# การศึกษาปัจจัยของการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์

T033521

นายจักรกริน กงแก้ว
นางสาวจันทิมา สุดแสวง
นางสาวจันทิรา ศิริพงศ์วัฒนา

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาชีววิทยาประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 33521
วัน, เดือน, ปี 13 ส.ค. 2542

# Survival of Microorganisms during Spray Drying Process

Mr. Jakarin Kongkaew

Miss Jantima Sudsawang

Miss Chantira Siripongwatana

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

For the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Biology

Faculty of Science

King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang

1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อโครงงานพิเศษ** การศึกษาปัจจัยของการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์

**โดย** นายจักรกริน กงแก้ว

นางสาวจันทิมา สุดแสวง

นางสาวจันทิรา ศิริพงศ์วัฒนา

**ภาควิชา** ชีววิทยาประยุกต์

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผศ. อรไท สุขเจริญ

ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

---------- หัวหน้าภาควิชาชีววิทยาประยุกต์

( รศ. ดร. พรรณี ชูตาภิชิต )

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ

---------- ประธานกรรมการ

( รศ. ดร. ดุษณี ธนะบริพัฒน์ )

---------- กรรมการ

( ผศ. อรไท สุขเจริญ )

---------- กรรมการ

( อาจารย์วีนา ชูโชติ )

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อโครงงานพิเศษ** **การศึกษาปัจจัยของการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์**

**โดย** นายจักรกริน กงแก้ว
นางสาวจันทิมา สุดแสวง
นายสาวจันทิรา ศิริพงศ์วัฒนา

**ภาควิชา** ชีววิทยาประยุกต์

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผศ. อรไท สุขเจริญ

ปีการศึกษา 2541

---

## บทคัดย่อ

จากศึกษาถึงการรอดชีวิตของเชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047 , เชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 และ เชื้อ *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 ภายใต้สภาวะต่างๆ ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย พบว่าจำนวนของจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด จะลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิขาเข้า อุณหภูมิขาออก และความดันอากาศของหัวฉีด อุณหภูมิขาออกเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการรอดชีวิต สภาวะที่เหมาะสมต่อการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยคือ อุณหภูมิขาเข้าเป็น 145 องศาเซลเซียส อุณหภูมิขาออกเป็น 95 องศาเซลเซียส และความดันอากาศของหัวฉีดเป็น 400 กิโลปาสคาล อัตราการป้อนสารละลาย 10 มิลลิลิตรต่อนาที เชื้อทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย จะมีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตต่ำกว่าการทำแห้งแบบระเหิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Special Project Tittle** : **Survival of Microorganisms during Spray Drying Process**

**Name** : Mr. Jakarin Kongkaew

Miss Jantima Sudsawang

Miss Chantira Siripongwatana

**Department** : Applied Biology

**Special Project Advisor** : Assistant Professor Oratai Sukcharoen

**Academic Year** : 1998

---

## Abstract

Survivals of Lactobacillus *casei* TISTR 047, *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 and *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 were determined under various processing condition for spray drying . Each of three microorganisms decreased with increased outlet or inlet air temperature and atomizing air pressure. Outlet air temperature was a major parameter affecting number of survivors. Suitable conditions were inlet air 145 °C, outlet air 95 °C and atomizing air pressure 400 kpa. Spray – dried microorganism showed lower survival than freeze – dried microorganism.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้ได้จัดทำขึ้นตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตและสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ. อรไท สุขเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษที่ได้ให้ความรู้ ข้อเสนอแนะ รวมทั้งได้กรุณาตรวจทานแก้ไขทางด้านภาษาและให้คำแนะนำในด้านต่างๆ ในการจัดทำโครงงานพิเศษนี้ รศ.ดร. ดุษณี ธนะบริพัฒน์ และ อ. วีนา ชูโชติ กรรมการสอบโครงงานพิเศษ และได้กรุณาตรวจทานแก้ไขทางด้านภาษาด้วย รวมทั้งคุณพยอม เกียรติกำจร คุณวิทยา เขียวเขิน คุณประเสริฐวิทย์ แพงคำ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ที่กรุณาให้ยืมอุปกรณ์และสารเคมีต่างๆ สำหรับทำการทดลอง

สุดท้ายคณะผู้จัดทำขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ธุรการทุกท่านที่ให้ยืมอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งเพื่อนๆ นักศึกษาที่ช่วยเหลือในการจัดทำโครงงานพิเศษนี้

คณะผู้จัดทำ

มีนาคม 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญตาราง | ง |
| สารบัญรูป | จ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน | 14 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ | 18 |
| บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ | 32 |
| ภาคผนวก | 33 |
| เอกสารอ้างอิง | 34 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| ตารางที่ 1 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิขาเข้ากับเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์ | 18 |
| ตารางที่ 2 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิขาออกกับเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์ | 20 |
| ตารางที่ 3 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันของหัวฉีดกับเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์ | 22 |
| ตารางที่ 4 | แสดงปริมาณเชื้อที่เหลือรอดหลังจากผ่านอุณหภูมิขาเข้าที่ 130 145 และ 165 องศาเซลเซียส | 27 |
| ตารางที่ 5 | แสดงปริมาณเชื้อที่เหลือรอดหลังจากผ่านอุณหภูมิขาออกที่ 85 95 และ 105 องศาเซลเซียส | 27 |
| ตารางที่ 6 | แสดงปริมาณเชื้อที่เหลือรอดหลังจากผ่านความดันที่ 200 300 400 และ 500 กิโลปาสคาล | 28 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| รูปที่ 1 | แสดงลักษณะทั่วไปของการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย | 5 |
| รูปที่ 2 | แสดงหัวฉีดแบบต่างๆ ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย | 6 |
| รูปที่ 3 | แสดงลักษณะการแยกผลิตภัณฑ์ผงออกจากลมร้อน | 7 |
| รูปที่ 4 | แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการถ่ายเทความร้อน | 8 |
| รูปที่ 5 | แสดงรูปแบบของเครื่องทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยประเภทต่างๆ | 9 |
| รูปที่ 6 | แสดงเครื่องทำแห้งที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมแบบ open – cycle cocurrent | 10 |
| รูปที่ 7 | รูปแบบของผงแห้งที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย | 11 |
| รูปที่ 8 | แสดงสถานะของน้ำที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ | 13 |
| รูปที่ 9 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิขาเข้าและเปอร์เซ็นต์การรอดของเชื้อจุลินทรีย์ | 19 |
| รูปที่ 10 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิขาออกและเปอร์เซ็นต์การรอดของเชื้อจุลินทรีย์ | 21 |
| รูปที่ 11 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันของหัวฉีดและเปอร์เซ็นต์การรอดของเชื้อจุลินทรีย์ | 22 |
| รูปที่ 12 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิขาออกกับเปอร์เซ็นต์การรอดของเชื้อจุลินทรีย์ | 24 |
| รูปที่ 13 | กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยและการทำแห้งแบบระเหิด | 26 |
| รูปที่ 14 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln N/N_0$ กับอุณหภูมิขาเข้า | 28 |
| รูปที่ 15 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln N/N_0$ กับอุณหภูมิขาออก | 29 |
| รูปที่ 16 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln N/N_0$ กับความดันของหัวฉีด | 29 |
| รูปที่ 17 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln (\ln N_0/N)$ กับค่าส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์ | 31 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1. ที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันนี้มีการนำจุลินทรีย์มาใช้ในอุตสาหกรรมการหมักอาหารหลายชนิด ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ การผลิตกรดอะมิโน การผลิตกรดอินทรีย์ อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม เช่น โยเกิร์ต เนยแข็ง นมเปรี้ยว และอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ เช่น ไส้กรอก แหนม ฯลฯ เชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้ในรูปเชื้อบริสุทธิ์มักเก็บรักษาโดยวิธีแช่แข็ง (Freezing) หรือวิธีการทำแห้งแบบระเหิด (Freeze drying) หัวเชื้อหรือผลิตภัณฑ์ที่มีเชื้ออยู่ เช่น โยเกิร์ต ที่เก็บโดยใช้วิธีแช่แข็งประกอบด้วยน้ำ 90% ทำให้มีขนาดและน้ำหนักมาก การขนส่งและการเก็บรักษาต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส หัวเชื้อที่เก็บรักษาโดยวิธีการทำแห้งแบบระเหิด จะมีลักษณะเกาะกันแน่น ง่ายต่อการนำไปใช้ ข้อเสียของวิธีนี้คือต้นทุนในการผลิตสูง ดังนั้นจึงมีการนำวิธีการทำแห้งแบบการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) มาใช้ในการเก็บรักษาหัวเชื้อ วิธีการเก็บรักษาคล้ายคลึงกับการทำแห้งแบบระเหิด แต่ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่ามาก ข้อเสียที่ควรระวังคือความไวต่อความร้อนของเชื้อ

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการเปรียบเทียบการอยู่รอดของเชื้อ หลังจากทำการทำแห้งแบบพ่นฝอยของเชื้อ 3 ชนิด คือ *Lactobacillus casei* TISTR 047, *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018, *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 และศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งและการอยู่รอดของเชื้อ ปัจจัยดังกล่าวได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ และผลของความดันกับอุณหภูมิ โดยเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบระเหิด

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาผลของแรงดันและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์ด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการอยู่รอดของจุลินทรีย์ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับการทำแห้งแบบระเหิด

2.3 เพื่อหาค่าทางจลนพลศาสตร์การอยู่รอดของเชื้อในสภาวะต่างๆ

## 3. ขอบเขตของงานวิจัย

3.1 ศึกษาผลของแรงดันที่มีต่อการอยู่รอดของเชื้อ โดยศึกษาแรงดัน 4 ค่า คือ 200 300 400 และ 500 กิโลปาสคาล โดยควบคุมอัตราการไหลของสารละลายป้อน (Feed solution) ให้คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิขาเข้า ( Inlet temperature) ที่มีต่อการอยู่รอดของเชื้อโดยศึกษาอุณหภูมิ 3 ค่าคือ 131 145 และ 165 องศาเซลเซียส โดยควบคุมอัตราการไหลของสารละลายป้อนให้คงที่

3.3 ศึกษาผลของความดันและอุณหภูมิ ต่อการอยู่รอดของเชื้อ

**4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

4.1 เป็นการประยุกต์ใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ในการเก็บรักษาหัวเชื้อ

4.2 เพื่อผลิตหัวเชื้อผงเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมที่มีคุณภาพดี และมีราคาถูก

4.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่เช่น การทำนมเปรี้ยวผง เป็นต้น

4.4 ทำให้ทราบว่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดใดเหมาะสมต่อการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย

4.5 ทำให้ทราบปัจจัย และสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย และทราบว่าแต่ละสภาวะมีผลต่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์มากน้อยเท่าไร ข้อมูลเท่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหารเพื่อลดปริมาณเชื้อที่เป็นอันตราย และทำให้อาหารเน่าเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# บทตรวจเอกสาร

ปัจจุบันมีการนำเชื้อจุลินทรีย์มาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย โดยหัวเชื้อที่นำมาใช้มักเก็บในรูปแช่แข็งหรือการทำแห้งแบบระเหิด วิธีดังกล่าวนี้จะมีต้นทุนในการผลิตและการขนส่งสูง ดังนั้นจึงมีการศึกษาการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย แต่ข้อเสียของการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยคือ เชื้อจุลินทรีย์ถูกทำลายมาก เนื่องจากมีการใช้ความร้อนในการทำแห้ง ความร้อนมีผลต่อการทำลายเชื้อสูงถึงแม้จะใช้ระยะเวลาสั้นๆ การอยู่รอดของเชื้อสามารถหาได้จากการคำนวณทางจลนพลศาสตร์

**จนพลศาสตร์การตายเนื่องจากความร้อนของเชื้อจุลินทรีย์ (Kim and Bhowmik, 1990)**

การตายเนื่องจากความร้อนของจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิขณะใดขณะหนึ่ง สามารถเขียนได้ดังสมการอันดับที่หนึ่ง

$$\frac{dN}{dt} = -kN \qquad (1)$$

โดย k คือ อัตราการตายจำเพาะ
t คือ เวลา
N คือ จำนวนเซลล์ที่มีอยู่ในระบบ

ค่าอัตราการตายจำเพาะ (k) ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของเชื้อและลักษณะทางสรีรวิทยาของเซลล์ เมื่อทำการอินทิเกรตสมการที่ 1 ระหว่างเวลาที่ 0 และเวลาที่ t จะได้

$$\frac{N}{N_0} = e^{-kt} \qquad (2)$$

เมื่อใส่ลอการิทึมฐานธรรมชาติ (ln) จะได้เป็น

$$\ln \frac{N_0}{N} = kt \qquad (3)$$

เมื่อ $N_0$ คือ จำนวนเซลล์ที่มีชีวิตอยู่เริ่มต้น
N คือ จำนวนเซลล์ที่อยู่รอด ณ เวลาใดๆ

อิทธิพลของอุณหภูมิต่อค่า k เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่า k จะเพิ่มขึ้น โดยค่า k จะบอกถึงอัตราการทำลายจุลินทรีย์ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า k กับอุณหภูมิ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{d \ln k}{dt} = \frac{E}{RT} \quad (4)$$

เมื่อ E คือ พลังงานกระตุ้น

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ มีค่าเท่ากับ $8.341 \times 10^3$ จูล ต่อกิโลโมล องศาเคลวิน

T คือ อุณหภูมิองศาสัมบูรณ์ (องศาเคลวิน)

เมื่ออินทิเกรตสมการที่ 4 จะได้

$$k = A e^{-E/RT} \quad (5)$$

ในสมการที่ 5 ใส่ลอการิทึมฐานธรรมชาติ จะได้เป็น

$$\ln k = \ln A - \frac{E}{RT} \quad (6)$$

เมื่อ A คือ ค่าคงที่ของ Arrhenius

นำค่า k จากสมการที่ 3 มาแทนในสมการที่ 6 จะได้

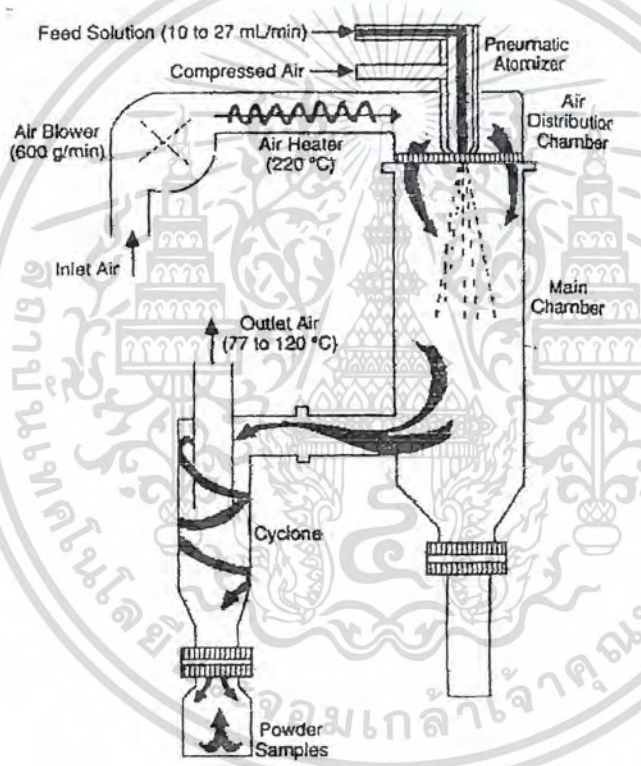
$$\ln (\ln \frac{N_0}{N}) = \ln At - \frac{E}{RT} \quad (7)$$

จากสมการที่ 6 และ 7 สร้างกราฟระหว่างค่า $\ln k_d$ กับส่วนกลับของอุณหภูมิ (องศาเคลวิน) จะได้ค่าความชันเท่ากับค่า $-E/RT$ นำมาแทนค่าหาค่าพลังงานกระตุ้นได้ ค่าพลังงานกระตุ้นเป็นค่าที่บอกความสามารถของเชื้อว่าทนต่อความร้อนได้เท่าใด และบอกอัตราการตายของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย นอกจากนี้ยังสามารถทำนายค่า k ที่อุณหภูมิใดๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**เครื่องอบแห้งแบบพ่นเป็นฝอย (Spray dryer) (อรไท, 2540)**

สารที่ต้องการทำแห้งจะถูกฉีดให้เป็นฝอยขนาดเล็กละเอียด 10 – 200 ไมครอนเข้าไปในท่ออบแห้งเพื่อสัมผัสกับลมร้อน ทำให้เกิดการระเหยของน้ำออกจากอนุภาคของสารที่เราต้องการอย่างรวดเร็วภายในเวลาสั้นๆ ประมาณ 1 – 10 วินาที เนื่องจากอนุภาคของสารจะถูกฉีดพ่นให้กระจายเป็นละอองขนาดเล็กทำให้มีสัดส่วนต่อปริมาตรสูง จึงก่อให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนและมวลสารได้ดี และน้ำที่อยู่ในสารละลายจะระเหยเป็นไอออกมาทางช่องลมออก ส่วนผงแห้งจะถูกดูดไปตามท่อและแยกออกจากลมร้อนโดยระบบ ไซโคลน (cyclone) ตกลงในขวดหรือภาชนะ ดังแสดงในรูปที่ 1

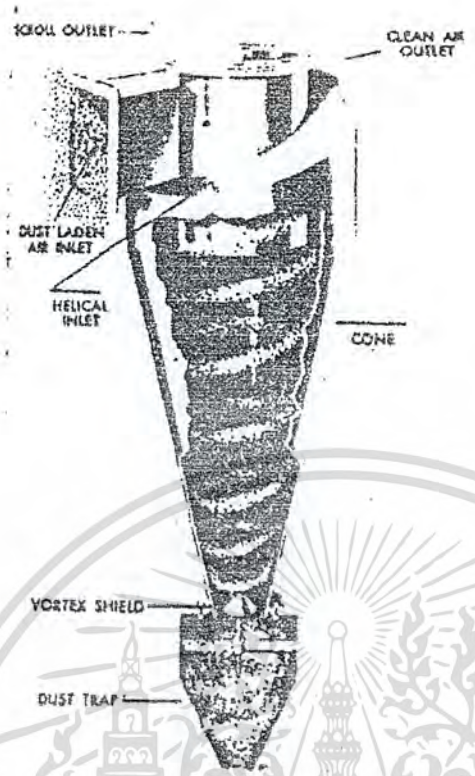



รูปที่ 1 แสดงลักษณะทั่วไปของการอบแห้งแบบพ่นเป็นฝอย (Fu and Etzel, 1995)

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอบแห้งแบบพ่นเป็นฝอย คือ

1. ภาชนะทำแห้ง (drying chamber) จะมีลักษณะเป็นกระบอกสูง และเป็นส่วนที่จะมีการถ่ายเทความร้อนกับละอองของสารละลาย
2. หัวฉีด (atomizer , nozzle) ทำหน้าที่ฉีดหรือเหวี่ยงสารละลายให้เป็นละอองฝอย ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็นหัวฉีดที่ฉีดสารละลายออกมาทางรูเล็กๆ และประเภทจานหมุน (rotary disc) มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3 แสดงลักษณะการแยกผลิตภัณฑ์ผงออกจากลมร้อน

การแยกอนุภาคผงแห้งออกจากอากาศ โดยใช้ไซโคลนนั้นเป็นการอาศัยแรงเฉื่อย ในขณะที่อากาศผ่านเข้ามาทางด้านบนสุดของไซโคลน จะก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนเป็นเกลียว (vortex) ในทิศทางลม เมื่อถึงส่วนล่างสุดของทรงกรวย การหมุนของอากาศจะกลับทิศทางแต่ยังคงรักษาทิศทางในการหมุน

การคำนวณประสิทธิภาพของไซโคลนหาได้จากสมการ

$$n = 100\,\frac{(A - B)}{A}$$

$$= \frac{C}{A} \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักของอนุภาคของแข็งที่ถูกพาเข้ามากับอากาศตรงทางเข้าของไซโคลน

B = น้ำหนักของอนุภาคของแข็งที่ออกไปจากไซโคลน

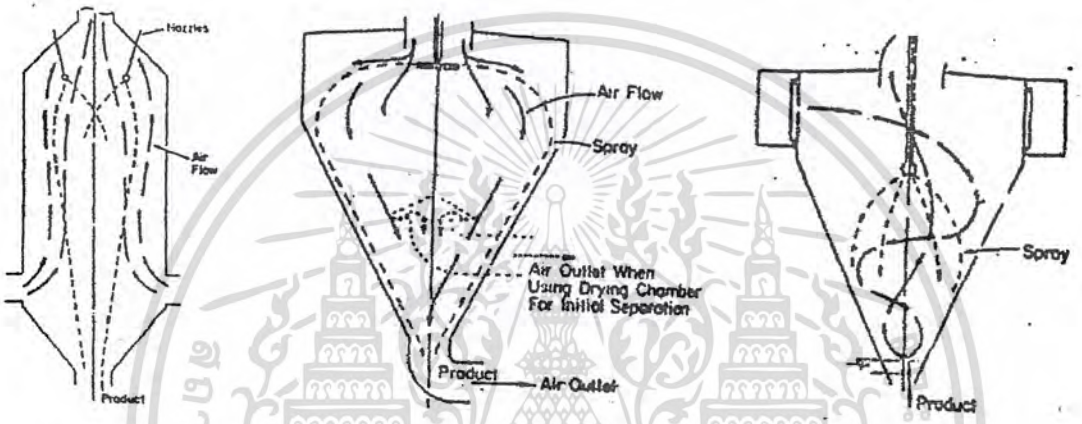
C = น้ำหนักของอนุภาคของแข็งที่ไซโคลน สามารถแยกออกจากอากาศ

n = ประสิทธิภาพของไซโคลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

1. ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น
2. อัตราการป้อนของสารละลาย
3. อุณหภูมิของสารละลายป้อน
4. สภาวะการใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นเป็นฝอย เช่น อุณหภูมิของลมร้อนขาเข้าและออกจากเครื่อง ความเร็วในการหมุนของหัวฉีด ทิศทางการเคลื่อนที่ระหว่างลมร้อนกับละอองของสารละลาย ความเร็วและอัตราลมร้อนที่ใช้ เป็นต้น




ก ข ค

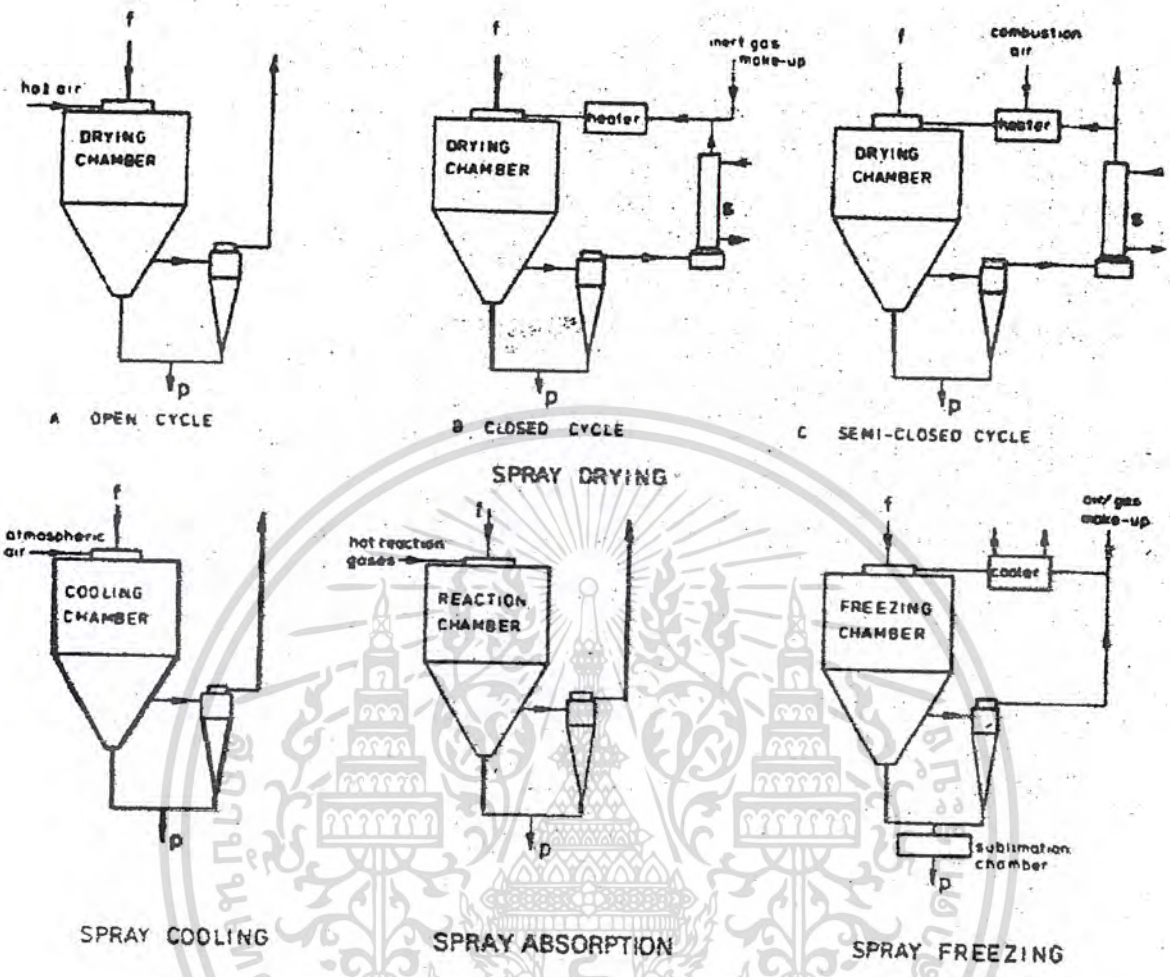
รูปที่ 4 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการถ่ายเทความร้อน (อรไท, 2540)

ก. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีทิศทางของสารละลายสวนทางกับลมร้อน

ข. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีทิศทางของสารละลายเป็นทิศทางเดียวกับลมร้อน

ค. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีทิศทางการไหลผสมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

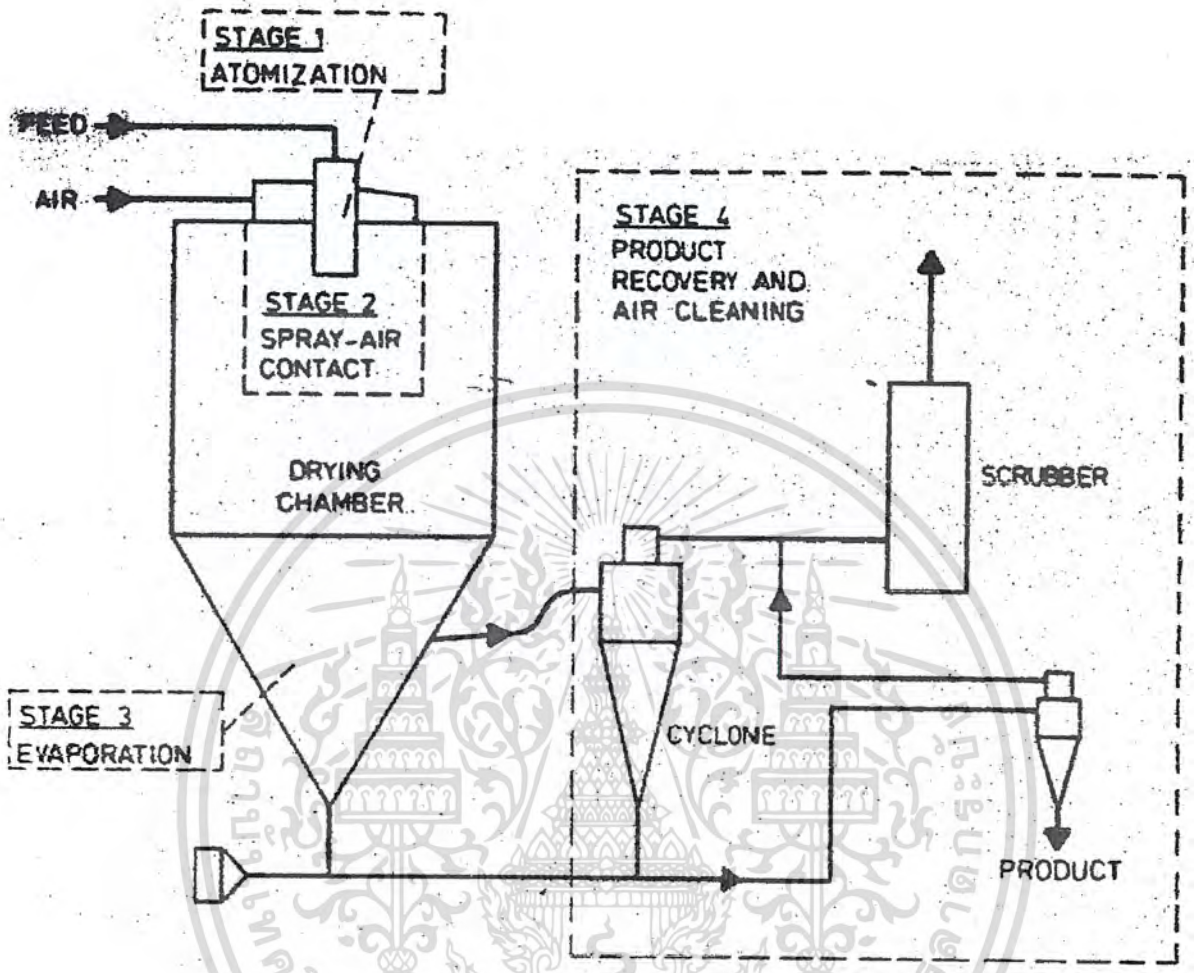



รูปที่ 5 แสดงรูปแบบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นเป็นฝอยประเภทต่างๆ (Master, 1979)

ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นเป็นฝอยแบบ open – cycle cocurrent ซึ่งการทำงานจะประกอบด้วยขั้นตอน 4 ขั้นตอนคือ

1. การฉีดพ่น (atomization)
2. การสัมผัสกับอากาศร้อนที่พ่นออกมา (spray – air contact)
3. การระเหยเป็นไอน้ำ (evaporation)
4. การเก็บเกี่ยวผลิตภัณฑ์และการทำความสะอาดอากาศ (product recovery and air cleaning)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

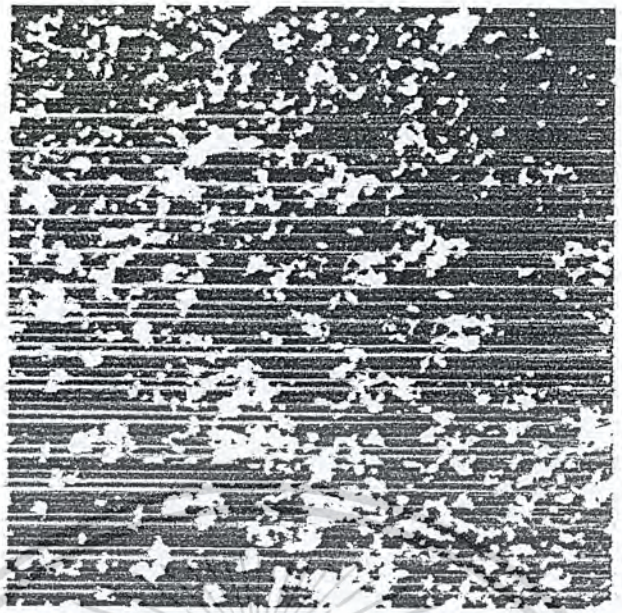



รูปที่ 6 แสดงเครื่องอบแห้งที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมแบบ open - cycle cocurrent (Master, 1979)

ประโยชน์ของการอบแห้งแบบพ่นเป็นฝอย

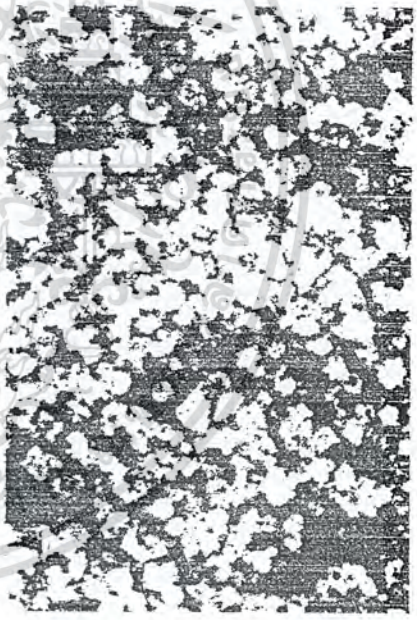
1. การดำเนินการเป็นไปโดยต่อเนื่อง
2. สามารถดัดแปลงเพื่อการควบคุมแบบอัตโนมัติได้เต็มที่
3. รายละเอียดของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้ขึ้นอยู่กับการออบแบบเครื่องทำแห้ง และความยืดหยุ่นของการปฏิบัติ
   3.1 ลักษณะหรือรูปแบบของผลิตภัณฑ์เป็นไปตามความต้องการ
   3.2 คณสมบัติของผลิตภัณฑ์ได้ตามความต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก

ข



ค

รูปที่ 7 รูปแบบของผงแห้งที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นเป็นฝอย (Master, 1979)

ก. อนุภาคที่เป็นผงละเอียด (ใช้ non – instant skim milk)

ข. อนุภาคที่มีลักษณะกลม (ใช้ aluminium oxide )

ค. อนุภาคที่เกาะกันเป็นก้อน ( ใช้ instant skim milk )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ประยุกต์ใช้ได้ทั้งวัตถุดิบที่ไวต่อความร้อนหรือต้านทานต่อความร้อน
5. ประสิทธิภาพทางการให้ความร้อนสูง
6. อาหารสัตว์ที่อยู่ในรูปของสารละลาย หรือสารละลายที่มีลักษณะเหนียวข้น (slurry , paste) ก็สามารถทำให้แห้งได้ด้วยวิธีนี้
7. สามารถใช้ได้กับอาหารที่มีความสามารถในการกัดกร่อนได้
8. ขนาดของเครื่องทำแห้งมีขนาดใหญ่ตั้งแต่ 2 – 3 กิโลกรัมต่อชั่วโมงถึง 150 ตันต่อชั่วโมงหรือมากกว่าทำให้สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง
9. ความต้องการในการดำเนินการเหมือนกันทั้งเครื่องขนาดใหญ่และขนาดเล็กดังนั้นการควบคุมหรือดูแลรักษาทำได้ง่าย
10. สามารถออกแบบได้หลายอย่างเพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานเช่น การระเหยตัวทำละลายอินทรีย์โดยป้องกันการระเบิด
11. เครื่องอบแห้งที่ควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติถ้ามีความซับซ้อนมากควรใช้คนควบคุม

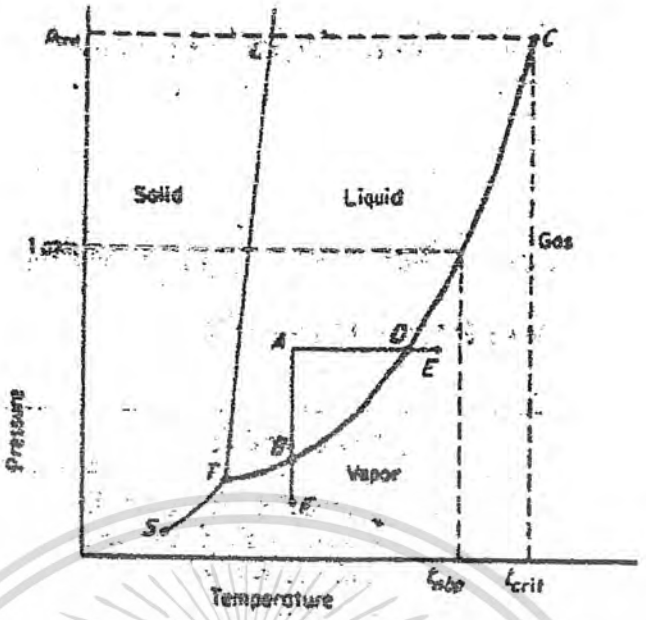
**เครื่องอบแห้งแบบระเหิด ( Freeze drying, Lyophilisation) (อรไท, 2540)**

การอบแห้งแบบการระเหิด เป็นกระบวนการกำจัดน้ำให้ออกจากผลิตภัณฑ์ โดยการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของแข็งให้กลายเป็นไอโดยการระเหิด (sublimation) ภายใต้ความดันที่อุณหภูมิต่ำ

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอบแห้งแบบระเหิด

1. ภาชนะทำแห้ง (drying chamber)
2. ปั๊ม (pump)
3. แหล่งให้ความเย็น ( refrigeration source)
4. เครื่องควบคุมสุญญากาศ (vacuum gauge controller)
5. เครื่องควบแน่น (condenser)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 8 แสดงสถานะของน้ำที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ (อร ไท, 2540)

จากรูปที่ 8 น้ำอาจอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ตามอุณหภูมิและความดันบรรยากาศที่ต่างกัน แต่ที่สภาวะหนึ่ง น้ำอาจอยู่ได้ทั้ง 3 สถานะพร้อมกัน สภาวะนี้เรียกว่า จุด Triple point ที่จุดนี้มีอุณหภูมิ 32 องศาฟาเรนไฮท์ และความดัน 4.7 มิลลิเมตร การทำให้น้ำในสภาวะของแข็งเปลี่ยนเป็นไอนั้นต้องกระทำภายใต้ความดันและที่อุณหภูมิต่ำๆ การอบแห้งอาหารโดยทั่วไปเป็นการใช้ความร้อน จึงทำให้คุณภาพและคุณค่าของอาหารบางอย่างสูญเสียไป แต่การอบแห้งแบบการระเหิดเป็นกระบวนการที่สามารถรักษาคุณสมบัติทางกายภาพ (physical property) คุณสมบัติทางเคมี ( chemical property) ของผลิตภัณฑ์ไม่ให้เปลี่ยนไป จึงทำให้คุณสมบัติทางการละลายน้ำหรือการดูดซึมน้ำกลับ (rehydration) กลับคืนสู่ลักษณะเดิมได้ทั้งขนาดและรูปร่าง ข้อเสียของวิธีนี้คือ สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นวิธีนี้จึงเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่มีราคาสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

## 3.1 วัสดุและอุปกรณ์

### 3.1.1 เชื้อที่ใช้

- *Aspergillus ficuum* TISTR 3219
- *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018
- *Lactobacillus casei* TISTR 047

### 3.1.2 อุปกรณ์และสารเคมี

- เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
- เครื่องทำแห้งแบบระเหิด
- เครื่องเขย่า
- เครื่องปั่นเหวี่ยง
- เครื่องไมโครเวฟ
- ตู้เย็น
- หม้อนึ่งอัดความดัน
- เครื่องแก้วชนิดต่างๆ
- ตู้เขี่ยเชื้อ
- ทวีน 20
- โซเดียมฟอสเฟสบัฟเฟอร์ พีเอช 7.0
- แอลกอฮอล์

## 3.2 วิธีการทดลอง

### 3.2.1 การเตรียมเชื้อเริ่มต้น

3.2.1.1 การเตรียมสปอร์ของเชื้อรา *Aspergillus ficuum* TISTR 3219

เขี่ยเส้นใยของเชื้อรา โดยใช้เข็มเขี่ยลงบนอาหารเอียงโปเตโตเดกซ์โตรสอาการ์ (Potato dextrose agar) ที่บรรจุในขวดแก้วทรงแบน บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 – 7 วัน จากนั้นถ่ายสปอร์ออกจากขวดแก้วทรงแบน โดยใช้สารละลายทวีน 20 เข้มข้นร้อยละ 0.1 แล้วกรองผ่านผ้าขาวบางที่ซ้อนทับกัน นำส่วนของสารละลายที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แยกเอาส่วนใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนบนทิ้งไปแล้วล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.0 โดยการปั่นเหวี่ยง เก็บสปอร์ไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3.2.1.2 การเตรียมเชื้อ *Saccharomyces calbergensis* TISTR 5018

เลี้ยงเชื้อในอาหารเหลว PDB 50 มิลลิลิตรในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำสารละลายแขวนลอยของเชื้อไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แยกเอาส่วนใสตอนบนออกไปแล้วล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.0 โดยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำส่วนของเซลล์ที่แยกได้เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3.2.1.3 การเตรียมเชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047

เลี้ยงเชื้อในอาหารเหลว MRS 50 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ 250 มิลลิลิตร บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำสารละลายแขวนลอยของเชื้อไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แยกเอาส่วนใสด้านบนออกไปแล้วล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.0 โดยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำส่วนของเซลล์ที่แยกได้เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

### 3.2.2 การเตรียมสารละลายป้อนก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.2.2.1 การเตรียมสารละลายป้อนของเชื้อ *Aspergillus ficuum* TISTR 3219

นำสปอร์ของเชื้อราที่แยกได้มาใส่ในสารละลายนมที่แยกเอาไขมันออก (skim milk) ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว โดยมีปริมาณของแข็งประมาณร้อยละ 25

3.2.2.2 การเตรียมสารละลายป้อนของเชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018

นำเซลล์ยีสต์ที่แยกได้มาใส่ในสารละลายนมที่แยกเอาไขมันออกปริมาตร500 มิลลิลิตร ซึ่งฆ่าเชื้อแล้ว โดยมีปริมาณของแข็งร้อยละ 25

3.2.2.3 การเตรียมสารละลายป้อนของเชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047

นำเซลล์แบคทีเรียที่แยกได้ มาใส่ในสารละลายนมที่แยกเอาไขมันออก ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ซึ่งฆ่าเชื้อแล้ว โดยมีปริมาณของแข็งร้อยละ 25

### 3.2.3 การหาปริมาณเชื้อเริ่มต้น

3.2.3.1 การหาปริมาณเชื้อเริ่มต้นของเชื้อ *Aspergillus ficuum* TISTR 3219

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสารละลายป้อนของเชื้อรา มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากเชื้อที่อัตราการเจือจางที่เหมาะสม จากนั้นนำสารละลายที่เจือจางแล้วมาหาปริมาณเชื้อเริ่มต้นโดยการเกลี่ยเชื้อ (spread plate) บนอาหารแข็ง PDA และรายงานผลในหน่วยของ CFUต่อ มิลลิลิตร

3.2.3.2 การหาปริมาณเชื้อเริ่มต้นของเชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018

นำสารละลายป้อนของเชื้อยีสต์ มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากเชื้อที่อัตราการเจือจางที่เหมาะสม จากนั้นนำสารละลายที่เจือจางแล้วมาหาปริมาณเชื้อเริ่มต้นโดยการเกลี่ยเชื้อบนอาหารแข็ง PDA และรายงานผลในหน่วยของ CFU ต่อมิลลิลิตร

3.2.3.3 การหาปริมาณเชื้อเริ่มต้นของเชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047

นำสารละลายป้อนของเชื้อแบคทีเรีย มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากเชื้อที่อัตราการเจือจางที่เหมาะสม จากนั้นนำสารละลายที่เจือจางแล้วมาหาปริมาณเชื้อเริ่มต้นโดยการเกลี่ยเชื้อบนอาหารแข็ง MRS และรายงานผลในหน่วยของ CFU ต่อมิลลิลิตร

### 3.2.4 การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids)

นำสารละลายป้อนของเชื้อแต่ละเชื้อมา 1 มิลลิลิตร ใส่ในกระทงที่อบแห้งและชั่งน้ำหนักแล้ว จากนั้นนำมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 14 ชั่วโมง จากนั้นนำกระทงกับของแข็งที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก

ปริมาณของแข็งทั้งหมด = (น้ำหนักกระทง + ของแข็ง) - น้ำหนักแห้งของกระทง

### 3.2.5 การเตรียมเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ก่อนการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอยู่รอดของเชื้อโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยจะต้องทำการฆ่าเชื้อในระบบก่อน โดยใช้สารละลายป้อนเป็นน้ำกลั่นที่ปราศจากเชื้อและใช้อุณหภูมิขาเข้าเป็น 120 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที

### 3.2.6 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์โดยการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย

3.2.6.1 ผลของอุณหภูมิขาเข้า และอุณหภูมิขาออกต่อการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์

อุณหภูมิขาเข้าที่ศึกษาจะใช้ 3 ค่าคือ 130 145 และ 165 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิขาออกที่ศึกษาใช้ 3 ค่า คือ 85 95 และ 105 องศาเซลเซียส โดยควบคุมอัตราการไหลของสารละลายป้อนให้คงที่ ที่ 10 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง


3.2.6.2 ผลของความดันต่อการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์

ความดันที่ศึกษาจะใช้ 4 ค่าคือ 200 300 400 และ 500 กิโลปาสคาล ตามลำดับ โดยควบคุมอัตราการไหลของสารละลายป้อนให้คงที่ ที่ 10 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3.2.6.3 ผลของความดันและอุณหภูมิขาออกต่อการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์

ศึกษาอุณหภูมิขาออก 3 ค่าคือ 85 95 และ 105 องศาเซลเซียส และควบคุมความดันไว้ที่ 400 กิโลปาสคาล เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในรูปผงไว้ในขวดก้นกลมที่มีฝาปิดที่ 4 องศาเซลเซียส

ในระหว่างการศึกษาปัจจัยการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยต้องควบคุมอุณหภูมิของสารละลายป้อนที่ 4 องศาเซลเซียส

**3.2.7 การหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่รอดหลังการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย**

3.2.7.1 ผลของอุณหภูมิขาเข้า

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ในรูปของของเหลวของแต่ละเชื้อมาเจือจางที่อัตราการเจือจางที่เหมาะสม แล้วนำมาหาปริมาณเชื้อที่อยู่รอดโดยเทคนิคการเกลี่ยเชื้อ

3.2.7.2 ผลของความดัน

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ในรูปของของเหลวของแต่ละเชื้อมาเจือจางที่อัตราการเจือจางที่เหมาะสม แล้วนำมาหาปริมาณเชื้อที่อยู่รอดโดยเทคนิคการเกลี่ยเชื้อ

3.2.7.3 ผลของความดันและอุณหภูมิขาเข้า

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ในรูปผงแห้งของแต่ละเชื้อมาเจือจางที่อัตราการเจือจางที่เหมาะสม แล้วนำมาหาปริมาณเชื้อที่อยู่รอดโดยเทคนิคการเกลี่ยเชื้อ

**3.2.8 การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด**

นำสารละลายป้อนของเชื้อแต่ละชนิดมา 10 มิลลิลิตร มาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดภายใต้ความดันสุญญากาศ 70 ไมครอนของปรอท อุณหภูมิ - 75 องศาเซลเซียส

**3.2.9 การหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่รอดหลังการทำแห้งแบบระเหิด**

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ในรูปผงของแต่ละเชื้อมาเจือจางที่อัตราการเจือจางที่เหมาะสม แล้วนำมาหาปริมาณเชื้อที่อยู่รอดโดยเทคนิคการเกลี่ยเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

33521

# บทที่ 4
# ผลการทดลอง

การศึกษาผลของการทำแห้งเชื้อจุลินทรีย์ โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย การทดลองครั้งนี้ใช้เชื้อจุลินทรีย์ 3 ชนิด คือ เชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047 เชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 และ เชื้อ *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 เพื่อใช้เป็นตัวแทนของเชื้อแบคทีเรีย เชื้อยีสต์ และเชื้อราตามลำดับ เชื้อเหล่านี้เป็นจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการหมัก การศึกษาการทำแห้งเชื้อจุลินทรีย์ โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย เป็นการศึกษาวิธีเก็บรักษาเชื้อในรูปผงให้มีความเสถียร และมีคุณภาพสูงเหมือนเดิม การทดลองครั้งนี้จะทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้งว่าปัจจัยใดมีผลต่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์มากที่สุด ปัจจัยที่ทำการศึกษามีดังนี้

## 1. ผลของอุณหภูมิขาเข้าต่อการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์

อุณหภูมิขาเข้าเป็นอุณหภูมิที่สารละลายของเชื้อจุลินทรีย์ได้รับก่อนที่สารละลายจะเข้าสู่ท่อลมร้อนและถูกทำให้แห้ง การศึกษาผลของอุณหภูมิขาเข้าต่อการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์จะทำการศึกษาอุณหภูมิ 3 ค่า คือ 130 145 และ 165 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อแต่ละชนิด ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิขาเข้ากับเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์

| อุณหภูมิขาเข้า (องศาเซลเซียส) | เปอร์เซ็นต์การรอดของเชื้อจุลินทรีย์ | | |
|---|---|---|---|
| | *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 | *Lactobacillus casei* TISTR 047 | *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 |
| 130 | 43.510 | 21.780 | 44.800 |
| 145 | 42.750 | 21.609 | 43.600 |
| 165 | 32.670 | 19.430 | 33.320 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงของเชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 และ เชื้อ *Aspergillus ficuum* TISTR 3219

ปัจจัยที่มีผลต่อการอยู่รอดของเชื้อนอกจากอุณหภูมิขาเข้าแล้ว อุณหภูมิขาออกก็มีความสำคัญด้วยเช่นกัน

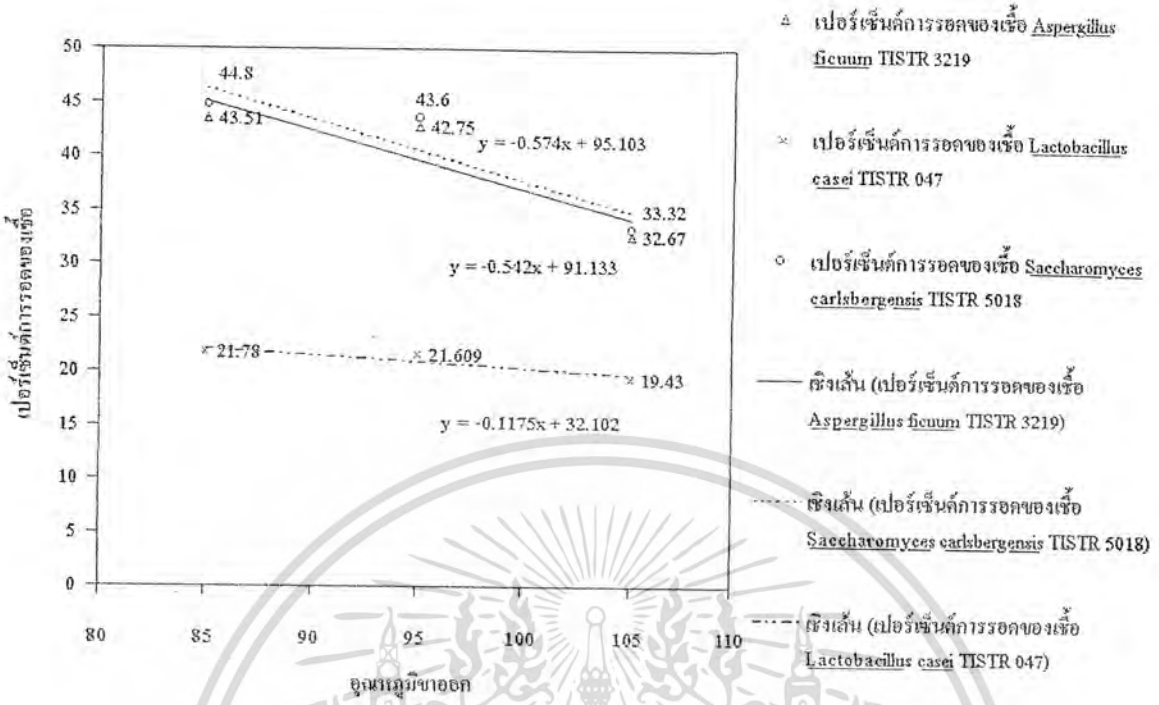
**2. ผลของอุณหภูมิขาออกต่อการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์**

อุณหภูมิขาออกเป็นอุณหภูมิที่บ่งบอกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอุณหภูมิเท่าใดหลังจากผ่านการทำแห้งแล้ว อุณหภูมิขาออกจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิขาเข้า ความดันของหัวฉีด ซึ่งจะมีผลต่อขนาดของละอองของสารละลายเชื้อจุลินทรีย์ ขนาดของละอองจะเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนของสารละลายกับลมร้อน ระยะทางของท่อลมร้อน และความแรงของลมร้อน อุณหภูมิขาออกมีผลต่อการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์ด้วย จากการศึกษาได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิขาออกกับเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์

| (องศาเซลเซียส) | เปอร์เซ็นต์การรอดของเชื้อจุลินทรีย์ | | |
|---|---|---|---|
| | *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 | *Lactobacillus casei* TISTR 047 | *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 |
| 85 | 43.5 | 21.8 | 44.8 |
| 95 | 42.8 | 21.6 | 43.6 |
| 105 | 32.7 | 19.4 | 33.3 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิขาออก และเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์

จากตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 1 ที่เปอร์เซ็นต์การรอดของเชื้อเท่ากัน พบว่าอุณหภูมิขาออกมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิขาเข้ามาก เมื่อดูตามแนวโน้มในกราฟรูปที่ 10 พบว่า ถ้าอุณหภูมิขาออกสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิขาออกจะลดลงมากกว่าอุณหภูมิขาเข้า ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิขาออกมีผลต่อการตายของเชื้อมากกว่าอุณหภูมิขาเข้ามาก และพบว่าเชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047 มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตน้อยที่สุด แต่มีแนวโน้มการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่าเชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 และเชื้อ *Aspergillus ficuum* TISTR 3219

จากการทดลองพบว่า ถ้าอุณหภูมิขาออกมีอุณหภูมิต่ำกว่า 85 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไม่อยู่ในรูปของผงแห้ง แต่ถ้าอุณหภูมิขาออกสูงเกินไปการทดลองทำที่ 105 องศาเซลเซียส พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเนื่องจากเกิดปฏิกิริยา Browning ดังนั้นในการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยควรควบคุมอุณหภูมิขาออกให้อยู่ในช่วง 85 ถึง 95 องศาเซลเซียส อุณหภูมิช่วงนี้จะให้ผลิตภัณฑ์ที่แห้งและมีปริมาณเชื้อเหลืออยู่มาก เนื่องจากอุณหภูมิขาออกมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิขาเข้าและความแรงของลมร้อน ดังนั้นในการทดลองจึงทำการควบคุมอุณหภูมิขาเข้าโดยทดลองหาว่าอุณหภูมิขาเข้าอุณหภูมิใด เมื่อผ่านสารละลายแล้วจะได้อุณหภูมิขาออกประมาณ 85 ถึง 95 องศาเซลเซียส

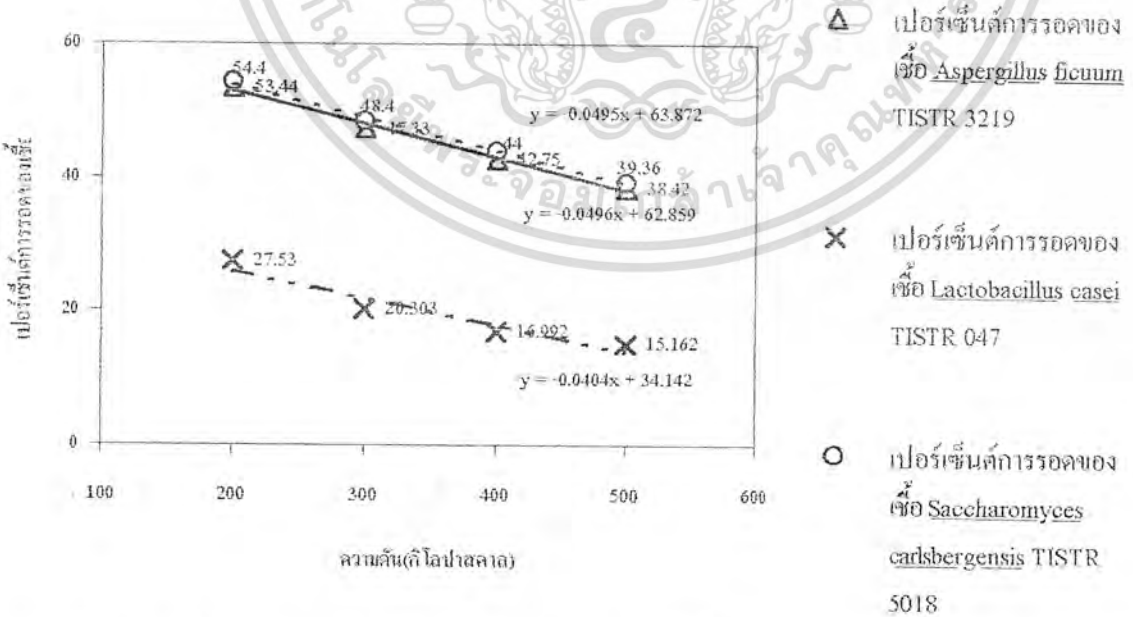
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3. ผลของความดันต่อการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์**

การทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ความดันของหัวฉีดมีผลต่อขนาดของละอองสารละลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ผ่านเข้าไปในห่อลมร้อน การศึกษาความดันของหัวฉีดจะศึกษา 4 ค่า คือที่ความดัน 200 300 400 และ 500 กิโลปาสคาล ผลของความดันของหัวฉีดต่อการอยู่รอดของเชื้อแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันของหัวฉีดกับเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อ

| ความดันของหัวฉีด (กิโลปาสคาล) | เปอร์เซ็นต์การรอดของเชื้อ | | |
|---|---|---|---|
| | *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 | *Lactobacillus casei* TISTR 047 | *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 |
| 200 | 53.440 | 27.530 | 54.400 |
| 300 | 47.330 | 20.303 | 48.400 |
| 400 | 42.750 | 16.992 | 44.000 |
| 500 | 38.420 | 15.162 | 39.36 |




รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันของหัวฉีด และเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3 พบว่าความดันของหัวฉีดมีผลต่อการตายของเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่าอุณหภูมิทั้งอุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิขาออก จากผลการทดลองพบว่าเชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047 ทนต่อความดันของน้อยที่สุด เชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 และ เชื้อ *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 ทนต่อความดันของหัวฉีดสูง มีเปอร์เซ็นต์ของเชื้อที่รอดมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ความสำคัญของความดันของหัวฉีดต่อการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยคือ ถ้าหัวฉีดมีความดันสูงจะฉีดสารละลายออกมาเป็นละอองที่มีขนาดเล็ก การถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับสารละลายเกิดขึ้นได้ดี ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะแห้ง ถ้าความดันสูงมากอาจมีผลต่อการตายของเชื้อจุลินทรีย์ และละอองของสารละลายจะถูกพ่นไปติดตามผนังของท่อลมร้อนมาก แต่ถ้าใช้ความดันของหัวฉีดน้อยเกินไปการถ่ายเทความร้อนระหว่างสารละลายกับอากาศร้อนเกิดขึ้นไม่ดีผลิตภัณฑ์ที่ได้จะ ไม่เป็นผงแห้ง

จากการทดลองพบว่าที่ความดัน 200 กิโลปาสคาล มีเปอร์เซ็นต์เชื้อเหลือรอดสูงที่สุด แต่ที่ความดันนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการทำแห้งไม่แห้งสนิท ยังมีความชื้นสูง ที่ความดัน 500 กิโลปาสคาล จะให้ละอองของสารละลายที่ขนาดเล็ก แต่มีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อเหลือน้อย และความดันมากเมื่อฉีดสารละลายออกมาสารละลายส่วนมากจะติดอยู่ตามท่อลมร้อน เมื่อใช้ความร้อนร่วมเพื่อให้สารละลายแห้งเป็นผง ทำให้มีเปอร์เซ็นต์เชื้อเหลือรอดลดลง และสารละลายที่ติดอยู่ตามท่อลมร้อนจะแห้งแข็งติดตามท่อไม่เกิดเป็นผง ความดันของหัวฉีดที่เหมาะสมที่ใช้ในการทำแบบพ่นเป็นฝอยจะอยู่ในช่วง 300 ถึง 400 กิโลปาสคาล

จากรูปที่ 11 พบว่าเมื่อความดันหัวฉีดเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อ 3 ชนิด จะลดลงใกล้เคียงกัน พิจารณาได้จากค่าความชัน ค่าความชันของ 3 เชื้อใกล้เคียงกันดังนี้ ค่าความชันของเชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047 เท่ากับ 0.0404 เชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 เท่ากับ 0.0495 และ เชื้อ *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 เท่ากับ 0.0496

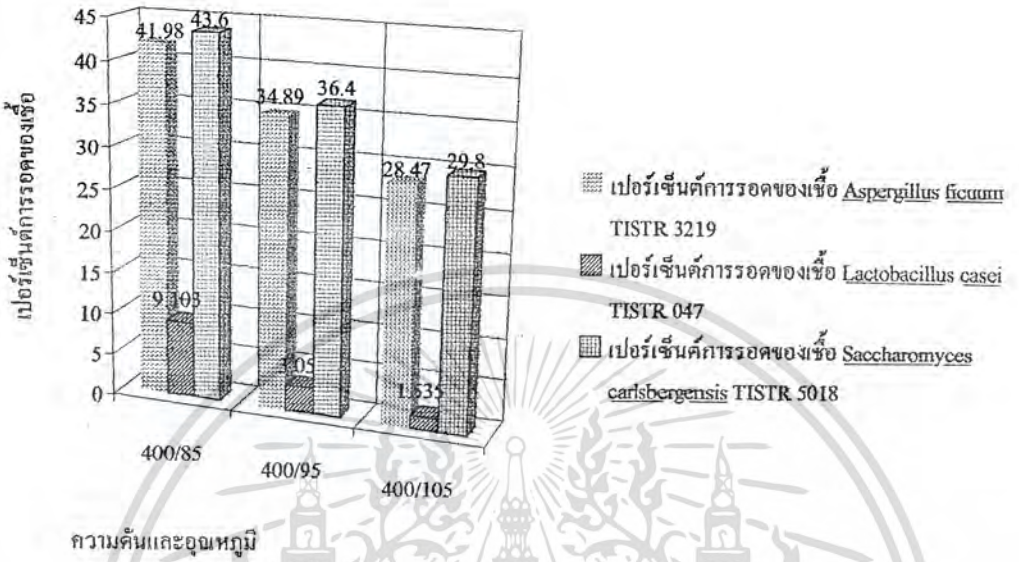
การที่จะทำให้สารละลายแห้งเป็นผงได้นั้น จะต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความดันของหัวฉีดกับอุณหภูมิ ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาผลของปัจจัยทั้ง 2 ร่วมกันว่ามีผลต่อการตายของเชื้อจุลินทรีย์อย่างไร

**4. ผลของความดันและอุณหภูมิขาออกต่อการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์**

การศึกษาผลของความดันของหัวฉีดและอุณหภูมิขาออก ที่มีต่อการรอดชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์ ความดันที่ใช้ในการศึกษาคือความดันที่ 400 กิโลปาสคาล อุณหภูมิที่ใช้ศึกษาจะใช้อุณหภูมิขาออกที่ 85 95 และ105 องศาเซลเซียสตามลำดับ การศึกษานี้เป็นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยแล้วให้เปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์มากที่สุด ผลการทดลองแสดงในกราฟรูปที่ 12




รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิขาออก กับเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์

จากกราฟรูปที่ 12 พบว่าสภาวะในการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยที่ให้เปอร์เซ็นต์เชื้อเหลือมากที่สุดคือ ที่ความดันหัวฉีด 400 กิโลปาสคาล และอุณหภูมิขาออกที่ 85 องศาเซลเซียส แต่ที่สภาวะนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะชื้น ไม่แห้งดี ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยและให้เปอร์เซ็นต์เชื้อเหลือรอดในปริมาณที่ยอมรับได้ คือ ที่สภาวะความดันหัวฉีด 400 กิโลปาสคาล และอุณหภูมิขาออก 95 องศาเซลเซียส พบว่าเชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047 ไม่เหมาะต่อการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดน้อยมาก ที่ความดันหัวฉีด 400 กิโลปาสคาล อุณหภูมิขาออก 85 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอด 9.1 เปอร์เซ็นต์ และที่ความดันหัวฉีด 400 กิโลปาสคาล อุณหภูมิขาออก 105 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอด 1.5 เปอร์เซ็นต์ เชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 สามารถใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยในการเก็บรักษาได้เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อสูง ที่ความดันหัวฉีด 400 กิโลปาสคาล อุณหภูมิขาออก 85 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การรอด 43.6 เปอร์เซ็นต์ และที่ความดันหัวฉีด 400 กิโลปาสคาล อุณหภูมิขาออก 105 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การรอด 29.8 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้

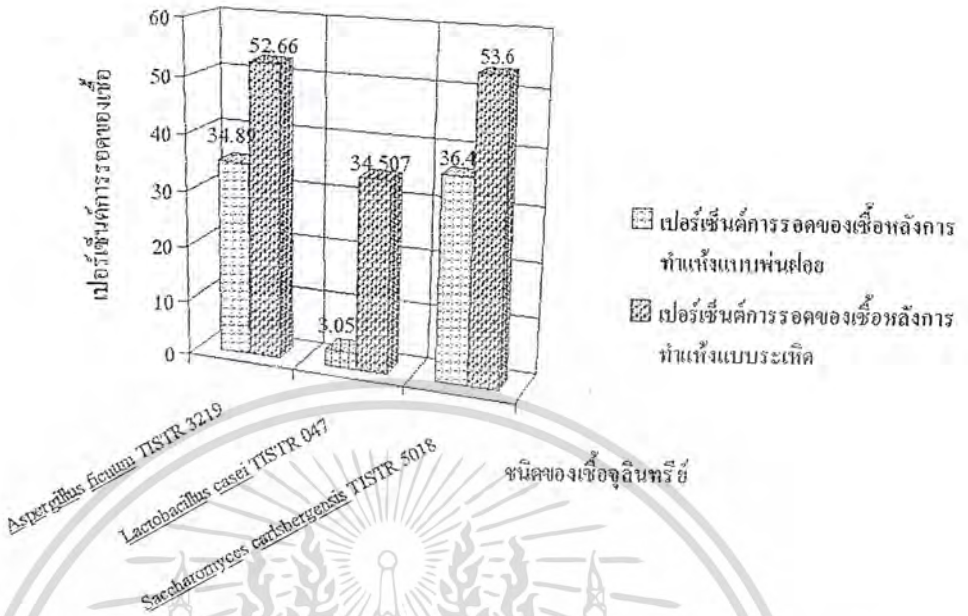
ว่า เชื้อ *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 มีเปอร์เซ็นต์การรอดใกล้เคียงกับเชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 คือ ที่ความดันหัวฉีด 400 กิโลปาสคาล อุณหภูมิขาออก 85 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การรอด 41.98 เปอร์เซ็นต์ และที่ความดันหัวฉีด 400 กิโลปาสคาล อุณหภูมิขาออก 105 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การรอด 28.5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสามารถให้วิธีการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยในการเก็บรักษาเชื้อนี้ได้

ข้อเสียของการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย คือ มีประสิทธิภาพดีไม่เท่ากับการทำแห้งแบบระเหิด เนื่องจากการทำแห้งแบบระเหิดไม่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องจึงทำเชื้อถูกทำลายน้อยกว่า แต่การทำแห้งแบบระเหิดจะเสียเวลาและค่าใช้จ่ายมากกว่า

**5. เปรียบเทียบการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยและการทำแห้งแบบระเหิด ต่อเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์**

การทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยมีข้อดีคือ สะดวก รวดเร็ว ทำได้ครั้งละมากๆ และต้นทุนในการทำแห้งถูกกว่าการทำแห้งแบบระเหิด แต่ข้อเสียคือเกิดการสูญเสียมากกว่า และมีปัจจัยที่ต้องควบคุมหลายปัจจัย การศึกษาเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อโดยการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยจะทำที่สภาวะความดันหัวฉีด 400 กิโลปาสคาล และอุณหภูมิขาออก 95 องศาเซลเซียสเนื่องจากเป็นสภาวะที่มีเปอร์เซ็นต์เชื้อเหลืออยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะแห้ง ไม่เกิดเป็นสีน้ำตาล ผลการศึกษาเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อระหว่างการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย และการทำแห้งแบบระเหิดแสดงดังกราฟรูปที่ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 13 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยและการทำแห้งแบบระเหิด

จากกราฟรูปที่ 13 แสดงให้เห็นว่าการทำแห้งแบบระเหิดมีเปอร์เซ็นต์เชื้อเหลือรอดมากกว่าการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย พบว่าเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047 ของการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย และการทำแห้งแบบระเหิดแตกต่างกันมาก โดยการทำแห้งแบบระเหิดมีเปอร์เซ็นต์เชื้อเหลือรอด 34.507 เปอร์เซ็นต์ การทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยมีเปอร์เซ็นต์เชื้อเหลือรอด 3.05 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่าเชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047 ควรใช้วิธีการเก็บรักษาแบบการทำแห้งแบบระเหิด เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์เชื้อเหลือรอดมากกว่าการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยมาก สำหรับเชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 และ เชื้อ *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 พบว่าเชื้อ 2 ชนิดนี้มีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดใกล้เคียงกันทั้งการทำแห้งแบบระเหิด และการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย เชื้อ 2 ชนิดนี้สามารถทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยแทนการทำแห้งแบบระเหิดได้ เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์การรอดของเชื้อแตกต่างกันประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์ แต่ต้นทุนในการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยถูกกว่ามาก และใช้เวลาในการทำแห้งสั้นกว่า

การศึกษาค่าทางจลนพลศาสตร์การตายของเชื้อ โดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ อุณหภูมิขาเข้า อุณหภูมิขาออก และแรงดันหัวฉีด การหาค่าทางจลนพลศาสตร์เป็นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาผลของปัจจัยต่างๆต่ออัตราการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ โดยจะทำการเขียนกราฟระหว่างค่า $\ln N/N_0$ กับอุณหภูมิขาเข้า อุณหภูมิขาออก และแรงดันหัวฉีด เพื่อหาค่าความชัน ค่าความชันจะเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ต่อการตายของเชื้อ ปัจจัยใดที่มีค่าความชันมาก แสดงว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อการตายของเชื้อสูง จากการทดลองหาปริมาณเชื้อเริ่มต้นได้ดังนี้ คือ

เชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047 มีปริมาณเชื้อเริ่มต้น $11.476 \times 10^6$ CFU ต่อมิลลิลิตร เชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 มีปริมาณเชื้อเริ่มต้น $25 \times 10^7$ CFU ต่อมิลลิลิตร และ เชื้อ *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 มีปริมาณเชื้อเริ่มต้น $13.10 \times 10^7$ CFU ต่อมิลลิลิตร ปริมาณเชื้อที่เหลือรอดหลังจากผ่านปัจจัยต่างแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณเชื้อที่เหลือรอดหลังจากผ่านอุณหภูมิขาเข้าที่ 130 145 และ 165 องศาเซลเซียส

| อุณหภูมิขาเข้า (องศาเซลเซียส) | ปริมาณเชื้อที่เหลือรอด | | |
|---|---|---|---|
| | *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 | *Lactobacillus casei* TISTR 047 | *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 |
| 130 | $5.70 \times 10^7$ | $2.50 \times 10^6$ | $11.20 \times 10^7$ |
| 145 | $5.60 \times 10^7$ | $2.48 \times 10^6$ | $10.90 \times 10^7$ |
| 165 | $4.28 \times 10^7$ | $2.23 \times 10^6$ | $8.33 \times 10^7$ |

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณเชื้อที่เหลือรอดหลังจากผ่านอุณหภูมิขาออกที่ 85 95 และ 105 องศาเซลเซียส

| อุณหภูมิขาออก (องศาเซลเซียส) | ปริมาณเชื้อที่เหลือรอด | | |
|---|---|---|---|
| | *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 | *Lactobacillus casei* TISTR 047 | *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 |
| 85 | $5.70 \times 10^7$ | $2.50 \times 10^6$ | $11.20 \times 10^7$ |
| 95 | $5.60 \times 10^7$ | $2.48 \times 10^6$ | $10.90 \times 10^7$ |
| 105 | $4.28 \times 10^7$ | $2.23 \times 10^6$ | $8.33 \times 10^7$ |

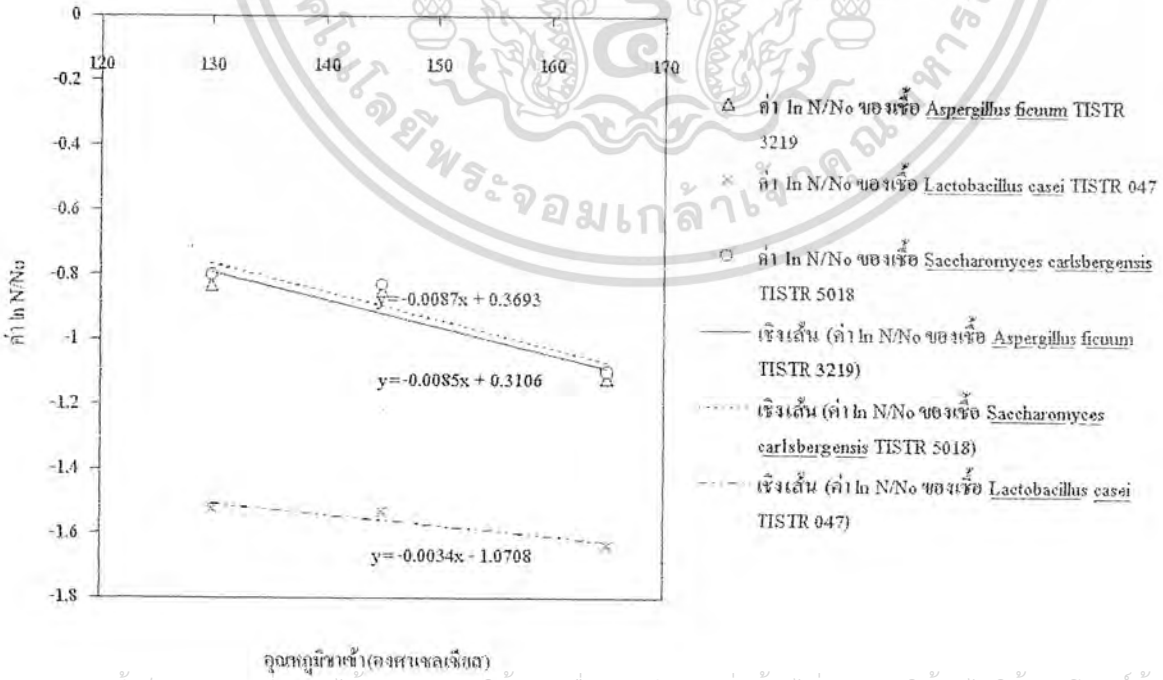
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณเชื้อที่เหลือรอดหลังจากผ่านความดันที่ 200 300 400 และ 500 กิโลปาสคาล

| ความดัน (กิโลปาสคาล) | จำนวนเชื้อที่เหลือรอด | | |
|---|---|---|---|
| | *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 | *Lactobacillus casei* TISTR 047 | *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 |
| 200 | $7.00 \times 10^7$ | $3.16 \times 10^6$ | $13.60 \times 10^7$ |
| 300 | $6.20 \times 10^7$ | $2.33 \times 10^6$ | $12.10 \times 10^7$ |
| 400 | $5.60 \times 10^7$ | $1.95 \times 10^6$ | $11.00 \times 10^7$ |
| 500 | $5.01 \times 10^7$ | $1.74 \times 10^6$ | $9.84 \times 10^7$ |

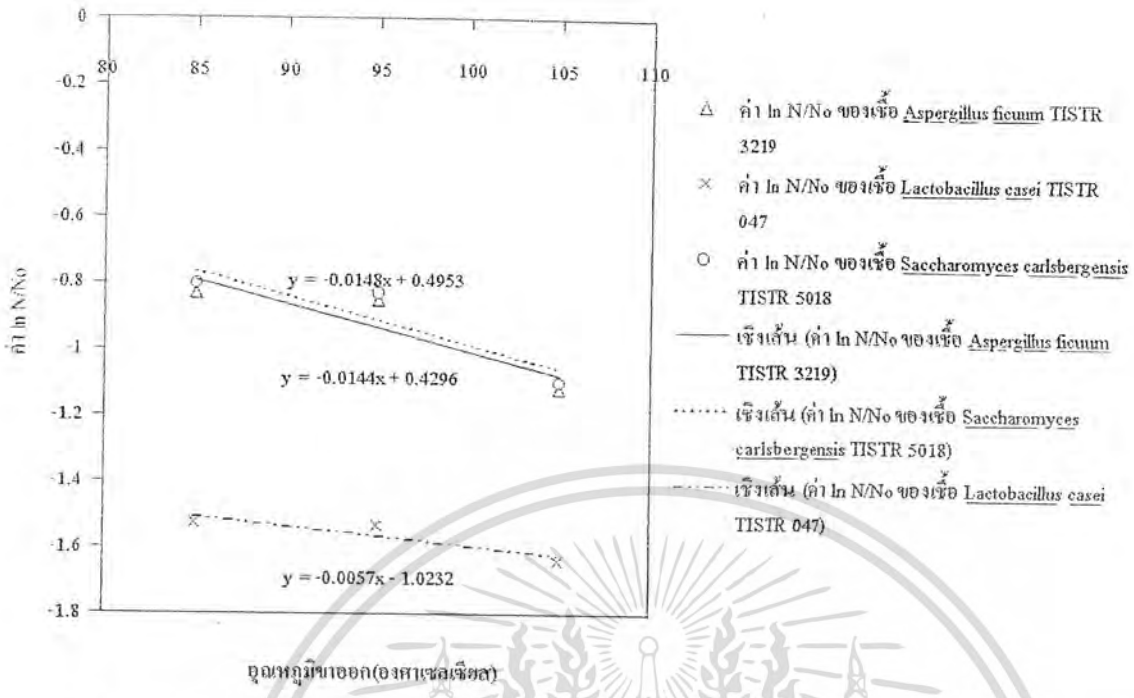
**6. การศึกษาค่าทางจลนศาสตร์**

ค่าทางจลนพลศาสตร์ สามารถบอกอัตราการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์หลังจากการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย อัตราการลดลงของเชื้อหาได้จากค่าความชัน ค่าความชันเป็นค่าที่บอกว่าปัจจัยใดมีผลต่อการตายมากที่สุด ค่าความชันได้จากการเขียนกราฟระหว่างค่า ln $N/N_0$ กับค่าอุณหภูมิค่าเข้า อุณหภูมิขาออก และความดัน ได้ผลดังแสดงในกราฟรูปที่ 14 ถึง 16

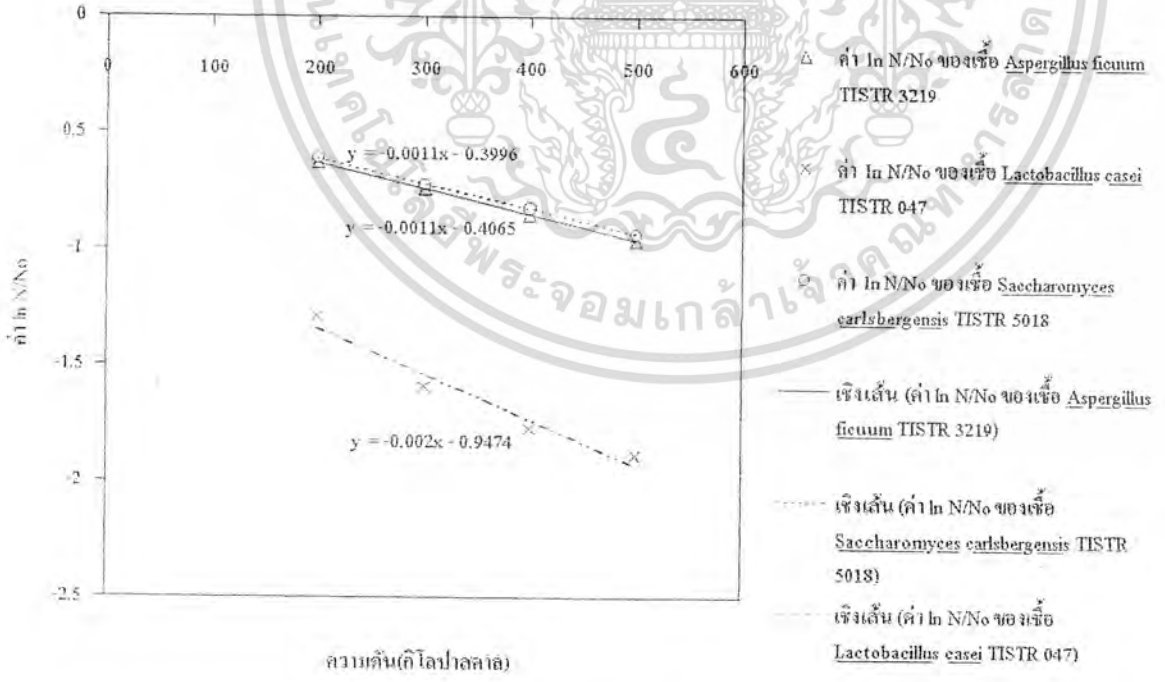



รูปที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ln $N/N_0$ กับอุณหภูมิขาเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ln $N/N_0$ กับอุณหภูมิขาออก




รูปที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ln $N/N_0$ กับความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟสามารถหาค่าความชันของแต่ละปัจจัยและของแต่ละเชื้อจุลินทรีย์ได้ ค่าความชันจะบอกอัตราการลดลงของเชื้อ ค่าความชันมากอัตราการลดลงของเชื้อสูง เปรียบเทียบจาก 3 กราฟ พบว่า ความดันมีผลต่อการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดน้อยที่สุด และพบว่าอุณหภูมิขาออกมีผลต่ออัตราการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดมากที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเชื้อจุลินทรีย์ 3 ชนิดพบว่าเชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 มีอัตราการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 ปัจจัยมากที่สุด (ค่าความชันสูงที่สุด) รองลงมาคือเชื้อ *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 และเชื้อที่มีอัตราการลดลงน้อยที่สุดคือเชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047

เมื่อทราบว่าปัจจัยใดมีผลต่ออัตราการลดลงของเชื้อมากที่สุด จะนำปัจจัยนั้นไปหาค่าพลังงานกระตุ้นของเชื้อ

## 7. ค่าพลังงานกระตุ้น ($E_a$) ของเชื้อจุลินทรีย์

ค่าพลังงานกระตุ้นจะเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการทนความร้อนของเชื้อจุลินทรีย์ ถ้าค่าพลังงานกระตุ้นมีค่ามาก แสดงว่าเชื้อจุลินทรีย์นั้นทนต่อความร้อนได้ดี ค่าพลังงานกระตุ้นสามารถหาได้จากค่าความชันของกราฟ ln (ln $N_0/N$) และค่าส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์ (องศาเคลวิน) โดย

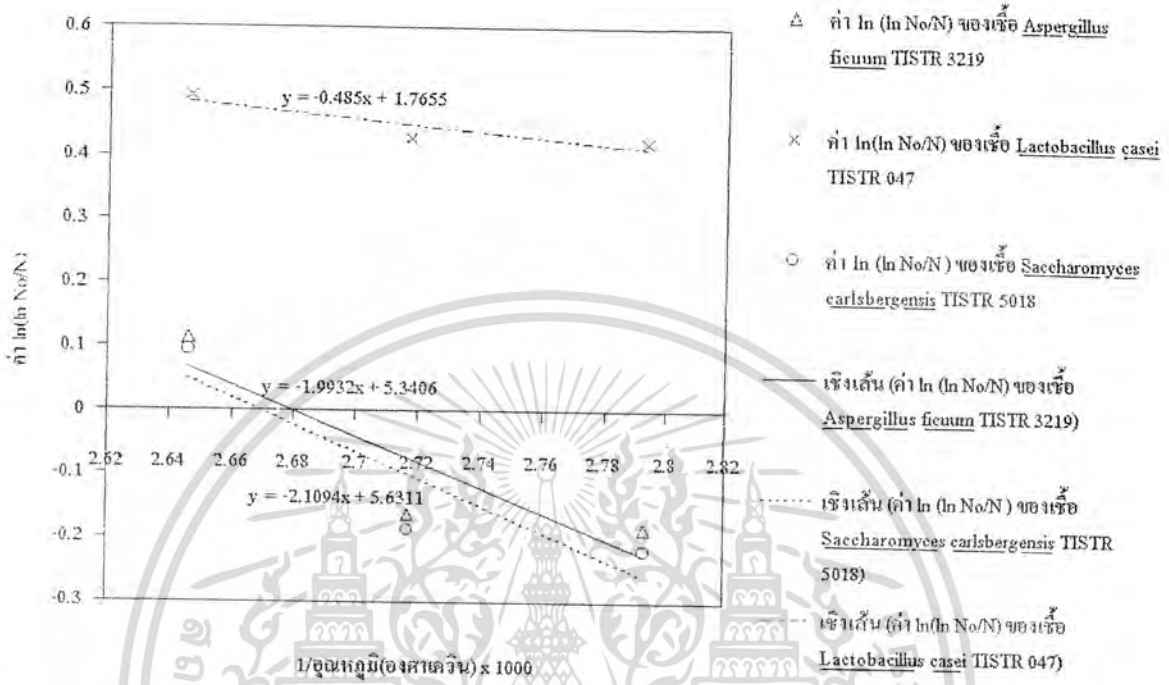
$$\text{ค่าความชัน} = -\frac{\text{ค่าพลังงานกระตุ้น } (E_a)}{\text{ค่าคงที่ของก๊าซ } (R)}$$

โดย ค่าคงที่ของก๊าซมีค่าเท่ากับ $8.314 \times 10^3$ จูล ต่อกิโลโมลองศาเคลวิน

ปกตินิยมคิดค่าพลังงานกระตุ้นในหน่วยของ แคลอรี การเปลี่ยนหน่วยจูล ให้เป็นหน่วยแคลอรีต้องหารด้วย 4.2

จากข้อมูลในข้อที่ 6 พบว่า อุณหภูมิขาออกมีผลต่ออัตราการลดลงของเชื้อมากที่สุด ค่าพลังงานกระตุ้นจะหาได้จากค่าความชันจากกราฟที่เขียนระหว่างค่า ln (ln $N_0/N$) กับค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ของอุณหภูมิขาออก จะได้กราฟดังรูปที่ 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ln (ln $N_f$/N) กับค่าส่วนกลับของอุณหภูมิขาออกสัมบูรณ์

จากกราฟรูปที่ 17 นำค่าความชันของและเชื้อมาหาค่าพลังงานกระตุ้น ได้ดังนี้ เชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 มีค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 4.176 กิโลแคลอรี ต่อโมลองศาเคลวิน เชื้อ *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 มีค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 3.945 กิโลแคลอรี ต่อโมลองศาเคลวิน เชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047 มีค่าพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 0.96 กิโลแคลอรี ต่อโมลองศาเคลวิน

จากค่าพลังงานกระตุ้นที่คำนวณได้ พบว่า เชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 มีค่าพลังงานกระตุ้นมากที่สุด แสดงว่าเชื้อจุลินทรีย์นี้มีอัตราการตายต่ำ รองลงมาคือเชื้อ *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 และเชื้อที่ทนความร้อนน้อยที่สุดคือเชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองสรุปผลได้ดังนี้

1. จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิขาออกมีผลต่อการอยู่รอดของเชื้อมากกว่าอุณหภูมิขาเข้า และพบว่าความดันมีผลต่อการอยู่รอดของเชื้อน้อยที่สุด
2. สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยคือที่ความดันหัวฉีด 400 กิโลปาสคาล อุณหภูมิขาออกประมาณ 95 องศาเซลเซียส อุณหภูมิขาออกประมาณ 145 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่สภาวะนี้จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงแห้ง และมีปริมาณเชื้อเหลือรอดอยู่สูง
3. เชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047 ไม่เหมาะต่อการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์เชื้อเหลือรอดอยู่น้อยมาก แต่เชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 และ เชื้อ *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 สามารถใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยได้
4. จากการทดลอง อุณหภูมิขาเข้าช่วง 130 145 และ 165 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออกช่วง 85 95 และ 105 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการลดลงของเชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 และ เชื้อ *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 สูงกว่า เชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047
5. จากการทดลองพบว่าเชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018 มีพลังงานกระตุ้นสูงที่สุด มีพลังงานเท่ากับ 4.176 กิโลแคลอรี ต่อโมลองศาเคิน แสดงว่าทนต่อความร้อนมากที่สุด รองลงมาคือ เชื้อ *Aspergillus ficuum* TISTR 3219 มีพลังงานเท่ากับ 3.945 กิโลแคลอรี ต่อโมลองศาเคิน และเชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047 มีพลังงานกระตุ้นน้อยที่สุด มีพลังงานกระตุ้นเท่ากับ 0.960 กิโลแคลอรี ต่อโมลองศาเคิน

## ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษากิจกรรมการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอย ว่าสามารถผลิตสารต่างๆ ที่ต้องการได้หรือไม่ และผลิตได้มากน้อยลดลงเท่าใด
2. ควรมีการศึกษาการเติมสารช่วยป้องกันเซลล์ เพื่อศึกษาว่าเมื่อเติมลงไปแล้วปริมาณเซลล์เหลือรอดเพิ่มขึ้นหรือไม่
3. ควรมีการศึกษาถึงอายุการเก็บรักษาว่าเชื้อที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นเป็นฝอยสามารถเก็บไว้ได้นานเท่าไร โดยที่ปริมาณเซลล์ที่มีชีวิตและความสามารถในการผลิตสารต่างๆ ที่ต้องการไม่ลดลง หรือลดลงไม่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

## 1. อาหารเลี้ยงเชื้อ YM (Yeast Extract Malt Extract Agar , YM agar)

เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับการทำเป็น stock culture ของเชื้อยีสต์มีองค์ประกอบดังนี้

| | | |
|---|---|---|
| ยีสต์สกัด | 3.0 | กรัมต่อลิตร |
| มอลต์สกัด | 3.0 | กรัมต่อลิตร |
| เปปโตน | 5.0 | กรัมต่อลิตร |
| กลูโคส | 10.0 | กรัมต่อลิตร |
| วุ้น | 20.0 | กรัมต่อลิตร |

นึ่งฆ่าเชื้อที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที นำมาเขี่ยเชื้อใส่ในหลอดทดลอง แล้วบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง สำหรับเชื้อ *Saccharomyces carlsbergensis* TISTR 5018

## 2. อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA (Potato dextrose agar , PDA)

เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อเตรียมสปอร์ของเชื้อรา การเตรียม PDA อาจเตรียมได้จากอาหารสำเร็จรูป โดยใช้อาหารสำเร็จรูป 24 กรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร หรือเตรียมจากมันฝรั่งสดนำมาปอกเปลือกหั่นเป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋าประมาณ 200 กรัม นำไปต้มในน้ำกลั่น 1 ลิตร ต้มให้เดือดนาน 30 นาที กรองเอาแต่น้ำ จากนั้นเติมกลูโคส 20 กรัม และวุ้น 18 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 1 ลิตร นำไปต้มให้เดือด แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที เป็นอาหารสำหรับเชื้อ *Aspergillus ficuum* TISTR 3219

## 3. Man , Ragosa & Sharpe medium (MRS medium)

เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับเชื้อแบคทีเรีย ที่สามารถใช้น้ำตาลแลกโตสได้ เตรียมโดยละลายอาหารสำเร็จรูปในน้ำกลั่นแล้ว เติมวุ้นลง 18 กรัมต่ออาหาร 1 ลิตร แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่ความดันไอ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที เป็นอาหารสำหรับเชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 047

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง

อรไท สุขเจริญ, วิศวกรรมชีวเคมี, พิมพ์ครั้งที่ 1, หน้า (6-13) – (6-18), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540

Bozoglu,T.F., Ozilgen,M., and Bakir,U. " Survival kinetics of lactic acid starter cultures during and after freeze drying ." Enzyme Microbial. Technol . 9 (1987) : 531 – 537

Espina,F. and Packard, V.S. " Survival of *Lactobacillus acidophilus* in a spray – drying process." J. Food Prot. 42 (1979) : 149 – 152

Kim,S.S. and Bhowmik,S.R. " Survival of lactic acid bacteria during spray drying of plain yogurt." J. Food Sci. 55 (1990) : 1008 – 10101, 1048

Lievense,L.C., Verbeek,M.A., Taekema,T., Meerdink,G. and van't Riet,K. " Modeling the inactivation of *Lactobacillus plantarum* during a drying process." Chem. Eng. Sci. 47 (1992) : 87 – 97

Livense,L.C., Verbeek,M.A.M., Noomen,A. and van't Riet,K. " Mechanisms of dehydration inactivation of *Lactobacillus platarum*." Appl. Microbiol. Biotechnol. 41 (1994) :90 – 94

Fu,W.Y. and Etzel,R.M. " Spray drying of *Lactococcus* ssp. Lactis $C_2$ and cellular injury." J. Food Sci. 60 (1995) :195 – 200

Masker,K. in Spray Drying Hand Book., 3th ed., pp. 1 – 9, 627 – 635, Wiley , New York, 1979.

Miller,D.C., Goepfert,J.M. and Amundso,C.H. " Survival of Salmonellae and *E. coli* during the spray drying of various food products." J. Food Sci. 37 (1972) : 828 – 831

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้