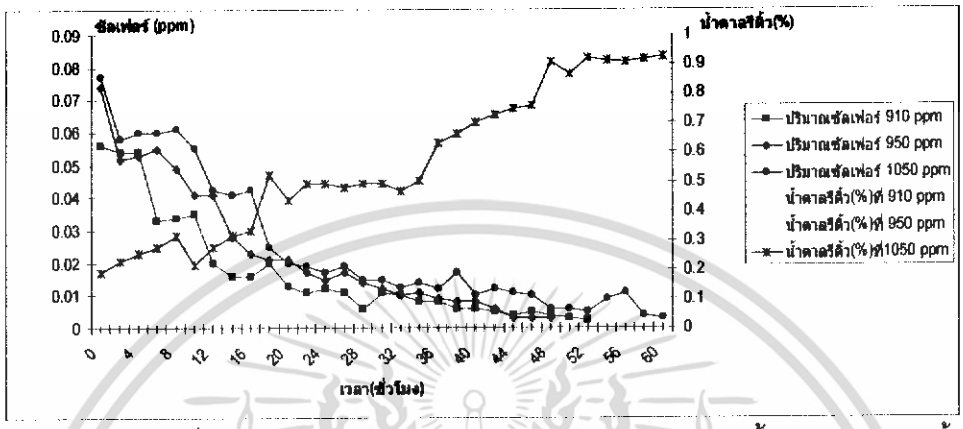
รูปที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงเวลาในการแช่ข้าวโพดกับปริมาณซัลเฟอร์ , ค่าความถ่วงจำเพาะ (โบเม่) ที่ปริมาณ ซัลเฟอร์ 910 ,950 , 1050 ppm

จากกราฟที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงเวลาในการแช่ข้าวโพดกับปริมาณซัลเฟอร์ ค่าความถ่วงจำเพาะที่ปริมาณซัลเฟอร์ 910, 950 และ 1050 ppm พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณซัลเฟอร์มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าความถ่วงจำเพาะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เพราะเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณซัลเฟอร์ระเหยออกไปเนื่องจากความร้อนที่ใช้การแช่ และปริมาณของแข็งที่ออกมาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมล็ดข้าวโพดมีส่วนประกอบของโปรตีน น้ำตาล และองค์ประกอบอื่นๆออกมาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้น

การเปลี่ยนแปลงปริมาณซัลเฟอร์กับน้ำตาลรีดิวซ์(%)



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงเวลาในการแช่ข้าวโพดกับปริมาณซัลเฟอร์ของน้ำแช่ข้าวโพด กับ น้ำตาลรีดิวซ์ (%)

จากกราฟ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงเวลาในการแช่ข้าวโพดกับปริมาณซัลเฟอร์,น้ำตาลรีดิวซ์(%) ที่ปริมาณซัลเฟอร์ 910, 950 และ 1050 ppm พบว่าปริมาณซัลเฟอร์มีแนวโน้มลดลง แต่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(%)เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป จากกราฟ ที่ซัลเฟอร์ 1050 ppm มีน้ำตาลรีดิวซ์สูง ทำให้ได้สีน้ำแช่ข้าวโพดสีเข้มกว่าที่ซัลเฟอร์ 910 ppm เพราะปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำแช่ข้าวโพดมีผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะจึงมีผลกระทบต่อสีน้ำแช่ข้าวโพด

ตอนที่ 3 ผลของปริมาณซัลเฟอร์ต่อจลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสีน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น

ตัวอย่างน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นมีค่าสีเริ่มต้นหลังแช่เยือกแข็งแล้วนำมาละลายที่อุณหภูมิห้องมีค่าเริ่มต้น L* a* b* โดยเฉลี่ยดังแสดงในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ย L* a* b* เริ่มต้นของน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น (25 °C)

ค่าสี	ปริมาณซัลเฟอร์ (ppm)		
	910	950	1050
L*	27.73±0.00	23.83±0.05	26.62±0.00
a*	12.92±0.11	13.04±0.32	13.22±0.06
b*	25.74±0.05	26.73±0.87	28.14±0.00

จากตารางที่ 4.3 แสดงค่าสีเริ่มต้นโดยเฉลี่ยในระบบ C.I.E :L* a* b* ของน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นที่อุณหภูมิ 25 °C ของปริมาณซัลเฟอร์เริ่มต้นที่ 910 950 และ 1050 ppm ซึ่งพบว่าค่า L* ที่ปริมาณซัลเฟอร์ 950 ppm มีค่าต่ำแสดงว่าน้ำแช่ข้าวโพดที่ปริมาณซัลเฟอร์ 950 ppm มีสีเข้มที่สุด ซึ่งคาดว่าเกิดจากการที่นำน้ำแช่ข้าวโพดไปผ่านการระเหยด้วยค่าความถ่วงจำเพาะ 4.0โบเม จึงให้สีน้ำแช่ข้าวโพดที่เข้มกว่า

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ย L* a* b*และΔE ของน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นที่อุณหภูมิ 40 ,50 ,60 และ70°C

ปริมาณซัลเฟอร์ (ppm)	ที่อุณหภูมิ 40 (°C) เวลาที่ให้ความร้อน (hr)	ค่าสี L*	a*	b*	ΔE
910	6	24.38±0.23	12.87±0.26	22.735±1.23	4.49
	12	24.04±0.61	12.54±0.35	22.61±0.12	4.85
	18	23.67±2.46	12.65±0.79	23.35±3.33	4.71
	24	24.16±0.49	12.49±0.36	23.41±0.33	4.28
950	6	24.08±0.24	13.32±0.37	23.43±0.28	3.32
	12	24.82±0.38	13.69±0.17	23.21±0.43	3.71
	18	24.26±0.09	14.04±0.13	23.82±0.41	3.10
	24	24.05±0.16	14.85±0.15	24.67±0.89	2.75
1050	6	24.58±0.22	12.88±0.21	23.11±0.85	5.44
	12	24.92±0.33	12.66±0.41	23.48±0.66	4.99
	18	24.49±0.20	13.24±0.10	25.75±0.32	3.19
	24	24.57±0.18	12.88±0.30	25.20±0.16	3.59

จากการบันทึกผลที่อุณหภูมิ 40 °C ปริมาณซัลเฟอร์ 950 ppm มี ΔE น้อยที่สุดเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงเป็น 2.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณซัลเฟอร์ (ppm)	ที่อุณหภูมิ 50(°C) เวลาที่ให้ความร้อน (hr)	ค่าสี L*	a*	b*	ΔE
910	6	21.94±0.114	11.97±0.43	21.23±0.56	7.40
	12	22.97±1.267	11.68±0.42	20.28±1.66	7.35
	18	20.72±0.35	11.83±0.11	20.77±0.92	8.65
	24	20.69±0.61	11.49±0.42	20.76±0.28	8.73
950	6	22.66±0.30	13.68±0.12	23.27±0.31	3.70
	12	22.28±0.16	13.08±0.40	20.67±0.13	6.25
	18	21.07±0.08	13.09±0.15	23.01±0.45	4.63
	24	22.71±0.20	14.36±0.32	25.53±0.80	2.11
1050	6	23.08±0.16	12.40±0.35	21.15±0.59	7.87
	12	22.25±0.09	12.125±0.09	21.00±0.67	8.44
	18	22.09±0.11	12.40±0.21	22.85±0.88	7.01
	24	21.89±0.35	13.34±0.65	22.32±0.23	7.49

จากการบันทึกผลที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณซัลเฟอร์ 950 ppm มี ΔE น้อยที่สุดเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงเป็น 2.11

ปริมาณซัลเฟอร์ (ppm)	ที่อุณหภูมิ 60 (°C) เวลาที่ให้ความร้อน (hr)	ค่าสี L*	a*	b*	ΔE
910	6	16.45±1.06	9.78±0.66	14.68±1.06	16.10
	12	19.14±0.76	10.05±0.24	17.58±0.12	12.18
	18	16.57±0.56	9.84±0.26	16.23±0.60	14.98
	24	17.49±0.44	9.72±0.17	15.29±1.07	14.97
950	6	17.90±0.48	11.84±0.46	15.74±0.84	12.54
	12	18.09±0.01	10.93±0.33	16.44±0.35	11.96
	18	17.1±0.19	11.15±0.28	15.91±0.13	12.88
	24	17.94±0.39	10.71±0.67	14.38±0.60	13.87
1050	6	19.45±0.23	11.27±0.25	18.56±0.28	12.12
	12	18.25±0.39	10.07±0.23	17.67±1.04	13.77
	18	17.19±0.02	9.66±0.36	16.74±0.89	15.21
	24	16.01±0.62	10.02±0.72	16.65±0.53	15.95

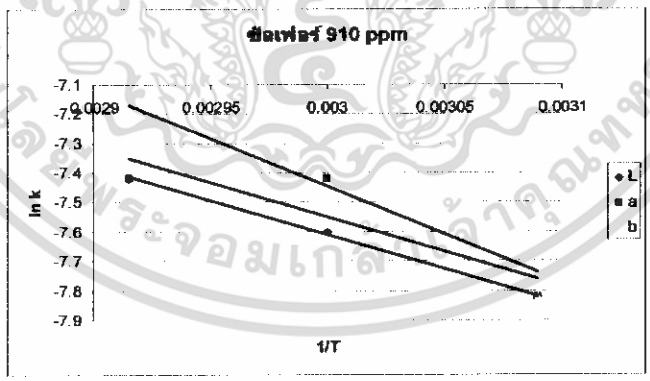
จากการบันทึกผลที่อุณหภูมิ 60 °C ปริมาณซัลเฟอร์ 950 ppm มี ΔE น้อยที่สุดเมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมงเป็น 11.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณซัลเฟอร์ (ppm)	ที่อุณหภูมิ 70 (°C) เวลาที่ให้ความร้อน (hr)	ค่าสี L*	a*	b*	ΔE
910	6	15.28±0.16	9.51±0.21	14.43±0.27	17.15
	12	15.96±0.82	8.05±0.70	14.16±0.84	17.21
	18	13.63±1.20	6.52±0.66	11.68±1.55	20.91
	24	13.24±0.97	6.79±0.39	10.83±1.46	21.67
950	6	14.01±0.51	9.17±0.44	11.51±0.47	18.51
	12	11.71±0.00	6.86±0.63	9.87±0.93	21.66
	18	10.62±0.07	5.60±0.25	8.28±0.19	23.87
	24	9.59±0.65	4.69±0.51	7.13±0.32	25.62
1050	6	15.96±0.24	8.69±0.36	13.03±0.40	19.03
	12	14.08±0.51	7.68±0.57	11.83±0.33	21.30
	18	11.28±0.78	6.04±0.12	10.07±0.15	24.77
	24	10.82±0.45	5.87±0.29	9.91±0.18	25.214

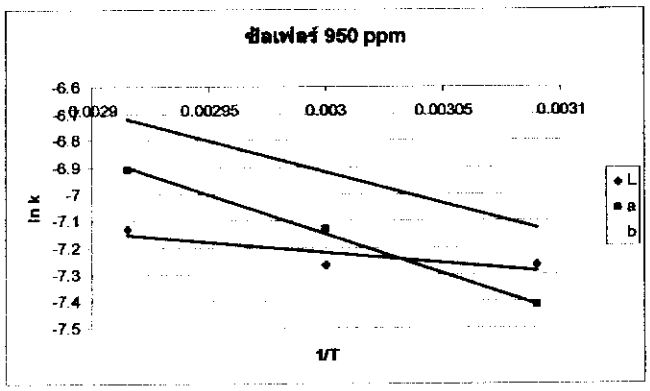
จากการบันทึกผลที่อุณหภูมิ 70 °C ปริมาณซัลเฟอร์ 950 ppm มี ΔE น้อยที่สุดเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมงเป็น 17.15

จากตารางที่ 4.4 สรุปได้ว่าค่า ΔE ของน้ำแช่ข้าวโพดที่ระดับปริมาณซัลเฟอร์ 950 ppm ที่อุณหภูมิ 50 °C ภายใต้การเก็บรักษาด้วยความร้อนเมื่อผ่านไป 24 ชั่วโมงมีค่าน้อยที่สุด คือ 2.11 ซึ่งจะให้ผลของการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำแช่ข้าวโพดหลังผ่านการระเหยน้อยที่สุด

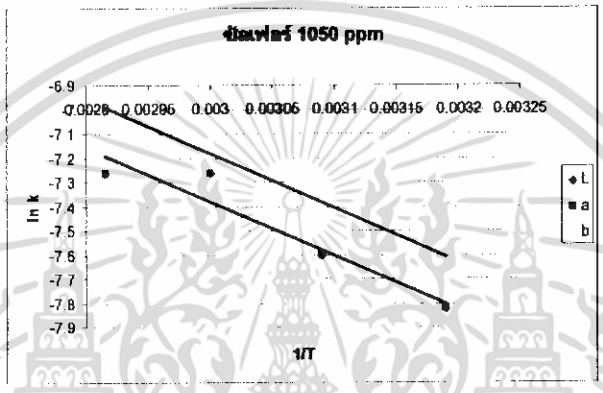


(a)

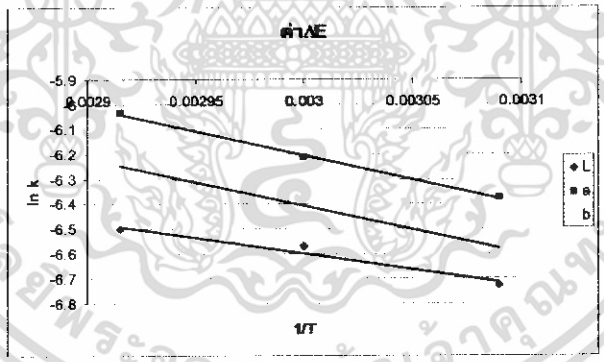
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)



(C)



(d)

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่า ln(k) กับ 1/ T (a) **ปริมาณซัลเฟอร์** 910 ppm (b) ปริมาณซัลเฟอร์ 950 ppm (C) ปริมาณซัลเฟอร์ 1050 ppm (d) ค่าความแตกต่างรวมของสี (ΔE)

นำค่า**คงที่ของการเกิดปฏิกิริยาที่ช่วงอุณหภูมิ** 40 – 70 °C **มาเขียนกราฟระหว่าง** ln(k) กับ**ส่วนกลับของอุณหภูมิ** (1/T) **เพื่อคำนวนหาค่าพลังงานกระตุ้นตามสมการ** Arrhenius (**สมการที่** 3.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่า Ea ของสีในระบบ CIE ของ L* a* b* กับ Δ

ปริมาณซัลเฟอร์ (ppm)	T (°C)	L*		a*		b*		ΔE	
		k (min^{-1})	R^2	k (min^{-1})	R^2	k (min^{-1})	R^2	k (min^{-1})	R^2
910	40	5×10^{-4}	0.94	3×10^{-4}	0.91	5×10^{-4}	0.86	13×10^{-4}	0.92
	50	4×10^{-4}	0.94	4×10^{-4}	0.95	4×10^{-4}	0.97	12×10^{-4}	0.99
	60	5×10^{-4}	0.97	6×10^{-4}	0.89	7×10^{-4}	0.97	14×10^{-4}	0.98
	70	6×10^{-4}	0.99	6×10^{-4}	0.90	7×10^{-4}	0.94	15×10^{-4}	0.98
Ea(kcal/mol)		4607.32*	0.99	5434.19	0.91	6413.48*	0.76	1235.12	0.58
950	40	5×10^{-4}	0.94	4×10^{-4}	0.79	7×10^{-4}	0.90	18×10^{-4}	0.90
	50	7×10^{-4}	0.91	6×10^{-4}	0.85	8×10^{-4}	0.90	17×10^{-4}	0.99
	60	7×10^{-4}	0.89	8×10^{-4}	0.83	10×10^{-4}	0.90	20×10^{-4}	0.97
	70	8×10^{-4}	0.87	10×10^{-4}	0.79	12×10^{-4}	0.83	24×10^{-4}	0.82
Ea(kcal/mol)		3099.63	0.84	6618.77	0.99	3980.76	0.98	2179.36	0.73
1050	40	4×10^{-4}	0.97	4×10^{-4}	0.86	5×10^{-4}	0.89	12×10^{-4}	0.99
	50	5×10^{-4}	0.97	5×10^{-4}	0.91	6×10^{-4}	0.92	13×10^{-4}	0.99
	60	7×10^{-4}	0.95	7×10^{-4}	0.87	8×10^{-4}	0.83	19×10^{-4}	0.99
	70	7×10^{-4}	0.92	7×10^{-4}	0.83	9×10^{-4}	0.91	18×10^{-4}	0.99
Ea(kcal/mol)		4405.22	0.91	4405.22	0.91	4456.49	0.98	3476.41	0.80

* หมายเหตุ ในการคำนวนค่า Ea ของค่าดังกล่าวไม่ได้นำค่า k ที่ 40 °C มาใช้คิดคำนวน

จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่า k ของค่าสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ อุณหภูมิสูงขึ้น โดยค่า k ของค่าสี L* a* b* ของทุกระดับปริมาณซัลเฟอร์ไม่มีแนวโน้มที่แน่นอน แต่ค่า Ea ของค่าความแตกต่างของสี (ΔE) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณซัลเฟอร์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่า Ea ของค่า ΔE ที่ปริมาณซัลเฟอร์ 1050 ppm มีค่ามากที่สุด คือ 3476.41 kcal/mol สามารถอธิบายได้ว่าพลังงานกระตุ้นในการเกิดปฏิกิริยาของน้ำแช่ข้าวโพดหลังผ่านการระเหยนั้นมีมาก ซึ่งเมื่อนำไปผ่านการให้ความร้อนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีได้ยาก

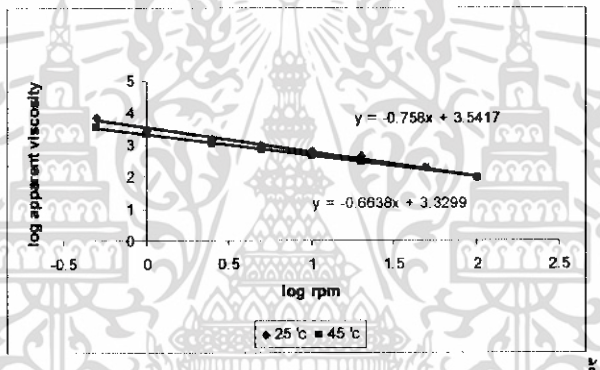
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 4 ศึกษาผลของความหนืดของน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น

สภาวะในการเก็บน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นของโรงงานมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 50 – 60 °C ซึ่งค่าอุณหภูมิที่สูงจะเป็นการเร่งให้เกิดปฏิกิริยา Maillard โดยทางโรงงานเข้าใจว่าถ้าเก็บรักษาน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นด้วยอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 50 °C จะมีผลให้น้ำแช่ข้าวโพดมีความหนืดสูงและเกิดเจล ซึ่งจะเกิดปัญหาการแข็งตัวของเจลในระบบปั๊มของน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้น จึงทำการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำน้ำแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 25 และ 45°C เพื่อพิจารณาค่าความหนืดที่อุณหภูมิดังกล่าวว่าสามารถเก็บรักษาน้ำแช่ข้าวโพดได้โดยไม่เกิดเจล และ ไม่เป็นการเร่งให้เกิดปฏิกิริยา Maillard เนื่องจากอุณหภูมิสูง

การหาค่าความหนืด

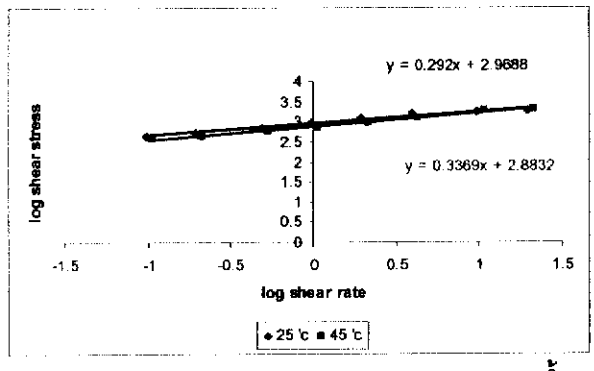
สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log Apparent viscosity กับ log rpm



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง log Apparent viscosity กับ log rpm ของน้ำแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 25 กับ 45 °C

เมื่อได้ความชันจากกราฟ apparent viscosity กับ log rpm และนำไปหาค่า n จากความสัมพันธ์ n – 1 = m โดยผลจากการทดลองน้ำแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่า n = 0.242 และน้ำแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 45 °C มีค่า n = 0.3362 ซึ่งมีค่า n < 1 และ apparent viscosity มีค่าลดลงแต่ shear rate มีค่าเพิ่มขึ้นจัดเป็น non - newtonian fluid ประเภท shear thinning fluid โดยค่า n ที่อุณหภูมิ 45 °C มีความคงที่ของการไหลที่มากกว่าที่อุณหภูมิ 25 °Cทำให้ shear rate ลดลงช้ากว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง log shear stress กับ log shear rate น้ำแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 25 กับ 45 °C

จุดตัดแกน y จากกราฟ log shear stress กับ log shear rate คือ ค่า k โดยผลจากการทดลอง น้ำแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่า k = 2.9688 น้ำแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 45 °C มีค่า k = 2.8832 แสดงให้เห็นว่าจะใช้แรงในการกวนน้ำแช่ข้าวโพดน้อยลงเมื่อน้ำแช่มีอุณหภูมิสูงเป็นเพราะว่าน้ำแช่มีความหนืดมากเมื่ออยู่ในอุณหภูมิต่ำ

จากการพิจารณาค่า n และค่า k ของน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นที่อุณหภูมิ 25 และ 45 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 45°C สามารถเก็บรักษาน้ำแช่ข้าวโพดได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 25 °C เนื่องจากมีความหนืดน้อยกว่าทำให้ไม่เป็นปัญหาต่อระบบปั๊มของน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นและลดผลกระทบจากการเร่งปฏิกิริยา(Maillard)ที่อุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผล

คุณภาพด้านลักษณ์สีของน้ำแช่ข้าวโพด

การทดลองเก็บรักษาน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นที่อุณหภูมิ 60 และ 70 °C มีอัตราเปลี่ยนแปลงของค่าความแตกต่างรวมของสีมากกว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 50°C พบว่าที่ระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันมีผลต่ออัตราเปลี่ยนแปลงค่าสี L* a* b* และ ΔE เนื่องจากอุณหภูมิสูงจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยา Maillard ทำให้สีของน้ำแช่ข้าวโพดเข้มข้นเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

ค่า Ea ของค่า ΔE ของน้ำแช่ข้าวโพดที่ระดับปริมาณซัลเฟอร์ 1050 ppm มีค่าสูงที่สุด คือ 3476.41 kcal/mol อธิบายได้ว่าพลังงานกระตุ้นในการเกิดปฏิกิริยาของน้ำแช่ข้าวโพดหลังผ่านการระเหยมีมากซึ่งเมื่อนำไปผ่านการให้ความร้อนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีได้ยาก

คุณภาพด้านความหนืดของน้ำแช่ข้าวโพด

พฤติกรรมของน้ำแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 25 และ 45 °C จัดเป็น non-newtonian fluid ประเภท shear thinning เนื่องจากมีค่า $n < 1$ และค่า k ของน้ำข้าวแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิ 45 °C ซึ่งแสดงว่าความหนืดของน้ำแช่ข้าวโพดลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ . 2546. เทคโนโลยีของแป้ง .กรุงเทพฯ : สำนักพิมพมหาวิทยาลัยเกษตร .

ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ ,พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และสาธิป รัตนภาสกร . 2538. สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของชีววัศดุ.ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร.คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.หน้า 158 -170

นิธิยา รัตนาปนนท์ . 2539. เคมีอาหาร .ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ .เชียงใหม่ . หน้า 326 - 332

Ibarz A.,Pagan.J and Gasza S., 1998 , Kinetice model for color change in peer puree during heating at relatively high temperature . Journal of Food Engneering , pp. 415-422.

[online].Available : http://class.fst.ohio-state.edu/ . 2006 .Non-enzymatic browning ; The Maiilard Reaction .

[online].Available : kanchanapisek.or.th/ kp6/BOOK3/chapter2/t3-2-s.htm . 2006. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ ; ข้าวโพด .

[online].Available : http://www.sciencedirect.com . Ya-Jane Wang, Van-Den Truong and Linfeng Wang. 2000 . Structures and rheological properties of corn starch as affected by acid hydrolysis.

[online].Available : http://www.sciencedirect.com . X. Shi and J. N. BeMiller. 2000. Effect of sulfate and citrate salts on derivatization of amylose and amylopectin during hydroxypropylation of corn starch.

[online].Available : http://www.sciencedirect.com . Oscar E. Perez, Monica Haros, Constantino Suarez and Cristina M. Rosell .2003. Effect of steeping time on the starch properties from ground whole corn .

[online].Available : http://www.sciencedirect.com .Yi-Lin Chung and Hsi-Mei Lai. 2006 . Molecular and granular characteristics of corn starch modified by HCl-methanol at different temperatures .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[online].Available : http://www.doae.go.th/library/html/detail/cornn/corn_b.htm. 2006 .ส่วนประกอบและคุณค่าทางอาหารของข้าวโพด .

Mitschka P.,1982. Simple conversion of Brookfiel R.V.T. reading into viscosity functions. Rheol.Acts 21 : 207-209

Toledo R.T.,1991 . Fundamental of Food Engineering.2nd edition. Van Nostrand Reinhold .New York.

Avila,I.M.L.B. and Silva , C.L.M. 1998 .Modelling kinetics of thermal degradation of color in peach puree .Joulnal of Food Engineering. 39 :161-166

Barreiro, J.A., M., and Sandoval , A.J. Kinetices of color change of double concentrated tomato paste during thermal treatmet . Joulnal of Food Engineering .33 :359-371

Lazano ,J.E. and Ibarz ,A. 1995 . Colour change in concentrated fruit pulp during heating at high temperature . Joulnal of Food Engineering .31 :365-373

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

- คุณภาพและสภาวะของการแช่ข้าวโพด

ตารางที่ ก.1 แสดงข้อมูลคุณภาพและสภาวะของการแช่ข้าวโพดที่ปริมาณซัลเฟอร์ต่างๆกับน้ำตาลรีดิวซ์(%)

เวลา	ปริมาณซัลเฟอร์ 910 ppm	ปริมาณซัลเฟอร์ 950 ppm	ปริมาณซัลเฟอร์ 1050 ppm	น้ำตาลรีดิวซ์ (%)ที่ 910 ppm	น้ำตาลรีดิวซ์ (%)ที่ 950 ppm	น้ำตาลรีดิวซ์ (%)ที่1050 ppm
0	0.056	0.074	0.077	0.2142	-	0.1901
2	0.054	0.052	0.058	0.1810	-	0.2289
4	0.054	0.053	0.060	0.1925	-	0.2565
6	0.033	0.055	0.060	0.2555	-	0.2780
8	0.034	0.049	0.061	0.2785	0.2532	0.3172
10	0.035	0.041	0.0555	0.3215	0.3099	0.2185
12	0.02	0.041	0.0425	0.3308	0.3855	0.2759
14	0.016	0.028	0.041	0.3718	0.3862	0.3143
16	0.016	0.023	0.0425	0.3899	0.4376	0.3331
18	0.02	0.021	0.025	0.4034	0.515	0.5238
20	0.013	0.021	0.020	0.3909	0.5204	0.4371
22	0.011	0.017	0.019	0.4798	0.5461	0.4945
24	0.012	0.015	0.017	0.4714	0.5537	0.4942
26	0.011	0.017	0.019	0.4715	0.5437	0.4787
28	0.006	0.014	0.015	-	0.4273	0.4928
30	0.011	0.012	0.015	0.5403	0.4012	0.4937
32	0.010	0.010	0.0125	0.5996	0.3633	0.4683
34	0.008	0.011	0.014	0.6247	0.3752	0.5002
36	0.008	0.009	0.012	0.6327	0.4304	0.6300
38	0.006	0.008	0.017	0.6026	0.5431	0.6634
40	0.006	0.008	0.01	0.7347	0.5519	0.7020
42	0.005	0.006	0.012	0.7195	0.6224	0.7270
44	0.004	0.003	0.011	0.7338	0.6383	0.7479
46	0.005	0.003	0.010	0.6612	0.7128	0.7581
48	0.004	0.003	0.006	0.662	-	0.9110
50	0.003	-	0.006	0.6524	-	0.8671
52	0.0025	-	0.005	0.6671	-	0.9214
54	-	-	0.009	-	-	0.9131
56	-	-	0.011	-	-	0.9112
58	-	-	0.004	-	-	0.9165
60	-	-	0.003	-	-	0.9251

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 แสดงข้อมูลคุณภาพและสภาวะของการแช่ข้าวโพดที่ปริมาณซัลเฟอร์ต่างๆกับ pH

เวลา	ปริมาณซัลเฟอร์ 910 ppm	ปริมาณซัลเฟอร์ 950 ppm	ปริมาณซัลเฟอร์ 1050 ppm	pH ที่ 910 ppm	pH ที่ 950 ppm	pH ที่ 1050 ppm
0	0.056	0.074	0.077	3.61	3.28	3.34
2	0.054	0.052	0.058	3.6	3.48	3.44
4	0.054	0.053	0.06	3.76	3.44	3.47
6	0.033	0.055	0.06	3.75	3.49	3.53
8	0.034	0.049	0.061	3.76	3.53	3.69
10	0.035	0.041	0.0555	3.82	3.56	3.51
12	0.020	0.041	0.0425	3.74	3.61	3.56
14	0.016	0.028	0.041	3.71	3.72	3.58
16	0.016	0.023	0.0425	3.67	3.75	3.61
18	0.020	0.021	0.025	3.65	3.77	3.68
20	0.013	0.021	0.02	3.64	3.76	3.69
22	0.011	0.017	0.019	3.66	3.84	3.73
24	0.012	0.015	0.017	3.65	3.79	3.72
26	0.011	0.017	0.019	3.62	3.74	3.77
28	0.006	0.014	0.015	3.92	3.65	3.71
30	0.011	0.012	0.015	3.67	3.68	3.66
32	0.010	0.010	0.0125	3.72	3.73	3.64
34	0.008	0.011	0.014	3.74	3.64	3.65
36	0.008	0.009	0.012	3.74	3.70	3.68
38	0.006	0.008	0.017	3.79	3.78	3.7
40	0.006	0.008	0.01	3.85	3.98	3.72
42	0.005	0.006	0.012	3.87	3.82	3.74
44	0.004	0.003	0.011	3.85	3.83	3.78
46	0.005	0.003	0.01	3.86	3.90	3.77
48	0.004	0.003	0.006	3.88	3.88	3.93
50	0.003	-	0.006	3.81	-	3.97
52	0.0025	-	0.005	3.80	-	3.98
54	-	-	0.009	-	-	3.85
56	-	-	0.011	-	-	3.98
58	-	-	0.004	-	-	3.94
60	-	-	0.003	-	-	3.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แสดงข้อมูลคุณภาพและสภาวะของการแช่ข้าวโพดที่ปริมาณซัลเฟอร์ต่างๆกับความถ่วงจำเพาะ

เวลา	ปริมาณซัลเฟอร์ 910 ppm	ปริมาณซัลเฟอร์ 950 ppm	ปริมาณซัลเฟอร์ 1050 ppm	ความถ่วงจำเพาะที่ 910 ppm	ความถ่วงจำเพาะที่ 950 ppm	ความถ่วงจำเพาะที่ 1050 ppm
0	0.056	0.074	0.077	0	0.2	0
2	0.054	0.052	0.058	0.2	0	0
4	0.054	0.053	0.06	0	0.5	0.1
6	0.033	0.055	0.06	0	0.4	0.4
8	0.034	0.049	0.061	0	0	0.6
10	0.035	0.041	0.0555	0	0	0
12	0.02	0.041	0.0425	0.5	0.3	0
14	0.016	0.028	0.041	0.5	0.5	0.2
16	0.016	0.023	0.0425	0.9	0.7	0.1
18	0.02	0.021	0.025	1.0	0.5	0.7
20	0.013	0.021	0.02	0.8	0.5	0.6
22	0.011	0.017	0.019	1.1	0.9	1.0
24	0.012	0.015	0.017	1.3	0.8	1.0
26	0.011	0.017	0.019	1.5	1.0	0.8
28	0.006	0.014	0.015	2.0	1.5	0.9
30	0.011	0.012	0.015	1.1	1.4	1.0
32	0.010	0.01	0.0125	1.4	1.8	0.9
34	0.008	0.011	0.014	1.7	2.1	1.5
36	0.008	0.009	0.012	1.8	1.8	1.3
38	0.006	0.008	0.017	2.3	2.2	2.0
40	0.006	0.008	0.01	2.4	2.5	1.8
42	0.005	0.006	0.012	2.9	2.9	1.4
44	0.004	0.003	0.011	3	3.2	1.7
46	0.005	0.003	0.01	3.2	4.0	2.0
48	0.004	0.003	0.006	2.7	-	2.7
50	0.003	-	0.006	3	-	3.1
52	0.0025	-	0.005	3.8	-	3.1
54	-	-	0.009	-	-	2.4
56	-	-	0.011	-	-	3.2
58	-	-	0.004	-	-	3.6
60	-	-	0.003	-	-	3.8

* หมายเหตุ ค่าที่ใช้สัญลักษณ์ (-) หมายถึง ไม่ได้มีการเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

- คุณภาพด้านสี

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลด้านคุณภาพสีของน้ำแช่ข้าวโพดที่ปริมาณซัลเฟอร์ 910 (ppm)

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	ตัวอย่าง	**จำนวนครั้ง**	L*	a*	b*
40	6	1	1	24.42	13.11	23.87
			2	24.62	13.00	23.84
			3	24.64	13.17	23.75
		2	1	24.1	12.76	21.48
			2	24.23	12.59	21.66
			3	24.23	12.59	21.71
	12	1	1	24.39	12.91	22.6
			2	24.58	12.79	22.53
			3	24.78	12.88	22.83
		2	1	23.44	12.3	22.52
			2	23.47	12.17	22.52
			3	23.58	12.19	22.72
	18	1	1	22.19	13.79	26.75
			2	26.82	13.14	26.27
			3	26.89	13.07	26.15
		2	1	22.05	11.79	2035
			2	22.05	12.05	20.35
			3	22.05	12.05	20.24
	24	1	1	24.49	12.34	23.83
			2	24.61	12.24	23.55
			3	24.70	11.99	23.70
		2	1	23.61	12.96	23.03
			2	23.75	12.74	23.26
			3	23.88	12.69	23.08
50	6	1	1	22.03	11.89	21.65
			2	22.03	12.34	21.45
			3	22.02	11.64	21.61
		2	1	21.75	12.38	21.34
			2	21.86	12.27	21.20
			3	21.96	12.29	20.24
	12	1	1	24.09	12.16	21.68
			2	24.10	12.21	21.71
			3	24.26	11.47	21.78
		2	1	21.73	11.56	18.80
			2	21.85	11.20	18.90
			3	21.88	11.44	18.60
	18	1	1	20.39	11.71	19.97
			2	20.39	11.71	19.97
			3	20.44	11.82	19.88
		2	1	21.01	12.00	21.76
			2	21.03	11.92	21.67
			3	21.1	11.83	21.37
	24	1	1	20.03	11.96	21.04
			2	20.21	11.40	21.10
			3	20.19	12.04	20.89
		2	1	21.17	11.39	20.39
			2	21.27	11.09	20.57
			3	21.29	11.08	20.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลด้านคุณภาพสีของน้ำแช่ข้าวโพดที่ปริมาณซัลเฟอร์ 910 (ppm) (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	ตัวอย่าง	จำนวนครั้ง	L*	a*	b*
60	6	1	1	15.49	9.21	13.53
			2	15.49	9.24	13.35
			3	15.49	9.15	13.47
		2	1	17.31	10.63	15.46
			2	17.47	10.24	15.68
			3	17.47	10.24	15.62
	12	1	1	19.70	10.33	17.44
			2	19.83	10.14	17.55
			3	19.94	10.17	17.74
		2	1	18.30	10.16	17.62
			2	18.46	9.76	17.47
			3	18.62	9.74	17.68
	18	1	1	17.70	9.55	14.44
			2	17.88	9.75	14.11
			3	18.06	9.71	14.43
		2	1	17.00	9.65	16.23
			2	17.11	9.62	16.41
			3	17.2	10.03	16.19
	24	1	1	17.00	10.07	15.63
			2	17.04	9.88	15.64
			3	17.19	9.41	15.84
		2	1	16.00	9.87	16.98
			2	16.00	10.14	16.8
			3	16.20	9.71	16.48
70	6	1	1	15.15	9.68	14.26
			2	15.36	9.41	14.57
			3	15.55	9.34	14.9
		2	1	15.15	9.49	14.2
			2	15.15	9.86	14.2
			3	15.36	9.31	14.45
	12	1	1	15.13	7.45	13.3
			2	15.21	7.23	13.49
			3	15.32	7.59	13.45
		2	1	16.56	8.63	14.66
			2	16.65	8.83	14.81
			3	16.91	8.57	15.26
	18	1	1	12.33	6.46	9.93
			2	12.53	6.06	10.28
			3	12.79	5.54	10.73
		2	1	14.50	7.15	12.74
			2	14.70	7.30	13.04
			3	14.92	6.64	13.41
	24	1	1	13.87	7.18	12.03
			2	14.15	7.01	12.10
			3	14.33	7.07	12.34
		2	1	12.19	6.82	9.10
			2	12.46	6.16	9.66
			3	12.46	6.52	9.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลด้านคุณภาพสีของน้ำแช่ข้าวโพดที่ปริมาณซัลเฟอร์ 950 (ppm)

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	ตัวอย่าง	จำนวนครั้ง	L*	a*	b*
40	6	1	1	23.9	13.64	23.75
			2	23.84	13.84	23.64
			3	23.84	13.38	23.64
		2	1	24.36	12.88	23.28
			2	24.28	13.03	23.18
			3	24.25	13.15	23.08
	12	1	1	24.85	13.83	22.74
			2	24.84	13.89	22.82
			3	24.85	13.78	22.75
		2	1	24.58	13.50	23.76
			2	24.47	13.49	23.61
			3	24.34	13.66	23.39
	18	1	1	24.42	13.90	24.32
			2	24.29	13.96	24.20
			3	24.19	14.17	24.03
		2	1	24.29	14.01	23.58
			2	24.21	14.28	23.44
			3	24.16	14.02	23.36
	24	1	1	23.98	14.91	25.06
			2	23.91	15.06	25.48
			3	23.84	14.97	25.35
		2	1	24.19	14.72	23.86
			2	24.19	14.77	23.86
			3	24.19	14.66	23.86
50	6	1	1	22.94	13.56	23.51
			2	22.94	13.56	23.57
			3	22.93	13.63	23.48
		2	1	22.37	13.74	22.77
			2	22.38	13.81	23.3
			3	22.38	13.81	22.83
	12	1	1	22.46	12.85	20.81
			2	22.44	12.61	20.63
			3	22.39	12.82	20.7
		2	1	22.15	13.23	20.56
			2	22.12	13.24	20.5
			3	22.15	12.73	20.82
	18	1	1	21.18	13.07	23.47
			2	21.04	13.33	23.30
			3	21.02	13.14	23.46
		2	1	21.18	13.01	22.78
			2	21.02	13.14	22.52
			3	21.02	12.88	22.59
	24	1	1	22.59	13.93	24.84
			2	22.546	14.00	24.84
			3	22.45	14.48	24.71
		2	1	22.92	14.72	26.26
			2	22.92	14.55	26.33
			3	22.84	14.52	26.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลด้านคุณภาพสีของน้ำแช่ข้าวโพดที่ปริมาณซัลเฟอร์ 950 (ppm) (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	ตัวอย่าง	จำนวนครั้ง	L*	a*	b*
60	6	1	1	18.38	12.21	16.56
			2	18.38	12.14	16.56
			3	18.28	12.33	16.38
		2	1	17.47	11.78	14.99
			2	17.47	11.30	14.99
			3	17.45	11.30	14.95
	12	1	1	18.08	10.72	16.75
			2	18.10	10.56	16.72
			3	18.08	10.64	16.75
		2	1	18.10	11.26	16.08
			2	18.10	11.26	16.2
			3	18.10	11.18	16.08
	18	1	1	17.61	11.23	14.97
			2	17.59	11.32	14.93
			3	17.57	11.41	14.9
		2	1	18.30	10.05	13.9
			2	18.30	10.13	13.75
			3	18.30	10.15	13.85
	24	1	1	17.30	10.81	15.9
			2	17.25	10.99	15.89
			3	17.25	10.91	15.98
		2	1	17.06	11.32	16.11
			2	16.87	11.48	15.96
			3	16.87	11.40	15.71
70	6	1	1	13.55	9.08	11.08
			2	13.55	8.66	11.08
			3	13.55	8.66	11.08
		2	1	14.48	9.62	11.95
			2	14.48	9.52	11.95
			3	14.48	9.52	11.95
	12	1	1	11.78	7.49	10.54
			2	11.71	7.47	10.67
			3	11.71	7.35	10.72
		2	1	11.71	6.25	9.25
			2	11.71	6.37	9.37
			3	11.71	6.25	8.81
	18	1	1	10.57	5.55	8.31
			2	10.57	5.41	8.44
			3	10.57	5.41	8.44
		2	1	10.6	6.08	8.00
			2	10.7	5.65	8.42
			3	10.74	5.51	8.11
	24	1	1	10.21	4.14	7.47
			2	10.14	4.30	7.35
			3	10.21	4.29	7.47
		2	1	8.95	5.40	6.78
			2	9.03	4.92	6.91
			3	8.99	5.09	6.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลด้านคุณภาพสีของน้ำแช่ข้าวโพดที่ปริมาณซัลเฟอร์ 1050 (ppm)

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	ตัวอย่าง	จำนวนครั้ง	L*	a*	b*
40	6	1	1	24.77	12.85	22.27
			2	24.78	12.74	22.29
			3	24.81	12.56	22.24
		2	1	24.38	13.11	23.91
			2	24.4	13.06	23.83
			3	24.38	13.06	23.91
	12	1	1	24.64	13.09	24.06
			2	24.62	12.83	24.14
			3	24.60	13.05	24.04
		2	1	25.23	12.07	22.88
			2	25.23	12.48	22.88
			3	25.23	12.38	22.88
	18	1	1	24.68	13.28	25.46
			2	24.68	13.23	25.62
			3	24.68	13.34	25.35
		2	1	24.34	13.31	26.09
			2	24.30	13.22	26.01
			3	24.30	13.05	26.01
	24	1	1	24.76	13.11	25.44
			2	24.74	13.06	25.25
			3	24.69	13.20	25.21
		2	1	24.41	12.91	25.22
			2	24.41	12.51	25.17
			3	24.41	12.51	24.95
50	6	1	1	22.94	12.05	21.73
			2	22.94	12.24	21.63
			3	22.93	12.00	21.71
		2	1	23.23	12.78	20.64
			2	23.22	12.81	20.61
			3	22.22	12.73	20.61
	12	1	1	22.17	12.16	21.61
			2	22.17	12.03	21.61
			3	22.17	12.03	21.61
		2	1	22.35	12.07	20.45
			2	22.32	12.23	20.39
			3	22.32	12.23	20.39
	18	1	1	22.26	12.22	23.91
			2	22.13	12.59	23.51
			3	22.12	12.66	23.48
		2	1	22.12	12.28	22.31
			2	21.97	12.53	21.95
			3	21.97	12.15	21.95
	24	1	1	21.62	12.61	22.57
			2	21.61	12.62	22.60
			3	21.49	13.06	22.40
		2	1	22.21	13.98	22.20
			2	22.21	13.92	22.09
			3	22.21	13.86	22.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช.3 ข้อมูลด้านคุณภาพสีของน้ำแช่ข้าวโพดที่ปริมาณซัลเฟอร์ 1050 (ppm) (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	ตัวอย่าง	จำนวนครั้ง	L*	a*	b*
60	6	1	1	19.71	11.55	18.95
			2	19.62	11.51	18.62
			3	19.66	11.43	18.8
		2	1	19.27	11.09	18.83
			2	19.21	11.1	18.32
			3	19.23	10.95	18.35
	12	1	1	18.61	9.8	16.77
			2	18.61	9.87	16.71
			3	18.60	9.96	16.68
		2	1	17.90	10.38	18.62
			2	17.90	10.14	18.62
			3	17.90	10.3	18.62
	18	1	1	16.56	9.47	17.11
			2	16.52	9.37	17.03
			3	16.61	9.28	17.19
		2	1	15.46	10.70	16.26
			2	15.44	10.71	15.92
			3	15.44	10.62	26.41
	24	1	1	17.18	9.76	17.55
			2	17.18	9.25	17.55
			3	17.18	9.16	17.55
		2	1	17.22	9.91	15.96
			2	17.22	9.91	15.96
			3	17.20	10.00	15.87
70	6	1	1	15.71	8.97	12.62
			2	15.73	8.68	12.66
			3	15.78	8.48	12.74
		2	1	16.19	8.98	13.44
			2	16.19	8.98	13.44
			3	19.17	8.08	13.29
	12	1	1	14.44	8.21	11.93
			2	14.49	8.39	12.02
			3	14.67	7.84	12.31
		2	1	13.51	7.47	11.8
			2	13.61	7.33	11.36
			3	13.75	6.87	11.59
	18	1	1	11.99	5.88	10.14
			2	11.99	6.00	9.77
			3	11.99	6.12	10.08
		2	1	10.57	5.95	10.10
			2	10.57	6.09	10.16
			3	10.57	6.22	10.16
	24	1	1	1032	5.96	7.86
			2	10.42	5.52	10.04
			3	10.52	5.5	10.21
		2	1	11.20	6.14	9.73
			2	11.20	6.14	9.73
			3	11.30	5.99	9.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

- คุณภาพด้านความหนืด

ตาราง ค.1 conversion factor เพื่อหาค่า Apparent Viscosity

	หมายเลขหัววัด						
rpm	1	2	3	4	5	6	7
0.5	200	800	2k	4k	8k	20k	8000k
1	100	400	1k	2k	4k	10k	4000k
2	50	200	500	1k	2k	5k	2000k
2.5	40	160	400	800	1.6k	4k	16000k
4	25	100	250	500	1k	2.5k	10000k
5	20	80	200	400	800	2k	8000k
10	10	40	100	200	400	1k	4000k
20	5	20	50	100	200	500	2000k
50	2	8	20	40	80	200	8000
100	1	4	10	20	40	100	4000

ตาราง ค.2 conversion factor เพื่อหาค่า Shear rate

	หมายเลขหัววัด						
n	1	2	3	4	5	6	7
0.1	1.728	1.431	1.457	1.492	1.544	1.366	1.936
0.2	0.967	0.875	0.882	0.892	0.907	0.851	1.007
0.3	0.705	0.656	0.656	0.658	0.663	0.629	0.681
0.4	0.576	0.535	0.530	0.529	0.528	0.503	0.515
0.5	0.499	0.458	0.449	0.445	0.442	0.421	0.413
0.6	0.449	0.404	0.392	0.387	0.382	0.363	0.346
0.7	0.414	0.365	0.650	0.343	0.338	0.320	0.297
0.8	0.387	0.334	0.317	0.310	0.304	0.286	0.261
0.9	0.367	0.310	0.291	0.283	0.276	0.260	0.232
1.0	0.351	0.291	0.270	0.262	0.254	0.238	0.209

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 แสดงค่า log Apparent Viscosity กับ log rpm ที่ใช้ในการหาค่า n ของน้ำแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 25 °C

rpm	%Torque	Apparent Viscosity	log Apparent Viscosity	log rpm
0.5	23.06	4612.00	3.66	-0.30
1	28.18	2818.00	3.45	0.00
2.5	37.84	1513.60	3.18	0.39
5	47.75	955.00	2.98	0.69
10	63.09	630.90	2.80	1.00
20	87.30	436.50	2.64	1.30
50	95.27	190.54	2.28	1.69
100	95.49	95.49	1.98	2.00

ตารางที่ ค.4 แสดงค่า log Apparent Viscosity กับ log rpm ที่ใช้ในการหาค่า n ของน้ำแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 45 °C

rpm	%Torque	Apparent Viscosity	log Apparent Viscosity	log rpm
0.5	18.15	3630.00	3.56	-0.30
1	21.37	2137.00	3.33	0.00
2.5	27.41	1096.40	3.04	0.39
5	34.59	691.80	2.84	0.69
10	44.66	446.60	2.65	1.00
20	59.02	295.10	2.47	1.30
50	90.98	181.96	2.26	1.69
100	95.49	95.49	1.98	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 แสดงค่า log Shear stress กับ log Shear rate ที่ใช้ในการหาค่า k ของน้ำแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 25 °C

rpm	n	Shear rate	Apparent Viscosity	Shear stress	log Shear stress	log Shear rate
0.5	0.2*	0.090	4612.00	447.36	2.65	-1.014
1		0.193	2818.00	543.87	2.73	-0.713
2.5		0.448	1513.60	731.07	2.86	-0.315
5		0.967	955.00	923.48	2.96	-0.014
10		1.934	630.90	1220.16	3.08	0.286
20		3.868	436.50	1618.38	3.23	0.587
50		9.670	190.54	1842.52	3.26	0.985
100		19.340	95.49	1848.71	3.266	1.286

* หมายเหตุ ค่า conversion factor ตารางที่ ค.2 ค่า n ที่ 0.2 ได้ 0.97

ตารางที่ ค.6 แสดงค่า log Shear stress กับ log Shear rate ที่ใช้ในการหาค่า k ของน้ำแช่ข้าวโพดที่อุณหภูมิ 45 °C

rpm	n	Shear rate	Apparent Viscosity	Shear stress	log Shear stress	log Shear rate
0.5	0.3*	0.1057	3630.00	383.69	2.580	-0.975
1		0.2115	2137.00	451.97	2.655	-0.675
2.5		0.5287	1096.40	579.66	2.760	-0.276
5		1.0575	691.80	731.57	2.865	0.024
10		2.1150	446.60	944.56	2.975	0.325
20		4.230	295.10	1248.27	3.096	0.626
50		10.575	181.96	1924.23	3.284	1.024
100		21.150	95.49	2019.60	3.305	1.325

* หมายเหตุ ค่า conversion factor ตารางที่ ค.2 ค่า n ที่ 0.3 ได้ 0.705

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

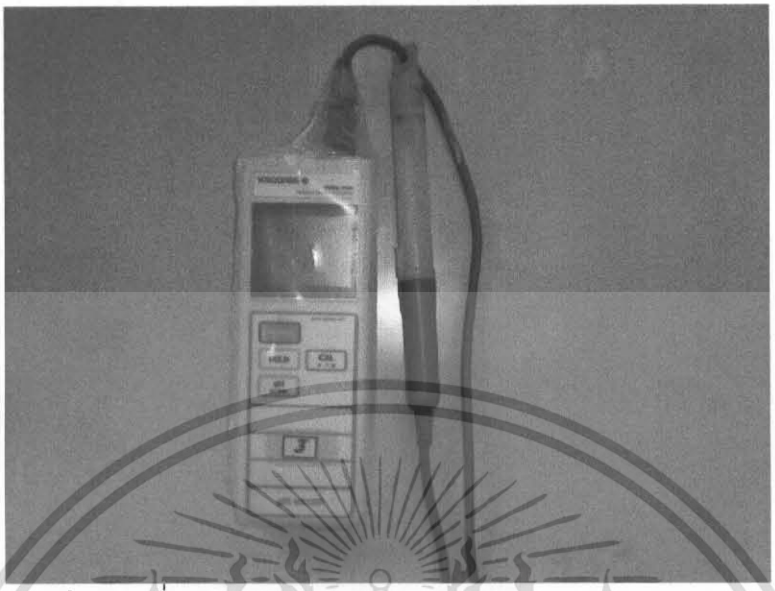
ภาคผนวก ง

- ภาพแสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ ง.1 เครื่องวัดสีรุ่น JC801/JUKI

รูปที่ ง.2 อุปกรณ์วัดความถ่วงจำเพาะ Hydrometer (modul 145 ช่วง 0 – 10 โบเม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.3 เครื่องวัด pH meter (Yokava , modul pH81, Japan)

รูปที่ ง.4 เครื่องวัดความหนืด Rotational Viscometer (Brookfield RVT DV-1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้