การพัฒนาการทำแห้งข้าวผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

THE DEVELOPMENT OF RICE POWDER BY SPRAY DRYER

ชมมณี เกษมสันต์ ณ อยุธยา

พรพรรณ โพธิ์ทอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การพัฒนาการทำแห้งข้าวผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

THE DEVELOPMENT OF RICE POWDER BY SPRAY DRYER

ชมมณี เกษมสันต์ ณ อยุธยา

พรพรรณ โพธิ์ทอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

THE DEVELOPMENT OF RICE POWDER BY SPRAY DRYER

CHOMMANEE KASEMSANT NA AYUDHAYA

PHONPHAN PHOTHONG

THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR

THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาการทำแห้งข้าวผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

The development of rice powder by spray dryer

ผู้จัดทำ

1. นางสาวชมมณี เกษมสันต์ ณ อยุธยา รหัสนักศึกษา 60010199
2. นางสาวพรพรรณ โพธิ์ทอง รหัสนักศึกษา 60010660

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.กันต์กนิษฐ์ ขวัญพฤกษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การพัฒนาการทำแห้งข้าวผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

นักศึกษา นางสาวชมมณี เกษมสันต์ ณ อยุธยา รหัสนักศึกษา 60010199

นางสาวพรพรรณ โพธิ์ทอง รหัสนักศึกษา 60010660

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา วิศวกรรมอาหาร

ปีการศึกษา 2563

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.กันต์กนิษฐ์ ขวัญพฤกษ์

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ทำเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสต่อคุณภาพน้ำข้าวและศึกษาผลของข้าวผงจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ซึ่งมีอย่างแพร่หลายในไทยด้วยวิธีการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพนฝอย ตัวแปรในการศึกษา คือ ปริมาณเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสร้อยละ 0.02, 0.04 และ 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนัก ระยะเวลาในการบ่ม 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที และตัวแปรที่ศึกษาสำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วย อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 และ 170 องศาเซลเซียส ผลของปริมาณเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสต่อคุณภาพน้ำข้าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของน้ำข้าวทางด้านกายภาพ (สี, ความชื้นและความหนืด) ทางด้านเคมี (ความเป็นกรด-ด่างและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด) และผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของข้าวผงทางด้านกายภาพ (สี, ความชื้น, ความหนาแน่นของผง, ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้และร้อยละของผลผลิตที่ได้รับ) ทางด้านเคมี (ความสามารถในการละลาย) จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตข้าวผง คือ การใช้ปริมาณเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสความเข้มข้นร้อยละ 0.06 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก ระยะเวลาในการบ่มนาน 3 นาที และนำน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียสได้ผลิตภัณฑ์ข้าวผงที่มีคุณสมบัติที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Project Title	The development of rice powder by spray dryer
Students	Chommanee Kasemsant na ayudhaya Student ID. 60010199
	Phonphan Phothong Student ID. 60010660
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Food Engineering
Academic Year	2020
Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Kankanit Khwanpruk

Abstract

This research was to investigate the optimum state of alpha-amylase enzyme for rice water quality and to study the effects of riceberry rice powder which are widely used in Thailand by the spray dryer. Independent variables were the amount of alpha-amylase enzymes 0.02, 0.04 and 0.06 volume per weight. Curing time 0, 1, 2, 3, 4 and 5 minutes and independent variables for spray dryer consisted of inlet temperature 150 and 170 degrees Celsius. Effect of alpha-amylase enzyme content on rice water quality influences the physical properties (color, moisture content and viscosity) chemical properties (pH and total dissolved solids) and the effect of the inlet temperature influences the physical properties of the rice powder (color, moisture content, bulk density, water activity and percentage of yield) chemical properties (solubility). From the experiment it was found that the optimum conditions for rice powder production were the use of the alpha-amylase enzyme at the concentration of 0.06 volume per weight curing time 3 minutes. The enzyme digested rice water was dried with a spray dryer which was found at the inlet temperature of 170 degrees Celsius get a rice powder product that has good properties.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.กันต์กนิษฐ์ ขวัญพฤกษ์ ที่ได้ให้ความรู้ คำชี้แนะแนวทางและให้ความช่วยเหลือโดยตลอดในการดำเนินงานวิจัยอีกทั้งยังคอยช่วยแก้ปัญหาในการทำปริญญานิพนธ์มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณอาจารย์และบุคลากรประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีทั้งในด้านการศึกษาและการใช้ชีวิต อีกทั้งยังให้คำชี้แนะแนวทางในการดำเนินงานวิจัยจนในที่สุดทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ วิศวกรรมอาหารรุ่นที่ 22 ที่คอยให้การช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจในการดำเนินงาน

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดามารดาที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุนที่ดีในโอกาสด้านการศึกษาอย่างเต็มที่และในการทำปริญญานิพนธ์

นางสาวชมมณี เกษมสันต์ ณ อยุธยา

นางสาวพรพรรณ โพธิ์ทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญรูป.....XI

สารบัญสัญลักษณ์.....XII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2

1.3 ขอบเขตการศึกษา.....2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 ข้าวไรซ์เบอร์รี่.....3

2.1.1 ลักษณะประจำพันธุ์.....4

2.1.2 ความยาวของเมล็ด.....4

2.1.3 การปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่งอก.....4

2.1.4 คุณสมบัติของข้าวไรซ์เบอร์รี่.....5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.5 รำข้าวสีดำคือแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ.....5

2.2 เอนไซม์อะไมเลส.....8

2.3 เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส.....9

2.3.1 แอลฟา-อะไมเลส.....9

2.3.2 การทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส.....9

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส.....10

2.4.1 ความเข้มข้นของเอนไซม์.....10

2.4.2 ความเป็นกรด-ด่าง.....10

2.4.3 อุณหภูมิและระยะเวลาในการย่อยของเอนไซม์.....10

2.4.4 ความเข้มข้นของน้ำแป้ง.....11

2.5 การทำแห้งแบบพ่นฝอย.....11

2.5.1 กลไกของการทำแห้งแบบพ่นฝอย.....13

2.5.2 การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย.....13

2.5.3 ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย.....20

2.5.4 ตัวพา.....21

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....22

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....24

3.1 วัตถุดิบ.....24

3.2 อุปกรณ์.....24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 วิธีการทดลอง.....25

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง.....25

3.3.2 การศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส.....25

3.3.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย.....26

3.4 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส.....26

3.4.1 การวัดสีของน้ำข้าว.....26

3.4.2 การวิเคราะห์ลักษณะความหนืด.....27

3.4.3 การวัดความเป็นกรด-ด่าง.....27

3.4.4 ความชื้น.....27

3.4.5 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด.....28

3.5 การศึกษาคุณสมบัติของข้าวผง.....28

3.5.1 การวัดสีของข้าวผง.....28

3.5.2 ความหนาแน่นของข้าวผง.....29

3.5.3 ความชื้น.....29

3.5.4 ร้อยละผลผลิตที่ได้รับ.....29

3.5.5 ความสามารถในการละลาย.....30

3.5.6 วอเตอร์แอคทิวิตี้.....30

3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....31

4.1 การศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส.....31

4.2 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส.....32

4.2.1 การวัดสีของน้ำข้าว.....32

4.2.2 การวัดความเป็นกรด-ด่าง.....32

4.2.3 ความชื้น.....33

4.3 การศึกษาคุณสมบัติของข้าวผง.....33

4.3.1 การวัดสีของข้าวผง.....33

4.3.2 ความหนาแน่นของข้าวผง.....34

4.3.3 ความชื้น.....35

4.3.4 ร้อยละผลผลิตที่ได้รับ.....35

4.3.5 ความสามารถในการละลาย.....36

4.3.6 วอเตอร์แอคทิวิตี้.....37

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....38

บรรณานุกรม.....39

ภาคผนวก.....44

ภาคผนวก ก ผลการทดลอง.....45

ภาคผนวก ข ตารางการวิเคราะห์ทางสถิติ.....62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 สารอาหารสำคัญที่อยู่ในข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่.....7

2.2 การเปรียบเทียบเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้เครื่องทำละอองแบบหัวฉีดแรงดันและแบบจานหมุน.....12

4.1 ความหนืดของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้นต่างกันที่เวลาต่างๆ.....31

4.2 ค่าสีของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้นต่างกัน.....32

4.3 ความเป็นกรด-ด่างของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้นต่างกัน.....32

4.4 ค่าสีของข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน.....34

ก.1 ผลการทดลองระยะเวลาในการทำงานของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 ปริมาตรต่อน้ำหนัก.....46

ก.2 ผลการทดลองระยะเวลาในการทำงานของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.04 ปริมาตรต่อน้ำหนัก.....47

ก.3 ผลการทดลองระยะเวลาในการทำงานของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนัก.....48

ก.4 ผลการทดลองค่าความชื้นของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 ปริมาตรต่อน้ำหนักที่เวลาต่างกัน.....49

ก.5 ผลการทดลองค่าความชื้นของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.04 ปริมาตรต่อน้ำหนักที่เวลาต่างกัน.....50

ก.6 ผลการทดลองค่าความชื้นของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนักที่เวลาต่างกัน.....51

ก.7 ผลการทดลองค่าสีของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 ปริมาตรต่อน้ำหนัก.....52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ก.8 ผลการทดลองค่าสีของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.04 ปริมาตรต่อน้ำหนัก.....53

ก.9 ผลการทดลองค่าสีของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนัก.....54

ก.10 ผลการทดลองค่าสีของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส.....55

ก.11 ผลการทดลองค่าสีของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียส.....56

ก.12 ผลการทดลองค่าความหนาแน่นของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน.....57

ก.13 ผลการทดลองค่าความชื้นของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน.....58

ก.14 ผลการทดลองค่าร้อยละผลผลิตที่ได้รับของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน.....59

ก.15 ผลการทดลองค่าความสามารถในการละลายของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน.....60

ก.16 ผลการทดลองค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน.....61

ข.1 การวิเคราะห์สถิติ ANOVA ของค่าความหนืดที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างกันและที่เวลาต่างกัน.....63

ข.2 การวิเคราะห์สถิติ ANOVA ของค่าความสว่างที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างกัน.....64

ข.3 การวิเคราะห์สถิติ ANOVA ของค่าสีแดง/เขียวที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างกัน.....65

ข.4 การวิเคราะห์สถิติ ANOVA ของค่าสีเหลือง/ฟ้าที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างกัน.....66

ข.5 การวิเคราะห์สถิติ ANOVA ของค่าความเข้มของสีที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างกัน.....67

ข.6 การวิเคราะห์สถิติ ANOVA ของค่าเฉดสีที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างกัน.....68

ข.7 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าความชื้นของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 ปริมาตรต่อน้ำหนักและที่เวลาต่างกัน.....69

ข.8 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าความชื้นของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.04 ปริมาตรต่อน้ำหนักและที่เวลาต่างกัน.....71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ข.9 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าความชื้นของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนักและที่เวลาต่างกัน.....74

ข.10 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน.....76

ข.11 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าความชื้นที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน.....77

ข.12 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าร้อยละผลผลิตที่ได้รับที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน.....78

ข.13 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าความหนาแน่นของผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน.....79

ข.14 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าความสว่างของสีที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน.....80

ข.15 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าสีแดง/เขียวที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน.....81

ข.16 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าสีเหลือง/ฟ้าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน.....82

ข.17 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าความเข้มของสีที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน.....83

ข.18 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าเฉดสีที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน.....84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ข้าวไรซ์เบอร์รี่....3

2.2 โครงสร้างเอนไซม์อะไมเลส....8

2.3 โครงสร้างเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส....9

2.4 กระบวนการทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพ่นฝอยแบบระบบปิดไหลผ่านทางเดียว....14

2.5 เครื่องทำละอองแบบหัวฉีดแรงดัน....15

2.6 เครื่องทำละอองแบบหัวฉีดพร้อมกันสองทาง....15

2.7 เครื่องทำละอองแบบจานหมุน....16

2.8 การไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย....17

2.9 การไหลทางเดียว....17

2.10 การไหลผ่านสวนทางกัน....18

2.11 การไหลแบบผสม....19

4.1 ความชื้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้นต่างกันที่เวลาต่างๆ....33

4.2 ความหนาแน่นของข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน....34

4.3 ความชื้นของข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน....35

4.4 ร้อยละผลผลิตที่ได้รับของข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน....36

4.5 ความสามารถในการละลายของข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน....37

4.6 วอเตอร์แอคทิวิตี้ของข้าวผงที่อุหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน....37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รายการสัญลักษณ์

L^*	=	ค่าความสว่างของน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและข้าวผง
a^*	=	ค่าสีแดง/เขียวของน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและข้าวผง
b^*	=	ค่าสีเหลือง/ฟ้าของน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและข้าวผง
c^*	=	ค่าความเข้มสีของน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและข้าวผง
h^*	=	ค่าเฉดสีของน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและข้าวผง
m_i	=	น้ำหนักก่อนอบของน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและข้าวผง
m_s	=	น้ำหนักหลังอบของน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและข้าวผง
V	=	ปริมาตรของกระบอกตวง
m	=	น้ำหนักของข้าวผง
ρ	=	ความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ภาษาอังกฤษ: Riceberry) เป็นผลงานการปรับปรุงสายพันธุ์ของ รศ.ดร.อภิชาติ และทีมนักวิจัยจากศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และความร่วมมือจากคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) โดยเป็นการผสมข้ามสายพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลซึ่งเป็นสายพันธุ์พ่อ + ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นสายพันธุ์แม่ทำให้ได้ลักษณะที่ดีและมีคุณประโยชน์เด่นออกมา ซึ่งสายพันธุ์ข้าวนี้ได้รับการจดทะเบียนเป็นพันธุ์พืชใหม่ ห้ามมีการนำไปขยายพันธุ์ในเชิงการค้าต่อโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก วช. และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลักษณะทั่วไปข้าวไรซ์เบอร์รี่มีลักษณะเรียวยาว ผิวมันวาวเป็นข้าวเจ้าสีม่วงเข้มคล้ายลูกเบอร์รี่ที่มีสีม่วงเข้มเมื่อสุกหากเป็นข้าวกล้องจะมีกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวอีกทั้งยังมีรสชาติหอมมัน เนื้อสัมผัสเหนียวเนื่องจากผ่านการขัดสีเพียงแค่บางส่วนเท่านั้นจึงทำให้ยังคงคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้อย่างครบถ้วน ข้าวสายพันธุ์พิเศษสีม่วงนี้สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี มีอายุเก็บเกี่ยว 130 วัน มีปริมาณอะไมโลส 15.6 % ให้ผลผลิตปานกลาง (กรมวิชาการเกษตร, 2543)

เนื่องจากในปัจจุบันข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นที่นิยมกับผู้บริโภคที่สนใจหันมาดูแลสุขภาพของตัวเอง ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและความหลากหลายของผลิตภัณฑ์จึงทำให้มีการแปรรูปข้าวไรซ์เบอร์รี่ให้อยู่ในรูปแบบของผงเพื่อช่วยให้ง่ายต่อการพกพาเนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่นำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผงมีน้ำหนักเบาและสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้นและรับประทานได้ง่ายเพราะสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องดื่มผงที่ชงดื่มได้ง่ายหรือทำเป็นซุปข้าวไรซ์เบอร์รี่สำหรับคนไม่ชอบรับประทานข้าวที่มีเนื้อสัมผัสเหนียว ซึ่งการแปรรูปข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถทำได้ด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งเป็นที่นิยมเนื่องจากมีอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีและใช้ระยะเวลาในการทำแห้งสั้น (Carolina et al., 2007) แต่การนำข้าวไรซ์เบอร์รี่มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผงอาจเกิดปัญหาได้เนื่องจากมีความหนืดมาก ทำให้ต้องใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสมาช่วยย่อยน้ำข้าวให้มีความหนืดลดลงและทำให้ข้าวมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีมากขึ้น (อรัญ, 2560) ให้ง่ายต่อการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการแปรรูปข้าวไรซ์เบอร์รี่ให้อยู่ในรูปแบบผลิตภัณฑ์ผงทำได้โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยตัวแปรที่จะศึกษาประกอบด้วยปริมาณเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและเวลาในการทำงานของเอนไซม์, อุณหภูมิในการทำแห้งและคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.02, 0.04 และ 0.06 ที่มีต่อคุณภาพน้ำข้าว

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการการผลิตข้าวผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1.2.3 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำข้าวที่ย่อยด้วยเอนไซม์และข้าวผง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ศึกษาการพัฒนาข้าวผงจาก ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ Riceberry (*Oryza sativa* L.)

1.3.2 ศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

1.3.3 ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตข้าวผง ได้แก่ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

1.3.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ทางกายภาพ ได้แก่ สี, ความชื้น และความหนืด ทางด้านเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและข้าวผงทางด้านกายภาพ ได้แก่ สี, ความชื้น, ความหนาแน่นของผง, ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้และร้อยละของผลผลิตที่ได้รับ ทางด้านเคมี ได้แก่ ความสามารถในการละลาย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสสามารถลดความหนืดของน้ำข้าวได้ดีและข้าวสามารถละลายน้ำได้ดีมากขึ้น

1.4.2 ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีคุณภาพที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (วสันต์, 2557)

ข้าวพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวที่ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวร่วมมือกับคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในการปรับปรุงพันธุ์ โดย รศ.ดร.อภิชาติ วรรณวิจตร ผู้อำนวยการศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวภาควิชาพืชไร่นามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้ยื่นจดทะเบียนคุ้มครองพันธุ์พืชใหม่ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2550 จากนั้นได้ทำการศึกษาเพาะปลูกจนสามารถส่งเสริมให้เกิดการเพาะปลูกได้อย่างกว้างขวาง

พันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวดอกมะลิ 105 จึงไม่เป็นสีดำแต่มีลักษณะเป็นสีแดงแบบลูกเบอร์รี่ (ลูกหม่อน) ที่สุกแล้วรูปร่างเมล็ดเรียวยาวเมื่อหุงเป็นข้าวเจ้าจะมีลักษณะเป็นสีม่วงเข้มมีความนุ่มนวลแต่ยืดหยุ่น รสชาติอมหวาน มีกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ นอกจากนั้นยังสะดวกในการหุงโดยสามารถปรับปริมาณการใส่น้ำได้ตามความชอบว่าจะรับประทานแบบใดหรือจะทำเป็นข้าวต้มก็ได้ที่สำคัญ คือ สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปีและสามารถต้านทานโรคไหม้ในข้าวได้ดีมาก อีกทั้งทนทานต่อสภาพธาตุเหล็กเป็นพิษในดินได้อีกด้วย

รูปที่ 2.1 ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (วสันต์, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.1 ลักษณะประจำพันธุ์

ความสูง	105-110 ซม.
อายุเก็บเกี่ยว	130วัน
ผลผลิต	750-1,000 กก. / ไร่
% ข้าวกล้อง (Brown rice)	76 %
% ต้นข้าวหรือข้าวเต็มเมล็ด (Head rice)	50%

2.1.2 ความยาวของเมล็ด

ข้าวเปลือก	11 ม.ม.
ข้าวกล้อง	7.5 ม.ม.
ข้าวขัด	7.0 ม.ม.

2.1.3 การปลูกข้าวไรซ์เบอร์รี่งอก

การปลูกข้าวไรซ์เบอร์รีใช้การปลูกแบบ “นาโยน” ซึ่งนาโยนหรือการปลูกข้าวแบบโยนกล้าเป็นการทำนาแบบใหม่ที่เป็นการผสมผสานกันระหว่างนาดำกับนาหว่านน้ำตมเป็นวิธีการโยนตุ้มต้นกล้าที่เพาะไว้แล้วลงในแปลงซึ่งสามารถนำมาใช้แทนการถอนกล้าปักดำด้วยแรงงานคนและการปักดำด้วยเครื่องได้ที่สำคัญ คือ สามารถควบคุมวัชพืชโดยเฉพาะข้าววัชพืชที่กำลังระบาดอย่างรุนแรงได้ผลเป็นอย่างดี นอกจากนั้นยังเป็นการช่วยลดปริมาณการใช้เมล็ดพันธุ์และสารเคมีกำจัดวัชพืชลงด้วยจะทำให้เกษตรกรเก็บคัดแยกข้าวได้มีประสิทธิภาพได้มากกว่าเดิม

ข้อดีของการทำนาด้วยวิธีโยนต้นกล้า

1. เป็นนวัตกรรมการทำนาวิธีใหม่ที่ป้องกันการเกิดของข้าววัชพืชและวัชพืชทั่วไปได้ผลดี

2. สามารถประหยัดเมล็ดพันธุ์ลงได้สูงสุด 80-85% โดยใช้เมล็ดพันธุ์เพียง 3-4 กิโลกรัมต่อไร่

3. ต้นกล้าที่โยนจะตั้งตัวได้ทันทีไม่หยุดชะงักหรือต้นกล้าเหลืองเหมือนนาปักดำด้วยคน

4. ต้นกล้าจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและแข็งแรงการแตกกอดีมากและเร็วกว่าวิธีอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5. จำนวนต้นต่อกอมีมากกว่านาปักดำ

6. การจัดการด้านโรค-แมลงง่ายได้ผลดีกว่าการหว่านน้ำตม

7. ใช้ต้นทุนและแรงงานน้อยกว่าวิธีอื่น

8. เหมาะสำหรับแปลงนาที่มีข้าววัชพืชระบาด

2.1.4 คุณสมบัติของข้าวไรซ์เบอร์รี่

คุณสมบัติที่โดดเด่นของ “ข้าวไรซ์เบอร์รี่” ซึ่งทำให้เป็นที่ต้องการของตลาดโดยตลาดเป้าหมายที่สำคัญของข้าวไรซ์เบอร์รี่แบ่งออกเป็น *2* ตลาดใหญ่ ๆ คือ

1. ข้าวไรซ์เบอร์รี่สำหรับบริโภคข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวที่พัฒนาสายพันธุ์โดยคนไทยทำให้มีความแตกต่างจากข้าวทั่วๆไปในท้องตลาด โดยเฉพาะคุณสมบัติที่โดดเด่นเรื่องการต้านอนุมูลอิสระส่งผลให้ตลาดข้าวไรซ์เบอร์รี่ขยายตัวขึ้นเรื่อย ๆ และเป็นทางเลือกใหม่สำหรับคนรักสุขภาพ

2. ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวไรซ์เบอร์รี่จากจุดเด่นเรื่องสารต้านอนุมูลอิสระทำให้มีการนำข้าวไรซ์เบอร์รี่ไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น เช่น น้ำมันรำข้าว, วุ้นข้าวไรซ์เบอร์รี่, ไอศกรีมจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ ฯลฯ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ดูจะทำเงินให้แก่เกษตรกรมาก คือ การแปรรูปเป็นน้ำมันรำข้าวไรซ์เบอร์รี่และนำไปจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

หัวใจแห่งความสำเร็จของ “ข้าวไรซ์เบอร์รี่” คือประสิทธิภาพในการ “ต้านอนุมูลอิสระ” โดยจากการศึกษาพบว่าข้าวยิ่งมีสีม่วงเข้มมากเท่าใดประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระจะยิ่งมีมากขึ้นเท่านั้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 35.3-214.7 umole/g เมื่อนำเข้าข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับน้ำผลไม้พร้อมดื่มหรือน้ำชาเขียวพบว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าเกือบ 100 เท่าเลย ทีเดียวข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่จึงเป็นแหล่งอาหารที่ให้สารต้านอนุมูลอิสระสูง การที่ร่างกายได้รับสารต้านอนุมูลอิสระเพียงพอต่อความต้องการในแต่ละวันจะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวาน, โรคหัวใจ, โรคหลอดเลือดและโรคมะเร็งได้

2.1.5 รำข้าวสีดำคือแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ

ข้าวที่มีสีดำมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดีเนื่องจากมีสารจับอนุมูลอิสระทั้ง Quinolone alkaloid, Vitamin E, Phytate, g-oryzonol, Polyphenol และ Anthocyanin อยู่สูงในข้าวสีดำ พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่พบว่า มีปริมาณ Polyphenolic ถึง 752.1 mg/100g, Anthocyanin 250.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

mg/100g และ Beta carotene 63.3 ug/100g ซึ่งพบอยู่มากในส่วน Pericarp สารทั้งสามชนิดมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะ Polyphenolic ดังนั้นรำข้าวสีดำจึงเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ

จากการศึกษาพบว่ากลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรังซึ่งรวมถึงโรคมะเร็งเป็นสาเหตุการตายอันดับ 3 ของคนไทยในทุกกลุ่มอายุ อวัยวะสำคัญที่พบ คือ มะเร็งตับและท่อน้ำดี, มะเร็งปอด, เต้านมและมะเร็งทางเดินอาหารอัตราตายด้วยโรคมะเร็งต่อประชากร 100,000 คน เพิ่มขึ้นจาก 12.6 คน เป็น 68.8 คน ในช่วงปี พ.ศ. 2510 - 2544 อนุมูลอิสระของออกซิเจนหรือ Reactive oxygen species (ROS) เกิดขึ้นได้จากกระบวนการปกติของร่างกายและเพิ่มขึ้นจากการอักเสบการได้รับสารเคมีจากมลพิษ, ยาบางชนิด, การสูบบุหรี่หรือการได้รับรังสี ROS ทำให้เกิดปฏิกิริยา Lipid peroxidation ซึ่งส่งผลทำให้สารพิษสามารถเข้าไปทำให้เกิดความเสียหายกับเยื่อหุ้มเซลล์, โครงสร้าง DNA และ RNA ตลอดจนชีวโมเลกุลในเซลล์ซึ่งเป็นสาเหตุที่สำคัญของการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังหลายชนิด เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด, โรคไต, โรคข้อรวมทั้งโรคมะเร็ง

การศึกษาทางระบาดวิทยาพบว่าการรับประทานผัก, ผลไม้รวมทั้งธัญพืชซึ่งมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงสามารถลดอัตราการเกิดโรคเรื้อรังดังกล่าวได้ นอกจากนี้การได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากอาหารหลาย ๆ ประเภทจะให้ผลในการป้องกันมากกว่าการได้รับจากแหล่งใดแหล่งหนึ่งเนื่องจากมีฤทธิ์สร้างเสริมกันธัญพืชให้สารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิดซึ่งมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อได้รับร่วมกับสารกลุ่มที่มาจากผักและผลไม้โดยฤทธิ์ต่อต้านอนุมูลอิสระในข้าวมาจากกลุ่มสารประกอบฟีนอล (Phenolic acid derivatives) พบได้มากในส่วนของรำข้าว

นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระนั้นจากการศึกษาพบว่าข้าวยิ่งมีสีม่วงเข้มมากประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระยิ่งมีมากขึ้นโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 35.3 ถึง 214.7 umole/g จากการศึกษาด้วยวิธี ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) โดยเฉพาะในรำข้าวเจ้าหอมนิลและรำข้าวไรซ์เบอร์รี่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงถึง 229 ถึง 304.7 umole/g และเมื่อนำข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับน้ำผลไม้พร้อมดื่มหรือน้ำชาเขียวพบว่า มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าเกือบ 100 เท่า สำหรับกระบวนการหุงต้มข้าวที่มีสีม่วงเข้มด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้าพบว่า มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระลดลงประมาณร้อยละ 50 หรือลดประสิทธิภาพลงประมาณครึ่งหนึ่งของข้าวดิบแต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาแล้วข้าวสีม่วงยังมีคุณภาพและมีประสิทธิภาพสูงกว่าน้ำผลไม้พร้อมดื่มหรือน้ำดื่มชาเขียวที่ขายตามท้องตลาดซึ่งข้าวยิ่งสีเมล็ดมีความเข้มเท่าไรยิ่งทำให้มีผลในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงขึ้นเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากงานวิจัยพบว่าข้าวกล้องพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่และพันธุ์สินเหล็กเมื่อหุงสุกแล้วยังมีสารต้านอนุมูลอิสระเหลืออยู่ไม่ได้ถูกความร้อนทำลายหมดจึงเป็นแหล่งอาหารที่ให้สารต้านอนุมูลอิสระสูง การที่ร่างกายได้รับสารต้านอนุมูลอิสระพอเพียงต่อความต้องการในแต่ละวันจะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวาน, โรคหัวใจ, โรคหลอดเลือดและโรคมะเร็งได้

ตารางที่ 2.1 สารอาหารสำคัญที่อยู่ในข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่

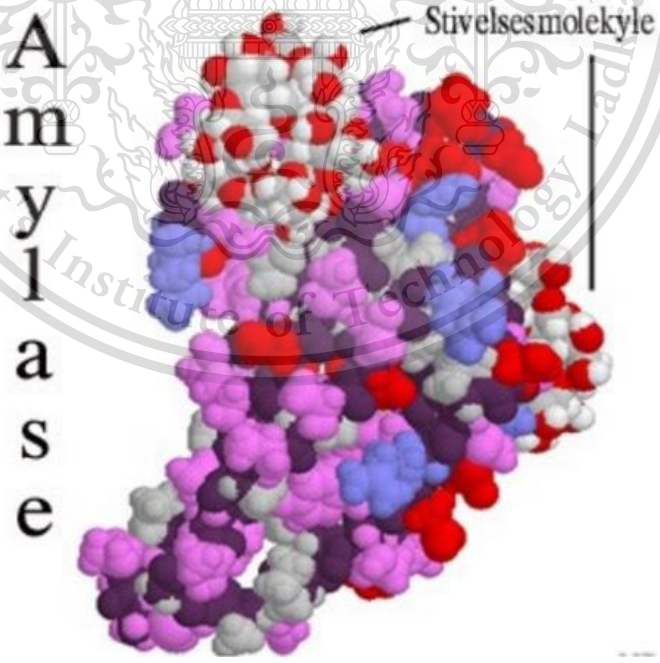
สารอาหาร	ปริมาณ	ประโยชน์ต่อร่างกาย
โอเมกา -3	25.51 mg/kg	กรดไขมันจำเป็นสำคัญต่อโครงสร้างและการทำงานของสมอง ตับและระบบประสาทลดระดับคอเลสเตอรอล
ธาตุสังกะสี	31.9 mg/kg	ช่วยสังเคราะห์โปรตีนและป้องกันผมร่วง
ธาตุเหล็ก	13-18 mg/kg	สร้างและจ่ายพลังงานในร่างกาย
วิตามินอี	678 ug/100g	ชะลอความแก่ผิวพรรณสดใสและลดอัตราเสี่ยงของโรคเกี่ยวกับหลอดเลือด, สมองและหัวใจ
วิตามินบี1	0.42 mg/100 g	ป้องกันโรคเหน็บชา
เบต้าแคโรทีน	63 ug/100 g	ลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งและบำรุงสายตา
ลูทีน	84 ug/100 g	ป้องกันจอประสาทตาเสื่อมและบำรุงการไหลเวียนของเลือดในเส้นเลือดฝอยที่หล่อเลี้ยงตา
โพลิฟีนอล แทนนิน	113.5 mg/100 g 89.33 mg/100g	ทำลายฤทธิ์ของอนุมูลอิสระป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง แก้ท้องร่วง, แก้บิดและสมานแผล
แกมมา โอไรซานอล	462 ug/100g	ลดระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในหลอดเลือดและลดอัตราการเสี่ยงของโรคหัวใจ, เบาหวานและความดันโลหิตสูง
เส้นใยอาหาร	มีอยู่ปริมาณมากในข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่	ช่วยลดระดับไขมันและคอเลสเตอรอล, ป้องกันโรคหัวใจ, ช่วยควบคุมน้ำหนักและช่วยระบบขับถ่าย
สารต้านอนุมูลอิสระชนิดละลายในน้ำ	47.5 mg ascorbic acid equivalent/100 g	
สารต้านอนุมูลอิสระชนิดละลายในน้ำมัน	33.4 mg ascorbic acid equivalent/100 g	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 เอนไซม์อะไมเลส

เอนไซม์อะไมเลสถูกค้นพบขึ้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ.1831 โดยศูนย์ฟรีดริชพวกเขาได้อธิบายถึงการย่อยสลายแป้งด้วยน้ำลายซึ่งอาศัยเอนไซม์ที่อยู่ในน้ำลายที่มีชื่อว่า “ไทยาลิน (Ptyalin)” หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “อะไมเลส (Amylase)” อีกสองปีต่อมา ค.ศ.1833 Anselme Payen และ Jean-François Persoz นักเคมีชาวฝรั่งเศสก็สามารถแยกเอนไซม์อะไมเลสออกจากข้าวบาร์เลย์งอกและตั้งชื่อใหม่ให้เอนไซม์อะไมเลสที่พบในข้าวบาร์เลย์งอกนี้ว่า “Diastase” หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 1862 Alexander Jakulowitsch Danilewsky ก็สามารถแยกเอนไซม์อะไมเลสจากตับอ่อนออกจากเอนไซม์เทปซินได้ (Robert and Joseph, 1970)

อะไมเลสเป็นเอนไซม์ในกลุ่ม Hydrolases และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลโดยไฮโดรไลซ์พันธะ 1,4-glycosidase bond ในโมเลกุลของสตาร์ชให้มีขนาดของโมเลกุลเล็กลงทำให้ได้เป็นเดกซ์ทรินและน้ำตาลไดแซ็กคาไรด์ เช่น มอลโทส และมอโนแซ็กคาไรด์ เช่น กลูโคส อะไมเลสส่วนใหญ่พบในน้ำลายตับอ่อน อะไมเลสที่พบในน้ำลายจะเรียกว่า ไทยาลิน ซึ่งสามารถพบได้ในคนและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Colon Institute, 2012)



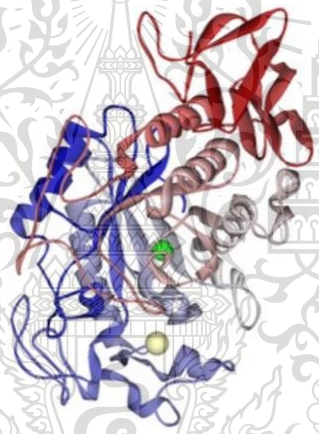
รูปที่ 2.2 โครงสร้างเอนไซม์อะไมเลส (Colon Institute, 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

2.3.1 แอลฟา-อะไมเลส

แอลฟา-อะไมเลสรหัสเอนไซม์ คือ 3.2.1.1 เป็นเอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคไซด์ภายในสายพอลิเมอร์ของโมเลกุลสตาร์ชและไกลโคเจนที่ตำแหน่งแอลฟา 1-4 แบบสุ่ม ทำให้โมเลกุลของสตาร์ชและไกลโคเจนถูกไฮโดรไลซ์ได้น้ำตาล เช่น น้ำตาลมอลโทสและกลูโคสอย่างรวดเร็ว เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสพบทั่วไปในระบบการย่อยอาหารของมนุษย์และสัตว์ เช่น ในน้ำลายและน้ำย่อยจากตับอ่อน ในอุตสาหกรรมอาหารใช้เอนไซม์นี้ในการไฮโดรไลซ์สตาร์ชในขั้นตอนการทำ Liquefaction เพื่อลดความหนืดของสารละลายสตาร์ชภายหลังการเกิดเจลาติไนซ์เพื่อผลิตน้ำเชื่อมกลูโคส (พิมพ์เพ็ญ และ เกียรติคุณ, 2546)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (พิมพ์เพ็ญ และ เกียรติคุณ, 2546)

2.3.2 การทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

การทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจะย่อยพันธะแอลฟา-1,4 ของสตาร์ชแบบสุ่มภายในโมเลกุล โดยช่วงแรกการย่อยจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเป็นแบบสุ่มต่อมาการย่อยจะช้าลงและมีความจำเพาะเจาะจงต่อการย่อยมากขึ้น โดยที่เอนไซม์มีแนวโน้มที่จะย่อยแซคคาร์ไรด์ชนิดสายยาวมากกว่าสายสั้น (Reilly, 1985) หรือมักจะย่อยพันธะแอลฟา- 1, 4 ที่อยู่บริเวณใกล้ปลายรีดิวซ์ของโอลิโกแซคคาร์ไรด์ ทั้งนี้กลไกการย่อยของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสเชื่อว่าเป็นกลไกแบบกรด-ด่างซึ่งมีคาร์บอกซิเลทที่มีประจุลบมีคุณสมบัติเป็นสารชอบนิวเคลียสและอิมิดาโซเลียมที่มีประจุบวกที่มีคุณสมบัติเป็นสารชอบอิเลคตรอนปฏิกิริยาเกิดเมื่อคาร์บอกซิเลทที่มีประจุลบเข้าทำปฏิกิริยาที่พันธะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แอลฟา-1,4-ไกลโคซิดิกเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่คงตัวเรียกว่า อะซิตัลเอสเทอร์ หลังจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้ผลิตภัณฑ์ที่เสถียร เช่น น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลมอลโทสและเด็กซ์ทรินที่มีหน่วยกลูโคสประมาณ 2-6 หน่วย (Naz, 2002 ; Apar and Ozbek, 2005 ; Wong, 1995)

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

2.4.1 ความเข้มข้นของเอนไซม์

ความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ใช้จะต้องมีความเหมาะสมกันกับความเข้มข้นของน้ำแป้งซึ่งถ้าความเข้มข้นของเอนไซม์ต่ำในขณะที่ความเข้มข้นของน้ำแป้งสูงจะส่งผลให้อัตราการย่อยต่ำใช้เวลาในการย่อยนานอีกทั้งส่งผลให้การย่อยแป้งอาจไม่สมบูรณ์แต่ถ้าหากใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์มากเกินไปจะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่สูงในกระบวนการผลิตและอาจเกิดกลิ่นของเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์ได้ (Yankov et al., 1986)

2.4.2 ความเป็นกรด-ด่าง

เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่นิยมใช้มักผลิตจากแบคทีเรียซึ่งมีค่า pH เหมาะสมต่อการทำงานอยู่ระหว่างค่า pH 6.0-6.5 บางชนิดทนอุณหภูมิสูงแต่ถ้าเป็นเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจากเชื้อรา เช่น *Aspergillus niger* ทำงานดีที่ค่า pH 5.5 และอุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส (อรัญ, 2560)

2.4.3 อุณหภูมิและระยะเวลาในการย่อยของเอนไซม์

อุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อการทำงานของเอนไซม์ คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เร่งในการทำงานของเอนไซม์เพิ่มขึ้นและเมื่ออุณหภูมิสูงจนถึงจุด ๆ หนึ่งที่เอนไซม์สามารถทำงานได้ดีที่สุดเรียกว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานแต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจากจุดดังกล่าวนี้อัตราเร็วของปฏิกิริยาของเอนไซม์จะเริ่มลดลงตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำลายโครงสร้างของเอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนให้เกิดการสูญเสียสภาพทางธรรมชาติ นอกจากนี้ระยะเวลาในการย่อยก็จะมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ โดยระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น การทำงานของเอนไซม์ที่จะย่อยสับสเตรทก็จะเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยเพิ่มขึ้นเช่นกัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.4 ความเข้มข้นของน้ำแป้ง

แป้งในแต่ละชนิดจากข้าวโพด, ข้าวโพดข้าวเหนียว, ข้าวเจ้ามันสำปะหลัง, มันฝรั่งและข้าวโอ๊ตซึ่งมีขนาดรูปร่างองค์ประกอบทางเคมีอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันและค่ากำลังการพองตัวที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ต่างกัน ดังนั้นทำให้ระดับการย่อยมีความแตกต่างกัน (Sukoncheun, 1994)

2.5 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอย หมายถึง การแปลงของเหลวซึ่งอาจจะเป็นสารละลายหรือของเหลวข้นให้เปลี่ยนสภาพเป็นผงแห้งในขั้นตอนเดียวซึ่งลักษณะของผง, ขนาดอนุภาคหรือการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของอาหารที่ถูกป้อนเข้าเครื่องรวมถึงการออกแบบเครื่องและกระบวนการจัดการ (Masters, 1979) หลักการทำงานพื้นฐานของการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ ของเหลวจะถูกพ่นให้เป็นละอองและให้สัมผัสลมร้อนที่ผ่านเข้ามาทำให้เกิดการระเหยน้ำอย่างรวดเร็วจะได้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีลักษณะแห้ง ผงนี้จะถูกแยกออกจากลมร้อนส่วนอากาศที่ไม่ใช้จะถูกพัดลมแยกออกไป (Spicer, 1974)

การอบแห้งแบบพ่นฝอยมีจุดเด่นต่อไปนี้

1. เนื่องจากของเหลวถูกพ่นฝอยให้เป็นละอองขนาดเล็กมากก่อนอบแห้ง ดังนั้นอัตราการอบแห้งจึงมีความเร็วสูงและเวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้งก็สั้นด้วยเหตุนี้จึงสามารถอบแห้งได้แม้กระทั่งวัสดุที่เสื่อมเสียง่ายโดยความร้อน

2. เนื่องจากสามารถทำผลิตภัณฑ์แห้งให้เป็นอนุภาคทรงกลมที่ใจกลางกลวง ดังนั้นจึงสามารถปรับขนาดอนุภาคและปรับความหนาแน่นปรากฏของชั้นอนุภาคให้อยู่ในช่วง 0.25 - 0.35 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3. เนื่องจากสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ในรูปเม็ดและผงได้โดยตรงจากวัสดุเหลว ดังนั้นจึงสามารถประหยัดอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ที่ต้องใช้ในการทำเม็ดหรือผง (เรียวโซ, 2529)

ในขั้นตอนการทำให้อาหารเหลวกลายเป็นละอองอาจใช้หัวฉีดแบบแรงดันจากเครื่องสูบอาหารเหลวหรือจากเครื่องอัดอากาศโดยผ่านเครื่องทำละอองซึ่งมีลักษณะต่าง ๆ กัน คือ เครื่องทำละอองแบบหัวฉีดแรงดัน, เครื่องทำละอองแบบหัวฉีดสองหัวพร้อมกันและเครื่องทำละอองแบบจานหมุน (Masters, 1979) เครื่องทำละอองเหล่านี้มีข้อได้เปรียบเสียเปรียบและลักษณะละอองอาหารเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ในการเลือกชนิดของเครื่องทำละอองจะขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ผงที่ต้องการลักษณะของอาหารเหลว ลักษณะการกระจายของขนาดผลิตภัณฑ์ผงที่ต้องการ

Tamsma et al., 1967 พบว่าการเพิ่มความดันในเครื่องทำละอองแบบหัวฉีดแรงดันหรือการเพิ่มรอบในการหมุนของเครื่องทำละอองแบบจานหมุนหรือการเพิ่มอัตราการไหลของลมร้อนและอาหารเหลวในเครื่องทำละอองแบบหัวฉีดสองหัวพร้อมกัน ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีขนาดเล็กลงแต่มีความหนาแน่นปรากฏสูงขึ้น

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้เครื่องทำละอองแบบหัวฉีดแรงดันและแบบจานหมุน

ปัจจัย	เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	หัวฉีดแรงดัน	หัวจานหมุน
เงื่อนไขของอาหารเหลว	ของเหลวแขวนลอย แป้งเปียก	พอใช้ได้	ใช้ได้
	ของที่ไหม้เกรียมติดง่าย	ใช้ได้	พอใช้ได้
	การแปรเปลี่ยนของความหนืด	ยาก	ค่อนข้างยาก
	การแปรเปลี่ยนของปริมาณที่อบแห้ง	ค่อนข้างใช้ได้	ใช้ได้
การป้อนอาหารเหลว	ปั๊มความดันสูง	มี	ไม่มี
	การบำรุงรักษา	ยาก	ง่าย
เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	ราคา	ถูก	แพง
	กำลังงานที่ใช้เดินเครื่อง	น้อยสุด	ปานกลาง
	การบำรุงรักษา	ยาก	ง่าย
ห้องอบแห้ง	ทิศทางการไหลของลมร้อน	ไหลขนาน สวนทาง	ไหลขนาน
	เส้นผ่าศูนย์กลางของห้อง	เล็ก	ใหญ่
	ความยาวของห้อง	ยาว	สั้น
ผลิตภัณฑ์	ขนาดอนุภาค	หยาบ	ละเอียด
	ความหนาแน่นปรากฏ	หนัก	เบา
	ความชื้นในผลิตภัณฑ์	มาก	น้อย
	ความสม่ำเสมอของขนาดอนุภาค	ดี	ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Masters (1979) และ Rahman (1995) กล่าวว่าความหนาแน่นปรากฏและความหนาแน่นของอนุภาคมีความสำคัญต่อการขนส่ง, บรรจุภัณฑ์และการบรรจุซึ่งความหนาแน่นปรากฏจะบ่งบอกถึงหน่วยของน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยจะมีความสม่ำเสมอของขนาดอนุภาคดี คุณสมบัติของค่าความหนาแน่นปรากฏมีประโยชน์ในทางการค้า เนื่องจากถ้าผลิตภัณฑ์ผงมีค่าความหนาแน่นปรากฏสูงจะช่วยลดปริมาณความจุในการขนส่งทำให้ผู้ผลิตประหยัดค่าขนส่งเพราะใช้พื้นที่ในการขนส่งและพื้นที่ในการเก็บรักษาน้อยทั้งยังช่วยประหยัดวัสดุที่นำมาทำบรรจุภัณฑ์ด้วย (GEA Process Engineering Austraia Pty. Ltd., 2006)

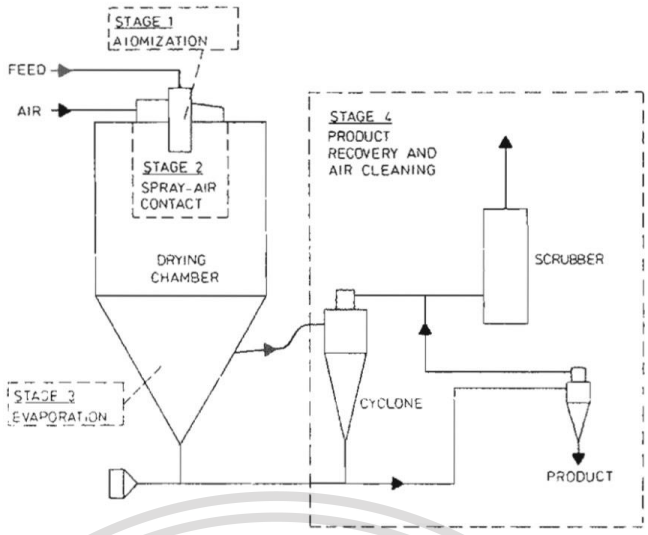
2.5.1 กลไกของการทำแห้งแบบพ่นฝอย

สารที่นำมาทำแห้งต้องอยู่ในรูปของเหลวโดยอาจอยู่ในสภาพของสารละลายเจล (Gel), อิมัลชัน (Emulsion) หรือของเหลวข้นการทำแห้งจะเกิดขึ้นโดยการทำให้ของเหลว ดังกล่าวแตกเป็นละอองภายในห้องทำแห้งที่มีอากาศร้อนไหลผ่าน ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นเร็วมากเนื่องจากของเหลวมีสภาพเป็นหยดเล็ก ๆ ซึ่งมีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับอากาศร้อนมาก การระเหยจึงเกิดขึ้นบนพื้นที่ผิวของหยดเม็ดเล็ก ๆ อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสารจะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาในลักษณะผงแห้ง การทำแห้งโดยวิธีนี้จะได้ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือไม่ขึ้นกับประสิทธิภาพในการทำให้ของเหลวแตกตัวเป็นหยดเล็ก ๆ และอัตราการถ่ายเทความร้อนของการสัมผัสระหว่างหยดเล็ก ๆ กับอากาศร้อนเป็นสำคัญ

2.5.2 การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

พรศักดิ์ และสมยศ (2533) กล่าวว่าอาหารเหลวที่จะนำมาทำแห้งเป็นอาหารผงจะต้องมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20 และไม่สูงกว่าร้อยละ 50 และอาหารเหลวนั้นต้องไหลได้ (Bangs and Reineccius, 1981) ได้ศึกษาการเติมสารช่วยในการทำแห้งและกักเก็บกลิ่นรสพบว่าเด็กซ์ทรินสามารถปรับปริมาณของแข็งทั้งหมดให้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 20 - 50 ซึ่งเหมาะกับการทำแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งถ้าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในอาหารเหลวมีค่าต่ำเกินไปจะมีผลทำให้ได้ปริมาณผลผลิตที่ต่ำ, การแยกและการเก็บรวบรวมผลิตภัณฑ์ผงทำได้ยากเนื่องจากเกิดการฟุ้งกระจายของอนุภาคผงในอากาศและค่าใช้จ่ายในการอบแห้งสูงเนื่องจากต้องใช้พลังงานในการระเหยน้ำสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.4 กระบวนการทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพ่นฝอยแบบระบบปิดไหลผ่านทางเดียว (Masters, 1979)

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้นประกอบด้วย 4 ขั้นตอนสำคัญ (เอกดนัย, 2548 ; Masters, 1979)

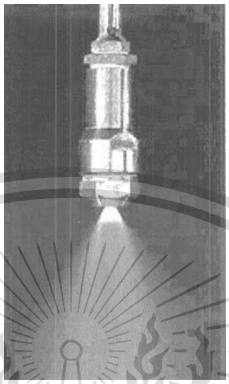
1. การทำให้อาหารเหลวกลายเป็นละออง กระบวนการนี้เป็นการทำให้อาหารเหลวกระจายตัวกลายเป็นละออง โดยใช้เครื่องทำละอองฝอยซึ่งมีลักษณะต่าง ๆ กัน การฉีดอาหารเหลวให้เป็นละอองฝอยอาจใช้หัวฉีดซึ่งมีแรงดันจากปั๊มหรือแรงดันจากเครื่องอัดอากาศหน้าที่อีกประการหนึ่งของเครื่องทำละอองฝอย คือ เป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของอาหารเหลว

1.1 เครื่องทำละอองแบบหัวฉีดแรงดัน

การพ่นฝอยแบบหัวฉีดแรงดันดังแสดงในรูปที่ 2.5 จะใช้ความดันสูงเพื่อให้ของเหลวที่ส่งผ่านเข้ามามีลักษณะเป็นละอองฝอยเล็ก ๆ ได้โดยที่ไม่ต้องใช้อากาศอนุภาคที่ได้จะมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 120 – 250 ไมครอน โดยขนาดอนุภาคจะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของอาหารเหลวและความหนืดแต่จะแปรผกผันกับความดัน เนื่องจากเมื่อสภาวะการพ่นฝอยเดียวกัน ถ้าของเหลวที่ส่งผ่านเข้ามามีความหนืดสูงมาก (อาจเกิดจากการลดลงของอุณหภูมิของของเหลวขณะป้อนเข้าเครื่อง) จะทำให้ละอองฝอยที่ถูกพ่นออกมามีลักษณะคล้ายเส้นด้ายทำให้อนุภาคของละอองฝอยมีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลต่อสภาวะการระเหยของน้ำทำให้ขนาดของอนุภาคผงใหญ่ขึ้นและความหนาแน่นปรากฏต่ำลง อัตราการไหลของอาหารเหลวนั้นเมื่อมีอัตราการป้อนอาหารเหลวเพิ่มขึ้นในขณะที่สภาวะอื่นคงที่จะทำให้ได้ละอองฝอยและผลิตภัณฑ์ผงที่หยาบขึ้นเพราะใช้เวลาในการสัมผัสกับอากาศน้อยเกินไป การเพิ่มความดันในเครื่องทำละอองแบบหัวฉีดแรงดันจะได้ละอองฝอยที่มีขนาดเล็กเพราะเครื่องทำละออง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ฝอยแบบนี้จะมีช่องเปิดเล็ก ๆ ตรงกลางมีแกนกั้นไว้และแกนนี้จะหมุนได้รอบเมื่อของเหลวฉีดผ่านมา เครื่องทำละอองแบบหัวฉีดแรงดันมีข้อดี คือ สามารถใช้ได้กับเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีอัตราการป้อนของเหลวที่สูงและมีขอบเขตในการใช้งานที่กว้างกว่าแบบหัวฉีดสองหัวพร้อมกันและแบบจานหมุน



รูปที่ 2.5 เครื่องทำละอองแบบหัวฉีดแรงดัน (เอกดนัย, 2548)

1.2 เครื่องทำละอองแบบหัวฉีดสองหัวพร้อมกัน

การพ่นฝอยแบบหัวฉีดสองหัวพร้อมกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 เป็นระบบที่มีการใช้อากาศมาช่วยในการป้อนวัตถุดิบให้กระจายเข้าไปในห้องอบแห้ง เครื่องทำละอองฝอยชนิดนี้อาหารเหลวและอากาศจะไหลผ่านหัวฉีดซึ่งจะทำให้อาหารเหลวแตกเป็นละอองฝอย เนื่องจากการไหลผ่านของอากาศด้วยความเร็วสูงภายในหัวฉีดการปรับอัตราการไหลของอากาศจะช่วยในการกระจายเป็นละอองของอาหารเหลว วิธีนี้นิยมใช้กับอาหารเหลวที่มีความหนืดสูงแต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีค่าดำเนินการที่สูงและให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ

รูปที่ 2.6 เครื่องทำละอองแบบหัวฉีดพร้อมกันสองทาง (เอกดนัย, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

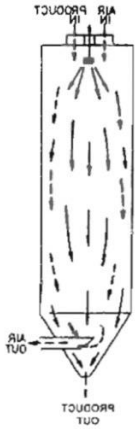
1.3 เครื่องทำละอองแบบจานหมุน

เครื่องทำละอองฝอยแบบจานหมุน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 อาหารเหลวจะไหลลงบนจานหมุนใกล้กับจุดศูนย์กลางโดยจานหมุนจะมีความเร็วรอบประมาณ 5,000 - 10,000 รอบต่อนาที อาหารเหลวที่ตกลงบนจานหมุน จะถูกเหวี่ยงออกด้านข้างกระจายเป็นละอองขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 30 - 120 ไมครอน ซึ่งขนาดอนุภาคนี้จะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของอาหารเหลวและความหนืดเช่นเดียวกับเครื่องทำละอองแบบหัวฉีดแรงดันแต่จะแปรผกผันกับอัตราการหมุนและเส้นผ่านศูนย์กลางของจานหมุนซึ่งการเพิ่มรอบการหมุนจะมีผลทำให้ขนาดอนุภาคที่ได้เล็กลง เครื่องทำละอองแบบจานหมุนมีข้อดี คือ สามารถใช้ได้ดีกับของเหลวที่มีลักษณะเหนียวและไม่มีปัญหามากจากการอุดตันของของเหลวเพราะช่องไหลออกของของเหลวมีขนาดใหญ่แต่มีข้อเสีย คือ ใช้กับของเหลวที่มีความหนืดสูงลำบาก, ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูงและไม่สามารถใช้ได้กับเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่วางขนานกับพื้น

รูปที่ 2.7 เครื่องทำละอองแบบจานหมุน (เอกดนัย, 2548)

2. การสัมผัสของละอองฝอยกับอากาศร้อนในขั้นตอนนี้ละอองฝอยของอาหารเหลวที่ถูกฉีดออกมาจะสัมผัสกันกับอากาศร้อนภายในห้องอบแห้งจนทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งอย่างเพียงพอและมีลักษณะเป็นผงตามที่ต้องการ ห้องอบแห้งจะมีรูปร่างหลายอย่างแตกต่างกันไปขึ้นกับการใช้งานซึ่งทั้งนี้เกี่ยวข้องกับการไหลของอากาศและละอองผลิตภัณฑ์ในห้องอบแห้งนั้น ๆ และเมื่อพิจารณาจากการออกแบบห้องอบแห้งและตำแหน่งของเครื่องทำละอองฝอยกับอากาศแห้งขาเข้าจะสามารถแบ่งรูปแบบของการสัมผัสกับอากาศร้อนได้ดังรูปที่ 2.8

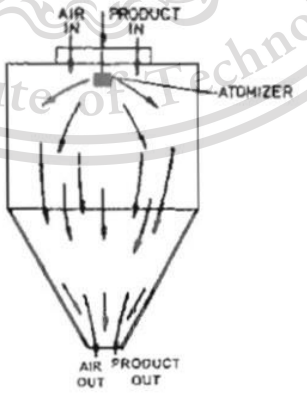
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.8 การไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Masters, 1979)

2.1 การไหลผ่านทางเดียว

ทิศทางการฉีดอาหารเหลวเป็นทิศทางเดียวกับการไหลของอากาศร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 อาหารเหลวจะถูกพ่นฝอยโดยอนุภาคอาหารจะแขวนลอยในอากาศร้อนเกิดการระเหยน้ำออกจนเป็นผงลักษณะนี้จะใช้กับอาหารที่ไม่ทนต่อความร้อนสูงเพราะละอองฝอยจะสัมผัสและผสมเข้ากับอากาศร้อนขณะที่ยังมีความชื้นสูงหรือมีน้ำภายในอนุภาคมากอยู่จากนั้นผลิตภัณฑ์จะเกิดการระเหยน้ำออกทันทีจนกลายเป็นผงทำให้อาหารแห้งที่ได้จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าลมร้อนที่ออกจากเครื่องและมีคุณภาพของอาหารหลังอบแห้งสูงวิธีนี้เป็นวิธีการทำแห้งของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยทั่วไป

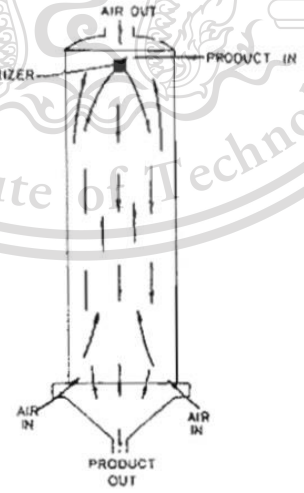


รูปที่ 2.9 การไหลทางเดียว (Masters, 1979)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 การไหลผ่านสวนทางกัน

อาหารเหลวจะถูกพ่นฝอยสวนทางกับอากาศร้อนดังแสดงในรูปที่ 2.10 เริ่มจากอนุภาคของอาหารที่มีอุณหภูมิต่ำจะค่อย ๆ มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนกระทั่งเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อนลักษณะนี้จะมีการถ่ายเทความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพเหมาะกับอาหารที่ทนต่อความร้อนสูงและต้องการความร้อนมาก เนื่องจากอาหารเหลวจะถูกพ่นฝอยลงมาจากด้านบนในขณะที่อากาศร้อนจะไหลสวนทางขึ้นจากด้านล่าง ดังนั้นละอองฝอยจะสัมผัสกับอากาศที่มีความชื้นและอุณหภูมิไม่สูงมากก่อนจึงทำให้น้ำอิสระระเหยออกได้ง่ายจากนั้นเมื่ออนุภาคของละอองฝอยเคลื่อนที่เข้าใกล้อากาศร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นความชื้นในอากาศน้อยลงทำให้น้ำที่ถูกตรึงในอนุภาคถูกดึงออกมามากขึ้น ลักษณะนี้จะมีการถ่ายเทความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพแต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ผงที่เคลื่อนที่เข้าใกล้อากาศร้อนที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ความชื้นเหลืออยู่น้อยนั้น ผลิตภัณฑ์ผงจะมีความร้อนสูงมากอาจเกิดการไหม้ได้ ดังนั้นการทำแห้งในลักษณะนี้จึงเหมาะกับอาหารที่ทนต่อความร้อนสูงและต้องการความร้อนมากเพื่อให้ได้ลักษณะคุณภาพบางอย่างที่ต้องการ เช่น ความโปร่งมากขึ้นหรือความหนาแน่นปรากฏลดลง แต่มีข้อเสีย คือ คุณภาพของอาหารหลังอบแห้งอาจไม่ค่อยดีนักเนื่องจากอาหารส่วนที่แห้งแล้วจะสัมผัสกับอากาศซึ่งร้อนจัด นอกจากนี้อัตราการไหลของอากาศต้องไม่สูงมากนักเพื่อป้องกันการพัดพาเอาอาหารซึ่งแห้งแล้วออกจากเครื่องอบแห้ง

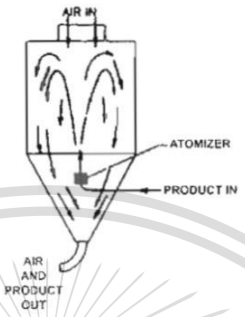


รูปที่ 2.10 การไหลผ่านสวนทางกัน (Masters, 1979)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 การไหลผ่านแบบผสม

ทิศทางการฉีดอาหารเหลวเป็นการผสมของสองแบบแรกจะใช้ลักษณะนี้เมื่อต้องการอนุภาคที่หยาบและอาหารต้องทนต่อความร้อนสูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การไหลแบบผสม (Masters, 1979)

3. การระเหยของน้ำที่ผิวของละอองฝอย เมื่อละอองฝอยสัมผัสกับอากาศร้อนจะเกิดการระเหยน้ำที่บริเวณผิวของอนุภาคละอองฝอยเกิดเป็นไอน้ำที่อิ่มตัวมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อนที่ใช้ การระเหยของอนุภาคละอองฝอยเกิดเป็น 2 ขั้นตอน คือ อัตราการระเหยคงที่และอัตราการระเหยไม่คงที่ ขั้นตอนแรกจะเกิดเมื่อความชื้นภายในอนุภาคละอองฝอยมีอยู่มากพอที่จะแพร่กระจายไปที่ผิวจนอยู่ในสภาวะอิ่มตัวอัตราการระเหยคงที่ ขั้นตอนที่สองเกิดเมื่อปริมาณความชื้นลดต่ำลงกว่าสภาวะอิ่มตัวและจะเข้าใกล้สู่จุดวิกฤตผิวของอนุภาคละอองฝอยจะเริ่มแห้ง อัตราการระเหยช่วงนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่กระจายความชื้นผ่านผิวนอกที่แห้ง ความหนาของชั้นผิวนอกที่แห้งจะมากขึ้นตามเวลาอัตราการระเหยจึงมีค่าลดลง

4. ขั้นตอนการแยกผลิตภัณฑ์แห้งออกจากอากาศ การรวบรวมเก็บผลิตภัณฑ์ผงนั้นมีวิธีการต่าง ๆ กันออกไปแล้วแต่ชนิดของอุตสาหกรรม การแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกจากอากาศนั้นผงของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในห้องอบแห้งมักจะถูกเก็บโดยใช้ไซโคลนซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป ไซโคลนจะมีลักษณะเป็นรูปกรวยซึ่งอากาศจะพุ่งเข้าไปขนานกับฝาของไซโคลนหมุนเวียนลึกลงไปที่ฐานของไซโคลนและหมุนวนกลับขึ้นมาอีกครั้งหนึ่งลมจะออกไปยังทางออกที่อยู่ด้านบน ส่วนผงของผลิตภัณฑ์ในอากาศหมุนจะหมุนตกลงที่ใต้ไซโคลนอากาศที่หมุนออกไปยังทางออกยังคงมีผงผลิตภัณฑ์อยู่ซึ่งอาจเก็บได้โดยใช้ถุงกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Tamsma et al., 1967 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการระเหยในการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ ความเข้มข้นของอาหารเหลวโดยการเพิ่มความเข้มข้นของอาหารเหลวจะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีอนุภาคใหญ่และมีความหนาแน่นปรากฏต่ำลงและการเพิ่มอุณหภูมิลมเข้าโดยที่อัตราการไหลของอาหารเหลวเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยคงที่จะทำให้ความหนาแน่นปรากฏของผลิตภัณฑ์ผงลดลงและมีความโปร่งมากขึ้นเนื่องจากอัตราการระเหยน้ำเกิดเร็วขึ้น นอกจากนี้ (Bhandari et al., 1992) ได้ศึกษาถึงเทคนิคการกักเก็บกลิ่นในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมขาเข้าอย่างรวดเร็วในการทำแห้งแบบพ่นฝอยให้แก่ละอองอาหารเหลวจะทำให้เกิดเปลือกแข็งเป็นชั้น 1 บนผิวของละอองอาหารเหลวเกิดเป็นอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงสารระเหยที่ให้กลิ่นรสในอาหารเหลวไม่สามารถผ่านออกมาได้ทำให้มีปริมาณสารระเหยที่ให้กลิ่นรสเหลืออยู่ร้อยละ 84

2.5.3 ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย

Masters (1979) กล่าวว่าผลิตภัณฑ์ผงสำเร็จรูปที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ดีจะต้องสามารถกระจายตัวและละลายได้อย่างรวดเร็วในน้ำการที่จะมีคุณสมบัติเช่นนี้ผลิตภัณฑ์ผงจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. คุณสมบัติของการเปียก อนุภาคผงต้องมีความสามารถในการดูดซับน้ำบริเวณพื้นผิวที่ดีเพื่อให้น้ำสามารถแทรกซึมผ่านได้

2. คุณสมบัติของการจม อนุภาคผงต้องมีความสามารถในการจมลงในน้ำหลังจากที่ทำให้เปียกแล้วได้

3. คุณสมบัติของการแพร่กระจาย ผลิตภัณฑ์ผงต้องมีความสามารถในการกระจายตัวได้ดีในน้ำซึ่งคุณสมบัติของการแพร่กระจายที่ดีนั้นจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับน้ำต้องสูง อนุภาคผงต้องไม่ลอยตัวอยู่บนผิวน้ำอนุภาคผงต้องมีการละลายน้ำที่ดีและมีการต้านทานต่อการจม

4. คุณสมบัติของการละลาย ผลิตภัณฑ์ผงมีการละลายน้ำที่ดีหรือไม่นั้นสามารถบอกได้ 2 ลักษณะ คือ อัตราเร็วในการละลายและความสามารถในการละลายทั้งหมด

Bete (2005) กล่าวว่าผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยมักมีขนาดอนุภาคที่สม่ำเสมอซึ่งความหนาแน่นปรากฏของผลิตภัณฑ์ผงจะมีความสำคัญต่อการขนส่ง, บรรจุภัณฑ์และการบรรจุ ความหนาแน่นปรากฏยังบ่งบอกถึงขนาดอนุภาคผงและบ่งบอกถึงกระบวนการจัดการของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นปรากฏของผลิตภัณฑ์ผงมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1. การเพิ่มอัตราการป้อนอาหารเหลวมีผลทำให้ความหนาแน่นปรากฏเพิ่มขึ้นและส่งผลทำให้ความชื้นมีค่าสูงขึ้นด้วย

2. ถ้าอุณหภูมิของอาหารเหลวที่ป้อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะได้ หยดของเหลวที่มีลักษณะเป็นทรงกลมแทนที่จะได้ลักษณะเป็นเส้นด้ายและอุณหภูมิที่สูงขึ้นของอาหารเหลวทำให้ความหนาแน่นปรากฏมีค่าเพิ่มขึ้น

3. ผลิตภัณฑ์ผงที่มีความชื้นสูงขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นปรากฏมีค่าเพิ่มขึ้น

4. อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่สูงขึ้นมีผลทำให้ความหนาแน่นปรากฏมีค่าลดลง

5. การลดลงของอุณหภูมิลมร้อนขาออกส่งผลให้ปริมาณความชื้นและความหนาแน่นปรากฏมีค่าเพิ่มขึ้น

6. กระบวนการจัดการเครื่องจักรที่ทำให้ขนาดอนุภาคผงเล็กลงมีผลทำให้ความหนาแน่นปรากฏมีค่าเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมักเกิดปัญหาในเรื่องการสูญเสียกลิ่นรสและการจับตัวกันเป็นก้อนทั้งในระหว่างและหลังการทำแห้ง การแก้ปัญหาเหล่านี้ทำได้โดยการเติมสารช่วยในการทำแห้งและกักเก็บกลิ่นรส (Schultz and Taiburt, 1961) หรือตัวพาซึ่งมีคุณสมบัติในการช่วยรักษากลิ่นรสของอาหารไว้ได้และช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งให้กับวัตถุดิบก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยที่ตัวพามีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ, ไม่มีกลิ่นรสและสามารถละลายได้ดี เช่น มอลโทเด็กซ์ทริน (กัลยาณี, 2540)

2.5.4 ตัวพา

ตัวพาที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย หมายถึง สารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นวัตถุเจือปนในอาหารทำหน้าที่เป็นตัวขนส่งและกระจายสารเคมีบางอย่างในอาหารซึ่งถูกทำลายได้ง่ายโดยความร้อนหรือสารที่ระเหยได้ง่าย เช่น สารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของกลิ่นรส สี วิตามิน หรือสารอื่น ๆ ในอาหาร โดยสารตัวพาทำหน้าที่ดักจับและกักเก็บสารเหล่านี้ไว้แทนทำให้ไม่ถูกทำลายด้วยความร้อนหรือระเหยได้น้อยและเมื่อนำอาหารผงนั้นไปคืนตัวด้วยการผสมน้ำ สีหรือกลิ่นรสของอาหารเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกมาทำให้สี, กลิ่นรสของอาหารหลังการคืนตัว มีลักษณะคล้ายวัตถุดิบสดก่อนนำมาทำแห้ง นอกจากนั้นตัวพายังทำหน้าที่เพิ่มปริมาณของแข็งให้กับอาหารก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อประหยัดเวลาในการทำแห้ง เช่น น้ำผลไม้ซึ่งมีปริมาณของแข็งต่ำและของแข็งเหล่านั้นส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไฟล์ไปเผยแพร่ต่อ ไม่ว่าจะเพื่อการค้าหรือไม่ก็ตาม
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ใหญ่ คือ น้ำตาล หากทำแห้งจนเป็นผงแล้วน้ำตาลเหล่านี้จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นมากและดูดความชื้นกลับได้อย่างรวดเร็วเหนียวติดภาชนะหรือไม่สามารถทำให้เป็นผงได้ เนื่องจากมีการเกาะติดบริเวณผนังห้องทำแห้งและดูดความชื้นกลับจนเหนียวเยิ้ม ดังนั้นถ้ามีตัวพาอยู่ด้วยตัวพาจะทำหน้าที่เจือจางปริมาณน้ำตาลในผงให้มีความเข้มข้นลดลง (กัลยาณี, 2540)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฉัตรแก้ว วิรบุตร์ (2550) ศึกษาผลของความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดของสารละลายน้ำแป้ง โดยนำแป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 100 กรัม ผสมน้ำกลั่น 370 มิลลิลิตร และเติมแคลเซียมคลอไรด์ 200 ส่วนในล้านส่วน ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วง 6.5-7.0 ด้วย 0.5 นอร์มอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ เติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ 4 ระดับความเข้มข้น คือ ร้อยละ 0.025, 0.05, 0.075 และ 0.1 จากนั้นปิดภาชนะด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์และย่อยในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 75 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 30 นาที พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น ($p<0.05$)

นฤชาติ บุญรัตน์ (2559) ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสต่อคุณภาพน้ำสกัดจากข้าวโดยนำแป้งข้าวมาผสมกับน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) บ่มที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ 3 ระดับความเข้มข้น คือ ร้อยละ 0.05, 0.1 และ 0.5 (ปริมาตรต่อน้ำหนัก) จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสต่อคุณภาพน้ำสกดัจากข้าว คือ การใช้ความเข้มข้นเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสร้อยละ 0.5 (ปริมาตรโดยน้ำหนัก) นาน 60 นาที นอกจากนี้มีการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยนำน้ำสกัดจากข้าวที่ผ่านการย่อยบางส่วนมาทำแห้งโดยกำหนดอุณหภูมิอากาศขาออกเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส และศึกษาปัจจัยการผลิต 2 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของมอลโทเด็กซ์ทริน (ร้อยละ 0, 10 และ 20) และอุณหภูมิอากาศขาเข้า (150, 170 และ 190 องศาเซลเซียส) และพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ การใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้า เท่ากับ 187 องศาเซลเซียส และใช้ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินร้อยละ 15.2 โดยมีค่าร้อยละผลผลิตของข้าวผงเท่ากับ 70.94

พรรวินท์ ไชยคา (2554) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ในการสกัดน้ำนมข้าวเหนียวดำโดยใช้อัตราส่วนข้าวเหนียวดำต่อน้ำเท่ากับ 1:5 ที่ระยะเวลาแช่ 2 ชั่วโมงโดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสเข้มข้นร้อยละ 0.2 ที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.5 เป็นระยะเวลานาน 30, 60 และ 120 นาที และอุณหภูมิ 60, 80 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่า สภาวะที่เหมาะในการสกัดน้ำนมข้าวเหนียวดำจะใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และระยะเวลานาน 60 นาที ส่งผลให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์, ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด ($p<0.05$) มีค่าเท่ากับ 98.90 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ร้อยละ 15.90 และ 22.93 องศาบริกซ์ ตามลำดับ

Fazaeli และคณะ (2012) ศึกษาผลของอุณหภูมิของลมร้อนในการทำแห้งต่อคุณภาพของมัลเบอร์รี่ผงโดยนำมัลเบอร์รี่มาปั่นจากนั้นตัวอย่างจะถูกกรองด้วยระบบ Spiral ultrafiltration จนสุดท้ายปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำมัลเบอร์รี่เท่ากับร้อยละ 16 แล้วนำตัวอย่างผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยกำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ คือ 110, 130 และ 150 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิลมร้อนขาออกเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นผลิตภัณฑ์ผงจะถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพพบว่า เมื่ออุณหภูมิของลมร้อนในการทำแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ลดลงในขณะที่ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิของลมร้อนในการทำแห้งสูง ระบบมีอัตราการทำแห้งสูงซึ่งส่งผลให้โครงสร้างมีรูพรุนมากขึ้นและเกิดการหดตัวของผงลดลงจึงทำให้ความหนาแน่นของผงลดลงในขณะที่ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

Grabowski และคณะ (2006) ศึกษาผลของการเติมมอลโทเด็กซ์ทริน, ระดับความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและอุณหภูมิของอากาศขาเข้าต่อการทำแห้งต่อคุณภาพของผงแป้งมันฝรั่งโดยนำมันฝรั่งมาผ่านความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส 3 ระดับความเข้มข้น คือ 0, 3.75 และ 7.5 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัม เป็นระยะเวลานาน 30 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นหยุดกิจกรรมของเอนไซม์ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ต่อมานำตัวอย่างมาเติมมอลโทเด็กซ์ทริน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 10 และ 20 แล้วนำมาผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยกำหนดให้อุณหภูมิเริ่มต้นของเหลวเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิของอากาศขาออกเท่ากับ 100 องศาเซลเซียสและกำหนดอุณหภูมิของอากาศขาเข้าในการทำแห้ง 3 ระดับ คือ 150, 190 และ 220 องศาเซลเซียส จากนั้นผลิตภัณฑ์ผงจะถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพพบว่าการเติมมอลโทเด็กซ์ทรินปริมาณเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) ของผงแป้งมันฝรั่งเพิ่มขึ้นส่วนความเข้มข้นของเอนไซม์และอุณหภูมิของลมร้อนในการทำแห้งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ชื่อวิทยาศาสตร์ *Oryza sativa* L.) ผลิตโดยวิสาหกิจชุมชน ศูนย์ข้าวชุมชนตำบลดอนเกาะกา ตราโนรี เมล็ดข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่กว้าง x ยาว x หนา = 2.1 x 7.6 x 1.7 มิลลิเมตร ปริมาณอะไมโลสประมาณ 15.6 % อุณหภูมิแป้งสุกน้อยกว่า 70 องศาเซลเซียส (กรมการเกษตร, 2543)

3.2 อุปกรณ์

1. เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (ชื่อทางการค้า iKnowZyme HTAA 40L)
2. เครื่องบด (HR2118/02, Philips, Thailand)
3. ตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร (Endecotts LTD, UK)
4. เตาแม่เหล็กไฟฟ้า (HD4911, Philips, Thailand)
5. หม้อสแตนเลส
6. ทัพพีสแตนเลส
7. ผ้าขาวบาง
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. บีกเกอร์ขนาด 600 ml
10. บีกเกอร์ขนาด 400 ml
11. กระบอกตวงขนาด 127 ml
12. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง (HB-120, Yamato electronic balance, Japan)
13. เครื่องวัดสีระบบ Colorimetric Spectrophotometer (ColorFlex EZ, HunterLab, USA)
14. เตาอบลมร้อน (UM 500, Memmert, Germany)
15. เครื่องวัดความชื้นอุณหภูมิ (HT-770, DIGICON)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

16. เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (CX3TE, Aqualab model, USA)
17. เครื่องวัด pH (C830, Consort, Belgium)
18. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลแบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง (UX-3200G, Shimadzu, Japan)
19. เครื่องวัดความหนืด (DV-II + Pro, Brookfield, USA)
20. เครื่อง Refractometer (Pal- α, ATAGO, Japan)
21. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (BWS-5, Bluepard, China)
22. เครื่อง Magnetic stirrer (HTS-1003, LMS, Japan)
23. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (JCM Minilab, Euro Best Technology LTD., Thailand)
24. เครื่องวัดความเร็วลม (GM8902, BENETECH)

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำข้าวไรซ์เบอร์รี่มาบดด้วยเครื่องบด (HR2118/02, Philips, Thailand) จากนั้นทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมโครเมตร (Endecotts LTD, UK) ตัวอย่างข้าวที่ได้จะมีลักษณะเป็นผงละเอียด นำข้าวผงละเอียดมาผสมกับน้ำกรองให้มีความเข้มข้นร้อยละ 20 น้ำหนักต่อปริมาตร ทำการต้มที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสและทำการกรองด้วยผ้าขาวบาง 4 ชั้นจากนั้นนำตัวอย่างน้ำข้าวไปบรรจุลงในถุงที่ปิดสนิทในสภาวะสุญญากาศและทำการการสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์หาความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดและหาความชื้นด้วยสมการ (3.3)

3.3.2 การศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

นำตัวอย่างน้ำข้าวมาเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (ชื่อทางการค้า iKnowZyme HTAA 40L) ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ คือร้อยละ 0.02, 0.04, 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนัก ทำการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (BWS-5, Bluepard, China) เนื่องจากเป็นเอนไซม์ที่สามารถทนความร้อนได้สูง (อรัญ, 2560) ทำการให้ความร้อนตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับโดยที่เวลาต่างกัน 5 ระดับ คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที โดยนำแต่ละความเข้มข้นที่เวลาต่างกันมาแช่ในน้ำ 100 องศาเซลเซียส เพื่อหยุดกิจกรรมของเอนไซม์ (Brooks and Griffin, 1987) จากนั้นทำการแช่ในน้ำที่มีน้ำแข็งเพื่อลดอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำข้าวและจากนั้นนำตัวอย่างมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วิเคราะห์หาความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดและนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟและพิจารณาหาระดับความหนืดที่เหมาะสม

3.3.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

นำน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (ชื่อทางการค้า iKnowZyme HTAA 40L) ที่ถูกเลือกในสภาวะที่เหมาะสมมาเป็นตัวอย่างในการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (JCM Minilab, Euro Best Technology LTD., Thailand) โดยทำการกำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 2 ระดับ คือ 150 และ 170 องศาเซลเซียสและทำการทดลองที่สภาวะเดียวกัน คือ อุณหภูมิลมร้อนขาออก 70 องศาเซลเซียส ทำการปรับค่าตามที่กำหนดและรอจนคงที่จากนั้นทำการป้อนน้ำข้าวและอุ่นที่ความร้อน 25 องศาเซลเซียสปั๊มจะทำการดูดน้ำข้าวผ่านสายลำเลียงไปยังหัวฉีดแบบของไหลสองชนิดซึ่งจะเกิดเป็นละอองฝอยภายในเครื่องทำแห้งนำผลิตภัณฑ์ผงที่ได้บรรจุลงในถุงปิดสนิทในสภาวะสุญญากาศ

3.4 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

3.4.1 การวัดสีของน้ำข้าว

นำตัวอย่างน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (ชื่อทางการค้า iKnowZyme HTAA 40L) ที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับและย่อยที่ระยะเวลาที่เหมาะสม โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสีระบบ Colorimetric Spectrophotometer (ColorFlex EZ, HunterLab, USA) ใช้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} และ 10° standard observer (มาตรฐานการผู้สังเกตการณ์ที่ 10 องศา) โดยทำการสอบเทียบมาตรฐานก่อนวัดทุกครั้งและค่าที่อ่านแสดงค่าระบบสี CIELch (L^*, c^*, h^*) และระบบสี CIELab (L*, a*, b*) ทำการศึกษาการเปลี่ยนสีของน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับที่ระยะเวลาที่เหมาะสมมาเปรียบเทียบกัน โดยคำนวณหาค่าความเข้มของสีด้วยสมการ (3.1) และค่าเฉดสีด้วยสมการ (3.2) (ASTM, 2000)

$$c^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \tag{3.1}$$

$$h^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \tag{3.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อ L^* คือ ค่าความสว่าง

c^* คือ ความเข้มของสี

h^* คือ เฉดสี

a* คือ สีแดง/เขียว

b* คือ สีเหลือง/ฟ้า

3.4.2 การวิเคราะห์ลักษณะความหนืด

นำตัวอย่างน้ำข้าวที่ยังไม่ผ่านกระบวนการย่อยและผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (ชื่อทางการค้า iKnowZyme HTAA 40L) ที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับและระยะเวลาย่อยต่างกัน 5 ระดับโดยทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืด (DV-II + Pro, Brookfield, USA) ทำการประกอบหัววัดเข้ากับเครื่องโดยเลือกหัววัดจากตัวอย่างที่นำมาวัด ถ้าความหนืดมากใช้หัววัดที่มีขนาดเล็กและความหนืดน้อยใช้หัววัดที่มีขนาดใหญ่ สังเกตได้จากค่าเปอร์เซ็นต์ Torque ต้องมีค่าระหว่าง 80 – 100 % ใส่ตัวอย่างในบีกเกอร์ปริมาตร 600 ml และทำการจุ่มหัววัดลงในตัวอย่าง

3.4.3 การวัดความเป็นกรด-ด่าง

นำตัวอย่างน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (ชื่อทางการค้า iKnowZyme HTAA 40L) ที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับและย่อยที่ระยะเวลาที่เหมาะสม โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัด pH (C830, Consort, Belgium) ทำได้โดยการล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำปราศจากไอออนหรือน้ำกลั่นและทำการซับด้วยทิชชู่ จากนั้นจุ่มอิเล็กโทรดลงในตัวอย่างในที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ

3.4.4 ความชื้น

เพื่อให้ทราบถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำข้าว โดยนำตัวอย่างน้ำข้าวที่ยังไม่ผ่านกระบวนการย่อยและผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (ชื่อทางการค้า iKnowZyme HTAA 40L) ที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับและระยะเวลาย่อยต่างกันที่ 5 ระดับ ทำการแบ่งเป็นตัวอย่างละ 3 กองและชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง (HB-120, Yamato electronic balance, Japan) นำไปเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสด้วยเตาอบลมร้อน (UM 500,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Memmert, Germany) จากนั้นชั่งน้ำหนักจนกระทั่งค่าคงที่ทำการคำนวณความชื้นฐานเปียก (AOAC, 2000) โดยใช้สมการ (3.3)

$$\%\ \text{Moisture Content(w.b.)} = \frac{m_i - m_s}{m_i} \times 100 \left(\frac{gH_20}{gsolid}\right) \quad (3.3)$$

เมื่อ m_i คือ น้ำหนักของน้ำข้าวก่อนอบ (กรัม) และ m_s คือ น้ำหนักของน้ำข้าวหลังอบ (กรัม)

3.4.5 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด

นำตัวอย่างน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (ชื่อทางการค้า iKnowZyme HTAA 40L) ที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับและที่ระยะเวลาที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Refractometer (Pal- α, ATAGO, Japan)

3.5 การศึกษาคุณสมบัติของข้าวผง

3.5.1 การวัดสีของข้าวผง

นำตัวอย่างข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกันมาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสีระบบ Colorimetric Spectrophotometer (ColorFlex EZ, HunterLab, USA) ใช้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} และ 10° standard observer (มาตรฐานการผู้สังเกตการณ์ที่ 10 องศา) โดยทำการสอบเทียบมาตรฐานก่อนวัดทุกครั้งและค่าที่อ่านแสดงค่าระบบสี CIELch (L^*, c^*, h^*) และระบบสี CIELab (L*, a*, b*) ทำการศึกษาการเปลี่ยนสีของข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกันมาเปรียบเทียบกัน โดยคำนวณหาค่าความของสีด้วยสมการ (3.4) และค่าเฉดสีด้วยสมการ (3.5) (ASTM, 2000)

$$c^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3.4)$$

$$h^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5.2 ความหนาแน่นของข้าวผง

นำตัวอย่างข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกันโดยนำตัวอย่างมาใส่ในกระบอกตวงปริมาตร จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง (HB-120, Yamato electronic balance, Japan) ทำการคำนวณหาความหนาแน่นโดยใช้สมการ (3.6)

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{3.6}$$

3.5.3 ความชื้น

เพื่อให้ทราบถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในข้าวผง โดยนำตัวอย่างข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน ทำการแบ่งเป็นตัวอย่างละ 3 กองและชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง (HB-120, Yamato electronic balance, Japan) นำไปเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสด้วยเตาอบลมร้อน (UM 500, Memmert, Germany) จากนั้นชั่งน้ำหนักจนกระทั่งค่าคงที่ทำการคำนวณความชื้นฐานแห้ง (AOAC, 2000) โดยใช้สมการ (3.7)

$$\%\ \text{Moisture Content(d. b.)} = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100\left(\frac{gH_2O}{gsolid}\right) \tag{3.7}$$

เมื่อ m_i คือ น้ำหนักของข้าวผงก่อนอบ (กรัม) และ m_s คือ น้ำหนักของข้าวผงหลังอบ (กรัม)

3.5.4 ร้อยละผลผลิตที่ได้รับ

นำตัวอย่างข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกันมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง (HB-120, Yamato electronic balance, Japan) และนำค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มาคำนวณหาร้อยละผลผลิตที่ได้รับโดยใช้สมการ (3.8)

$$\text{ร้อยละผลผลิตที่ได้รับ} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ผง}}{\text{ปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์}} \times 100 \tag{3.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5.5 ความสามารถในการละลาย

นำตัวอย่างข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกันมาชั่งน้ำหนักโดยแบ่งตัวอย่างผง 40 กรัม จากนั้นนำมาละลายน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องได้ปริมาตร 200 มิลลิลิตร จากนั้นกวนให้เข้ากันด้วยเครื่อง Magnetic stirrer (HTS-1003, LMS, Japan) ด้วยความเร็วคงที่และทำการจับเวลาจนผลิตภัณฑ์ผงละลายอย่างสมบูรณ์ (Caparino et al., 2012)

3.5.6 วอเตอร์แอคทิวิตี้

นำตัวอย่างข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกันมาแบ่งใส่ถ้วยพลาสติกโดยในแต่ละครั้งต้องทำการสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (CX3TE, Aqualab model, USA) ด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องและให้มีค่า 0.1 จากนั้นทำการหาค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้

3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง *3* ซ้ำ โดยหาค่าสี, ค่าความหนืด, ความชื้น, ความหนาแน่น, ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ และค่าร้อยละผลผลิตที่ได้รับ ทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของข้อมูล จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย ANOVA (Analysis of variance) และ T-test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

พบว่าตัวอย่างของน้ำข้าวที่ใช้ในการทดลองมีความเข้มข้นร้อยละ 20 น้ำหนักต่อปริมาตร ทำให้มีค่าความหนืดเริ่มต้นที่ $6.1 \times 10^5 \pm 4.58$ เซนติพอย ดังนั้นจึงทำการย่อยน้ำข้าวด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจากการศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.02, 0.04 และ 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนัก และทำการให้ความร้อนตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับและที่เวลาต่างกัน 5 ระดับ คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที เมื่อทำการย่อยน้ำข้าวด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสทั้งนี้จะพบว่ายิ่งเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและเพิ่มเวลาในการย่อยจะยิ่งทำให้ค่าความหนืดลดลงเนื่องจากเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสเป็นเอนไซม์ย่อยแป้งโดยไฮโดรไลซ์ตรงพันธะแอลฟา -1,4 ไกลโคไซด์ภายในโมเลกุลของสตาร์ชแบบสุ่มจึงทำให้น้ำข้าวมีความหนืดลดลง (อรัญ, 2560) และเป็นของไหลแบบนอนนิวโตเนียนที่ขึ้นกับเวลา (Thixotropic fluid) ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส คือ 3 นาที ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนัก เนื่องจากมีค่าความหนืดลดลงที่ $5.4 \times 10^3 \pm 5.57$ เซนติพอย และเนื่องจากความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลามีผลต่อค่าความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4.1 ความหนืดของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้นต่างกันที่เวลาต่างๆ

นาที	ความเข้มข้นของเอนไซม์ (ปริมาตรต่อน้ำหนัก)		
	ร้อยละ 0.02	ร้อยละ 0.04	ร้อยละ 0.06
0	612256 ± 4.58	612256 ± 4.58	612256 ± 4.58
1	156388 ± 3.61	34913 ± 3.61	17836 ± 4.58
2	105338 ± 5.57	23420 ± 4.58	10054 ± 4.58
3	86781 ± 5.57	17356 ± 4.00	5471 ± 5.57
4	72156 ± 5.57	15251 ± 3.61	
5	57546 ± 4.58	13387 ± 4.00	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

4.2.1 การวัดสีของน้ำข้าว

จากการศึกษาน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ คือ 0.02, 0.04 และ 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนัก และย่อยที่ระยะเวลาเหมาะสมโดยทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสีระบบ Colorimetric Spectrophotometer พบว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.02, 0.04 และ 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนัก มีค่า L^*, a^*, b^*, c^* และ h^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลทำให้น้ำข้าวมีการเปลี่ยนแปลงของสี

ตารางที่ 4.2 ค่าสีของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นของเอนไซม์	ตัวแปร				
(ปริมาตรต่อน้ำหนัก)	L*	a*	b*	c*	h*
ร้อยละ 0.02	15.643 ± 0.31	9.613 ± 0.41	2.793 ± 0.29	10.012 ± 0.47	16.174 ± 0.92
ร้อยละ 0.04	15.703 ± 0.15	9.803 ± 0.27	3.023 ± 0.13	10.259 ± 0.29	17.135 ± 0.28
ร้อยละ 0.06	15.817 ± 0.25	9.857 ± 0.21	3.097 ± 0.18	10.314 ± 0.25	17.114 ± 0.60

4.2.2 การวัดความเป็นกรด-ด่าง

จากการศึกษาน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ คือ 0.02, 0.04 และ 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนัก และย่อยที่ระยะเวลาเหมาะสมโดยทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัด pH พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำข้าวที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับมีค่าอยู่ในช่วง 6.0 – 6.1 ซึ่งเป็นค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสซึ่งอยู่ที่ 6.0 – 6.5 (อรัญ, 2560)

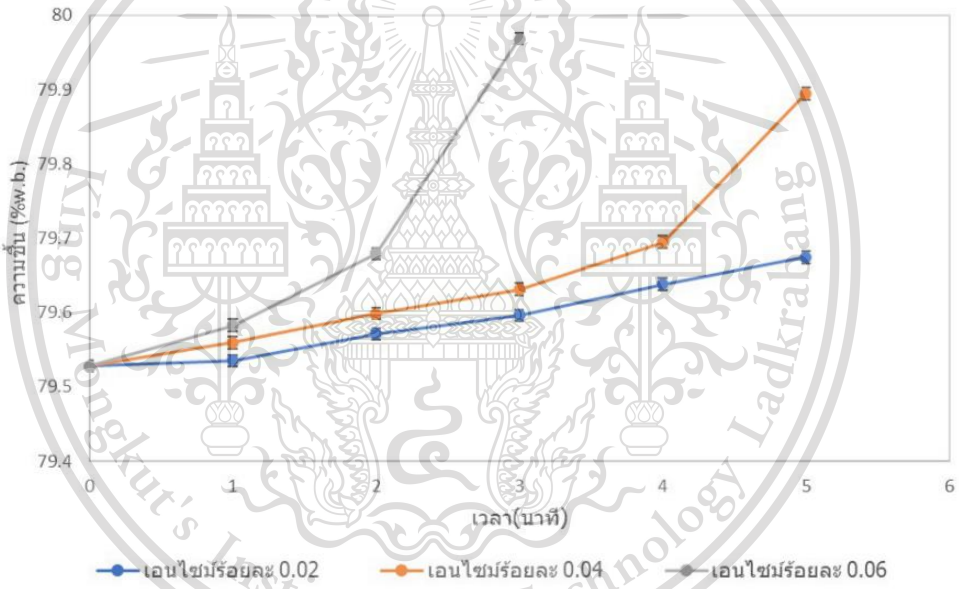
ตารางที่ 4.3 ความเป็นกรด-ด่างของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้นต่างกัน

	ความเข้มข้นของเอนไซม์ (ปริมาตรต่อน้ำหนัก)		
	ร้อยละ 0.02	ร้อยละ 0.04	ร้อยละ 0.06
pH	6.01 ± 0.01	6.05 ± 0.01	6.06 ± 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.3 ความชื้น

จากการศึกษาน้ำข้าวที่ยังไม่ผ่านกระบวนการย่อยและผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.02, 0.04 และ 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนัก และระยะเวลาย่อยต่างกันที่ 5 ระดับ คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที พบว่าน้ำข้าวมีความชื้นเริ่มต้น 79.53 ± 0.01 % (w.b.) จากรูปที่ 4.1 พบว่าความชื้นค่อยๆเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการย่อยน้ำข้าวและความเข้มข้นร้อยละ 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนัก ช่วงเวลาในการย่อยที่ 3 นาที มีค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้น 79.97 % (w.b.) ซึ่งมากกว่าค่าความชื้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 และ 0.04 ปริมาตรต่อน้ำหนัก ที่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาการย่อยที่ 5 นาที และเนื่องจากความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลามีผลต่อค่าความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05



รูปที่ 4.1 ความชื้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้นต่างกันที่เวลาต่างๆ

4.3 การศึกษาคุณสมบัติของข้าวผง

4.3.1 การวัดสีของข้าวผง

จากการศึกษาข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน 2 ระดับ คือ 150 และ 170 องศาเซลเซียส มาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสีระบบ Colorimetric Spectrophotometer พบว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส มีค่า c^* และ h^* น้อยกว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

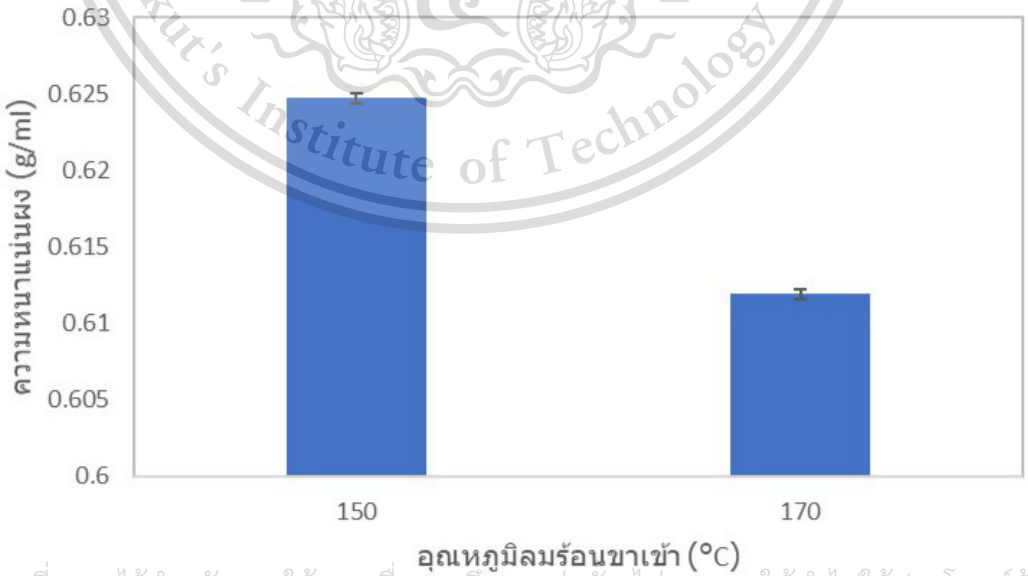
ดังตารางที่ 4.4 และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลต่อค่าความเข้มของสีและเฉดสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4.4 ค่าสีของข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	ตัวแปร				
(องศาเซลเซียส)	L*	a*	b*	c*	h*
150	54.253 ± 0.53	6.993 ± 0.07	4.773 ± 0.04	8.467 ± 0.07	34.316 ± 0.09
170	53.237 ± 0.35	7.017 ± 0.02	5.303 ± 0.03	8.795 ± 0.03	37.082 ± 0.10

4.3.2 ความหนาแน่นของข้าวผง

จากการศึกษาข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน 2 ระดับ คือ 150 และ 170 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 4.2 พบว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่น 0.623 ซึ่งมีค่ามากกว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียส ที่มีค่าความหนาแน่น 0.612 เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าจะส่งผลทำให้มีพื้นผิวสัมผัสมากขึ้นจึงทำให้ความหนาแน่นของผงลดลง (Walton and Mumford, 1999) และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลต่อค่าความหนาแน่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05



รูปที่ 4.2 ความหนาแน่นของข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.3 ความชื้น

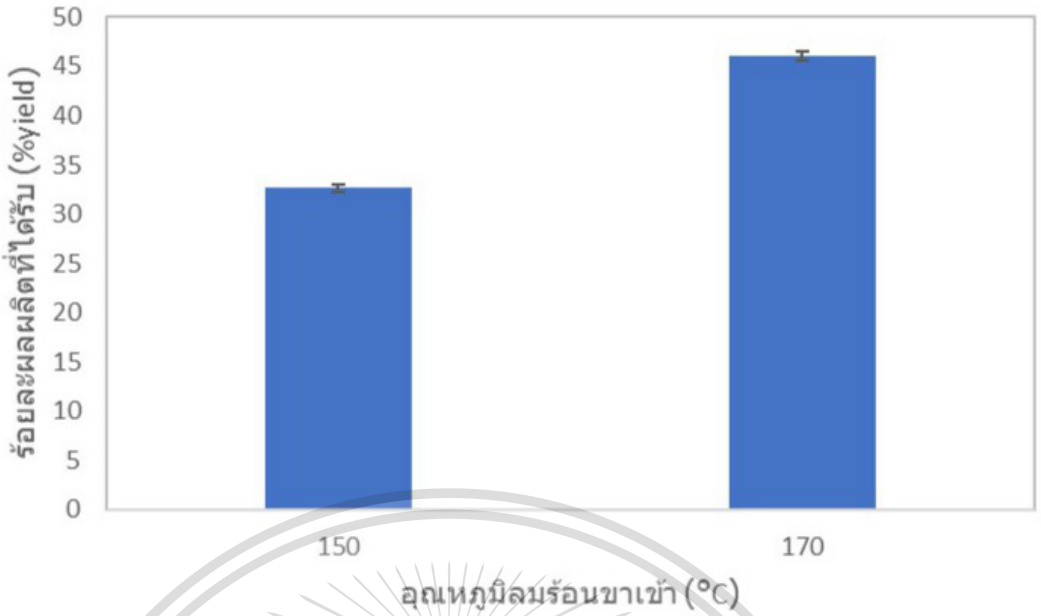
จากการศึกษาข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน 2 ระดับ คือ 150 และ 170 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 4.3 พบว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียส มีค่าความชื้นลดลง 3.48 % (d.b.) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าส่งผลให้มีอัตราการระเหยของน้ำที่มากขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นของข้าวผงมีค่าลดลงกว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าความชื้นที่ 4.87 % (d.b.) และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลต่อค่าความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

รูปที่ 4.3 ความชื้นของข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

4.3.4 ร้อยละผลผลิตที่ได้รับ

จากการศึกษาข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน 2 ระดับ คือ 150 และ 170 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 4.4 พบว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละผลผลิตที่ได้รับ 46.08 % มากกว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าร้อยละผลผลิตที่ได้รับ 32.63 % เนื่องจากอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียสมีอุณหภูมิที่สูงจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ผงแห้งเร็วและมีความชื้นที่ลดลงส่งผลให้ลดการเกาะติดของผลิตภัณฑ์ผงในการทำแห้งแบบพ่นฝอยได้ดีกว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลต่อค่าร้อยละผลผลิตที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

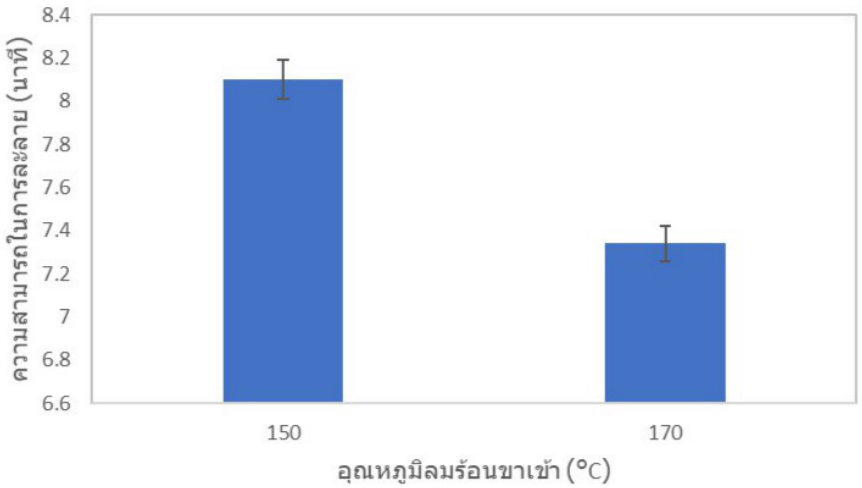


รูปที่ 4.4 ร้อยละผลผลิตที่ได้รับของข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

4.3.5 ความสามารถในการละลาย

จากการศึกษาข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน 2 ระดับ คือ 150 และ 170 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 4.5 พบว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการละลายที่ 7.34 นาที ซึ่งมีความสามารถในการละลายเร็วกว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความสามารถในการละลายที่ 8.10 นาที เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าส่งผลให้มีอัตราการระเหยของน้ำที่มากขึ้นและมีความชื้นที่ลดลงจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ไม่มีการเกาะติดกันและมีพื้นผิวสัมผัสกับตัวทำละลายได้ดีขึ้นเป็นผลให้ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการละลายเร็วขึ้นกว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส (Walton and Mumford, 1999)

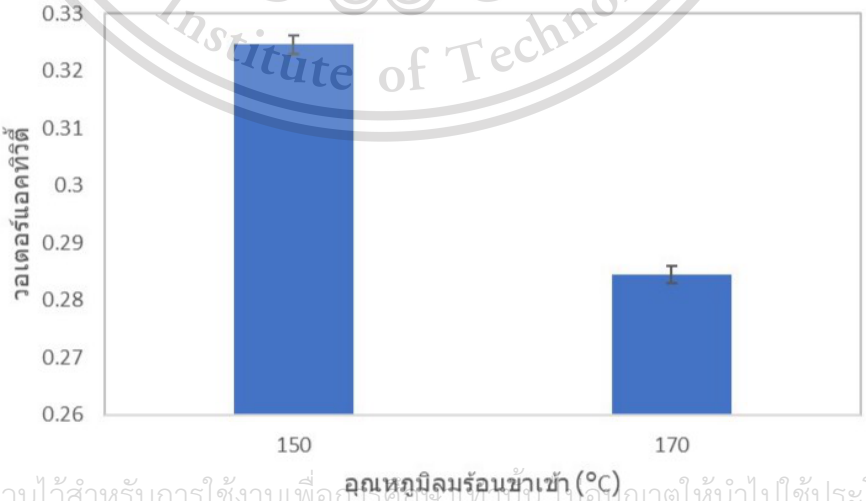
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.5 ความสามารถในการละลายของข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

4.3.6 วอเตอร์แอคทิวิตี้

จากการศึกษาข้าวผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน จากรูปที่ 4.6 พบว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียส มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ 0.285 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส ที่มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ 0.325 เนื่องจากค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้แปรผันตามปริมาณความชื้นซึ่งผลิตภัณฑ์ผงควรมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำกว่า 0.3 จะทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้รวมถึงยับยั้งปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพและไม่ปลอดภัย (วริพัสย์ และคณะ, 2557) และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05



รูปที่ 4.6 วอเตอร์แอคทิวิตี้ของข้าวผงที่อุหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสพบว่ายิ่งเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและเพิ่มเวลาในการย่อยจะยิ่งทำให้ค่าความหนืดลดลง เนื่องจากเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสเป็นเอนไซม์ย่อยแป้งโดยไฮโดรไลซ์ตรงพันธะแอลฟา -1,4 ไกลโคไซด์ภายในโมเลกุลของสตาร์ชแบบสุ่มจึงทำให้น้ำข้าวมีความหนืดลดลง (อรัญ, 2560) โดยระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส คือ 3 นาที ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนัก ส่วนจากการศึกษาคุณสมบัติของน้ำข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ค่าสี พบว่าปริมาณความเข้มข้นของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลทำให้น้ำข้าวมีการเปลี่ยนแปลงของสีและค่าความเป็นกรด-ด่างพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำข้าวที่ความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับมีค่าอยู่ในช่วง 6.0 – 6.1 ซึ่งเป็นค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสซึ่งอยู่ที่ 6.0 – 6.5 (อรัญ, 2560) และค่าความชื้นพบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลามีผลต่อค่าความชื้นและจากการนำน้ำข้าวที่ย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนัก ทำการย่อยที่เวลา 3 นาที นำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผง จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยพบว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 170 องศาเซลเซียสมีค่าที่เหมาะสมมากกว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 150 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์ผงแห้งเร็วและมีความชื้นที่ลดลงส่งผลให้ลดการเกาะติดของผลิตภัณฑ์ผงในการทำแห้งแบบพ่นฝอยได้ดีจึงทำให้ได้ร้อยละผลผลิตที่ได้รับมากขึ้นและจากการศึกษาคุณสมบัติของข้าวผงพบว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผงซึ่งค่าความเข้มของสีและเฉดสีมีค่าเพิ่มขึ้น, ความหนาแน่นของผงมีค่าลดลง, ปริมาณความชื้นมีค่าลดลง, ความสามารถในการละลายเร็วขึ้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้มีค่าต่ำกว่า 0.3

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการทดลองอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่สูงขึ้น
2. ควรทำการทดลองน้ำข้าวที่ยังไม่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติกับน้ำข้าวที่ย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. 2543. **คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิ.** กรุงเทพฯ : โครงการพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพข้าวเพื่อสร้างภาพลักษณ์ข้าวหอมมะลิไทย.

กัลยาณี โสมนัส. 2540. “การผลิตกล้วยหอมผงโดยการทำแห้งแบบโฟมและแบบพ่นฝอย.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฉัตรแก้ว วิรบุตร์. 2550. “การพัฒนาเครื่องดื่มธัญญาหารสำเร็จรูปจากปลายข้าวกล้องหอมมะลิและถั่วอะซูกิ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นฤชาติ บุญรัตน์. 2559. “คุณภาพของข้าวสังข์หยดระหว่างการเก็บรักษาและการผลิตเครื่องดื่มผง.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2549. **เคมีอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

พรรวินท์ ไชยคา. 2554. “การหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำนมข้าวเหนียวดำด้วยเอนไซม์สำหรับผลิตภัณฑ์หมักจากข้าว.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พรศักดิ์ มนัสศิริเพ็ญ และ สมยศ จรรยาวิลาส. 2533. “การทำแห้งแบบพ่นฝอย.” **อาหาร.** 20(4) : 246-252.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2546. **ชนิดของเอนไซม์อะไมเลส.** [ระบบออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1174/amylase

เรียวโซ โทเอ. 2529. **อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม.** แปลโดย วิวัฒน์ พานิชกุล. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วริพัสย์อารีกุล, มาฤดีผ่องพิพัฒน์พงศ์, ศดานันท์นรินทร์สุข สันติและสุวรรณ ทาเขียว. 2557. "การพัฒนาชาเจียวกู่หลานผงสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา." กรุงเทพฯ. : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วสันต์ ชุณห์วิจิตรา. 2557. "ข้าวไรซ์เบอร์รี่." **ข่าวสารเกษตรศาสตร์.** 60(2) : 25-32

อรัญ หันพงศ์กิตติกูล. 2560. **เทคโนโลยีเอนไซม์ (Enzyme Technology).** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

เอกดนัย กอกิมพงษ์. 2548. "Spray Dryer เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย." **LAB. TODAY**. 4(28) : 43-46.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2000. Standard Test Method for Calculation of Color Differences From Instrumentally Measured ColorCoordin- ates : D2244. **Annual Book of American Standard Testing Methods**. Vol 01.07. U.S.A.

AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis**. 17th edn. Gaithersburg. : Association of official Analytical Chemists.

Apar, D.K. and Ozbek, B. 2005. "α-Amylase inactivation by temperature during starch hydrolysis." **Process Biochemistry**. 40(3-4) : 1367-1379.

Bangs, E.W., and G.A. Reineccius. 1981. "Influence of dryer infeed matrices on the retention of volatile flavor compounds during spray drying." **Journal of Food Science**. 47(1) : 254-259.

Bete, Inc. 2005. **Spray Dry Manual**. [Online]. Available : http://www.bete.com/pdfs/BETESprayDryManual.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Bhandari, B.R., E.D. Dumoulin, H.M.J. Richard, I. Noleau and A.M. Lebert. 1992. "Flavor encapsulation by spray drying : application to citral and linalyl acetate." **Journal of Food Science.** 57(1) : 217-221.

Brooks, J.R. and V.K. Griffin. 1987. "Liquefaction of rice starch from milled rice flour using heat stabble alpha-amylase." **J. Food Sci**. 522 : 712-717.

Caparino, Q.A., Tang, J., Nindo, C.l., Sablani, S.S., Powers, J.R. and Fellman, J.K. 2012. "Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder." **Journal of food Engineering**. 111 : 135-148.

Carolina, B.C,, Carolina, S., Zamora, M.C, and Jorgc, C, 2007. "Glass transition temperatures and physical and sensory changes in stored spray-dried encapsulated flavors." **Journal of Food Science and Technology**. 40(10) : 1792-1797.

Colon Institute. 2012. **Amylase.** [Online]. Available : http://colon-institute.org/supplements/amylase/

Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Ashtari, A.K. and Omid, M. 2012. "Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder." **Food and Bioproducts Processing**. 90(4) : 667-675.

GEA Process Engineering Australia Pty., Ltd. 2006. **Bulk Density**. [Online]. Available : http://www.niro.com.au/ndk_website/gpau/cmsdoc.nsf/WebDoc/ndkw5y8fg9Library

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Grabowbki, J.A., Troung, V.D. and Duabert, C.R. 2006. "Spray-drying of amylose hydrolyzed sweetpotato puree and physicochemical properties of powder." **Journal of Food Science**. 71(5) : 209-217.

Masters, K. 1979. **Spray Drying Handbook**. 3' ed. London : George Godwin Ltd.

Naz, S. 2002. **Enzyme of Foods**. Oxford, United Kingdom. : Oxford University Press.

Rahman, S. 1995. **Food Properties Handbook**. London : CRC Press Inc.

Reilly, P.J. 1985. **Starch Conversion Technology**. New York. : Marcel Dekker.

Robert Hill and Joseph Needham. 1970. The Chemistry of Life: Eight Lectures on the History of Biochemistry. [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Amylase

Schultz, T., and W. Talburt. 1961. "Preparation of locked-in citrus oils with "Mixed Sugars." **Food Technology**. 15(4) : 188-190.

Spicer, A. 1974. **Advances in Preconcentration and Dehydration of Food**. London : AppJied Science Publishers LTD.

Sukoncheun, S. 1994. "Comparison of enzymatic hydrolyses of 4 kinds of starch." **Kasertsart J., Natural Sci**. 28(2) : 264-272.

Walton, D.E. and Mumford, C.J. 1999. "Spray dried products-characteristic of particle morphology." **Chemical Engineering Research and Design**. 77(1) : 21-38.

Wong, W.S.D. 1995. **Food Enzymes Structure and Mechanism**. New York : Chapman and Hall.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Yankov, D., Dobreva, E., Beschkov, V. and Emenuilova, E. 1986. "Study of optimum conditions and kinetic of starch hydrolysis by means of thermostable alpha-amylase." **Enzyme and Microbial Technology**. 8(11) : 665-667.

Tamsma, A., A. Kontson, and M.J. Pallansch. 1967. "Influence of drying techniques on some properties of non-fat dried milk. Journal of Dairy Science." **Food Technology**. 50(2) : 1055-1061.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก.

ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองระยะเวลาในการทำงานของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 ปริมาตรต่อน้ำหนัก

เวลา (นาที)	ค่าความหนืด (cP)			ค่าเฉลี่ย	ค่าความแปรปรวน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0	612252	612261	612255	612256	4.5826
1	156389	156384	156391	156388	3.6056
2	105343	105339	105332	105338	5.5678
3	86786	86782	86775	86781	5.5678
4	72155	72151	72162	72156	5.5678
5	57551	57545	57542	57546	4.5826

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองระยะเวลาในการทำงานของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.04 ปริมาตรต่อน้ำหนัก

เวลา (นาที)	ค่าความหนืด (cP)			ค่าเฉลี่ย	ค่าความแปรปรวน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0	612252	612261	612255	612256	4.5826
1	34914	34916	34909	34913	3.6056
2	23424	23415	23421	23420	4.5826
3	17360	17356	17352	17356	4.0000
4	15250	15255	15248	15251	3.6056
5	13391	13383	13387	13387	4.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองระยะเวลาในการทำงานของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนัก

เวลา (นาที)	ค่าความหนืด (cP)			ค่าเฉลี่ย	ค่าความแปรปรวน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0	612252	612261	612255	612256	4.5826
1	17841	17835	17832	17836	4.5826
2	10049	10055	10058	10054	4.5826
3	5465	5472	5476	5471	5.5678

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองค่าความชื้นของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 ปริมาตรต่อน้ำหนักที่เวลาต่างกัน

เวลา (นาที)	ค่าความชื้น (%w.b.)			ค่าเฉลี่ย	ค่าความแปรปรวน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0	79.5356	79.5282	79.5196	79.5278	0.0080
1	79.5298	79.5381	79.5377	79.5352	0.0047
2	79.5669	79.5751	79.5719	79.5713	0.0041
3	79.5993	79.5897	79.5996	79.5962	0.0056
4	79.6389	79.6372	79.6376	79.6379	0.0009
5	79.6748	79.6689	79.6792	79.6743	0.0052

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองค่าความชื้นของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.04 ปริมาตรต่อน้ำหนักที่เวลาต่างกัน

เวลา (นาที)	ค่าความชื้น (%w.b.)			ค่าเฉลี่ย	ค่าความแปรปรวน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0	79.5356	79.5282	79.5196	79.5278	0.0080
1	79.5593	79.5569	79.5620	79.5594	0.0026
2	79.5898	79.5972	79.6088	79.5986	0.0096
3	79.6315	79.6289	79.6329	79.6311	0.0020
4	79.6898	79.7013	79.6933	79.6948	0.0060
5	79.8909	79.9004	79.8922	79.8945	0.0052

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองค่าความชื้นของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนักที่เวลาต่างกัน

เวลา (นาที)	ค่าความชื้น (%w.b.)			ค่าเฉลี่ย	ค่าความแปรปรวน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0	79.5356	79.5282	79.5196	79.5278	0.0080
1	79.5798	79.5795	79.5888	79.5827	0.0053
2	79.6823	79.6798	79.6758	79.6793	0.0033
3	79.9682	79.9681	79.9689	79.9684	0.0004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.7 ผลการทดลองค่าสีของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 ปริมาตรต่อน้ำหนัก

ตัวแปร	ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 0.02 (ปริมาตรต่อน้ำหนัก)				
	L*	a*	b*	c*	h*
ครั้งที่ 1	15.38	10.00	3.08	10.46	17.12
ครั้งที่ 2	15.99	9.66	2.79	10.05	16.11
ครั้งที่ 3	15.56	9.18	2.51	9.52	15.29
ค่าเฉลี่ย	15.6433	9.6133	2.7933	10.0118	16.1736
ค่าความแปรปรวน	0.3134	0.4120	0.2850	0.4748	0.9150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองค่าสีของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.04 ปริมาตรต่อน้ำหนัก

ตัวแปร	ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 0.04 (ปริมาตรต่อน้ำหนัก)				
	L*	a*	b*	c*	h*
ครั้งที่ 1	15.60	10.09	3.15	10.57	17.34
ครั้งที่ 2	15.64	9.56	2.89	9.99	16.82
ครั้งที่ 3	15.87	9.76	3.03	10.22	17.25
ค่าเฉลี่ย	15.7033	9.8033	3.0233	10.2590	17.1350
ค่าความแปรปรวน	0.1457	0.2676	0.1301	0.2935	0.2765

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.9 ผลการทดลองค่าสีของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนัก

ตัวแปร	ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 0.06 (ปริมาตรต่อน้ำหนัก)				
	L*	a*	b*	c*	h*
ครั้งที่ 1	15.53	10.09	3.24	10.60	17.80
ครั้งที่ 2	15.99	9.68	2.93	10.11	16.84
ครั้งที่ 3	15.93	9.80	2.94	10.23	16.70
ค่าเฉลี่ย	15.8167	9.8567	3.0367	10.3142	17.1139
ค่าความแปรปรวน	0.2501	0.2118	0.1762	0.2522	0.6003

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.10 ผลการทดลองค่าสีของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส

ตัวแปร	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 (องศาเซลเซียส)				
	L*	a*	b*	c*	h*
ครั้งที่ 1	54.18	7.05	4.81	8.53	34.30
ครั้งที่ 2	53.76	7.01	4.77	8.48	34.23
ครั้งที่ 3	54.82	6.92	4.74	8.39	34.41
ค่าเฉลี่ย	54.2533	6.9933	4.7733	8.4671	34.3160
ค่าความแปรปรวน	0.5338	0.0666	0.0351	0.0742	0.0888

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.11 ผลการทดลองค่าสีของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียส

ตัวแปร	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 (องศาเซลเซียส)				
	L*	a*	b*	c*	h*
ครั้งที่ 1	53.63	7.03	5.33	8.82	37.17
ครั้งที่ 2	53.13	7.02	5.31	8.80	37.10
ครั้งที่ 3	52.95	7.00	5.27	8.76	36.97
ค่าเฉลี่ย	53.2367	7.0167	5.3033	8.7954	37.0824
ค่าความแปรปรวน	0.3523	0.0153	0.0306	0.0306	0.0989

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.12 ผลการทดลองค่าความหนาแน่นของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ค่าความหนาแน่นของผง			ค่าเฉลี่ย	ค่าความแปรปรวน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
150	0.6256	0.6229	0.6257	0.6247	0.0016
170	0.6104	0.6128	0.6125	0.6119	0.0013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.13 ผลการทดลองค่าความชื้นของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ค่าความชื้น (%d.b.)			ค่าเฉลี่ย	ค่าความแปรปรวน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
150	4.9029	4.8667	4.8551	4.8749	0.0249
170	3.4440	3.3967	3.6037	3.4815	0.1085

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.14 ผลการทดลองค่าร้อยละผลผลิตที่ได้รับของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ค่าร้อยละผลผลิตที่ได้รับ			ค่าเฉลี่ย	ค่าความแปรปรวน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
150	32.59	32.68	32.62	32.63	0.0458
170	45.77	45.95	46.52	46.08	0.3915

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.15 ผลการทดลองค่าความสามารถในการละลายของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ค่าความสามารถในการละลาย			ค่าเฉลี่ย	ค่าความแปรปรวน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
150	9.05	7.15	6.89	7.70	1.1792
170	8.33	6.27	7.42	7.34	1.0323

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.16 ผลการทดลองค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้			ค่าเฉลี่ย	ค่าความแปรปรวน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
150	0.323	0.326	0.325	0.325	0.0015
170	0.277	0.290	0.287	0.285	0.0068

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ข.

ตารางการวิเคราะห์ทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์สถิติ ANOVA ของค่าความหนืดที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างกันและที่เวลาต่างกัน

SUMMARY	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
0 นาที	3	1836768	612256	0
1 นาที	3	209137	69712.33333	5707409376
2 นาที	3	138812	46270.66667	2661374889
3 นาที	3	109608	36536	1928733325
4 นาที	3	87407	29135.66667	1446210060
5 นาที	3	70933	23644.33333	906795194.3
เอนไซม์ร้อยละ 0.02	6	1090465	181744.1667	45654806007
เอนไซม์ร้อยละ 0.04	6	716583	119430.5	58351198606
เอนไซม์ร้อยละ 0.06	6	645617	107602.8333	61167265748

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
เวลาที่ต่างกัน	8.196E+11	5	1.63921E+11	261.796171	2.91068E-10	3.325835
ความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ต่างกัน	1.904E+10	2	9519824061	15.20399233	0.000928248	4.102821
Error	6.261E+09	10	626139756.9			
Total	8.449E+11	17				

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์สถิติ ANOVA ของค่าความสว่างที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างกัน

SUMMARY

Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
เอนไซม์ร้อยละ 0.02	3	46.93	15.643333	0.0982333
เอนไซม์ร้อยละ 0.04	3	47.11	15.703333	0.0212333
เอนไซม์ร้อยละ 0.06	3	47.45	15.816667	0.0625333

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	0.046489	2	0.0232444	0.3831502	0.697268	5.143253
Within Groups	0.364	6	0.0606667			
Total	0.410489	8				

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.3 การวิเคราะห์สถิติ ANOVA ของค่าสีแดง/เขียวที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างกัน

SUMMARY

Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
เอนไซม์ร้อยละ 0.02	3	28.84	9.6133333	0.1697333
เอนไซม์ร้อยละ 0.04	3	29.41	9.8033333	0.0716333
เอนไซม์ร้อยละ 0.06	3	29.57	9.8566667	0.0444333

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	0.098156	2	0.0490778	0.5151621	0.621624	5.143253
Within Groups	0.5716	6	0.0952667			
Total	0.669756	8				

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์สถิติ ANOVA ของค่าสีเหลือง/ฟ้าที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างกัน

SUMMARY

Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
เอนไซม์ร้อยละ 0.02	3	8.38	2.7933333	0.0812333
เอนไซม์ร้อยละ 0.04	3	9.07	3.0233333	0.0169333
เอนไซม์ร้อยละ 0.06	3	9.11	3.0366667	0.0310333

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	0.112289	2	0.0561444	1.3036636	0.338726	5.143253
Within Groups	0.2584	6	0.0430667			
Total	0.370689	8				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.5 การวิเคราะห์สถิติ ANOVA ของค่าความเข้มของสีที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างกัน

SUMMARY

Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
เอนไซม์ร้อยละ 0.02	3	30.0354	10.0118	0.2253996
เอนไซม์ร้อยละ 0.04	3	30.7771	10.259033	0.0861444
เอนไซม์ร้อยละ 0.06	3	30.9426	10.3142	0.0636209

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	0.155613	2	0.0778067	0.6221801	0.568138	5.143253
Within Groups	0.75033	6	0.125055			
Total	0.905943	8				

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.6 การวิเคราะห์สถิติ ANOVA ของค่าเฉดสีที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่างกัน

SUMMARY

Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
เอนไซม์ร้อยละ 0.02	3	48.5207	16.173567	0.8372579
เอนไซม์ร้อยละ 0.04	3	51.405	17.135	0.0764372
เอนไซม์ร้อยละ 0.06	3	51.3418	17.113933	0.3603638

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	1.809087	2	0.9045437	2.1299102	0.200002	5.143253
Within Groups	2.548118	6	0.4246863			
Total	4.357205	8				

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.7 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าความชื้นของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 ปริมาตรต่อน้ำหนักและที่เวลาต่างกัน

	2 นาที	*0 นาที*
Mean	79.5713	79.5278
Variance	1.708E-05	6.412E-05
Observations	3	3
Pearson Correlation	-0.569903073	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	6.909115201	
P(T<=t) one-tail	0.010156255	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.020312511	
t Critical two-tail	4.30265273	

	3 นาที	*0 นาที*
Mean	79.5962	79.5278
Variance	3.171E-05	6.412E-05
Observations	3	3
Pearson Correlation	-0.069857924	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	11.72303504	
P(T<=t) one-tail	0.003598993	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.007197986	
t Critical two-tail	4.30265273	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.7 (ต่อ)

	4 นาที	*0 นาที*
Mean	79.6379	79.5278
Variance	7.9E-07	6.412E-05
Observations	3	3
Pearson Correlation	0.701116589	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	25.7301991	
P(T<=t) one-tail	0.000753531	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.001507062	
t Critical two-tail	4.30265273	

	5 นาที	*0 นาที*
Mean	79.6743	79.5278
Variance	2.671E-05	6.412E-05
Observations	3	3
Pearson Correlation	-0.464429377	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	22.31769703	
P(T<=t) one-tail	0.001000843	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.002001685	
t Critical two-tail	4.30265273	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.8 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าความชื้นของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.04 ปริมาตรต่อน้ำหนักและที่เวลาต่างกัน

	1 นาที	*0 นาที*
Mean	79.5594	79.5278
Variance	6.51E-06	6.412E-05
Observations	3	3
Pearson Correlation	-0.5653205	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	5.65338291	
P(T<=t) one-tail	0.01494627	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.02989255	
t Critical two-tail	4.30265273	

	2 นาที	*0 นาที*
Mean	79.5986	79.5278
Variance	9.172E-05	6.412E-05
Observations	3	3
Pearson Correlation	-0.9965022	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	6.97974633	
P(T<=t) one-tail	0.00995781	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.01991563	
t Critical two-tail	4.30265273	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.8 (ต่อ)

	3 นาที	*0 นาที*
Mean	79.6311	79.5278
Variance	4.12E-06	6.412E-05
Observations	3	3
Pearson Correlation	-0.3851492	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	19.9096119	
P(T<=t) one-tail	0.00125662	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.00251324	
t Critical two-tail	4.30265273	

	4 นาที	*0 นาที*
Mean	79.6948	79.5278
Variance	3.475E-05	6.412E-05
Observations	3	3
Pearson Correlation	-0.2552777	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	26.0841994	
P(T<=t) one-tail	0.00073326	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.00146652	
t Critical two-tail	4.30265273	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.8 (ต่อ)

	5 นาที	*0 นาที*
Mean	79.8945	79.5278
Variance	2.653E-05	6.412E-05
Observations	3	3
Pearson Correlation	-0.0831627	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	64.3201368	
P(T<=t) one-tail	0.00012081	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.00024163	
t Critical two-tail	4.30265273	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.9 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าความชื้นของเอนไซม์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.06 ปริมาตรต่อน้ำหนักและที่เวลาต่างกัน

	1 นาที	*0 นาที*
Mean	79.5827	79.5278
Variance	2.793E-05	6.412E-05
Observations	3	3
Pearson Correlation	-0.873372952	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	7.381050468	
P(T<=t) one-tail	0.008932495	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.017864991	
t Critical two-tail	4.30265273	

	2 นาที	*0 นาที*
Mean	79.6793	79.5278
Variance	1.075E-05	6.412E-05
Observations	3	3
Pearson Correlation	0.996026066	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	55.23412528	
P(T<=t) one-tail	0.00016381	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.000327621	
t Critical two-tail	4.30265273	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.9 (ต่อ)

	3 นาที	*0 นาที*
Mean	79.9684	79.5278
Variance	1.9E-07	6.412E-05
Observations	3	3
Pearson Correlation	-0.827988463	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	91.15428527	
P(T<=t) one-tail	6.01641E-05	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.000120328	
t Critical two-tail	4.30265273	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.10 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

	150 °C	*170 °C*
Mean	0.324666667	0.284666667
Variance	2.33333E-06	4.63333E-05
Observations	3	3
Pearson Correlation	0.993814374	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	13.09307341	
P(T<=t) one-tail	0.002891391	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.005782783	
t Critical two-tail	4.30265273	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.11 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าความชื้นที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

	150 °C	*170 °C*
Mean	4.8749	3.481466667
Variance	0.00062164	0.011765063
Observations	3	3
Pearson Correlation	-0.512909994	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	19.60127327	
P(T<=t) one-tail	0.001296313	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.002592626	
t Critical two-tail	4.30265273	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.12 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าร้อยละผลผลิตที่ได้รับที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

	170 °C	*150 °C*
Mean	46.08	32.63
Variance	0.1533	0.0021
Observations	3	3
Pearson Correlation	0.04180041	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	59.38320068	
P(T<=t) one-tail	0.000141729	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.000283458	
t Critical two-tail	4.30265273	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.13 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าความหนาแน่นของผงที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

	150 °C	*170 °C*
Mean	0.624733333	0.6119
Variance	2.52333E-06	1.71E-06
Observations	3	3
Pearson Correlation	-0.570470226	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	8.650047489	
P(T<=t) one-tail	0.006551361	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.013102721	
t Critical two-tail	4.30265273	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.14 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าความสว่างของสีที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

	150 °C	*170 °C*
Mean	54.25333333	53.23666667
Variance	0.284933333	0.124133333
Observations	3	3
Pearson Correlation	-0.36866019	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	2.379329703	
P(T<=t) one-tail	0.070190558	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.140381116	
t Critical two-tail	4.30265273	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.15 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าสีแดง/เขียวที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

	170 °C	*150 °C*
Mean	7.016666667	6.993333333
Variance	0.000233333	0.004433333
Observations	3	3
Pearson Correlation	0.999597126	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	0.787561531	
P(T<=t) one-tail	0.256733184	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.513466367	
t Critical two-tail	4.30265273	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.16 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าสีเหลือง/ฟ้าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

	170 °C	*150 °C*
Mean	5.303333333	4.773333333
Variance	0.000933333	0.001233333
Observations	3	3
Pearson Correlation	0.963123137	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	91.7986928	
P(T<=t) one-tail	5.93225E-05	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.000118645	
t Critical two-tail	4.30265273	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.17 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าความเข้มของสีที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

	170 °C	*150 °C*
Mean	8.7954	8.4671
Variance	0.00093667	0.00550111
Observations	3	3
Pearson Correlation	0.998682185	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	13.03215649	
P(T<=t) one-tail	0.002918249	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.005836497	
t Critical two-tail	4.30265273	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.18 การวิเคราะห์สถิติ T-test ของค่าเฉดสีที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่างกัน

	170 °C	*150 °C*
Mean	37.08243333	34.31603333
Variance	0.009774043	0.007879003
Observations	3	3
Pearson Correlation	-0.736721354	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	2	
t Stat	27.39893259	
P(T<=t) one-tail	0.000664716	
t Critical one-tail	2.91998558	
P(T<=t) two-tail	0.001329432	
t Critical two-tail	4.30265273	

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.