

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ก

การศึกษาการประดิษฐ์วิทยุสมัครเล่นระดับ semi-pilot จากเชียงใหม่มาพะลึง



ปพ.
ป 169ก

2538

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....25416

วัน, เดือน, ปี.....9.0.ค. 2539

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**The study of Symba Yeast production in Semi-pilot scale
from cassava starch**



**Special Project Submitted in Partial Fulfillment
of the Requirements for the Bachelor Degree of Science
Department of Applied Biology
Faculty of Science**

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | การศึกษาการผลิตขี้มบายีสต์ในระดับ semi-pilot จากแป้งมันสำปะหลัง | |
| นักศึกษา | 1. นายปรเมศร์ ล้ำประเสริฐ | |
| | 2. นายพรศักดิ์ ต่างประภา | |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.ดร. เรียม | เดชะโสภณมณี |
| ภาควิชา | ชีววิทยาประยุกต์ | |
| ปีการศึกษา | 2538 | |

บทคัดย่อ

ในการศึกษาวิธีการผลิตขี้มบายีสต์ในระดับ semi-pilot จากแป้งมันสำปะหลังพบว่าในระดับห้องปฏิบัติการที่เคยศึกษากันมาแล้ว จะใช้อาหารที่มีส่วนประกอบของ แป้งมัน 2 เปอร์เซ็นต์ และ $NH_4H_2PO_4$ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร หลังจากเลี้ยง *Endomycopsis fibuligera* เพื่อย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล พบว่าเวลาที่เหมาะสมสำหรับลงเชื้อ *Candida utilis* อยู่ในช่วงชั่วโมงที่ 16-20 ต่อมาได้นำผลการทดลองนี้มาใช้ในการผลิตขี้มบายีสต์ในปริมาตร 70 ลิตร โดยใส่กล้าเชื้อ *E. fibuligera* 1 ลิตร เลี้ยงอาหารแป้ง เป็นเวลา 18 ชั่วโมง แล้วจึงทำการใส่เชื้อ *C. utilis* 400 มิลลิลิตร ทำการเลี้ยงไป 62 ชั่วโมง นำมาหาหน้าหนักได้ 150 กรัม น้ำหนักเปียก และน้ำหมักที่แยกเซลล์ออกจะมีลักษณะขุ่น จึงทำการเพิ่มกล้าเชื้อ *E. fibuligera* เป็น 7 ลิตร โดยวิธีการเหมือนเดิมทำการเลี้ยง 58 ชั่วโมง นำมาหาหน้าหนักได้ 380 กรัม น้ำหนักเปียก และน้ำหมักที่แยกเซลล์ออกจะมีลักษณะใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๑

Special Project Title The study of symba yeast production in semi-pilot scale from cassava starch

Name 1. Mr.Poramaed Lumprasert
2. Mr.Pornsak Tangprapa

Special Project Advisor Assist Prof.Dr.Ream Techasophonmani

Department Applied Biology

Academic Year 1995

ABSTRACT

Symba yeast production from laboratory scale at 200 ml volume and then at larger scale of 70,000 ml were studied. It was shown that 2 % cassava starch with the addition of 0.2 % $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ was the suitable media for culture of *Endomycopsis fibuligera*. After 16-20 hours of the culturing period, cassava starch was almosted completely hydrolyzed to reducing sugars which were further digested by *Candida utilis*. The results showing by wet weight of Symba yeast at 62 hours after 1 litre of *E. fibuligera* inoculation was 2.14 g (wet weight)/l. Increasing of Symba yeast production up to 5.43 g (wet weight)/l was obtained after using 7 litre *E. fibuligera* inoculation.

กิติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. เรียม เตชะวิสมณเมธี ผู้ซึ่งให้ความช่วยเหลือทุก
ด้านตลอดจนให้คำแนะนำและกำลังใจซึ่งส่งผลให้โครงการนิเทศน์ตา เนิบไปได้ดี และขอกราบขอบพระคุณ
ผศ.มาลินี ตันติยาภรณ์ และ ผศ.ดร.พรรณี วิฑิตาภิชิต ที่ให้ความกรุณาตรวจทานและแก้ไขต้นฉบับ
ของโครงการนิเทศน์ ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ได้ให้ความ
สะดวกในการทาสี เครื่องมือและการ เบิกอุปกรณ์ต่าง ๆ ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ที่ได้ให้ความสะดวก
ในการใช้ห้องทดลอง ขอขอบคุณพี่ ณรงค์ศักดิ์ แซ่ลี้ทง ที่ให้คำแนะนำยามที่มีปัญหา ขอกราบ
ขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่กรุณาได้ให้ความสะดวกในการขอใช้สถานที่นอกเวลาราชการ ซึ่งมี
ส่วนทำให้โครงการนิเทศน์สำเร็จ เป็นอันมาก และขอขอบคุณเพื่อน ๆ และผู้ที่กำลังใจทุกท่านที่เสียสละ
เวลา และให้กำลังใจอันทำให้โครงการนิเทศน์สำเร็จลุล่วงได้ดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

| | |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญตาราง..... | ช |
| สารบัญรูปภาพ..... | ช-ฅ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| สมมติฐาน..... | 1 |
| วัตถุประสงค์..... | 2 |
| ขอบ เขตของงานวิจัย..... | 2 |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลัก เกณฑ์..... | 3 |
| โปรตีน เซลล์ เตียว..... | 3 |
| จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตโปรตีน เซลล์ เตียว..... | 4 |
| การผลิตโปรตีน เซลล์ เตียว..... | 5 |
| วัตถุประสงค์ในการผลิตโปรตีน เซลล์ เตียว..... | 5 |
| คุณภาพของโปรตีน เซลล์ เตียวและความปลอดภัย..... | 7 |
| การกระทำกับ เชลจุลินทรีย์ เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีน..... | 9 |
| ยีสต์ที่นำมาใช้เป็นแหล่งอาหาร..... | 11 |
| กระบวนการที่ใช้ในการ เลี้ยงยีสต์ เพื่อ เอา เซลล์..... | 11 |
| กระบวนการหมัก..... | 12 |
| ขั้นตอนของกระบวนการหมัก..... | 13 |
| คุณค่าทางอาหารของยีสต์หมัก..... | 15 |
| การนำประโยชน์ของยีสต์หมัก..... | 17 |
| การนำกระบวนการหมักในการลดค่าบีโอดี..... | 17 |
| อุตสาหกรรมที่หักากของ เลี้ยงซึ่งสามารถ เข้ากระบวนการหมักได้..... | 18 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวงจำกัดของเอกสารที่แจกจ่าย ไม่อนุญาตให้ส่งไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|----------------------------------------------------|-----------|
| เชื้อ <i>Endomycopsis fibuligera</i> | 26 |
| เชื้อ <i>Candida utilis</i> | 32 |
| เอนไซม์อะไมเลส | 36 |
| ปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญของยีสต์..... | 37 |
| กระบวนการหมักซิมบาสต์ในระดับ semi-pilot scale..... | 39 |
| การหมักแบบกะ..... | 40 |
| อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับการผลิตซิมบาสต์..... | 42 |
| การออกแบบถังหมัก..... | 47 |
| ระบบให้อากาศ..... | 50 |
| การสเตรริไลส์..... | 52 |
| ทฤษฎีการส่งผ่านออกซิเจน..... | 60 |
| การเก็บเกี่ยวผลผลิต..... | 64 |
| การทำแห้ง..... | 75 |
| การใช้คอมพิวเตอร์ในอุตสาหกรรมหมัก..... | 78 |
| เศรษฐศาสตร์การหมัก..... | 80 |
| บทบาทของมีนสาปะหลัง..... | 83 |
| ลักษณะของมีนสาปะหลัง..... | 83 |
| องค์ประกอบทางเคมีของมีนสาปะหลัง..... | 84 |
| มีนสาปะหลังกับประเทศไทย..... | 85 |
| ลักษณะเด่นของมีนสาปะหลัง..... | 90 |
| ประเภทของการใช้ประโยชน์..... | 90 |
| การแปรรูปมีนสาปะหลัง..... | 91 |
| บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินการทดลอง..... | 96 |
| ระดับห้องปฏิบัติการ..... | 96 |
| ระดับ semi-pilot..... | 97 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|-----------------------------|-----|
| บทที่ 4 ผลการทดลอง..... | 100 |
| ผลการทดลองที่ 1..... | 100 |
| ผลการทดลองที่ 2..... | 100 |
| ผลการทดลองที่ 3..... | 103 |
| บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์..... | 105 |
| ภาคผนวก ก..... | 106 |
| ภาคผนวก ข..... | 107 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 109 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| | | หน้า |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 1 | ส่วนประกอบของซิมบาศีสต์ (Symba Yeast) ที่ได้จากการใช้กากของ เลีย ของ Swedish sugar Company แห่งประเทศสวีเดน | 15 |
| ตารางที่ 2 | ปริมาณของกรดอะมิโนแต่ละชนิดในซิมบาศีสต์ (Symba Yeast) ที่ได้จากกาก ของ เลีย ของ Swedish sugar Company แห่งประเทศสวีเดน | 16 |
| ตารางที่ 3 | การทดลองใช้ซิมบาศีสต์ (Symba Yeast) แทนโปรตีนต่าง ๆ ในสัตว์ทดลอง | 17 |
| ตารางที่ 4 | ลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานแป้ง เมื่อ เข้าสู่กระบวนการซิมบา (Symba process) | 17 |
| ตารางที่ 5 | อุตสาหกรรมที่ให้กากของ เลีย ซึ่งสามารถนำเข้าสู่กระบวนการซิมบาได้ | 18 |
| ตารางที่ 6 | แสดงส่วนประกอบของสารอาหารที่มีไขมันสะสมหลังในส่วนที่กินได้ 100 กรัม | 84 |
| ตารางที่ 7 | มูลค่าสินค้าออกภาค เกษตรกรรมและสินค้าออกทั้งหมดของประเทศระหว่าง พ.ศ. 2532-2536 | |
| ตารางที่ 8 | เนื้อที่เก็บเกี่ยว , ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของมันสำปะหลังทั้งในประเทศไทย และประเทศผู้ผลิตที่สำคัญบางประเทศ ระหว่าง พ.ศ. 2531-2535 | 87 |
| ตารางที่ 9 | เนื้อที่ , ผลผลิต และผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ของมันสำปะหลัง เป็นรายภาคของประเทศไทย ในระหว่างปี พ.ศ. 2534-2537 | 88 |
| ตารางที่ 10 | เนื้อที่ , ผลผลิต และผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ เป็นรายจังหวัด (ในภาคตะวันออก เชียงเหนือ) ระหว่าง พ.ศ. 2534-2537 | 89 |
| ตารางที่ 11 | ผลผลิตมันสำปะหลังตามราคาที่เป็นเกษตรกรขายได้ ระหว่าง พ.ศ. 2528-2537 | 89 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

| | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนกรรมของกระบวนการซิมบา (Symba process) | 19 |
| รูปที่ 2 ขั้นตอนการผลิตซิมบาสต์ | 20 |
| รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างต่าง ๆ ของเซลล์ยีสต์ | 22 |
| รูปที่ 4 แสดงส่วนประกอบของผนัง เซลล์ของยีสต์ | 23 |
| รูปที่ 5 แสดงวงชีวิตของ <i>E. fibuligera</i> | 27 |
| รูปที่ 6 แสดงลักษณะของ <i>E. fibuligera</i> เมื่อเลี้ยงใน malt extract 3 วัน | 29 |
| รูปที่ 7 แสดง <i>E. fibuligera</i> เมื่อเลี้ยงในน้ำกลั่นเป็นเวลา 3 สัปดาห์ | 30 |
| รูปที่ 8 แสดงลักษณะ <i>C. utilis</i> หลังจากเลี้ยงใน malt agar เป็นเวลา 3 วัน | 33 |
| รูปที่ 9 แสดงลักษณะ <i>C. utilis</i> เมื่อเลี้ยงในอาหาร corn meal agar | 34 |
| รูปที่ 10 ขั้นตอนและความสัมพันธ์ของขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการหมัก | 39 |
| รูปที่ 11 แสดงการเจริญของจุลินทรีย์ที่เพาะเลี้ยงในระบบแบบกะ | 40 |
| รูปที่ 12 ผลของความเข้มข้นของสปีส เทรท เริ่มต้นต่อปริมาณ เซลล์สูงสุด | 41 |
| รูปที่ 13 แสดงระบบควบคุมอุณหภูมิของถังหมัก | 48 |
| รูปที่ 14 แสดง เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้น้ำในถังหมัก | 49 |
| รูปที่ 15 แสดงมาตรวัดความดันที่ใช้น้ำในถังหมัก | 49 |
| รูปที่ 16 แสดง combined sparger-agerator | 51 |
| รูปที่ 17 ๔ต่อแกรมแสดงส่วนประกอบและการทำงานของ plate heat exchanger | 54 |
| รูปที่ 18 ๔ต่อแกรมแสดงส่วนประกอบและการทำงานของ injector-flash cooler | 55 |
| รูปที่ 19 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการส เตอริไลส์อาหาร เลี้ยง เชื้ออย่างต่อเนื่อง | 56 |
| รูปที่ 20 แสดงผลของอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อค่า K_{La} ของถังหมักชนิดที่มี เครื่องกวน | 62 |
| รูปที่ 21 แสดง๔ต่อแกรมวิธีการแยกสารโดยวิธีกรอง | 65 |
| รูปที่ 22 ๔ต่อแกรมแสดงลักษณะและส่วนประกอบของ เครื่องกรองแบบง่าย ๆ | 66 |
| รูปที่ 23 ๔ต่อแกรมแสดงส่วนประกอบและลักษณะการทำงานของ plate-frame filter | 67 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 24 ใตอะแกรมแสดงส่วนประกอบและลักษณะการทำงานของ rotary vaccum filter | 67 |
| รูปที่ 25 ใตอะแกรมแสดงส่วนประกอบและลักษณะของ string discharge | 68 |
| รูปที่ 26 ใตอะแกรมแสดงวิธีการกำจัดตะกอนออกจาก rotary vaccum filter โดยใซี่ scraper discharge | 69 |
| รูปที่ 27 ใตอะแกรมแสดง rotary vaccum filter ที่มีสารช่วยกรอง เคลือบอยู่ โดยใซี่ scraper discharge | 69 |
| รูปที่ 28 ใตอะแกรมแสดงลักษณะและการทำงานของ basket centrifuge | 71 |
| รูปที่ 29 ใตอะแกรมแสดงลักษณะของ multichamber centrifuge | 71 |
| รูปที่ 30 ใตอะแกรมลักษณะของ solid-bowl scroll centrifuge | 72 |
| รูปที่ 31 ใตอะแกรมแสดงลักษณะและการทำงานของ disc-bowl centrifuge | 73 |
| รูปที่ 32 ใตอะแกรมแสดงภาพตัดขวางของ sharples super-centrifuge | 74 |
| รูปที่ 33 ใตอะแกรมแสดงลักษณะการทำงานของ เครื่อง spray drier | 76 |
| รูปที่ 34 ใตอะแกรมแสดงลักษณะการทำงานของ เครื่อง drum drier | 77 |
| รูปที่ 35 การแปรรูปหัวมันสำปะหลังสดเป เป็นผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง | 92 |
| รูปที่ 36 กราฟแสดงการ เปลี่ยนแปลงของ น้ำตาลรีตีวซึ่ง โดย <i>E. fibuligera</i> ปริมาตร 200 มิลลิลิตร | 101 |
| รูปที่ 37 กราฟแสดงการ เปลี่ยนแปลงของ น้ำตาลรีตีวซึ่ง และการ เจริญเติบโตของ ซิมบาสต์ โดยใซี่ <i>E. fibuligera</i> 1 ลิตร ปริมาตร 70 ลิตร | 102 |
| รูปที่ 38 กราฟแสดงการ เปลี่ยนแปลงของ น้ำตาลรีตีวซึ่ง และการ เจริญเติบโตของ ซิมบาสต์ โดยใซี่ <i>E. fibuligera</i> 7 ลิตร ปริมาตร 70 ลิตร | 103 |

บทที่ 1 บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชไร่ที่ทำรายได้ให้แก่ประเทศไทย จึงทำให้มีการเพิ่มปริมาณการผลิตแต่ด้วยปัญหาทางการตลาดที่ไม่แน่นอน จึงทำให้เกิดภาวะสินค้าล้นตลาด เพราะฉะนั้นการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับมันสำปะหลังจึงเป็นวิธีที่ต้องทำอย่างเร่งด่วน

ในประเทศสวีเดนได้มีการนำน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมันฝรั่ง โดยให้กระบวนการ "Symba" ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นผลพลอยได้ ด้วยเหตุนี้มันสำปะหลังซึ่งเป็นพืชกินหัวเหมือนกันกับมันฝรั่งก็น่าจะใช้เป็นวัตถุดิบผลิตซิมบาเยสต์ได้เช่นกัน แต่เทคโนโลยีของการผลิตซิมบาเยสต์โดยใช้น้ำทิ้งทั้ง 2 นั้นแตกต่างกัน อีกทั้งการผลิตซิมบาเยสต์จากมันฝรั่งได้มีการจดสิทธิบัตรและการผลิตก็ยังไม่เป็นที่เปิดเผย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคิดและสร้างเทคโนโลยีขึ้นเอง

สำหรับการผลิตซิมบาเยสต์โดยใช้น้ำทิ้งมันสำปะหลังได้มีการทำในระดับห้องทดลองได้ผลมาแล้วแต่ยังขาดการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

จากปัญหาดังกล่าว โครงการพิเศษเรื่อง "การศึกษการผลิต Symba Yeast ในระดับ semi-pilot จากน้ำทิ้งมันสำปะหลัง" จึงเกิดขึ้นเพื่อเป็นการพัฒนาการผลิตซิมบาเยสต์ในระดับที่ใหญ่ขึ้น เพื่อจุดประสงค์ในการสร้างเทคโนโลยีการผลิตเป็นของตัวเอง

สมมติฐาน

1. สภาพที่ใช้ในการผลิตซิมบาเยสต์ (symba yeast) ในระดับห้องปฏิบัติการ สามารถที่จะนำมาใช้ในถังหมักในระดับ semi-pilot ได้
2. ปริมาณ *Endomycopsis fibulifera* มีผลต่อปริมาณซิมบาเยสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาสภาวะที่คล้ายคลึงกันและที่แตกต่างกันของการผลิตซิมบาซิสต์ (symba yeast) ระหว่างในระดับห้องปฏิบัติการ และระดับ semi-pilot
2. เพื่อขยายการผลิตซิมบาซิสต์ (symba yeast) ให้ใหญ่ขึ้น

ขอบเขตงานวิจัย

1. ทำการผลิตซิมบาซิสต์ในถังหมัก
2. วัดปริมาณน้ำตาลและเซลล์ในระหว่างการทดลอง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตรคือมันสำปะหลัง ซึ่งมีราคาต่ำ ให้มาคยู่ในรูปผลิตภัณฑ์ซีสต์ที่มีราคาสูง
2. สามารถนำสิ่งที่ได้จากการศึกษามาใช้เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตซิมบาซิสต์จากแป้งมันสำปะหลังในระดับอุตสาหกรรมต่อไป
3. ทำให้เกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ในการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาประยุกต์กับการใช้ทรัพยากร เพื่อให้เกิดผลอย่างเต็มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

โปรตีน เซลล์ เดียว

คำว่าโปรตีนเซลล์เดี่ยว (single cell protein) หรือ เขียนย่อ ๆ ว่า SCP ถูกบัญญัติขึ้นโดย Massachusetts Institute of Technology (MIT) โดยศาสตราจารย์ C.L. Wilson ในปี ค.ศ. 1966 คือ โปรตีนจากจุลินทรีย์ซึ่งได้แก่ สาหร่าย, รา, ยีสต์, แบคทีเรีย ฯลฯ เป็นจะต้องเป็นจุลินทรีย์ที่มีเซลล์เดี่ยว (Unicellular cell) ซึ่งได้แก่ แบคทีเรีย, ยีสต์, สาหร่ายบางชนิด แต่รวมถึงจุลินทรีย์ที่มีหลายเซลล์ (multicellular cell) ได้แก่ สาหร่ายและเชื้อรา แต่โดยทั่วไปก็ยังนิยมเรียกว่า SCP

โปรตีน เซลล์ เดียว เริ่มได้รับความสนใจ เมื่อองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้จัดตั้งหน่วยงานหนึ่ง เพื่อหาแหล่งโปรตีนใหม่สำหรับมนุษย์ ซึ่งจะต้องมีความปลอดภัยและเหมาะสมสำหรับ เป็นอาหารของมนุษย์ (Food) หรือ เป็นอาหารสัตว์ (Feed) หน่วยงานนี้ คือ Protein Advisory Group จัดตั้ง เมื่อปี ค.ศ. 1955

สาเหตุที่โปรตีน เซลล์ เดียว เป็นที่สนใจ เพราะมีการขาดแคลนอาหารโปรตีน ขาดแคลนวัตถุดิบที่จะใช้ผลิตโปรตีนจากเนื้อสัตว์ ปัญหาการกำจัดของเหลือใช้ ดังนั้นการใช้โปรตีน เซลล์ เดียวจึงเป็นหนทางหนึ่งที่จะใช้แก้ปัญหาดังกล่าวได้ การใช้โปรตีน เซลล์ เดียวก็เพื่อประโยชน์ 2 ประการ คือ การกำจัดของเสีย เพื่อป้องกันปัญหามลภาวะ และการได้ผลตอบแทนจากการใช้ประโยชน์ของวัสดุเหล่านั้น (ดวงพร , 2530)

ค.ศ.1960 มีการพัฒนาอุตสาหกรรมการหมักจากความพยายามที่จะผลิต เซลล์จุลินทรีย์ เนื้อใช้ เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์แต่จุลินทรีย์ที่ผลิต เนื้อใช้ เป็นอาหารสัตว์นั้นมีราคาค่อนข้างต่ำ ทาให้ต้องผลิตในปริมาณมากกว่าผลผลิตอื่น ๆ จึงจะคุ้มค่าการลงทุน ดังนั้นจึงต้องใช้ถังหมักที่มีขนาดใหญ่ และในระยะนี้สารประกอบ ไฮโดรคาร์บอน ที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมมีราคาถูกมาก จึงได้มีการใช้ เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์ในอุตสาหกรรมการหมัก กระบวนการหมักโดยทั่ว ๆ ไป เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) หรือ แบบ Fed-batch มีหลายบริษัทที่พยายามทำการทดลองพัฒนากระบวนการผลิตโดยใช้ระบบต่อเนื่อง และในที่สุดก็มีบางบริษัทที่ประสบความสำเร็จ สามารถใช้กระบวนการหมักแบบต่อเนื่องในการผลิต เซลล์จุลินทรีย์ได้ (สมใจ, 2537)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คนได้กิน เชลล์จุลินทรีย์มาตั้งแต่โบราณ โดยเป็นส่วนประกอบในอาหารโดยไม่ได้ตั้งใจ เช่น ยีสต์ที่ใช้ทำขนมปัง (*Saccharomyces sp.*) ส่วนเชลล์แบคทีเรียที่เด็กกินกันตั้งแต่แบคทีเรียที่ทำนมเปรี้ยว ผลิตเนยแข็ง เช่น *Streptococcus* และ *Lactobacillus* ส่วนอาหารทางเอเซียได้แก่ จุลินทรีย์ที่อยู่ในอาหารหมักดองต่าง ๆ เช่น แหนม ปลาร้า ผักดอง เป็นต้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการกินจุลินทรีย์ เชลล์ เดียวดังกล่าวว่าไม่ เป็นปัญหาสำหรับคนเลย เพราะปริมาณ เชลล์ที่กินนั้นยังต่ำอยู่ เนื่องจากนมที่ใช้ เป็นอาหารหลัก แต่ในกรณีใช้โปรตีน เชลล์ เดียว เป็นอาหารแล้วก็จำเป็นต้องใช้จำนวนมากขึ้น เพื่อให้มีคุณค่าทางอาหาร เพียงพอจึง เกิดปัญหาถกเถียงกันถึงคุณภาพและความปลอดภัยต่อการบริโภคโปรตีน เชลล์ เดียวรวมทั้งปัญหาเศรษฐกิจด้วย (อรพิน , 2532)

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตโปรตีน เชลล์ เดียว

จุลินทรีย์ที่ใช้ผลิต เป็นโปรตีน เชลล์ เดียวมีคุณสมบัติต่อไปนี้ (J.K. Bhattacharjee)

1. เจริญได้เร็วในอาหารที่มีราคาถูก ซึ่ง เป็นวัตถุดิบที่หาได้ในท้องถิ่นนั้น ๆ
2. เจริญได้ในอาหารที่มีส่วนประกอบง่าย ๆ มีความต้องการวิตามิน และสารเร่งการเจริญ (Growth factor)
3. คงลักษณะทางพันธุกรรมได้ดีไม่กลายพันธุ์ง่าย เมื่อ เลี้ยงติดต่อกัน เป็น เวลานาน
4. การแยกและ เก็บ เก็บยว เชลล์ทำได้ง่าย
5. มีความต้านทานต่อการระบอบของจุลินทรีย์อื่น ๆ
6. ทราบคุณสมบัติทางพันธุกรรม สรีรวิทยา และสามารถปรับปรุงทางด้านพันธุกรรมได้
7. ใช้แหล่งพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
8. หลังจากผ่านกระบวนการ เลี้ยง แล้ว มีวัสดุเหลือทิ้งน้อยหรือไม่มีเลย
9. นม เป็นพิษ และทำให้ เกิดอาการภูมิแพ้
10. ให้ปริมาณโปรตีนสูง โดย เฉพาะโปรตีนจะต้องมีการต่อมีเงินที่มีคุณค่า
11. เก็บรักษาได้ง่าย เช่นการทำให้แห้งได้ (ดวงพร , 2530)
12. อุณหภูมิที่เหมาะสม การเลี้ยงจุลินทรีย์ที่มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ในกระบวนการหมักขนาดใหญ่ จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทำให้เย็นได้อย่างมาก
13. ปฏิกริยาระหว่างจุลินทรีย์กับ เครื่องมือที่ใช้ ควร เลือกจุลินทรีย์ที่นมทำให้ เกิดปฏิกิริยาใด ๆ กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกระใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เครื่องมือที่ใช้ และมีความ เหมาะสมกับกระบวนการผลิตที่ใช้ (ลมจ , 2537)

ไมวารณณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตโปรตีนเซลล์เดี่ยว

Mass และ Smith ได้เสนอว่าโปรตีนเซลล์เดี่ยวเป็นที่หวังว่าจะเป็นแหล่งอาหารโปรตีนของโลกที่กำลังขาดแคลนอาหารโดยเฉพาะโปรตีน เพราะ

1. ราคาถูก เนื่องจากใช้วัตถุดิบที่มีราคาถูก สามารถใช้วัตถุดิบได้หลายชนิด รวมทั้งวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมและการเกษตร
2. การเลี้ยงใช้ระยะเวลาสั้น เนื่องจากมีอัตราการเจริญเร็ว ซึ่งถ้าพิจารณาจากค่าการแบ่งตัวในแต่ละชั่วรุ่น (generation time) จะพบว่าแบคทีเรียมีอัตราการเจริญสูงสุดคือ ประมาณ 0.3-2.0 ชั่วโมง ยีสต์รองลงมาคือ ประมาณ 1-3 ชั่วโมง ส่วนเชื้อรา (filamentous fungi) และสาหร่ายจะใช้เวลาในการเพิ่มชีวมวลเป็น 2 เท่า ประมาณ 4-12 ชั่วโมง และ 2-6 ชั่วโมง ตามลำดับ
3. ประหยัดเนื้อที่ในการผลิต ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับพืชหรือสัตว์ จะเป็นการผลิตโปรตีนเซลล์เดี่ยวใช้พื้นที่น้อยกว่ามาก ในการผลิตเพื่อให้ได้ปริมาณโปรตีนเท่ากัน
4. มีโปรตีนสูงประมาณ 7-12 กรัม โปรตีนไนโตรเจน ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และสารประกอบของกรดอะมิโนจำเป็นคล้ายกับของสัตว์และที่สำคัญอีกอย่างคือ สังเคราะห์ได้เร็วกว่าเนื้อสัตว์ ในโปรตีนเซลล์เดี่ยวจะมี โลซีน , เมทไอโอนีน , ทรีปโตเฟน ซึ่งโปรตีนจากพืชมักจะขาด

การผลิตโปรตีนเซลล์เดี่ยวต้องใช้เทคโนโลยีสูงมารวมทั้งบุคลากรในการผลิตควบคุม ตลอดจนอุปกรณ์ที่ใช้ก็มีราคาสูงมาก ดังนั้นการผลิตโปรตีนเซลล์เดี่ยวจะต้องมีการศึกษาในแง่เศรษฐศาสตร์ควบคู่ไปด้วยเช่นเดียวกับการลงทุนอื่น ๆ ซึ่งถ้าหากพิจารณาถึงผลในระยะยาวจะเห็นได้ว่าการผลิตโปรตีนเซลล์เดี่ยวจะได้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าและสำหรับประเทศที่กำลังพัฒนาควรพยายามศึกษาหนทางใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม (Appropriate technology)

วัตถุดิบในการผลิตโปรตีนเซลล์เดี่ยว

Gaden ค.ศ.1974 ได้แบ่งวัตถุดิบสำหรับผลิตโปรตีนเซลล์เดี่ยวออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ไฮโดรคาร์บอน และคาร์โบไฮเดรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีทั้งที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลวเช่น เมทานอล เอทานอล พาราฟิน และไฮโดรคาร์บอนในสภาพแก๊ส เช่น มีเทน , บิวเทน , โพรเพน, อีเทน เป็นต้น จุดเริ่มต้นที่สนใจใช้สารประเภทนี้เป็นวัตถุดิบเริ่มโดยบริษัท Britis Petroleum (BP), Kanegafuchi Chemical Industry Company Ltd., Dainippon Ink ,Chemical Company Ltd. ต่างก็สนใจที่จะใช้สารประกอบ n-alkane ของปิโตรเลียมเป็นวัตถุดิบเพราะมีปริมาณมากราคาถูก และมีความบริสุทธิ์สูง แต่ในช่วงนั้นอยู่ในวิกฤตการณ์น้ำมัน จึงทำให้ความสนใจในการนำสารพวกนี้มาใช้เป็นวัตถุดิบเปลี่ยนไป

2. คาร์บอไฮเดรต ได้แก่ น้ำตาล แป้ง เซลลูโลส รวมถึงของเหลือใช้จากการเกษตรและอุตสาหกรรม ซึ่งได้จากแหล่งต่าง ๆ เช่น

2.1 กากน้ำตาล (molass)

2.2 น้ำทิ้งจากโรงงานทำกระดาษ (Spent sulfite waste liquor)

2.3 น้ำทิ้งจากโรงงานมันฝรั่ง (Potato waste water)

2.4 น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมเนย (whey)

2.5 น้ำตาลโสมเลกุลใหญ่ แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ แป้งและเซลลูโลส โดยวัตถุดิบพวกนี้ต้องผ่านขบวนการทางเคมีหรือเอนไซม์เพื่อย่อยให้เป็นน้ำตาลก่อน หลังจากนั้นจึงนำไปเลี้ยงจุลินทรีย์

2.6 เมล็ดธัญพืช จะมีแป้งเป็นส่วนใหญ่ โปรตีนมีเล็กน้อยและมีไขมันต่ำมากจนสามารถมองข้ามไป เช่น ข้าวสาลีข้าวไรย์และทรีปัดเพน พืชตระกูลถั่วชนิด เมธาทรีโอนีน ไลซีน ทรีปัดเพน ดังนั้นการนำมาเป็นวัตถุดิบผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจึงเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหาร

2.7 มันสำปะหลัง มีแป้งเป็นส่วนใหญ่โปรตีนเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ ในหัวมันสำปะหลัง มีราคาถูกหาง่ายมีทุก ๆ ฤดูกาล

2.8 เซลลูโลส เป็นสารอินทรีย์ที่เป็นสารประกอบของพืชทุกชนิด ประมาณว่ามีของเหลือใช้จากการเกษตรสูงถึง 200 ล้านตันต่อปี และขยะจากที่อยู่อาศัยพบว่า 40-50 เปอร์เซ็นต์ของขยะที่ทิ้งเป็นพวกเซลลูโลส

คุณภาพของโปรตีนเซลเดี่ยวและความปลอดภัย

คุณภาพของโปรตีนเซลเดี่ยวมีข้อที่ควรพิจารณาอยู่ 3 ประการ คือ

1. คุณค่าทางอาหาร
2. ความปลอดภัย
3. ปริมาณ functional protein ปราศจากกรดนิวคลีอิกและสารพิษอื่น

1. คุณค่าทางอาหาร

1) โปรตีน เมื่อนำจุลินทรีย์ที่เลี้ยงได้มาวิเคราะห์สารประกอบทางเคมี พบว่าแบคทีเรีย และ Actinomyces มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสาหร่าย และยีสต์ ดวงพร (2528) กล่าวไว้ว่า คุณค่าทางอาหารไม่ได้ขึ้นกับปริมาณสารทั้งหมดที่มีอยู่ในเซลล์แต่เพียงอย่างเดียว ยังขึ้นกับคุณภาพของการย่อย (digestibility) , biological value (BV) , net protein utilization (NPU) และ protein efficiency ratio (PER) และที่สำคัญยังขึ้นกับปริมาณและชนิดของกรดอะมิโนที่จำเป็น

2) กรดอะมิโน ปริมาณและชนิดของกรดอะมิโนในโปรตีนเซลเดี่ยวที่ผลิตจากจุลินทรีย์ต่างชนิดจะแตกต่างกันและส่วนมากจะมีเมทไทโอนีนต่ำ เมื่อเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดโดย FAO (อรพิน , 2530)

การผลิตโปรตีนเซลเดี่ยวไม่ว่าจะผลิตเพื่อเป็นอาหารของคนหรือสัตว์ จะต้องคำนึงคุณค่าอาหารต่าง ๆ คือปริมาณโปรตีน ไขมัน ใยไฟเบอร์ กรดอะมิโน และแร่ธาตุต่าง ๆ โดยเฉพาะกรดอะมิโนจำเป็นซึ่งมีปริมาณต่ำในธรรมชาติ เช่น เมทไทโอนีน , ไลซีน , อาร์จินีน

การใช้โปรตีนเซลเดี่ยวเป็นอาหารสัตว์ จะใช้สัตว์ทดลองจำพวก ไก่ , หมู และจะวัด metabolizable energy, protein digestibility และ feed conversion ratio ดังนั้นในการใช้โปรตีนเซลเดี่ยวเป็นอาหารเสริมในสัตว์จึงจำเป็นต้องเติม เมทไทโอนีนด้วย (อรพิน, 2532) และถ้าใช้โปรตีนจากพืชเป็นโปรตีนหลัก โปรตีนเซลเดี่ยวเป็นอาหารเสริมต้องมีการเติมวิตามิน บี12 ปริมาณ 10-15 มิลลิกรัม ต่อ อาหาร 1 ตัน จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารโปรตีนจากพืชได้ และวิตามินอี มีผลต่อการพัฒนาระบบอวัยวะสืบพันธุ์สัตว์ (ดวงพร , 2530)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความปลอดภัย

โปรตีนจากเซลล์จุลินทรีย์ที่เป็นที่ยอมรับนั้นต้องไม่มีสิ่งแปลกปลอม เช่น ไวรัส สารพิษจากจุลินทรีย์ สารพิษจากโลหะ หรือพิษจากอาหารที่เลี้ยงและจะต้องมีการควบคุมปริมาณที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค และมีรายงานว่าแบคทีเรียพวก *Alcaligenes eutropha* หรือ *Klebsiella pneumoniae* ซึ่งอาจปนเปื้อนอยู่กับจุลินทรีย์ที่เลี้ยง เป็นโปรตีนเซลล์เดียว สามารถทำให้เกิดอาการเวียนศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียร ท้องร่วงในคน โดยที่ไม่มีอันตรายใด ๆ แสดงออกเลยในหนูทดลอง มีรายงานว่าหากบริโภค *Saccharomyces cerevisiae* และ *Candida utilis* เป็นอาหารหลักทุกวันจะทำให้ระบบทางเดินอาหารผิดปกติ และ *C. utilis* จากน้ำทิ้งโรงงานกระดาษอาจทำให้เกิดอาการเกี่ยวกับผิวหนัง ราหลายสายพันธุ์เช่น *Aspergillus sp.* และ *Fusarium sp.* หลายสายพันธุ์สร้างสารพิษออกมาได้ ดังนั้นการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากราจะต้องระมัดระวังอย่างมาก และควรศึกษาถึงพิษตกค้างและสารอาหารจากวัตถุดิบที่ใช้เลี้ยง เช่นการผลิตเซลล์จากวัตถุดิบประเภทไฮโดรคาร์บอน

การศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของโปรตีนจากจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นอาหารนั้น de Groot ค.ศ.1974 กล่าวว่าควรทำทั้ง 3 ระดับคือ

1. อาการ **sub-acute** การศึกษาใช้หนูทดลองทั้งเพศผู้และเพศเมียจำนวน 20 ตัว ใช้โปรตีนเซลล์เดียวเป็นอาหารปริมาณ 30-60 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 2 สัปดาห์ แล้วสังเกตอาการเปลี่ยนแปลงทั้งร่างกายและเฉพาะส่วน เช่น ฮีโมโกลบิน ไต ตับ หากผลที่ได้พบว่าจุลินทรีย์ไม่มีพิษต่อสัตว์ทดลอง ก็ทำการทดลองในประเด็นต่อไป

2. **Sub-chronic** ใช้หนูทดลองศึกษาเป็นเวลานาน 90 วัน สังเกตอาการเปลี่ยนแปลงทั้งร่างกาย ฮีโมโกลบิน ระบบชีวเคมีของเลือด ระบบขับถ่าย อวัยวะต่าง ๆ น้ำหนักและการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อ เมื่อทดลองระดับนี้แล้วไม่มีข้อบ่งชี้ใด ๆ ว่าโปรตีนเซลล์เดียวนั้นมีอันตราย แต่ก็ควรทำการทดลองต่อ

3. **chronic** ใช้หนูเป็นสัตว์ทดลอง ระยะเวลาศึกษานาน 2 ปี สังเกตผลเช่นเดียวกับระดับ **sub-chronic** และดูความสามารถว่าชักนำให้เกิดมะเร็งหรือไม่ ศึกษาความสามารถในการสืบพันธุ์ การให้นม และถ้าเป็นไปได้ควรศึกษารุ่นลูกหลานต่อด้วยว่ามีการเปลี่ยนแปลงบ้างหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาใหญ่อีกข้อหนึ่งของโปรตีนจากจุลินทรีย์คือปริมาณกรดนิวคลีอิก ในสาหร่ายมีประมาณ 4-6 เปอร์เซ็นต์ ยีสต์ 12 เปอร์เซ็นต์ และแบคทีเรีย 20 เปอร์เซ็นต์ นักนักแห้ง เป็นที่ทราบกันดีว่า ถ้าได้รับกรดนิวคลีอิกมากจะทำให้เกิดโรคเก๊าท์ (gout) โดยคณะกรรมการอาหารโปรตีน (protein Advisory Group) แนะนำว่าผู้ใหญ่ที่สุขภาพดีสามารถรับกรดนิวคลีอิกจากโปรตีนเซลล์เดียว 2 กรัมต่อวัน (ดวงพร ,2530)

การกระทำกับเซลล์จุลินทรีย์เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีน

ก่อนที่จะนำเซลล์จุลินทรีย์มาใช้เป็นอาหารหรือเป็นส่วนผสมในอาหารของคนหรือสัตว์จะต้องมีการฆ่าเซลล์เพราะเซลล์ที่มีชีวิตอยู่รอด จะเพิ่มจำนวนในสภาพที่แห้งทำให้การหมักเกิดขึ้น เนื่องจากประสิทธิภาพในการย่อยของร่างกายต่อโปรตีนเซลล์เดียวค่อนข้างต่ำ ทำให้เกิดสารพิษพวก เอมีน ตลอดจนใช้วิตามินของเซลล์เข้าบ้านการจัดการกับเซลล์จุลินทรีย์โดยทั่วไปคือการทำลายผนังเซลล์ การลดปริมาณกรดนิวคลีอิก การจัดการเกี่ยวกับสีและกลิ่นรส ซึ่งการกระทำดังกล่าวจะทำให้ได้เซลล์ที่มีคุณค่าทางอาหารมากขึ้น มีความปลอดภัยในการบริโภคและมีสีกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับมากขึ้นนั่นเอง

การกำจัดผนังเซลล์บางส่วนหรือทั้งหมด ส่วนมากนิยมใช้สารเคมี เช่นการสลายพันธะไฮโดรเจน หรืออาจใช้เอนไซม์ซึ่งมีราคาแพง จึงค้นหาแหล่งของเอนไซม์ราคาถูกจากจุลินทรีย์ การ autolysis ซึ่งเกิดจาก endoenzyme ได้มีการใช้ในการผลิตยีสต์เป็นการค้ำมานานแล้วหรืออาจใช้วิธีการ plasmolysis โดยให้เซลล์แขวนลอยอยู่ใน 25 เปอร์เซ็นต์ NaCl และใช้ในการสกัดยีสต์ด้วยการทำ autolysis และ plasmolysis ต้องใช้เวลา 12-24 ชั่วโมงที่ 45-50 องศาเซลเซียส พีเอช 6.5 ภายใต้อสภาพปราศจากเชื้อได้ yield ประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ หรืออาจทำให้เซลล์แตกโดยวิธีทางกล เช่นบดด้วย glassbead หรือผงขัด (abrasive) โดยใช้เครื่อง sonic vibration หรือ ultrasonic vibration หรือการทำให้ cell suspension เป็นจนวนแข็งที่ -25 องศาเซลเซียส แล้วผ่านแบบแม่พิมพ์ที่มีแรงอัดสูง 4,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แต่วิธีที่ง่ายและลงทุนต่ำคือนิยมการนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) กับสาหร่าย และการทำให้แห้ง (desiccation) กับแบคทีเรียและยีสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดปริมาณกรดนิวคลีอิก กรดชนิดนี้จะมีปริมาณมากในเซลล์ที่มีอัตราการเจริญสูง เซลล์จลินทรีย์โดยทั่วไปจะมีกรดนิวคลีอิกอยู่ระหว่าง 8-25 กรัมต่อ 100 กรัมโปรตีนแต่ในตัวของคนเรามีประมาณ 4 กรัม ในกระเพาะกรดนิวคลีอิกจากโปรตีนเซลล์เดี่ยว เริ่มแรกจะถูกย่อยโดย pancreatic nuclease ซึ่งนิวคลีโอไทด์จะถูกไฮโดรไลส์เป็นนิวคลีโอไซด์โดย nucleotidases ซึ่งปล่อยจาก intestinal mucous membrane ถ้าร่างกายมนุษย์ได้รับกรดนิวคลีอิกมากเกินไปจะเกิดการตกตะกอนมากกว่าที่จะถูกขับโดยไตและอาจสะสมเป็นผลึกตามข้อต่อและเนื้อเยื่ออ่อนทำให้เกิดโรคเก๊าท์ (gout) และโรค trophi ตามลำดับ และเป็นนิ่วในทางเดินปัสสาวะ มีการทดลองกับอาสาสมัครโดยให้อาสาสมัครกินเซลล์ยีสต์ 130 กรัมต่อวัน เป็นเวลา 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นตรวจกรดยูริกในพลาสมาได้สูงถึง 4.8 ถึง 8.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (ปกติพลาสมา มีระดับของกรดยูริก 2.7 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม สำหรับผู้ชายน้อยกว่านี้เล็กน้อยสำหรับผู้หญิง) และมีการทดลองอีกอันโดยให้ microbial protein (มีกรดนิวคลีอิก 8.5 เปอร์เซ็นต์) 20 กรัมต่อวันพบว่าร่างกายยอมรับได้ Scrimshaw กล่าวไว้ว่าร่างกายสามารถรับกรดนิวคลีอิกได้ 2 กรัมจะไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ถ้าได้รับสูงเป็น 3 กรัมต่อวันแล้ว จะเสี่ยงต่อการเกิดโรคในไต และโรคเก๊าท์ เนื่องจากร่างกายคนเราขาด urate oxidase เป็นสาเหตุที่มีกรดยูริกสูงในพลาสมา สามารถลดปริมาณกรดนิวคลีอิกโดยให้สารเคมีเช่น Na_2HPO_4 ที่เจือจาง แต่นิยมใช้ความร้อนเริ่มต้นด้วยการ heat shock ที่ 90-100 องศาเซลเซียส แล้วบ่มที่ 50-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 15 นาที หรือใช้เอนไซม์ เช่น bovine pancreatic ribonuclease (ดวงพร ,2530)

สำหรับปริมาณกรดนิวคลีอิกที่พบในจลินทรีย์จะแตกต่างกันตามชนิดของจลินทรีย์ เช่น

| | | | |
|-----------|----------------|-------|---------------------------|
| สาหร่าย | มีกรดนิวคลีอิก | 4-6 | เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) |
| แบคทีเรีย | มีกรดนิวคลีอิก | 16 | เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) |
| ยีสต์ | มีกรดนิวคลีอิก | 6-11 | เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) |
| รา | มีกรดนิวคลีอิก | 2.5-6 | เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) |

เมื่อมองดูในด้านการใช้โปรตีนเซลล์เดี่ยวเป็นอาหารสัตว์ การที่โปรตีนเซลล์เดี่ยวมีปริมาณกรดนิวคลีอิกสูงดูเหมือนจะไม่ใช่ปัญหาเกี่ยวกับสัตว์เคี้ยวเอื้องหรือสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องมากกว่าคน โปรตีนเซลล์เดี่ยวจากยีสต์ขมยังได้รับการรับรองจาก FDA ให้ใช้เป็น functional food additive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยีสต์ที่นำมาใช้เป็นแหล่งอาหาร

1. *Saccharomyces sp.* ใช้ในการผลิตเครื่องดื่มประเภทแอลกอฮอล์ เช่น เบียร์ ไวน์ เหล้าต่าง ๆ เชลที่ผ่านขบวนการผลิตแล้วไม่ว่าจะเป็น brewer's yeast หรือ distiller's yeast สามารถนำมาใช้เป็นอาหารได้ เช่น การนำ brewer's yeast มาใช้โดยการกำจัดรสขมออกแล้วปรับปรุงรส วิธีการคือเอาเชลมาล้างด้วยน้ำที่ทำให้เจือจางด้วย NaOH แล้วล้างน้ำอีกครั้งแล้วเติม NaCl และ phosphoric acid ให้เป็นกรดเล็กน้อย นอกจากนี้ยังเลี้ยงโดยตรงโดยใช้รสมลาสเป็นวัตถุดิบ

2. Torula yeast (fodder yeast) คือเชื้อ *Candida utilis* (*Torulopsis utilis*) ใช้ผลิตเป็นโปรตีนเชลเดี่ยวมากที่สุด เพราะเจริญเร็ว เลี้ยงง่าย โปรตีนสูง ใช้อาหารได้หลายชนิดรวมทั้งน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม เป็นน้ำตาลที่ใช้อย่างกว้างขวางสำหรับเชื้ออื่น ๆ

3. นอกจากนี้ที่ประเทศญี่ปุ่นมีการผลิตสารชูรสจากเชื้อ *Candida sp.* โดยจะสกัดเอา ribonucleic acid 2 ชนิด คือ nucleotides guanylic monophosphate และ Inosinic monophosphate (IMP) สารทั้งสองชนิดนี้เป็นสารชูรส ส่วนเชลที่เหลือมีโปรตีนสูง จะขายในรูปอาหารโปรตีนสูง (ดวงพร, 2530)

กระบวนการที่ใช้ในการเลี้ยงยีสต์เพื่อเอาเชล

1. Swidish Symba Process ใช้เชื้อ *Endomycopsis fibuligera* จะผลิตเอนไซม์ : และ % amylase เป็นส่วนใหญ่อย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล ส่วนเชื้อ *Candida utilis* จะใช้น้ำตาลในการเจริญ ได้เชื้อชนิดหลังเป็นแหล่งอาหารโปรตีน

2. Amylo process ใช้จุลินทรีย์ 2 ชนิด คือ *Rhizopus* และ *Saccharomyces cerevisiae* โดยใช้แป้งเป็นวัตถุดิบ ว่าจะย่อยแป้งเป็นน้ำตาลซึ่งเป็นอาหารของยีสต์ ได้เชลยีสต์เป็นโปรตีนเชลเดี่ยว

3. Waldhof process ใช้ *C. utilis* ใน sulfite waste liquar ในถังหมักแบบต่อเนื่องของ Waldhof ได้เปอร์เซ็นต์โปรตีน 55-60 เปอร์เซ็นต์

4. DSM oxanene-water process ใช้ *Candida lipolytica* และ *Trichosporon cutaneum* ในน้ำที่จากการออกซิไดซ์ cyclohexane ได้โปรตีน 54-67 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. n-paraffin และ gas oil process (Petroleum process) ใช้ *Candida lipolytica* โดยใช้ไฮโดรคาร์บอนเป็นสารตั้งต้น

6. Philipe process ใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* โดยมีการใช้โมลาสจากหัวบีท (beet molasses) และ โมลาสจากอ้อย (cane molasses) นอกจากนี้ต้องเติมสารที่จำเป็น หรือสารเร่งการเจริญของยีสต์ เช่น ธาตุ (K, Mg, P, Zn, Fe, Cu) วิตามินพวก ไบโอติน (biotin) , กรดพธอมโทเทนิค (promtothenic acid) , ไพริดอกซิน (pyridoxine) และไทอามีน (thiamine) รวมทั้งกรดอมิโน เช่น แอสพาราจีน (asparagine) , แอสปาทิก (aspartic) และกรดกลูตามิก (glutamic acid) กระบวนการนี้ต้องระมัดระวังจากการปนเปื้อนจากเชื้ออื่นเป็นพิเศษ

7. Whey process เป็นการนำของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเนย ซึ่งมีน้ำตาลแลคโตส 5 เปอร์เซ็นต์ มาใช้ในการผลิตโปรตีนเซลเตียวโดยใช้เชื้อ *Kluveromyces fragilis* โดยมี การเติมไนโตรเจนซัลเฟต , แมกนีเซียมซัลเฟต , ยีสต์สกัด โดยปริมาณที่เพิ่มขึ้นกับปริมาณน้ำตาลแลคโตสในน้ำทิ้ง ความคุมพีเอชอยู่ระหว่าง 4-5.5 อุณหภูมิ 30-32 องศาเซลเซียส ถ้าเป็นการหมักแบบชั่วคราว (batch culture) ใช้เวลา 6-8 ชั่วโมง จะได้เซลยีสต์ประมาณ 5,000 ปอนด์ จากของทิ้ง 180,000 ปอนด์ (ณรงค์ศักดิ์ และคณะ)

กระบวนการซิมบา (Symba process)

ได้มีการศึกษาการนำประโยชน์จากกากของเสียที่ประกอบไปด้วยแป้งของโรงงานผลิตมันฝรั่งในประเทศสวีเดนโดยกระบวนการซิมบาได้พัฒนาโดย Swedish sugar company และ Chemap Co. ในประเทศสวีเดนเซอร์แลนด์ กระบวนการซิมบาอาศัยหลักการเจริญของจุลินทรีย์ 2 ชนิด โดยเรียกการเจริญเติบโตลักษณะนี้ว่า การเจริญเติบโตแบบเกื้อกูล (Symbiotic growth) เชื้อที่ใช้คือ *Endomycopsis fibuligera* และ *Candida utilis*

กระบวนการซิมบา (Symba process) เป็นกระบวนการที่ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลโดยใช้จุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลส (amylase) เช่น *Endomycopsis fibuligera* จะปล่อยเอนไซม์อะไมเลสออกมาย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล ต่อจากนั้นเชื้อ *Candida utilis* จะใช้น้ำตาลในการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งเชื้อ *C. utilis* มีอัตราการเจริญสูงกว่า *E. fibuligera* ผลผลิตสุดท้ายจะเป็นเซลล์ของ *C. utilis* ประมาณ 90-94 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตสุดท้ายซึ่งเรียกว่ายีสต์ซิมบา (Symba yeast) อันประกอบด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C. utilis เป็นหลัก และมี *E. fibuligera* ในปริมาณเล็กน้อย (น้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์) ด้วยวิธีนี้จะทำให้สามารถใช้น้ำในขั้นตอนเดียว ทำให้ลดขั้นตอนในการย่อยสลายแป้ง (hydrolysis) ลงไปได้

ของเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันฝรั่งจะอยู่ในรูปน้ำเสีย ซึ่งประกอบด้วยของแข็ง 3 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่า BOD เริ่มต้น 10,000-20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความสามารถของระบบคือได้เซลล์ยีสต์ 250-300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และค่า BOD หลังจากผ่านกระบวนการหมัก จะลดลงถึง 90 เปอร์เซ็นต์

เชื้อ *C. utilis* สามารถใช้น้ำตาลเพนโตส (น้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม) และน้ำตาลเฮกซอส (น้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม) ในการเจริญซึ่งจะดีกว่าเชื้อ *E. fibuligera* เพราะจะใช้น้ำตาลเฮกซอส ได้เพียงตัวเดียวเท่านั้น ถึงแม้จะมีการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจาก *C. utilis* มาค่อนข้างนานแล้ว แต่ยังไม่ค่อยประสบความสำเร็จ เนื่องจากราคาสูง แต่ความต้องการของตลาดต่ำ จึงต้องหาทางแก้ไข เช่นการนำวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ มาใช้แทนกัน และสำรวจความต้องการของตลาดเป็นต้น (Skogman, 1976)

ขั้นตอนของกระบวนการหมัก

1. ถังบัฟเฟอร์ (Buffer tank) ซึ่งรองรับน้ำ หรือกากของเสียจากโรงงานจะมีการแยกวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่ออกก่อนแล้ว ทำให้มีสภาพเป็นของเหลวโดยมีที่เป็นแป้งประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ถังบัฟเฟอร์จะทำให้ของเหลวเข้าเป็นเนื้อเดียว และประกอบด้วยส่วนของอาหารที่เหมือนกันโดยตลอด เพื่อเป็นการปรับสภาวะ และอัตราการไหลก่อนเข้าสู่ขั้นต่อไป
2. ของเหลวจากถังบัฟเฟอร์จะไหลผ่านเข้าสู่ระบบให้ความร้อน จุดประสงค์เพื่อเป็นการฆ่าเชื้ออื่นก่อนโดยวิธีสเตอริไรซ์ (Sterilization) ต่อจากนั้นจะผ่าน Heat exchanger ซึ่งจะเป็นตัวถ่ายเทความร้อนได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์
3. น้ำของเหลวเข้าสู่ถังหมักเริ่มต้น เพื่อให้เชื้อ *E. fibuligera* เจริญ ซึ่งในช่วงนี้จะมีการเติมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสลงไปด้วย เพื่อช่วยในการเจริญเริ่มต้นของเซลล์ยีสต์
4. เมื่อมีน้ำตาลเพิ่มขึ้นตามที่ต้องการ ก็จะถ่ายลงสู่ถังที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อให้เชื้อ *Candida* เจริญเรียกถังนี้ว่าถังหมักไบโอดิค (Symbiotic fermenter) ซึ่งเป็นที่ *C. utilis* จะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว ในขณะที่มีการเติมอากาศตลอดเวลา โดยที่อากาศจะถูกกรองให้ปราศจากเชื้อก่อนนำมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หอกลั่นทาความเป็น (Cooling tower) ใช้ลดความร้อนในช่วงที่ *C. utilis* เจริญเติบโต เพราะจะเกิดความร้อนขึ้น
6. เมื่อครบเวลาอันเหมาะสมก็จะนำเข้าสู่ขั้นตอนการแยก แล้วแต่วัตถุดิบที่ใช้เป็นสับสเตรท (substrate) และความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เช่น การเก็บเกี่ยวเซลล์ยีสต์โดยวิธีให้ของเหลวไหลผ่านเครื่องกรองหยาบ และเครื่องกรองละเอียด ในขณะที่เดียวกันก็ล้างทำความสะอาดเซลล์ยีสต์ด้วย เมื่อกรองละเอียดแล้วผลผลิตที่ได้ยังมีน้ำปนอยู่ จึงนำไปผ่านเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) เพื่อทำให้ยีสต์เข้มข้นขึ้นเป็นของเหลวหนืด ๆ
7. นำของเหลวหนืดไปเข้าเครื่องอบแห้ง โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum drier)
8. เก็บเข้าไซโรล เพื่อบรรจุใส่ภาชนะที่เหมาะสมต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณค่าทางอาหารของยีสต์ซิมบา (Symba yeast)

(ดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2)

| ส่วนประกอบ | ปริมาณ |
|------------------|--------|
| protein | 48.0% |
| fat | 3.0% |
| carbohydrate | 36.5% |
| fiber | 1.0% |
| minerals | 5.5% |
| water | 6.0% |
| nucleic acid | 4.0% |
| vitamin: (mg/kg) | |
| thiamine | 140 |
| riboflavin | 80 |
| pyridoxine | 35 |
| niacin | 430 |
| folic acid | 20 |

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของซิมบายีสต์ (Symba yeast) ที่ได้จากการใช้กากของเสียของ Swedish Sugar Company แห่งประเทศสวีเดน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| กรดอะมิโน | ปริมาณ (g/100 raw protein) |
|---------------|----------------------------|
| arginine | 4.6 |
| aspartic acid | 10.3 |
| cystine | 1.0 |
| glutamic acid | 13.8 |
| histidine | 2.0 |
| isoleucine | 4.3 |
| leucine | 7.5 |
| lysine | 6.3 |
| methionine | 1.5 |
| phenylalanine | 5.4 |
| threonine | 5.4 |
| tryptophan | 1.3 |
| tyrosine | 4.8 |
| valine | 4.2 |

ตารางที่ 2 ปริมาณกรดอะมิโนแต่ละชนิดในซิมบาสต์ (Symba yeast) ที่ได้จากกากของ
เสี่ยของ Swedish Sugar Company แห่งประเทศสวีเดน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ประโยชน์ของยีสต์ซิมบา (Symba yeast)

(ดังแสดงในตารางที่ 3)

| สัตว์ทดลอง | ใช้แทนโปรตีน |
|-------------|---------------------|
| rats | casein |
| chickens | fish and soya meals |
| pigs | fish and soya meals |
| baby pigs | skim-milk powder |
| calves | skim-milk powder |
| baby calves | skim-milk powder |
| mink | meat |
| pet animals | meat meals |

ตารางที่ 3 การทดลองใช้ซิมบายีสต์ (Symba yeast) แทนโปรตีนต่าง ๆ ในสัตว์ทดลอง

การใช้กระบวนการซิมบาในการลดค่า BOD

(ดังแสดงในตารางที่ 4)

| | | |
|----------------------------|---------------|--------------------|
| ปริมาณน้ำทิ้งจากโรงงาน | 20,000 | ลิตรต่อชั่วโมง |
| ของแข็งแขวนลอย | 2-3 | เปอร์เซ็นต์ |
| BOD | 10,000-20,000 | มิลลิกรัมต่อลิตร |
| BOD หลังผ่าน Symba process | 4-8 | ตันต่อวัน |
| ยีสต์ Symba yeast | 250 | กิโลกรัมต่อชั่วโมง |

ตารางที่ 4 ลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานแม่เมื่อเข้าสู่กระบวนการซิมบา (Symba process)

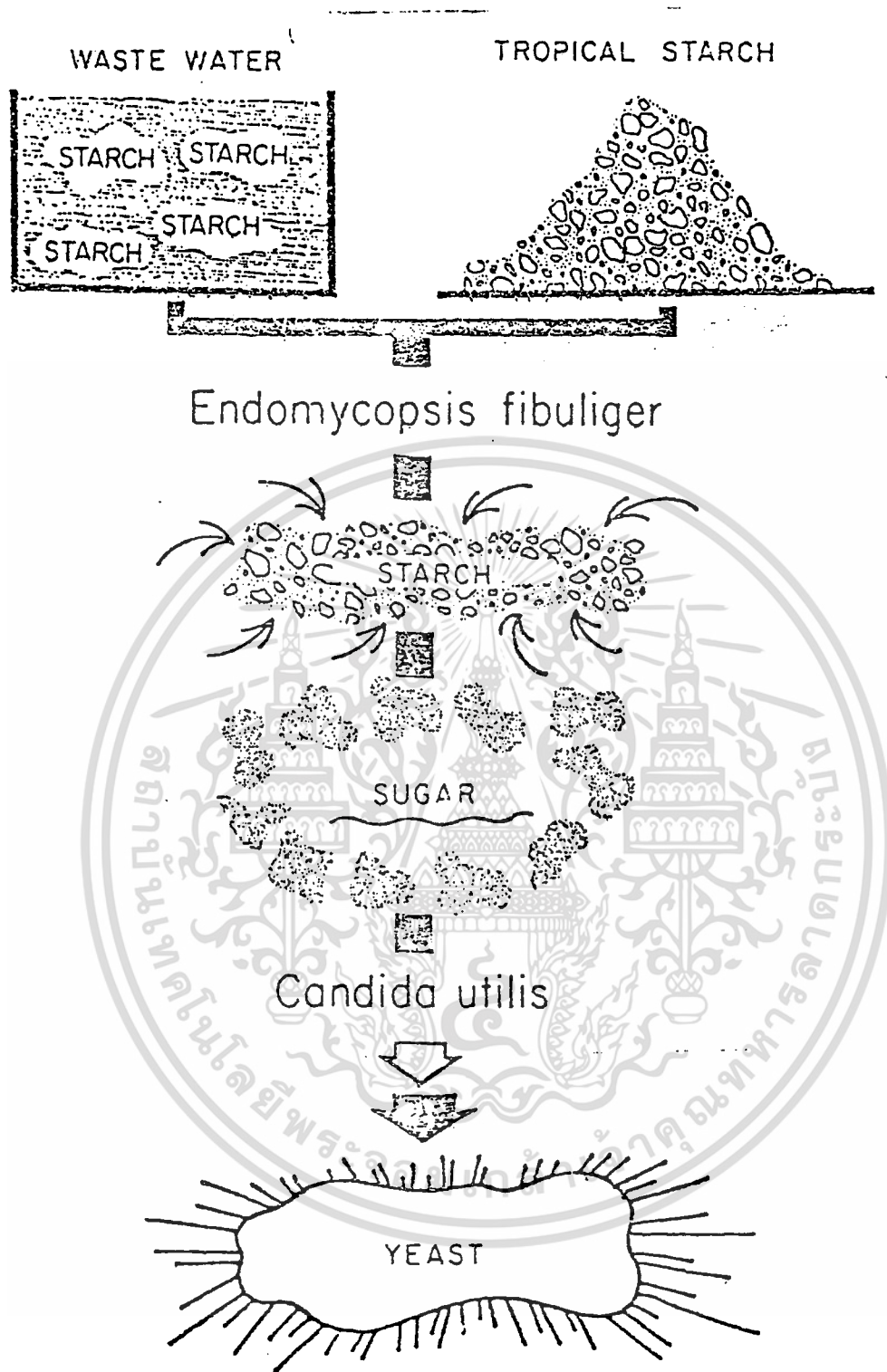
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรมที่ให้กากของเสียซึ่งสามารถนำเข้า Symba process ได้
(ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5)

| |
|------------------------------|
| Potato products |
| : French fries |
| : Granules |
| : Cube |
| : Flake |
| : Hasked brown |
| : Dehydrated |
| : Chips |
| Rice products |
| : Instant rice |
| Starch products |
| : Wheat starch |
| : Maize starch |
| : Glucose, dextrose |
| : Derivative |
| Cassava products |
| Sweet potato products |
| : Carrots |
| : Red beets |
| Bakery products |
| : Dough |
| : Bread |
| : Crackers |

ตารางที่ 5 อุตสาหกรรมที่ให้กากของเสีย ซึ่งสามารถนำเข้ากระบวนการซิมบาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 แสดงไดอะแกรมของกระบวนการซิมไบโอ (symba process)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

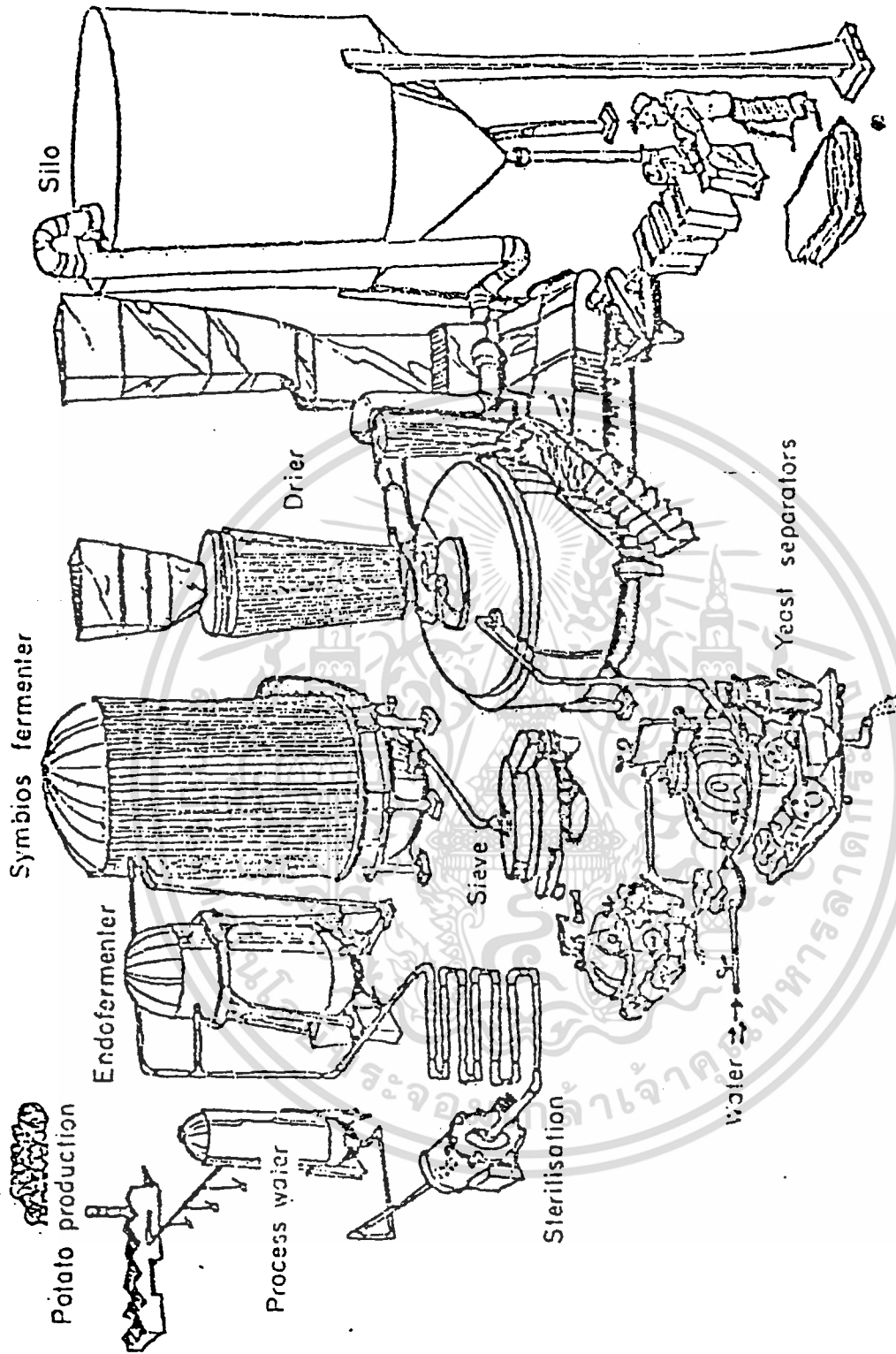
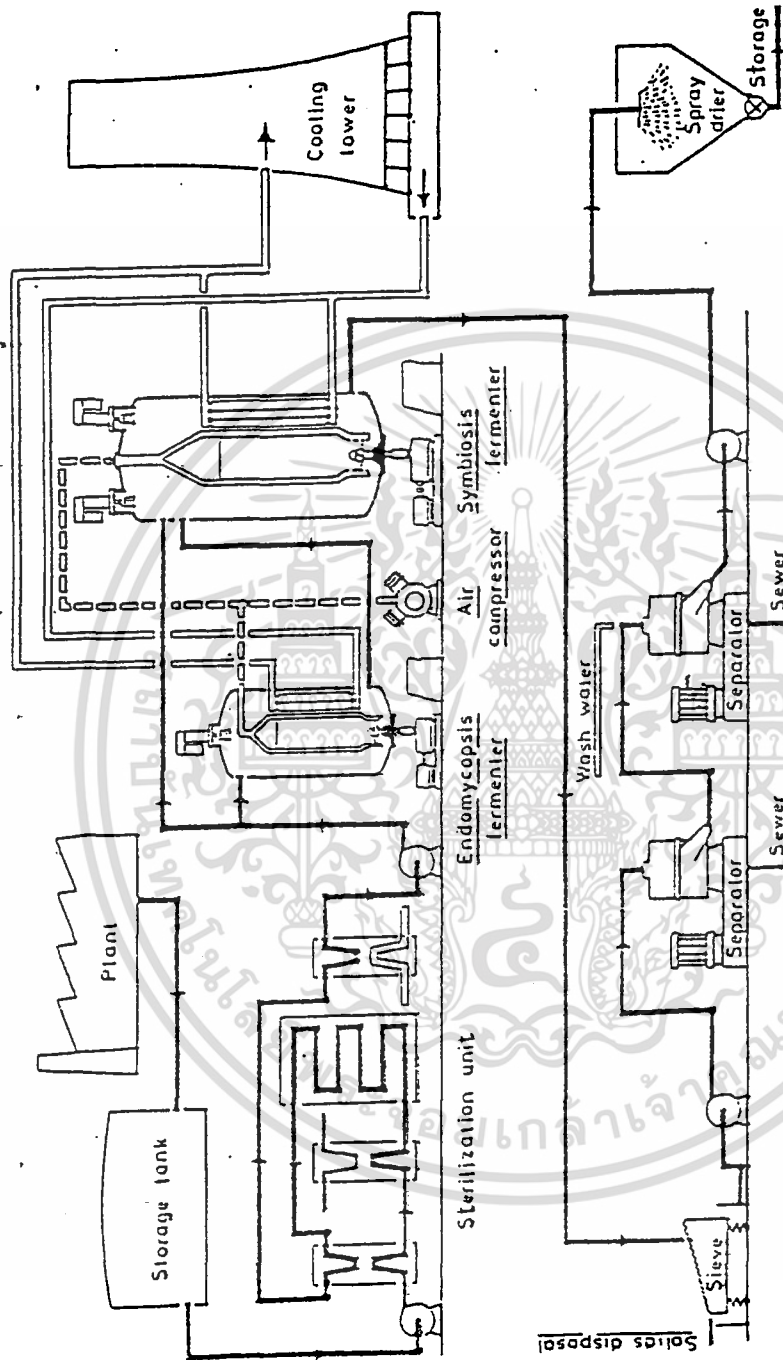


Fig. 3. Flow diagram for the Symba process.

รูปที่ 2 ขั้นตอนการผลิตยีสต์ (symba yeast)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หลักการของซิมบาบีสต์ (symba yeast)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยีสต์ (Yeast)

ยีสต์จัดอยู่ใน

Superkingdom Eucaryonta
kingdom Myceteae (fungi)

ยีสต์แบ่งออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ โดยพิจารณาการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศเป็นหลักได้ดังนี้

1. Ascomycetous yeast
2. Basidiomycetous yeast
3. Deuteromycetous yeast

สัณฐานวิทยาของยีสต์

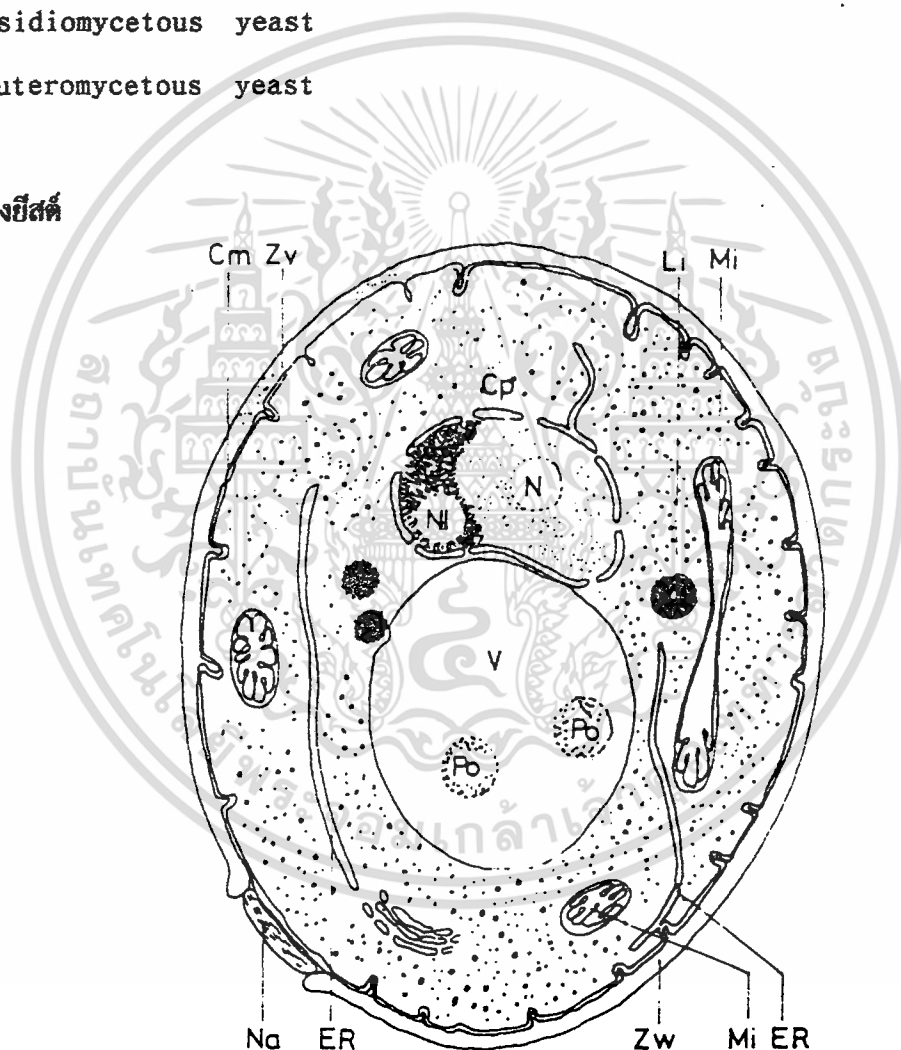
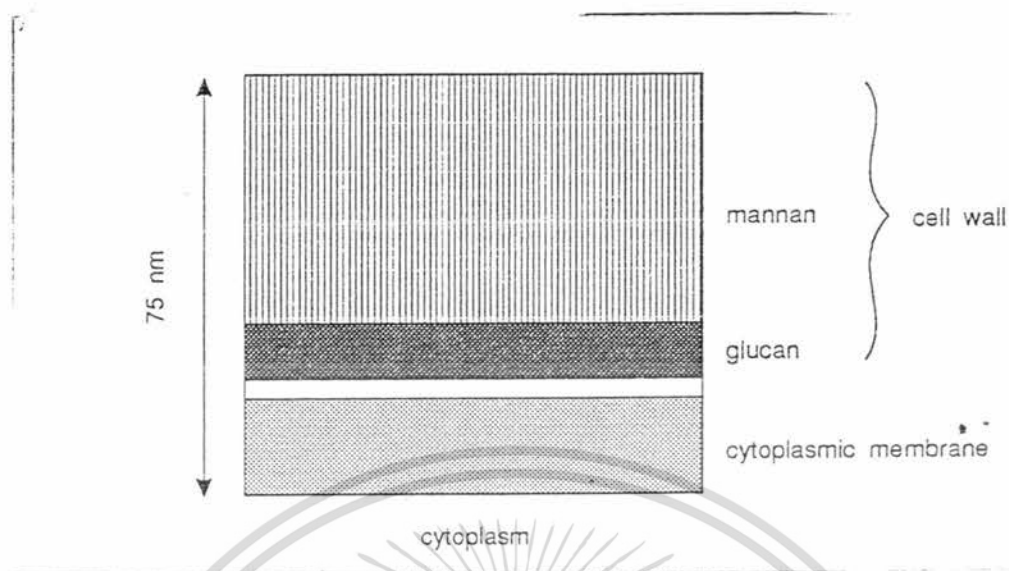


FIGURE 1. Schematic cross-section of the yeast cell: cw — cell wall; cm — cell membrane; cp — cytoplasm; Mi — mitochondrium; V — vacuole; ER — endoplasmatic reticulum; Po — polyphosphate.

รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างต่าง ๆ ของเซลล์ยีสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 แสดงส่วนประกอบของผนังเซลล์ของยีสต์

โครงสร้างต่าง ๆ ของเซลล์ยีสต์

แคปซูล (capsule) เป็นโครงสร้างที่ห่อหุ้มเซลล์ โดยยีสต์บางชนิดจะปล่อยสารที่มีลักษณะเป็นเมือกหนืด หรือเหนียวออกมาห่อหุ้มเซลล์ แคปซูลมักเป็นสารพวกโพลีแซคคาไรด์ รวมทั้งเฮทเทอโรโพลีแซคคาไรด์ แมนแนน และสารที่คล้ายแป้ง

ผนังเซลล์ (cell wall) ผนังเซลล์ยีสต์จะบางเมื่อเซลล์อายุน้อยแต่จะหนาขึ้นตามอายุ ความหนาของผนังประมาณ $1/7$ ของเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของผนังเซลล์ได้แก่

1. กลูแคน (glucan) หรือเรียกเซลลูโลสของยีสต์ ต่างกับเซลลูโลสที่เป็น β -1,3 linkage หรือ β -1,6 linkage ซึ่งเซลลูโลสเป็น β -1,4 linkage มี 30-50 เปอร์เซ็นต์
2. แมนแนน (mannan) เป็นโพลีเมอร์ของแมนโนสมี 30 เปอร์เซ็นต์
3. ลิพิด มี 8.5-13.5 เปอร์เซ็นต์
4. โปรตีน มี 6-8 เปอร์เซ็นต์
5. ไคติน มี 1-2 เปอร์เซ็นต์
6. ที่เหลือเป็นสารอนินทรีย์ เช่น เกลือฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เยื่อหุ้มเซลล์ (cytoplasmic membrane) องค์ประกอบเหมือนเยื่อหุ้มเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอื่นคือ เป็นไลโปโปรตีนและมีหน้าที่ควบคุมการผ่านเข้าออกของสาร

ไซโทพลาสซึม มีลักษณะครึ่งเหลวครึ่งแข็ง ประกอบด้วยสารโพลิแซคคาไรด์ที่สะสมอยู่ คือ ไกลโคเจน นอกจากนี้ยังมีไรโบซอม และออร์แกเนลล์อื่น เช่น ไมโทคอนเดรีย และมีระบบเยื่อในไซโทพลาสซึม

นิวเคลียส โครงสร้างทั่วไปเหมือนนิวเคลียสของเซลล์ของพวกยูคาริโอตทั่ว ๆ ไป แต่จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าโครงสร้างภายในบางอย่างขาดไป เช่น

1. ไม่มีการสร้าง spindle เมื่อมีการแตกหน่อ
2. เยื่อหุ้มนิวเคลียสยังคงอยู่ตลอดเวลาขณะมีการแบ่งเซลล์
3. ขณะมีการแตกหน่อ นิวเคลียสจะคอดเข้าและส่วนหนึ่งจะไปยังเซลล์ที่เป็นหน่อ อีกส่วนหนึ่งจะอยู่ที่เซลล์เดิม

แวคิวโอล (vacuole) เซลล์ยีสต์อาจมีแวคิวโอล 1 หรือ หลายอัน เห็นชัดเจนกว่าโครงสร้างอื่น ๆ

อินคลูชัน (inclusion) ยีสต์บางสปีชีส์จะมี volutin granule ซึ่งเป็นกรานูลของโพลิฟอสเฟต บางชนิดมีกรานูลไขมัน คาร์โบไฮเดรต หรือโปรตีน บางสปีชีส์สะสมไขมันถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ก็มีไกลโคเจน เอนไซม์ วิตามิน รงควัตถุซึ่งอาจเป็นสีเหลือง สีส้ม สีชมพู หรือสีน้ำตาล นอกจากนี้ยังอาจพบไซโทโครม, ฮีโมโกลบิน และฟลาวิน

กระบวนการหมักของยีสต์

ในปี ค.ศ.1926 A.J.Kluyver ได้ตั้งกฎเกี่ยวกับการเพอร์แมนেন্টไว้ 3 ข้อ ซึ่งปัจจุบันก็ยังยึดถือได้อยู่ได้แก่

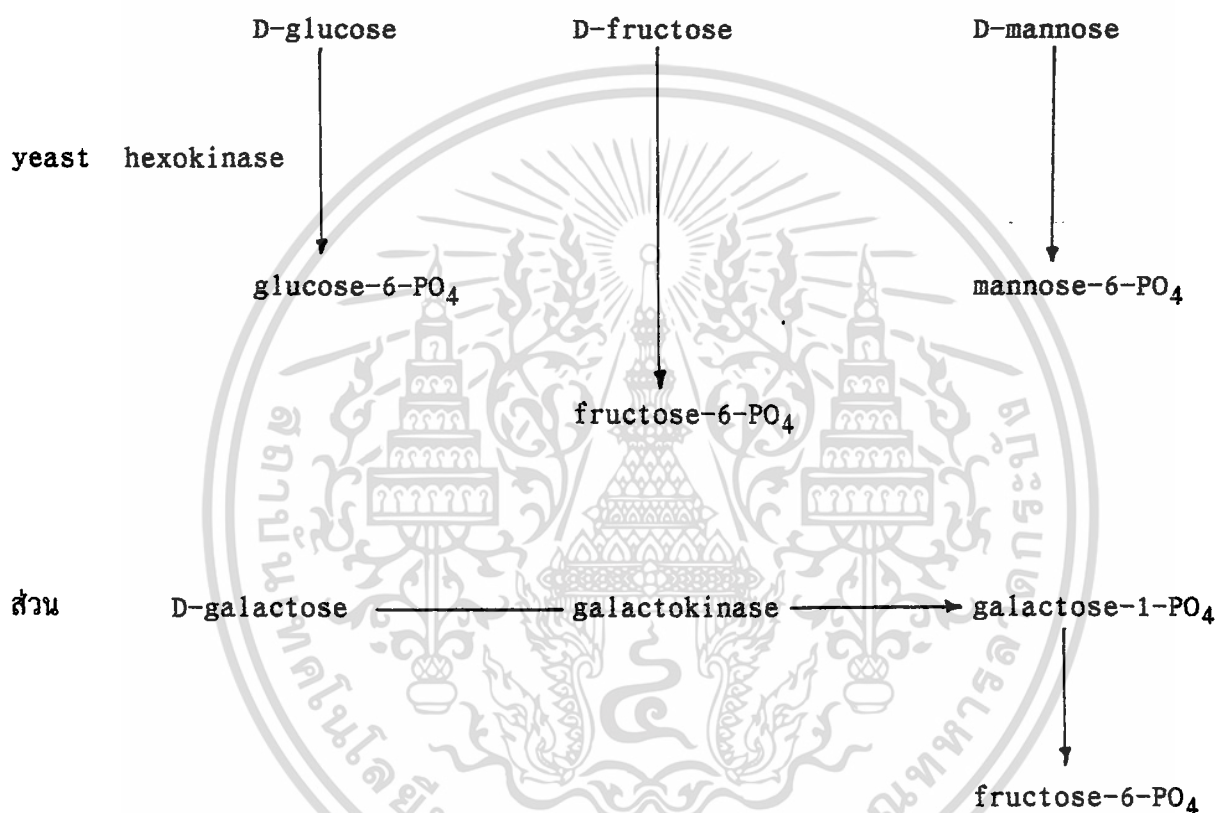
1. ยีสต์ที่ไม่สามารถใช้ D-glucose จะไม่สามารถใช้น้ำตาลชนิดอื่นใดได้
2. ยีสต์ที่สามารถใช้ D-glucose ได้ จะสามารถใช้ D-fructose และ D-mannose ได้ด้วย (แต่ไม่จำเป็นต้องใช้ D-galactose ได้)
3. ยีสต์ที่ใช้ maltose จะไม่สามารถใช้ lactose และในทางกลับกันยีสต์ที่สามารถใช้ lactose ก็ไม่สามารถใช้ maltose

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหตุผลเกี่ยวกับกฎ 3 ข้อ นี้ก็คือ

กฎข้อที่ 1 ในการใช้หรือย่อยสลาย di-, tri- หรือ polysaccharides จะต้องผ่านขั้นที่เป็น hexose เสียก่อน ดังนั้นถ้าใช้ D-glucose ซึ่งเป็นน้ำตาล hexose ไม่ได้ ก็ไม่ควรจะใช้พวก di-, tri- หรือ polysaccharide ได้

กฎข้อที่ 2 D-glucose, D-fructose และ D-mannose ใช้เอนไซม์ตัวเดียวกันคือ hexokinase ที่จะเปลี่ยนเป็น glucose-6-phosphate หรือ mannose-6-phosphate



ดังนั้นการที่ยีสต์ไม่มี galactokinase จึงไม่สามารถใช้ D-galactose แต่ใช้น้ำตาล 3 ชนิดนี้ได้

กฎข้อที่ 3 เอนไซม์ที่ใช้ในการสลาย di-, tri- และ polysaccharide เป็น inducible enzyme คือถ้าไม่มีน้ำตาลชนิดนั้น ๆ อยู่จะไม่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมา ดังนั้นเมื่อมี maltose จึงสังเคราะห์เอนไซม์ที่สลาย maltose ขึ้นมาแต่ไม่สังเคราะห์เอนไซม์ที่สลาย lactose

เอนไซม์ที่สลาย sucrose, melibiose, raffinose, inulin และ starch มีตำแหน่งอยู่ที่ผิวเซลล์ น้ำตาลเหล่านี้ต้องสลายเป็น hexose ซึ่งเป็น monosaccharide เสียก่อนจึงจะเข้าเซลล์ได้ ส่วน maltose และ lactose นั้นถูกนำเข้าสู่เซลล์ในสภาพ disaccharide ได้และถูกสลายภายในเซลล์ (กานาค, 2534)

Endomycopsis fibuligera

E. fibuligera ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของยีสต์ (food yeast) ซึ่งในประเทศต่าง ๆ ใ้ใช้ใช้เป็นอาหารมานานแล้ว เช่น ในประเทศไทยมีการใช้ *E. fibuligera* ทำขนมปังสาปะหลังมีรสหวาน และในประเทศเชคโกสโลวาเกีย มีการทำอาหารพื้นเมืองชื่อ Fibuli โดยยีสเชื้อ *E. fibuligera* (skogman, 1976)

ในปี ค.ศ. 1907 Lindner ได้เป็นผู้แยก *E. fibuligera* จาก Chalky bread ในปี ค.ศ. 1944 Wickerham ได้มีการทดสอบให้เห็นว่า *E. fibuligera* สามารถผลิตเอนไซม์อะไมเลสได้ โดยไปเลี้ยงในอาหารวุ้นที่มีแป้งประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ และทดสอบเคลียร์โซน (clear zone) โดยทดสอบกับสารละลายไอโอดีน

การจำแนก E. fibuligera

| | |
|-----------------------------|-------------------|
| <u><i>E. fibuligera</i></u> | ถูกจัดให้อยู่ใน |
| Class | Ascomycetes |
| Order | Endomycetales |
| Subfamily | Saccharomycoideae |
| Genus | Endomycopsis |

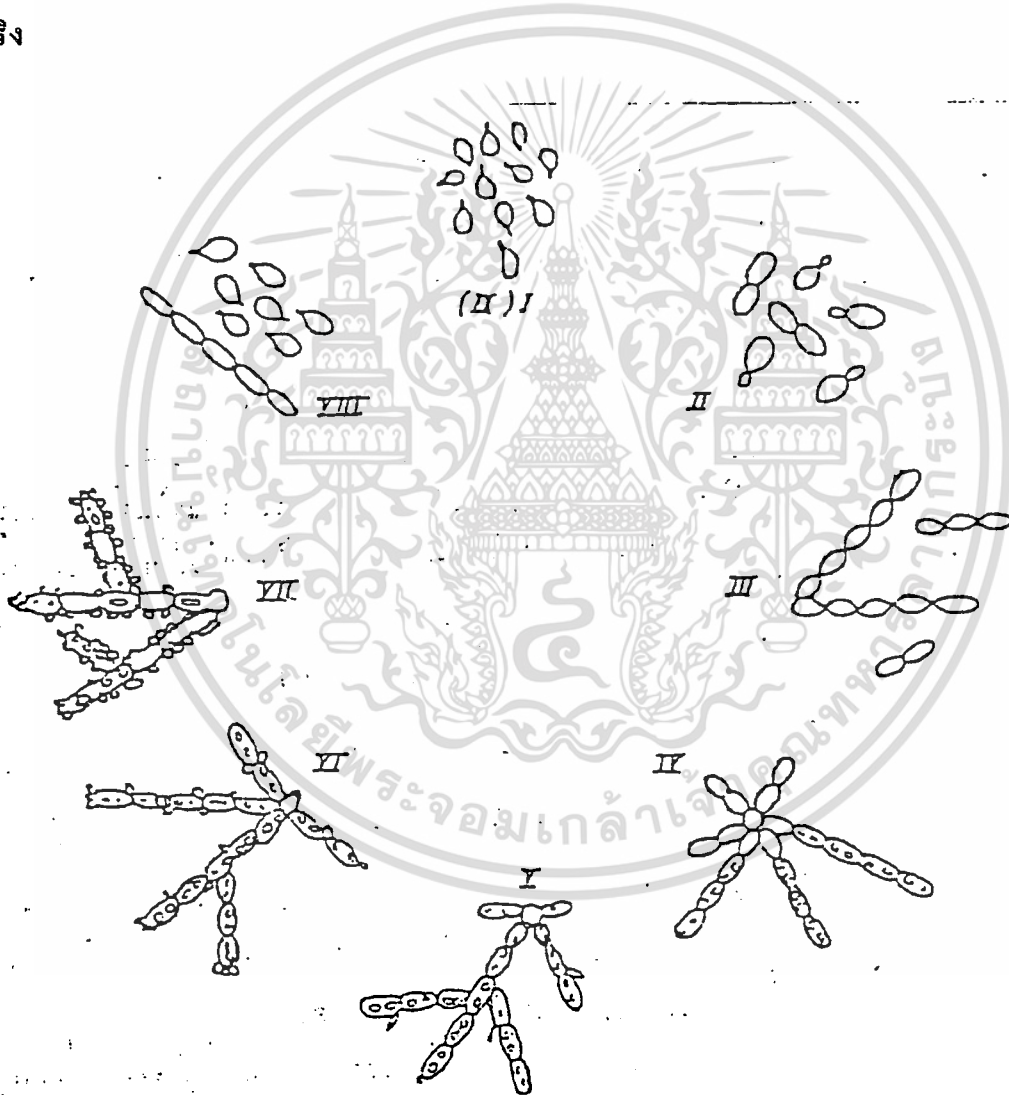
ลักษณะทั่ว ๆ ไปของยีสต์ในจีนัสนี้คือ จะสร้างไมซีเลียม (mycelium) ที่แท้จริง ซึ่งต่อไปเจริญเป็น อาร์throสปอร์ (arthrospore) ซึ่งชูโคไมซีเลียม (pseudomycelium) และเซลล์ยีสต์แอสโรสปอร์มีรูปร่างเป็นหมวก, รูปเคียว (Kreger-van Rij, 1971)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างลักษณะของ *E. fibuligera*

เป็นยีสต์ที่จัดอยู่ในกลุ่มของยีสต์ที่สามารถสร้างเส้นใยได้ ในวงจรชีวิตของการเจริญเติบโตจะสร้างบลาสโตสปอร์ (blastospore) การสืบพันธุ์มีทั้งการแบ่งตัว (divide) การแตกหน่อ (budding) ลักษณะการแตกหน่อสามารถเป็นแบบเกิดได้รอบตัว (multipolar budding)

รูปร่างลักษณะของสปอร์ที่พบโดยทั่ว ๆ ไป มีทั้งรูปไข่ , รูปหมวก และรูปเดี่ยว พบว่าในหนึ่งแอสคัส (ascus) มี 1-4 แอสโคสปอร์ ลักษณะการสร้างเส้นใยทำให้จัดอยู่ในจำพวกการสร้างเส้นใยที่แท้จริง



รูปที่ 5 แสดงวงจรชีวิตของ *E. fibuligera*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเจริญเริ่มจากการที่ มีบลาสโตสปอร์หลุดออกจากเซลล์
2. หลังจากนั้นบลาสโตสปอร์ที่แยกออกมาจากเซลล์จะมีการแตกหน่อ
3. เมื่อมีการแตกหน่อเกิดขึ้นแล้ว หน่อที่แยกออกมานี้จะไม่แยกออกจากเซลล์แม้โดยเด็ดขาด ทำให้เกิดลักษณะเป็นเส้นสายต่อกันยาว ๆ เรียกลักษณะนี้ว่า พูโดไมซีเลียม (pseudomycelium) ในขั้นนี้เซลล์จะมีรูปร่างยาว ,กลม ตรงกลางเซลล์จะป่อง
4. ขั้นที่สี่เซลล์เริ่มมีการยืดตัว (elongation) รูปร่างเซลล์ที่ปรากฏในตอนนี้จะมียลักษณะที่ดูแล้วคล้ายทรงกระบอก เมื่อมีการเจริญเติบโตขึ้นเรื่อย ๆ เซลล์จะมีการสร้างแวคคิวโอ (vacuole) เซลล์ยังคงต่อกันเป็นสายยาวไม่แยกออกจากกันโดยเด็ดขาดในช่วงนี้เมื่อนำไปดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า จะเห็นผนังเซลล์ชัดเจน

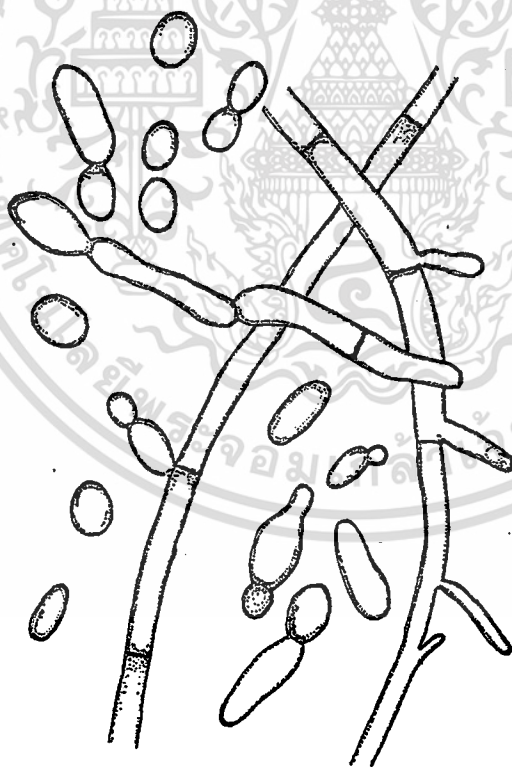
การเจริญเติบโตในขั้นที่ 1-4 นั้น เกิดในระยะต้น ๆ ของ log phase ซึ่งจากการศึกษาพบว่ายังไม่มีการสร้างเอนไซม์

5. หลังจากที่เซลล์เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว จะทำการสร้างบลาสโตสปอร์ และพบว่าในช่วงนี้จะมี การสร้างเอนไซม์อะไมเลส (ระยะ log phase)
6. ในขั้นที่หกของการเจริญพบว่า มีการสร้างบลาสโตสปอร์ขึ้นมากมาย และความสามารถในการสร้างเอนไซม์อะไมเลสมีเพิ่มมากขึ้น
7. ในช่วงนี้พบว่า เป็นช่วงที่มีการสร้างบลาสโตสปอร์มากที่สุด จากการตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะเห็นว่าเส้นใยของ *E. fibuligera* จะปกคลุมไปด้วยบลาสโตสปอร์
8. เมื่อนำเซลล์ที่อยู่ในช่วงนี้ไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น แวกคิวโอ ที่เคยพบในช่วงก่อนนี้จะไม่พบจะเห็นแต่เพียงเยื่อหุ้มเซลล์เท่านั้น และยังพบอีกว่า บลาสโตสปอร์ที่เซลล์สร้างขึ้นนั้นจะแยกออกจากเซลล์ด้วย

สำหรับช่วงของการสร้างเอนไซม์อะไมเลสของ *E. fibuligera* จะเริ่มสร้างเมื่อเซลล์เข้าสู่ระยะตอนปลาย ๆ ของ log phase แต่ยังคงสร้างในปริมาณน้อยมาก การสร้างเอนไซม์จะเกิดสูงสุดเมื่อเซลล์อยู่ในระยะ stationary phase (Tony Godfrey และ Jom Reichelt, 1983)

ลักษณะทั่ว ๆ ไปของ *E. fibuligera* เมื่อเลี้ยงในอาหารต่าง ๆ

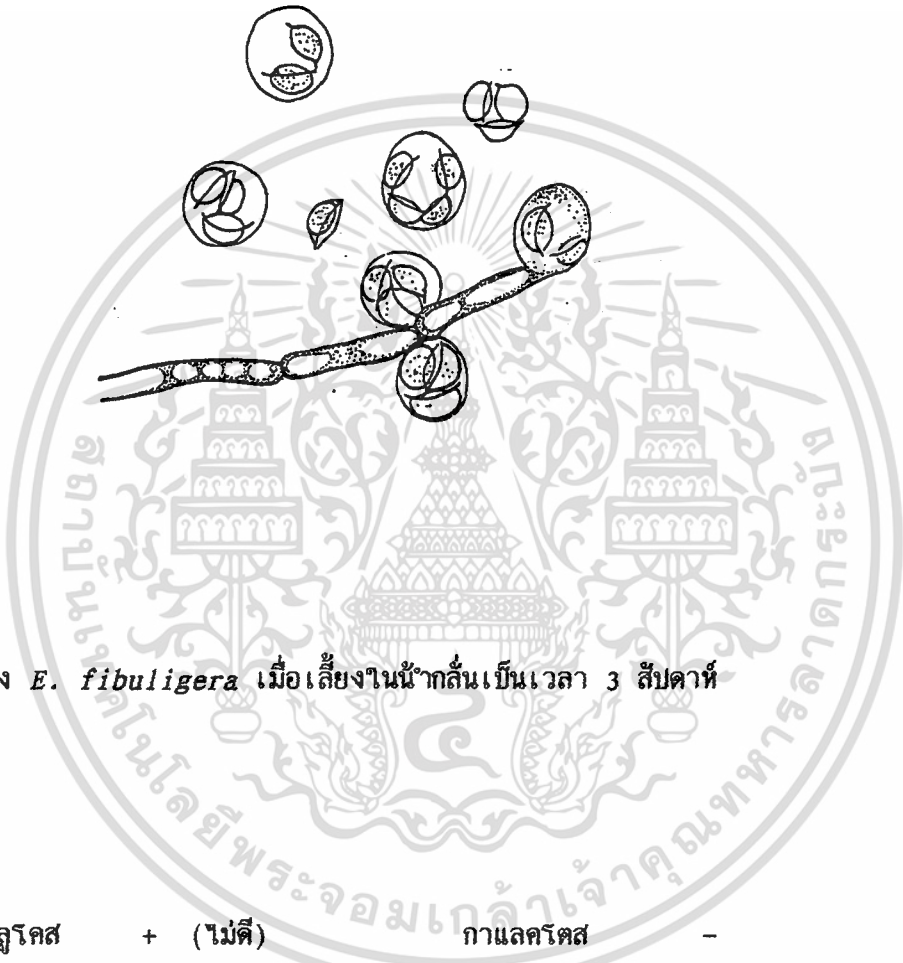
1. เลี้ยงในอาหาร malt extract พบว่าหลังจากการเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน จะมีการแตกหน่อ หน่อที่เกิดขึ้นมีลักษณะรูปไข่ ขนาด (4-8)x(6-18) ไมครอน สร้างไมซีเลียมแบบมีผนังกัน (septate mycelium)
2. เลี้ยงใน malt agar พบว่าหลังจากเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วัน จะมีการแตกหน่อ และสร้างไมซีเลียมที่แท้จริง (true mycelium) และมีการสร้างเส้นใยมากกว่า เมื่อเลี้ยงใน malt extract ทว่าการเพาะเลี้ยงนาน 1 เดือน ที่อุณหภูมิ 17 องศาเซลเซียส เชื้อที่เลี้ยงไว้จะมีสีน้ำตาลอมเหลือง
3. เลี้ยงใน potato และ corn meal agar พบว่าจะมีการสร้าง septate mycelium และ pseudomycelium ส่วนบริเวณปลายของเส้นใยจะมีการสร้าง บลาสโตสปอร์ ซึ่งมีรูปร่างเป็นทั้งแบบทรงกลมและรูปไข่



รูปที่ 6 แสดงลักษณะของ *E. fibuligera* เมื่อเลี้ยงใน malt extract 3 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างแอสโคสปอร์บริเวณที่เซลล์สองเซลล์ใกล้ชิดกัน จะปรากฏให้เห็นงูมยื่นออกมา ซึ่งส่วนใหญ่มักจะเกิดที่บริเวณปลายของเส้นใย hyphae จะเกาะกันเป็นกลุ่ม 1 แอสคัสจะประกอบไปด้วย 2-4 แอสโคสปอร์ สปอร์มีรูปร่างคล้ายหมวก



รูปที่ 7 แสดง *E. fibuligera* เมื่อเลี้ยงในน้ำกลั่นเป็นเวลา 3 สัปดาห์

การหมัก

| | | | | |
|----------|------|---------|--------------|------|
| กลูโคส | + | (ไม่ดี) | กาแลคโตส | - |
| ซูโครส | + | (ไม่ดี) | มอลโตส | + |
| แลคโตส | - | | เมลิไบโอส | - |
| รีฟิรินส | +, - | | สารละลายแป้ง | +, - |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูคุณสมบัติสารประกอบคาร์บอน

| | | | |
|-----------------------|------|----------------------------|------|
| กลูโคส | + | ดี-ไรโบส | - |
| กาแลคโตส | - | แอล-แรมโนส | - |
| แอล-ซอร์โบส | - | เอทานอล | + |
| ซูโครส | + | กลีเซอรอล | + |
| มอลโตส | + | อีรีทอล | +, - |
| เซเลโบส | + | โรบิทอล + , เซลคอม - | |
| ทรีฮาโลส | +, - | กาแลคโททอล | - |
| แลคโตส | - | ดี-แมนิทอล + , เซลคอม - | |
| เมลิโบส | - | ดี-กลูซิทอล + , เซลคอม - | |
| รัฟไฟโนส + , เซลคอม - | | แอลฟา-เมธิล-ดี-กลูโคไซด์ + | |
| เมเลไซโตส | +, - | ซาลิซิน | + |
| อินูลิน | - | ดีแอล-แลคติกแอซิด + (อ่อน) | |
| สารละลายแป้ง | + | ซักรีนิคแอซิด + , เซลคอม - | |
| ดี-ไซโลส | - | ซึตริก แอซิด | +, - |
| แอล-อะราบินอส | - | อินอิตอล | +, - |
| ดี-อะราบินอส | - | | |

ไม่การดูคุณสมบัติสารประกอบคาร์บอน ไม่สามารถเจริญในอาหารที่ไม่มีวิตามิน ไม่สามารถเจริญได้ใน 50 % glucose (w/w)-yeast extract agar เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (Kreger-van Rij, 1971)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อที่ใช้เรียก *E. fibuligera*

| | |
|----------------------------------------------|----------|
| <i>Endomyces fibuligera</i> (Lindner) | ค.ศ.1907 |
| <i>Saccharomycopsis fibuligera</i> (Lindner) | ค.ศ.1924 |
| <i>Pichia fibuligera</i> (Lindner) | ค.ศ.1964 |
| <i>Endomyces lindneri</i> (Saito) | ค.ศ.1913 |
| <i>Saccharomycopsis lindneri</i> (Saito) | ค.ศ.1924 |
| <i>Endomycopsis fibuligera</i> (Lindner) | ค.ศ.1931 |
| <i>Endomyces hordei</i> (Saito) | ค.ศ.1914 |
| <i>Saccharomycopsis hordei</i> (Saito) | ค.ศ.1924 |

Candida utilis (Torula yeast)

C. utilis ถูกพบครั้งแรกว่าพบเป็นในโรงงานผลิตยีสต์ในประเทศเยอรมัน พบโดย Henneberg (1926) ต่อมาได้ตั้งชื่อว่า *Torula utilis*

Torula เป็นชื่อที่ใช้เรียกยีสต์ที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ (fodder yeast) ชื่อนี้ได้มาจากการเรียกชื่อของจีนัส *Torulopsis* อย่างง่าย ๆ *C. utilis* สามารถเจริญได้เนื่องจากมันดูดซึมได้ทั้งน้ำตาลเพนโตส และน้ำตาลเฮกโซส

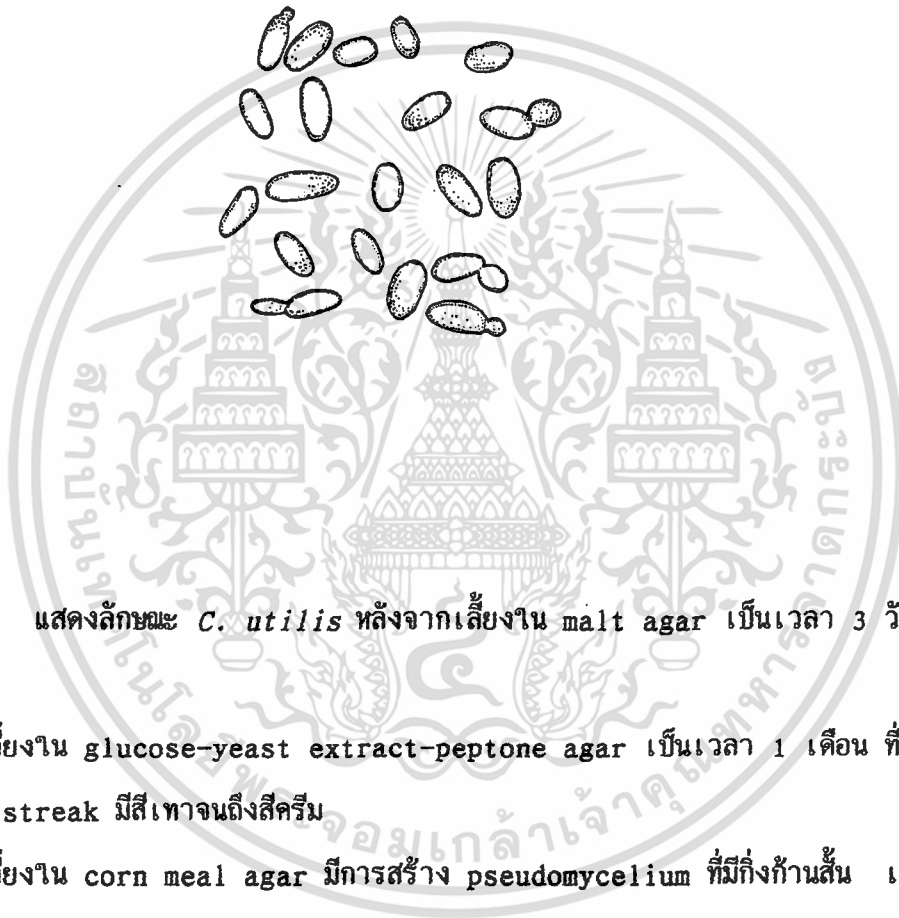
ลักษณะรูปร่างของ *C. utilis*

มีรูปร่างลักษณะเป็นวงรี สามารถแตกหน่อได้รอบตัว (multilateral budding) มี pseudomycelium แต่ไม่มีเส้นใยที่แท้จริง (true-mycelium)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะทั่ว ๆ ไปของ *C. utilis* เมื่อเลี้ยงในอาหารต่าง ๆ

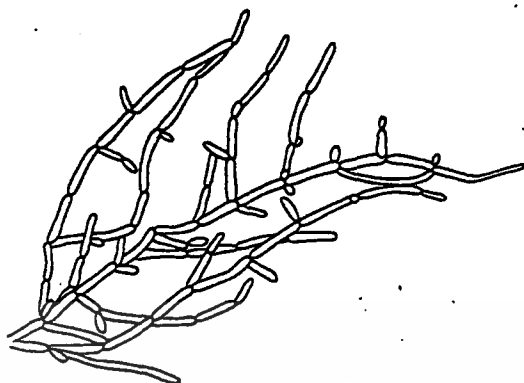
1. เมื่อเลี้ยงใน glucose-yeast extract-peptone water เลี้ยงไว้ 3 วัน ที่ 25 องศาเซลเซียส จะได้เซลล์มีลักษณะรูปไข่ , ทรงกระบอก ขนาด $(3.5-4.5) \times (7-13)$ ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงลักษณะ *C. utilis* หลังจากเลี้ยงใน malt agar เป็นเวลา 3 วัน

2. เลี้ยงใน glucose-yeast extract-peptone agar เป็นเวลา 1 เดือน ที่ 25 องศาเซลเซียส รอย streak มีสีเทาจนถึงสีครีม
3. เลี้ยงใน corn meal agar มีการสร้าง pseudomycelium ที่มีกิ่งก้านสั้น เซลล์มีลักษณะเป็นรูปไข่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 แสดงลักษณะ *C. utilis* เมื่อเลี้ยงในอาหาร corn meal agar

การหมัก

| | | | |
|------------|---|-----------|-------------|
| กลูโคส | + | แลคโตส | - |
| กาแลคโตส | - | เมลิไบโอส | - |
| ซูโครส | + | รัฟิโนส | + |
| มอลโตส | - | เมลิไซโตส | - |
| เซลโลไบโอส | - | อินนูลิน | น้อย หรือ - |
| เพรฮาลอส | - | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดซึมสารประกอบคาร์บอน

| | | | |
|----------------|-------------|--------------------------|--------------------|
| กลูโคส | + | ดี-ไรโบส | - |
| กาแลคโตส | - | แอล-แรมโนส | - |
| แอล-ซอร์โบส | - | เอทานอล | + หรือ น้อย |
| ซูโครส | + | กลีเซอรอล | + |
| มอลโตส | + | อีรีทริทอล | - |
| เซลโลไบโอส | + | ไรบิทอล | - |
| ทรีฮาโลส | + หรือ น้อย | กาแลคทิทอล | - |
| แลคโตส | - | ดี-แมนนิทอล | + หรือ น้อย หรือ - |
| เมลิไบโอส | - | ดี-กลูซิทอล | - |
| รัฟไฟโนส | + | แอลฟา-เมทิล-ดี-กลูโคไซด์ | + หรือ น้อย |
| เมลิซิทริส | + | ซาลิซิน | + |
| อินนูลิน | + | ดีแอล-แลคติก แอซิด | + |
| สารละลายแป้ง | - | ซัคซินิก แอซิด | + หรือ น้อย |
| ดี-ไซโลส | + หรือ น้อย | ซिटริก แอซิด | + |
| แอล-อะราบินโนส | - | อีโนซิทอล | - |
| ดี-อะราบินโนส | - | | |

สามารถดูดซึมโทแทสเทียมในเตรด เจริญได้น้อยถึงดีในอาหารที่ไม่มีวิตามิน หลาย ๆ

สายพันธุ์ เจริญได้ดีเมื่อถูกกระตุ้นโดย thiamine , biotin , inositol , niacin สามารถทนเกลือ
ได้ 6-8 เปอร์เซ็นต์ (w/v) เจริญได้ที่อุณหภูมิ 39-43 องศาเซลเซียส

ชื่อที่ใช้เรียก *C. utilis*

| | |
|----------------------------------------|----------|
| <i>Torula utilis</i> (Henneberg) | ค.ศ.1926 |
| <i>Torulopsis utilis</i> (Henneberg) | ค.ศ.1934 |
| <i>Cryptococcus utilis</i> (Henneberg) | ค.ศ.1947 |
| <i>Candida guilliermondii</i> (Cast.) | ค.ศ.1942 |
| <i>Torulopsis utilis</i> (Henneberg) | ค.ศ.1943 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอนไซม์อะไมเลส (amylase)

เอนไซม์อะไมเลสเป็นเอนไซม์ที่ปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ (extracellular enzyme) ที่สามารถย่อยแป้ง พบในสัตว์ , เซลล์พืช และจากการสร้างของจุลินทรีย์ เอนไซม์อะไมเลสมี 3 ชนิด

1. α -amylase (1,4- α -D-Glucan glucohydrolase ,EC 3.2.1.1) พบได้ในสัตว์ , พืช , แบคทีเรีย , พังใจที่เป็นเส้นสาย , ยีสต์ สามารถย่อยสลายแป้ง , โกลโคเจน , poly หรือ oligosaccharide ที่ 1,4- α -D-glucosidic linkage
2. β -amylase (1,4- α -D-Glucan maltohydrolase ,EC 3.2.1.2) พบได้ในแบคทีเรีย , พืช สามารถย่อยสลาย (hydrolysis) 1,4- α -D-glucosidic linkage จากปลายของ nonreducing ของแป้ง , โกลโคเจน และ poly และ oligosaccharide ได้เป็น β -D-maltose β -amylase จะหยุดที่กิ่งของพันธะ (1,6)- α ดังนั้นจึงเกิดมอลโตส และ β -limit dextrin ได้ จากโกลโคเจน และอะไมโลเพคติน (amylopectin)
3. γ -amylase (amyloglucosidases, glucoamylase, (1,4)- α -D-glucan glucohydrolase, exo (1,4)- α -glucosidases, EC 3.2.1.3) พบได้ในสัตว์ , แบคทีเรีย , พังใจที่เป็นเส้นสาย, ยีสต์ สามารถย่อยสลาย (hydrolysis) ที่ 1,4-linked α -D-glucose ในส่วนที่เหลือจาก nonreducing end ได้เป็น β -D-glucose ส่วนใหญ่เอนไซม์จะย่อยพันธะ 1,6- α -D-glucosidic ที่ต่อจาก α -1,4 linkage และสามารถตัด (1,3)- α -bonds ในอัตราที่ต่ำ ๆ ได้ glucoamylase จะทำปฏิกิริยากับ polysaccharide เร็วกว่า oligosaccharide

ถ้าแบ่งตามตำแหน่งการย่อยแป้งแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่ endoamylase และ exoamylase endoamylase ได้แก่ α -amylase ส่วน exoamylase ได้แก่ β -amylase และ glucoamylase เอนไซม์ที่มีความสำคัญในการย่อยแป้งมันสำปะหลัง คือ α -amylase และ glucoamylase (Hubert et.al,1990 ,Paul et.al,1988)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญของยีสต์

1. แหล่งคาร์บอนและพลังงาน

ยีสต์ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน และพลังงานทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน ยีสต์ส่วนมากจะใช้น้ำตาลที่หมักได้ (fermentable sugar) เช่น D-glucose, D-fructose และ D-mannose ได้ดี ส่วน *C. utilis* สามารถใช้เพนโตสได้ โดยทั่วไปการเลี้ยงยีสต์มักจะเติมแหล่งคาร์บอนลงไป 0.5-1.0 เปอร์เซ็นต์ (Phaff, 1966)

2. แหล่งไนโตรเจน

ยีสต์ต้องการแหล่งไนโตรเจน เพื่อใช้ในการสร้างโปรตีน ยีสต์ทุกชนิดใช้แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจนได้ ส่วนแอมโมเนียมฟอสเฟต, แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต, แอมโมเนียมทาร์เตรต, ยูเรีย มียีสต์หลายชนิดสามารถใช้ได้ ในการผลิตยีสต์เพื่อเป็นอาหารเสริมโปรตีนนิยมใช้แอมโมเนียมซัลเฟต และยูเรีย

3. แหล่งฟอสฟอรัส

ยีสต์ต้องการฟอสฟอรัสเพื่อใช้ในการสร้างพลังงานทั้งในสภาพที่มีอากาศและไม่มีอากาศ โดยปริมาณการใช้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออร์โทฟอสเฟต (orthophosphate) และฟอสเฟตเอสเทอร์ (phosphate esters) ในเซลล์ โดยทั่วไปแล้วจะมีการนำ orthophosphate เข้าสู่เซลล์ต่อความเข้มข้นของอาหารทั้งหมดสูงถึง 100:1 $H_2PO_4^-$ เป็นตัวที่เซลล์สามารถดูดซึมได้เร็วที่สุด และถ้าใช้ K^+ ion ร่วมด้วยเล็กน้อย จะทำให้ความสามารถในการดูดซึม $H_2PO_4^-$ ไปใช้ได้ดียิ่งขึ้น (Rose และ Harrison, 1969) และ (Rose และ Harrison, 1971)

ส่วนสารอาหารอื่น ๆ นั้น ยีสต์ต้องการในปริมาณต่ำ ได้แก่ แร่ธาตุต่าง ๆ เพื่อใช้เป็น โคแฟกเตอร์ (co-factor) สำหรับเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น แมกนีเซียม (Mg), โคบอลต์ (Co), โมลิบดีนัม (Mo), ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) เป็นต้น (Rose และ Harrison, 1971) นอกจากนี้ยีสต์ยังต้องการสารที่จำเป็นต่อการเจริญ (growth factor) บางชนิด เช่น ไบโอติน (biotin), กรดแพนโททีนิก (pantothenic acid), อินอซิทอล (inositol), ไรบีน (thiamine), กรดนิโคตินิก (nicotinic acid), ไพริดอกซิน (pyridoxine) และกรดโฟลิก (folic acid) (Imrie, 1976) และ (Rose และ Harrison, 1971)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. พีเอชของอาหาร

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ดี ในอาหารที่มีความเป็นกรดมากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ โดยปกติพีเอชที่เหมาะสมของยีสต์ทั่ว ๆ ไป จะอยู่ระหว่าง 4.5-5.5 พีเอชที่เหมาะสมของยีสต์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน เช่น *C. utilis* จะมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 4.5-5.0 สำหรับสารเคมีที่นิยมมาใช้ในการปรับให้อาหารมีสภาพเป็นกรดคือ กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) และกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) (Phaff, 1966)

5. อุณหภูมิ

ยีสต์ส่วนใหญ่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิระหว่าง 20-30 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมของยีสต์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป

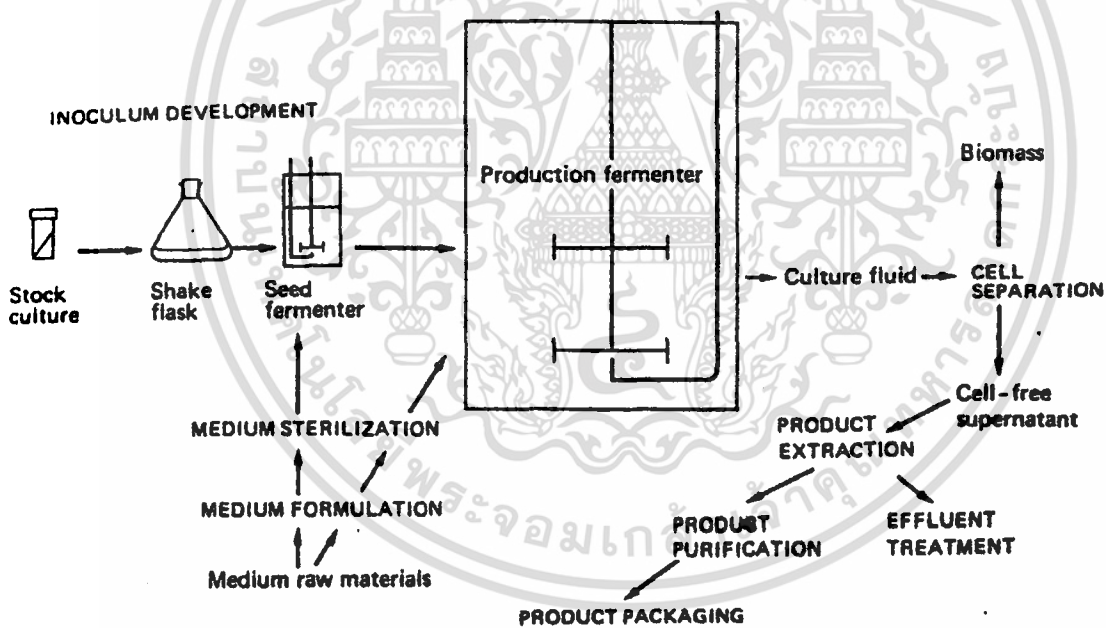


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการหมักกิมบาบีสต์ในระดับ semi-pilot scale

กระบวนการหมักที่ต้องการผลผลิตเป็นตัวเซลล์ (biomass) มีขั้นตอนในกระบวนการหมักดังต่อไปนี้

1. การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ ทั้งที่ใช้ในการผลิตเชื้อเริ่มต้น และใช้ในการหมัก
2. การทำอาหารเลี้ยงเชื้อ ถังหมัก และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ให้ปราศจากเชื้อ
3. การผลิตเชื้อเริ่มต้นที่บริสุทธิ์ และว่องไว (active) ในปริมาณที่มากพอสำหรับการใช้ในการหมัก
4. การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ในถังหมัก ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสารที่ต้องการ
5. การสกัดผลผลิตและการทำให้บริสุทธิ์
6. การกำจัดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทั้งหมด



รูปที่ 10 ขั้นตอนและความสัมพันธ์ของขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการหมัก

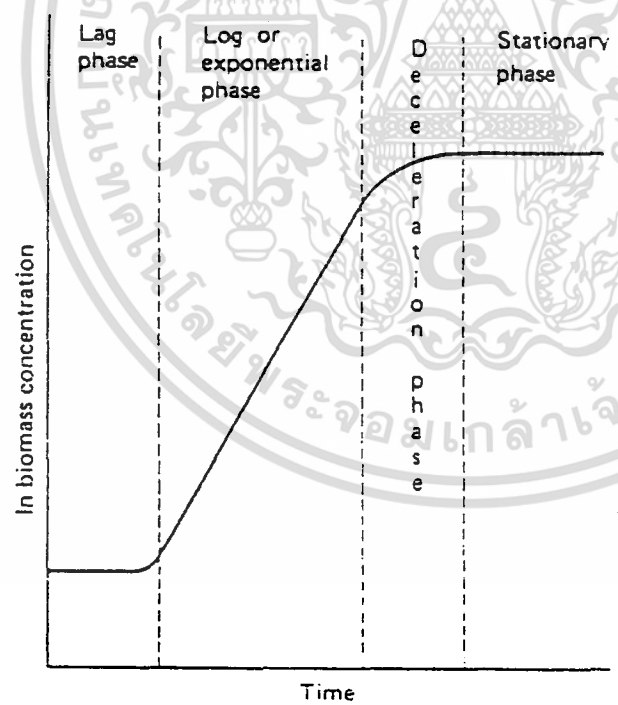
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาไคเนติกส์ของการหมัก (fermentation kinetics) เป็นสิ่งจำเป็นที่จะทำ
ให้เราทราบธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก เช่น การเจริญของ
จุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงของสปีสเตรท การเกิดผลผลิต การเปลี่ยนแปลงของพีเอชและอุณหภูมิ
รวมทั้งปริมาณออกซิเจนที่ถูกดูดซับไปใช้ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไคเนติกส์ของการหมักนี้จะ เป็นประ
โยชน์อย่างมากในการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการหมัก

ในการศึกษาการผลิตหมักในระดับ semi-pilot scale นี้ได้เลือกวิธีการหมักแบบกะ
ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Batch fermentation

Batch fermentation เป็นกระบวนการหมักที่ทำโดยเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ในระบบปิดมี
ปริมาณสารอาหารเริ่มต้นจำกัด ทำให้จุลินทรีย์มีรูปแบบการเจริญดังแสดงในรูป



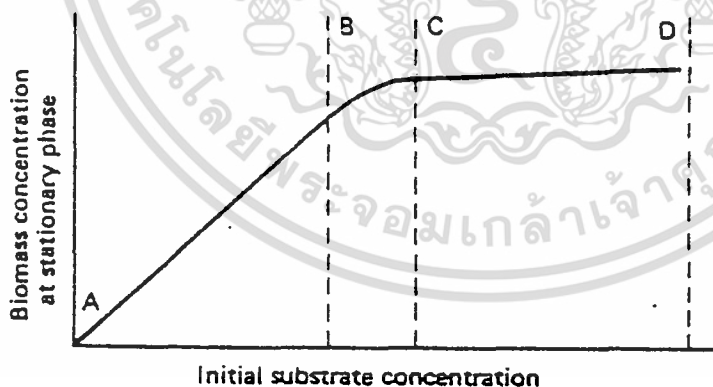
รูปที่ 11 กราฟแสดงการเจริญของจุลินทรีย์ที่เพาะเลี้ยงในระบบแบบกะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใส่จุลินทรีย์ลงในอาหาร ระยะแรกเซลล์จะยังไม่มีการเพิ่มจำนวน เรียกระยะนี้ว่า lag phase เนื่องจากเป็นระยะที่เชื้อกำลังปรับตัว ระยะเวลาในช่วง lag phase นี้ ในกระบวนการหมักระดับอุตสาหกรรมจะต้องทำให้สั้นที่สุดเพื่อลดต้นทุนการผลิต โดยจะใช้เชื้อเริ่มต้น (starter หรือ inoculum) ที่เหมาะสม หลังจากนั้นจุลินทรีย์จะมีอัตราการเจริญเพิ่มขึ้นตามลำดับ จนกระทั่งเข้าสู่ log หรือ exponential phase ซึ่งเป็นระยะที่จุลินทรีย์มีอัตราการเจริญสูงสุดและคงที่

การเจริญของจุลินทรีย์จะถูกจำกัดด้วยสารอาหาร และสารพิษที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น ดังนั้นหลังจากจุลินทรีย์เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วไปได้ระยะหนึ่งแล้วอัตราการเจริญจะค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งหยุดเจริญเพิ่มจำนวน

การศึกษาการเจริญที่มีขอบเขตจำกัดของจุลินทรีย์ เมื่อเลี้ยงแบบกะในอาหารที่มีความเข้มข้นของสับสเตรทเริ่มต้นต่างกัน พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลล์สูงสุดที่ระยะ stationary phase กับความเข้มข้นของสับสเตรทเริ่มต้น สามารถแบ่งได้เป็น 3 โซนคือ A-B, B-C และ C-D ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 ผลของความเข้มข้นของสับสเตรทเริ่มต้นต่อปริมาณเซลล์สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโซน A-B ปริมาณเซลล์สูงสุดที่ stationary phase จะเพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วน โดยตรงกับความเข้มข้นของสปีสเตรทที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$X = Y(S_F - s) \quad (1)$$

เมื่อ X = ความเข้มข้นของมวลเซลล์ที่ผลิตได้

Y = Yield factor (dimensionless constant)

S_F = ความเข้มข้นของสปีสเตรทเริ่มต้น

s = ความเข้มข้นของสปีสเตรทที่เหลือ

ในช่วงโซน A-B การเจริญเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์จะหยุดลงเมื่อ s มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจึงสามารถใช้สมการ (1) ในการประมาณค่าปริมาณเซลล์ที่เกิดขึ้นจากสารอาหารที่ใช้เป็นสปีสเตรทได้ ในโซน B-C แม้ว่าความเข้มข้นของสปีสเตรทที่ใช้จะเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณเซลล์ที่ stationary phase จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากการสะสมสารพิษที่เกิดจากการเจริญของเซลล์นั่นเอง และการสะสมสารพิษนี้เมื่อเพิ่มขึ้นมากถึงจุดหนึ่งแล้วจะทำให้เซลล์ไม่สามารถเจริญเพิ่มจำนวนต่อไปได้ แม้จะเพิ่มความเข้มข้นของสปีสเตรทอีกก็ตาม ดังแสดงในโซน C-D

อาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับการผลิตคิมบาบีสค์

น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารเลี้ยงเชื้อทุกชนิด น้ำช่วยละลายสารอาหารทำให้ยีสต์สามารถดูดซึมสารอาหารต่าง ๆ เข้าไปใช้ภายในเซลล์ได้ การนำน้ำมาใช้ในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อโดยทั่วไปจะพิจารณาคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้ คือ พีเอช ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (dissolved solid) และการปนเปื้อนจากสิ่งโสโครก การใช้น้ำที่มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอจะทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอด้วย

เพื่อเป็นการจัดปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ให้หมดไปทางโครงการจึงเลือกใช้น้ำ de-ionize คือน้ำที่ผ่านเรซินสำหรับดักจับไอออนต่าง ๆ เพื่อให้คุณภาพของน้ำคงที่เสมอ รวมทั้งมีราคาประหยัดเป็นการลดต้นทุนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งคาร์บอน

คาร์บอนเป็นธาตุที่มีความสำคัญในการสังเคราะห์เซลล์และพลังงาน โดยทั่วไปจุลินทรีย์ที่เจริญในสภาวะที่มีอากาศ จะใช้แหล่งคาร์บอนประมาณ 50–55 เปอร์เซ็นต์ ในการสังเคราะห์เซลล์ การใช้แหล่งคาร์บอนที่จุลินทรีย์สามารถเมแทบอลิซึมได้อย่างรวดเร็วที่ความเข้มข้นสูงๆ จะทำให้จุลินทรีย์เจริญอย่างรวดเร็ว

ในกระบวนการหมักخمยีสต์นี้ เลือกที่จะใช้แป้งมันสำปะหลัง เป็นแหล่งคาร์บอน เนื่องจากมีราคาถูกและหาได้ง่ายตลอดปี รวมทั้งช่วยแก้ปัญหาการล้มตายของมันสำปะหลัง นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเลือกใช้แหล่งคาร์บอนดังต่อไปนี้

1. ผลผลิตที่ต้องการ ในการหมักนี้ต้องการตัวเซลล์เป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ ดังนั้นจึงมีการใช้แหล่งคาร์บอนปริมาณมากในการสร้างเซลล์ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น
2. ราคา ในการผลิต SCP ส่วนใหญ่ต้นทุนการผลิตประมาณ 60–77 เปอร์เซ็นต์ เป็นค่าวัตถุดิบที่ใช้เป็นสับสเตรท และราคาของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะขึ้นกับราคาของแหล่งคาร์บอน ดังนั้นจึงเลือกใช้แหล่งคาร์บอนราคาถูก เนื่องจากผลิตภัณฑ์พวกนี้มีราคาค่อนข้างถูก
3. ความบริสุทธิ์ การผลิต SCP เป็นอาหาร วัตถุดิบที่ใช้ต้องไม่มีไอออนของโลหะหนักเจือปน เพราะจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค จึงควรเลือกใช้แหล่งคาร์บอนที่มีความบริสุทธิ์สูง
4. กฎหมาย การเลือกใช้แหล่งคาร์บอนอาจขึ้นกับกฎหมายด้วย เช่น ประเทศในกลุ่มตลาดร่วมยุโรป จะส่งเสริมการใช้น้ำตาลหรือกากน้ำตาลจากหัวบีท โดยมีการควบคุมราคาต่ำสุดของน้ำตาลบีท และควบคุมปริมาณการนำเข้าน้ำตาลหรือกากน้ำตาลอ้อยอย่างเข้มงวด รวมทั้งควบคุมราคาไม่ให้แข่งขันกับน้ำตาลบีทได้
5. วิธีการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อโดยเฉพาะการทำให้ปราศจากเชื้อ การใช้แป้ง เป็นแหล่งคาร์บอนมักจะมีปัญหาเมื่อใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อ เพราะแป้งจะเกิดเป็นเจล ทำให้มีความหนืดสูง ดังนั้นโดยทั่วไปจึงใช้ความเข้มข้นของแป้งได้ไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งไนโตรเจน

เซลล์จุลินทรีย์มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง ในการผลิตหมบยีสต์นี้จะใช้แหล่งอนินทรีย์ไนโตรเจน คือ แอมโมเนียมไนไตรด์หรือแอมโมเนียมซัลเฟต ตามปกติจะทำให้เกิดสภาวะที่เป็นกรดในอาหารเลี้ยงเชื้อ เมื่อ NH_4^+ ถูกใช้ไป จะเกิด PO_4^- ขึ้น โดยทั่วไปแล้วจุลินทรีย์จะเจริญอาหารที่อินทรีย์ไนโตรเจนได้เร็วกว่าในอาหารที่มี อนินทรีย์ไนโตรเจน

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกใช้แหล่งไนโตรเจน ขึ้นอยู่กับว่าจุลินทรีย์สามารถใช้สารประกอบไนโตรเจนชนิดใดได้ดี โดยพิจารณาควบคู่ไปกับราคาของแหล่งไนโตรเจนและประสิทธิภาพในการสร้างผลผลิตด้วย

แร่ธาตุ

แร่ธาตุที่มีความสำคัญ ซึ่งตามปกติจะต้องเติมลงในอาหารเลี้ยงเชื้อได้แก่ Mg, P, K, S, Ca, และ Cl นอกจากนี้ยังมี trace element ที่มีความจำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์อีก เช่น Co, Cu, Mn, Mo และ Zn แต่โดยทั่วไปมักจะพบ trace element เจือปนอยู่ในน้ำหรือสารประกอบเชิงซ้อนต่าง ๆ ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเติมแร่ธาตุเหล่านี้ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ

วิตามิน

วิตามิน เป็นสารที่จำเป็นสำหรับการเจริญของสิ่งมีชีวิต จุลินทรีย์บางชนิดจะสังเคราะห์วิตามินที่มันต้องการได้เอง แต่จุลินทรีย์บางชนิดไม่สามารถสังเคราะห์ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการเติมวิตามินลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ แหล่งวิตามินที่ใช้ในอาหารเลี้ยงเชื้อในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ได้จากแหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจนซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ได้จากธรรมชาติ

ในกรณีที่แหล่งคาร์บอน หรือแหล่งไนโตรเจนที่เลือกใช้ขึ้น ชาววิตามินบางชนิดที่จุลินทรีย์ต้องการ ก็อาจแก้ปัญหาได้โดยการใช้แหล่งคาร์บอนหรือแหล่งไนโตรเจนหลายชนิดผสมกัน เพื่อให้ได้วิตามินครบถ้วน อย่างไรก็ตามในกรณีที่จุลินทรีย์ต้องการวิตามินเพียงชนิดเดียว การใช้วิตามินบริสุทธิ์อาจถูกกว่าการใช้วิตามินจากวัตถุดิบที่มีราคาถูกแต่ต้องใช้งบประมาณมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเจน

ออกซิเจน เป็นธาตุชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะพวกที่ต้องการออกซิเจน ปริมาณออกซิเจนในอาหารจะเป็นตัวควบคุมอัตราการเจริญและผลิตสารเมแทบอลิซึม การให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์นิยมมาให้อยู่โดยการอัดอากาศเข้าไปในอาหารเลี้ยงเชื้อ

ความต้องการออกซิเจนของจุลินทรีย์จะขึ้นกับส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อด้วย ถ้าใช้แหล่งคาร์บอนที่จุลินทรีย์สามารถเมแทบอลิซึมได้อย่างรวดเร็ว ความเข้มข้นสูง จะทำให้จุลินทรีย์เจริญอย่างรวดเร็ว และมีความต้องการออกซิเจนปริมาณสูง จนอาจเกินความสามารถในการให้อากาศของถังหมักได้ แป้งมันสำปะหลังที่เป็นส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อขมขมยีสต์จะเกิดความเหนียว มีผลต่อการให้อากาศและการกวนผสม และสารกำจัดฟองบางชนิด จะทำให้อัตราการส่งผ่านออกซิเจนเข้าสู่เซลล์ลดลงได้

สารชักนำ

Endomycopsis fibuligera สามารถสร้างเอนไซม์อะไมเลสได้เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีสารชักนำ (inducer) เท่านั้น ในที่นี้สารชักนำในการสร้างอะไมเลสคือ แป้งมันสำปะหลัง

สารกำจัดฟอง

ในกระบวนการหมักส่วนใหญ่จะมีปัญหาเกี่ยวกับการเกิดฟอง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพธรรมชาติของโปรตีนในอาหารเลี้ยงเชื้อ ฟองที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้จุลินทรีย์บางส่วนออกไปอยู่นอกอาหารและเกิดการสลายตัว (autolysis) ปล่อยโปรตีนออกมาจากเซลล์ทำให้ฟองมีความคงตัวมากขึ้น ถ้าเกิดฟองมากขึ้นเรื่อย ๆ ในที่สุดก็จะทำให้ที่กรองอากาศ (air filter) ของถังหมักเปียก จึงมีโอกาที่จะเกิดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ภายนอกได้สูงและอาหารบางส่วนอาจไหลออกมานอกถังหมัก ทำให้สูญเสียผลผลิตบางส่วน การแก้ปัญหานี้สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ใช้แหล่งธาตุอาหารที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งผ่านการทำให้บริสุทธิ์บางส่วน เพื่อแยกส่วนประกอบที่เป็นสาเหตุให้เกิดฟองออกไป และมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ทางฟิสิกส์ให้เหมาะสม เช่น พีเอช อุณหภูมิ การให้อากาศ และการกวนผสม วิธีนี้จะใช้ได้ผลในกรณีที่ฟองเกิดจากส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อ แต่ใช้ไม่ได้ผลในกรณีที่ฟองเกิดจากสารเมแทบอลิท์

2. การใช้สารกำจัดฟอง (antifoam) วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไป สารกำจัดฟองส่วนใหญ่เป็นสารพวก surface active agent (surfactant) ซึ่งสามารถลดแรงตึงผิวของฟองได้

สารกำจัดฟองที่ดีควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ กระจายตัวได้ดีและทำลายฟองได้อย่างรวดเร็วโดยใช้ความเข้มข้นต่ำ ไม่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ มนุษย์ และสัตว์ ไม่ทำให้เกิดปัญหาในการเก็บเกี่ยวผลผลิต ไม่มีผลต่อการส่งผ่านออกซิเจน ทนความร้อนที่ใช้ในการทำให้ปราศจากเชื้อได้และราคาถูก การเติมสารกำจัดฟองที่นิยมใช้ในการผลิตมวลเซลล์ได้แก่ น้ำมันพืช น้ำมันถั่วเหลือง แต่ส่วนใหญ่จะนิยมใช้น้ำมันถั่วเหลืองมากกว่า เนื่องจากไม่ใส่สารกันหืน ซึ่งจะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และยังมีวิตามิน อี อีกด้วย

สารกำจัดฟองหลายชนิดเมื่อใช้ที่ความเข้มข้นที่สามารถควบคุมการเกิดฟองได้ จะทำให้อัตราการส่งผ่านออกซิเจนลดลงได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการใช้สารกำจัดฟองจึงต้องพยายามใช้ที่ความเข้มข้นต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้

ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการเลือกวัตถุดิบสำหรับอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ราคาถูก คุณภาพคงที่ และมีใช้ตลอดทั้งปี
2. ทำให้ได้ผลผลิตหรือมวลเซลล์ต่อกรัมของสับสเตรทที่ใช้ไปได้มากที่สุด
3. ทำให้ได้ผลผลิตหรือมวลเซลล์ความเข้มข้นสูงที่สุด
4. ทำให้มีอัตราการสร้างผลผลิตสูงที่สุด
5. ทำให้เกิดสารอื่นที่ไม่ต้องการน้อยที่สุด
6. ทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด โดยเฉพาะในการให้อากาศและการกวนผสม การสกัด การทำให้บริสุทธิ์ การกำจัดของเสีย และปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในการพัฒนากระบวนการผลิตจากระดับห้องปฏิบัติการไปเป็นระดับนําร่องและระดับอุตสาหกรรมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบถังหมัก

ในการศึกษาการผลิตหมักยีสต์ในระดับ semi-pilot scale มีความจำเป็นที่จะต้องเลี้ยงในถังหมักขนาดใหญ่เพื่อศึกษาพฤติกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ก่อนที่จะพัฒนาไปในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งการออกแบบถังหมักจะต้องคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

คุณสมบัติพื้นฐานของถังหมัก

1. มีความแข็งแรง ทนความร้อนและแรงดันได้สูง
2. มีระบบการให้อากาศและระบบการกวนที่ดี
3. มีระบบควบคุมอุณหภูมิ
4. มีระบบควบคุมพีเอช
5. มีระบบควบคุมการเกิดฟอง
6. มีที่เก็บตัวอย่างจากถังหมักได้สะดวก โดยไม่เกิดการปนเปื้อน
7. มีการสูญเสียเนื่องจากการระเหยจากถังหมักได้น้อย
8. มีรูปแบบที่ควบคุมการทำงาน การเก็บเกี่ยวผลผลิต การทำความสะอาด และการบำรุงรักษาได้ง่ายและใช้แรงงานน้อย
9. ควรใช้กับกระบวนการหมักได้หลายชนิด
10. ด้านในของถังหมักควรมีผิวเรียบ
11. อยู่ในสภาพปลอดเชื้อในขณะที่ใช้งานได้เป็นเวลานาน
12. ทนต่อการกัดกร่อน และไม่เป็นพิษ
13. ทำจากวัสดุราคาถูกที่สุด แต่มีคุณภาพตามต้องการ

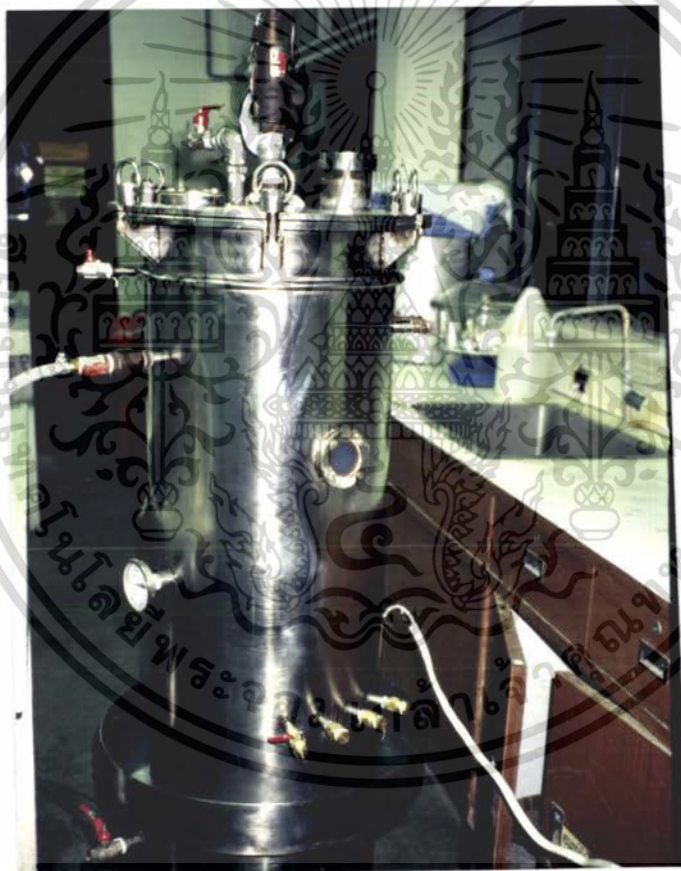
ถังหมักแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด ได้แก่ ถังหมักรูปทรงกระบอกตั้งที่มีใบพัดสำหรับการกวนผสม และมีท่อให้อากาศด้านล่างได้ใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างตัวถังหมัก

วัสดุที่ใช้ในการทำตัวถังหมัก คือ เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) เนื่องจากทนการกัดกร่อนได้ดี ความหนาที่ใช้ในการทำตัวถังหนา 8 มิลลิเมตร การสร้างกันถังเป็นรูปโค้งเพื่อให้ทนต่อความดันได้ดี

ระบบที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ เนื่องจากในกระบวนการหมักจะมีความร้อนเกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งถ้าทำให้อุณหภูมิกายในถังหมักไม่เหมาะสมต่อการผลิตสารที่ต้องการแล้ว ก็จำเป็นต้องมีการเพิ่มหรือลดความร้อนเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสม ระบบที่ใช้คือ การให้น้ำไหลหล่อรอบ ๆ ตัวถัง โดยผ่านท่อที่ขดเป็นวงกลมแล้วเจาะรูรอบ ๆ ให้น้ำไหลออกมา ดังรูป

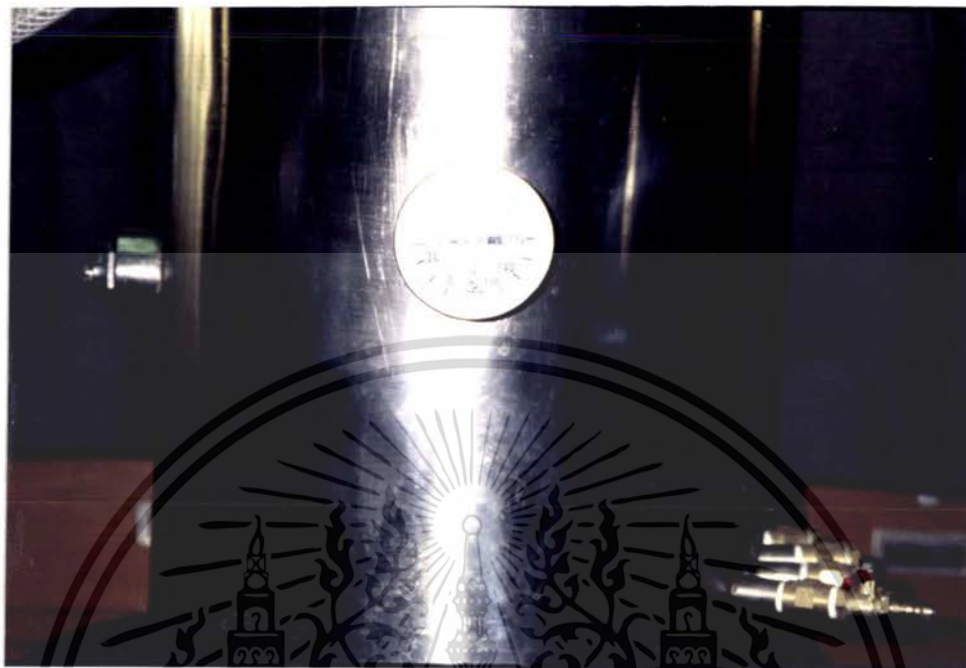


รูปที่ 13 แสดงระบบควบคุมอุณหภูมิของถังหมัก

ในระดับอุตสาหกรรมจะใช้ถังหมักขนาดใหญ่ ความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักจะมีปริมาณมาก การระบายความร้อนนิยมใช้แจคเกต หรือขดลวดหล่อเย็นภายในถังหมัก (internal cooling coils) ซึ่งมีน้ำเย็นไหลเวียนเข้าไปควบคุมอุณหภูมิได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์บริเวณตรงกลางถังเพื่อบันทึกอุณหภูมิระหว่างการหมัก และมีมาตรวัดความดันเพื่อควบคุมความดันในระหว่างการฆ่าเชื้อในถังหมัก และควบคุมความดันในระหว่างการให้อากาศ



รูปที่ 14 แสดงเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ในถังหมัก



รูปที่ 15 แสดงมาตรวัดความดันที่ใช้ในถังหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลจำเพาะของถังหมัก

| | | |
|-------------------|-----|-----------|
| ความสูงทั้งหมด | 137 | เซนติเมตร |
| ความสูงของถัง | 104 | เซนติเมตร |
| เส้นผ่านศูนย์กลาง | 35 | เซนติเมตร |
| ความหนา | 8 | มิลลิเมตร |
| ความจุ | 100 | ลิตร |

ระบบให้อากาศ

ระบบให้อากาศ หมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นำอากาศเข้าสู่ของเหลวภายในถังหมัก ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ เครื่องสูบลม เครื่องกรองอากาศ และหัวจ่ายอากาศ (air sparger) การออกแบบหัวจ่ายอากาศเพื่อให้ได้ฟองอากาศที่มีขนาดเริ่มต้นตามต้องการนั้น จำเป็นต้องทราบว่า จะใช้ระบบให้อากาศเพียงอย่างเดียวหรือจะใช้ร่วมกับเครื่องกวน หัวจ่ายอากาศที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมี 4 แบบ คือ porous sparger, orifice sparger, nozzle sparger และ combined sparger-agitator

Porous sparger เป็นหัวจ่ายอากาศที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งอาจทำจาก sintered glass เซรามิก หรือโลหะก็ได้ นิยมใช้กับถังหมักในระดับห้องปฏิบัติการชนิดที่ไม่มีเครื่องกวน ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะมีขนาดประมาณ 10-100 เท่าของขนาดรูของหัวจ่าย การอัดอากาศผ่าน porous sparger ซึ่งมีรูให้อากาศขนาดเล็กจะทำให้ความดันลดลง และมีผลทำให้อากาศผ่านเข้าสู่ของเหลวภายในถังหมักได้น้อย นอกจากนี้อาจมีปัญหาการอุดตันเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์อีกด้วย

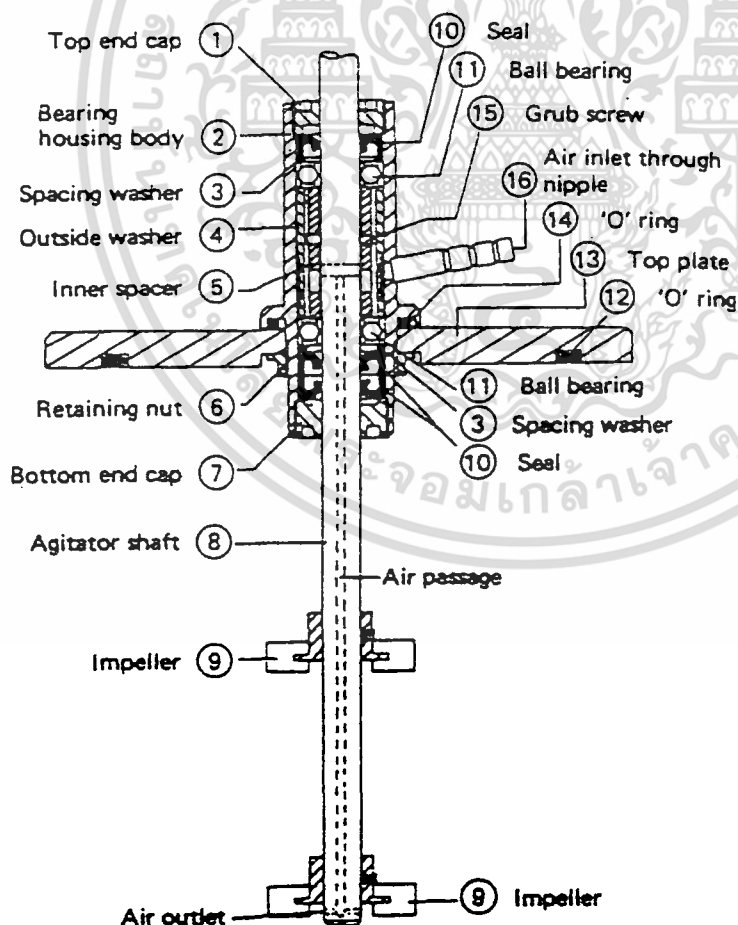
Orifice sparger เป็นหัวจ่ายให้อากาศที่ทำจากท่อเจาะรู (perforated pipe) ใช้ได้ทั้งในถังหมักที่มีและไม่มีเครื่องกวน ในถังหมักขนาดเล็กที่มีเครื่องกวนอาจใช้ท่อรูวงแหวน หรือรูปกากบาท เจาะรูที่ผิวด้านล่าง ติดตั้งได้โดยตรง ในปี ค.ศ. 1958 Walker และ Holdsworth ได้แนะนำว่าควรเจาะรูท่อให้อากาศให้มีขนาดอย่างน้อยที่สุด 6 มิลลิเมตร เพราะการเจาะรูขนาดเล็กมีแนวโน้มที่จะเกิดการอุดตันและความดันลดลงได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับถังหมักที่ไม่มีเครื่องกวนนั้น จะใช้ orifice sparger ได้จำกัดเฉพาะในการผลิตเซลล์ยีสต์ การกำจัดน้ำเสีย และการผลิต SCP เท่านั้น

Nozzle sparger หัวจ่ายอากาศแบบนี้ มีลักษณะเป็นท่อปลายเปิดขนาดเล็กเพียงจุดเดียว (single open or partially closed pipe) ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้มากทั้งในถังหมักขนาดเล็กและขนาดใหญ่ การติดตั้งหัวจ่ายอากาศแบบนี้ ควรติดอยู่ตรงกลางถังหมักได้ใบพัด โดยมีระยะห่างจากใบพัดมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อป้องกันฟองอากาศท่วมใบพัด ระบบให้อากาศแบบ single-nozzle sparger นี้ จะมีการสูญเสียความดันน้อยกว่าระบบให้อากาศแบบอื่น ๆ และตามปกติแล้วไม่มีปัญหาการอุดตัน

Combined sparger-agitator เป็นระบบที่ใช้ช่องกลางภายในแกนหมุนใบพัดเป็นช่องทางให้อากาศเข้าสู่ถังหมัก แล้วปล่อยออกมาตามรูที่อยู่ระหว่างใบพัดแบบ disc turbine ดังรูปที่ ระบบให้อากาศ แบบนี้ใช้ได้ดีกับถังหมักที่มีกะบังขนาดเล็ก (1 ลิตร) เมื่อใช้ความเร็วในการหมุนใบพัดในระดับปานกลาง



รูปที่ 16 แสดง combined sparger-agitator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสเตอริไลส์

การปนเปื้อนของจุลินทรีย์อื่นที่ไม่ต้องการลงไปในอาหาร เลี้ยงเชื้ออาจทำให้เกิดผลเสียได้ดังต่อไปนี้

1. ผลผลิตลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนแย่งอาหารบางส่วนไปใช้ในการเจริญ
2. ในกระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอาจเจริญได้ดีมากจนกระทั่งสามารถแทนที่จุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตได้
3. จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ อาจปนเปื้อนมาในผลผลิตขั้นสุดท้าย โดยเฉพาะในการผลิต SCP
4. จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอาจสร้างสารประกอบบางอย่าง ซึ่งทำให้กระบวนการสกัดและการทำผลผลิตให้บริสุทธิ์ในขั้นสุดท้ายยากขึ้น
5. จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอาจทำลายผลผลิตที่ต้องการ
6. จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอาจสร้างสารอื่นที่เป็นพิษ
7. จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอาจทำลายจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตได้ ตัวอย่างที่สำคัญได้แก่ การปนเปื้อนจากไวรัส (bacteriophage) อาจทำให้แบคทีเรียที่ใช้ในกระบวนการผลิตสลายตัว (lysis) ได้

หลักปฏิบัติ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์อื่น

1. ใช้เชื้อเริ่มต้นที่บริสุทธิ์ในการ เริ่มต้นกระบวนการหมัก
2. สเตอริไลส์อาหารเลี้ยงเชื้อ ถังหมัก และสารทุกชนิด รวมทั้งวัตถุต่าง ๆ ที่จะใส่เข้าไปในถังหมักในระหว่างกระบวนการหมัก
3. รักษาสภาพปลอดเชื้อในระหว่างการหมัก

ในการผลิตขี้มอด มีองค์ประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อคือ แป้งมันสำปะหลัง และมีการปรับสภาพเป็นกรด อีกทั้งเมื่อยีสต์ที่ใช้ในกระบวนการหมักเจริญขึ้นมา จะทำให้พีเอชของอาหารลดลง จึงไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ ดังนั้นวิธีการเตรียมอาหารจะใช้วิธีต้มฆ่าให้เดือดในถังหมัก แล้วนำแป้งมาผสมน้ำที่สะอาดจนน้ำเข้ากันแล้ว เทลงไปในถังหมักพร้อมทั้ง เปิดอากาศจนให้อาหาร เป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสเตรียอาหาร เลียงเชื้อ

ในระดับอุตสาหกรรมการสเตรียอาหาร เลียงเชื้อมีอยู่ 2 วิธี คือ แบบกะ และแบบต่อเนื่อง ซึ่งการเลือกที่จะใช้แบบใดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. ระบบที่ใช้ในการหมัก (ระบบต่อเนื่อง ,batch ,fed-batch)
2. ระดับของสารอาหารที่ถูกทำลายที่ยอมรับได้
3. ราคาของเครื่องจักรและอุปกรณ์

วิธีการสเตรียแบบกะ

การสเตรียอาหาร เลียงเชื้อแบบกะ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้อาหารปราศจากเชื้อ โดยมีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารน้อยที่สุด อุณหภูมิสูงสุดที่เป็นไปได้สำหรับการสเตรียแบบกะคือ 121 องศาเซลเซียส การสเตรียอาจทำในถังหมักโดยตรงหรือทำแยกในถังสเตรียเฉพาะ แล้วจึงถ่ายเข้าสู่ถังหมักก็ได้

การใช้ถังสเตรียอาหารแยกจากถังหมักมีข้อดีดังนี้คือ

1. ถังสเตรีย 1 ใบ จะใช้สเตรียอาหาร เลียงเชื้อสำหรับถังหมักได้หลายใบและสามารถสเตรียอาหารในขณะกำลังทำความสะอาดถังหมักเพื่อใช้ในการหมักครั้งต่อไปได้ทำให้ประหยัดเวลาระหว่างการหมักแต่ละครั้ง
2. สามารถสเตรียอาหารในสภาพที่เข้มข้นกว่าที่จะใช้ในถังหมักได้ ทำให้ใช้ถังสเตรียขนาดเล็กกว่าถังหมักได้ และเมื่อจะใช้อาหาร เลียงเชื้อก็ทำให้เจือจางลงในถังหมักโดยใช้น้ำที่ปราศจากเชื้อ ก่อนที่จะเติมเชื้อเริ่มต้น
3. อาหาร เลียงเชื้อบางชนิดมีความหนืดสูงมากในระหว่างการให้ความร้อนเพื่อทำให้ปราศจากเชื้อ ทำให้ต้องใช้พลังงานสูงในการกวน ดังนั้นถ้าใช้ถังสเตรียที่มีอุปกรณ์การกวนที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กำลังสูง ก็ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ถังหมักที่มีเครื่องกวนกำลังสูง และถังสเตรียนี้ก็สามารถใช้กำจัดเชื้อในอาหารสำหรับถังหมักได้หลายใบด้วย
4. ช่วยลดการกักความร้อนของถังหมักที่อาจเกิดขึ้นจากอาหาร เมื่ออุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามการใช้ถังสเตอริไลส์อาหารแยกจากถังหมักก็มีข้อเสียดังนี้คือ

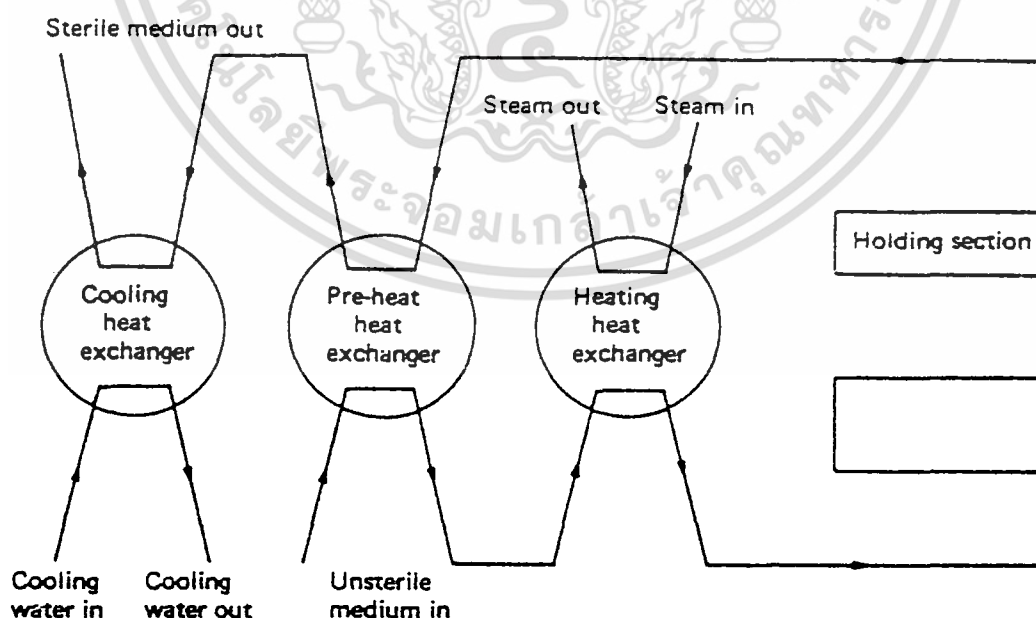
1. ค่าก่อสร้างถังสเตอริไลส์มีราคาสูงพอ ๆ กับถังหมัก
2. ถ้าใช้ถังสเตอริไลส์ 1 ใบ ในการสเตอริไลส์อาหารสำหรับถังหมักหลาย ๆ ใบ จะทำให้ต้องใช้ระบบฟอกขนส่งอาหารที่ซับซ้อนขึ้น และทำให้มีโอกาสเสี่ยงต่อการปนเปื้อนได้สูงขึ้น
3. ในกรณีถังสเตอริไลส์ที่ใช้เตรียมอาหารสำหรับถังหมักหลาย ๆ ใบ เกิดการขัดข้องก็จะทำให้ถังหมักทั้งหมดทำงานไม่ได้ตามไปด้วย และการจัดเตรียมอุปกรณ์สำรองไว้ป้องกันการขัดข้องนั้น ก็จะทำให้ต้นทุนสูงเกินไป

อย่างไรก็ตามในอุตสาหกรรมการหมักโดยทั่วไปนิยมใช้วิธีการสเตอริไลส์อาหารในถังหมักโดยตรงมากกว่าการใช้ถังสเตอริไลส์แยกโดยเฉพาะ

วิธีการสเตอริไลส์แบบต่อเนื่อง

ในอุตสาหกรรมการสเตอริไลส์แบบต่อเนื่องสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

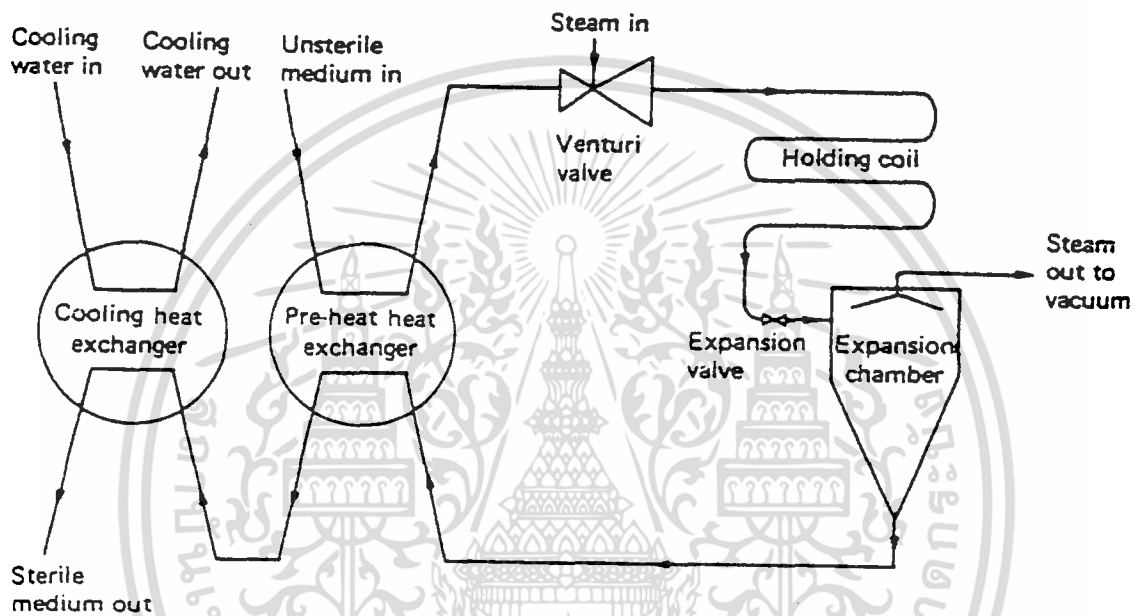
1. การใช้ continuous-plate heat exchanger (PHE) ดังแสดงในรูปที่ PHE ประกอบด้วย steam heated plate คู่กันแบบอนุกรม อาหารจะไหลเข้าไปใน plate ส่วนทางกับไอน้ำ ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงระดับที่ต้องการและคงอยู่ที่อุณหภูมินี้เป็นระยะเวลาหนึ่งหลังจากนั้นจึงไหลผ่านเข้าสู่ PHE อีกอันหนึ่งเพื่อทำให้เป็น



รูปที่ 17 โคอะแกรมแสดงส่วนประกอบและการทำงานของ plate heat exchanger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

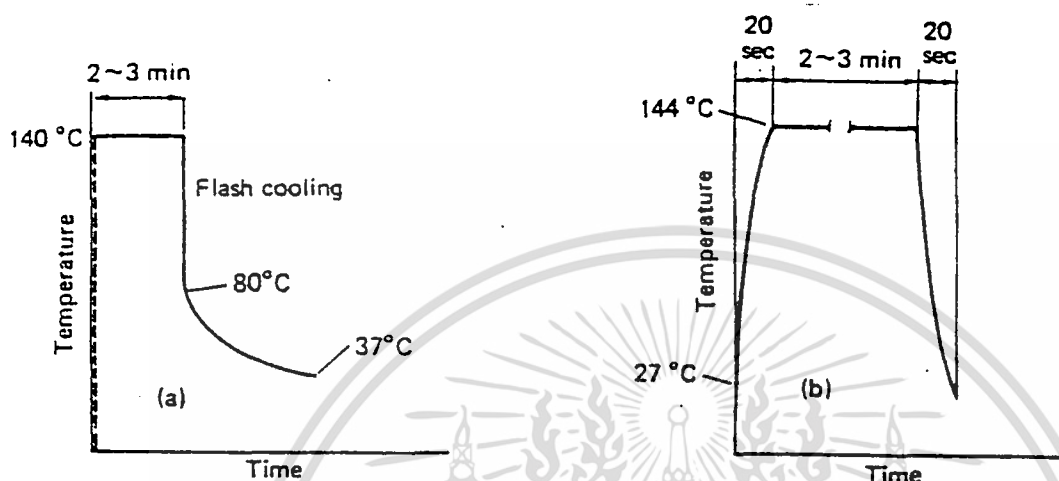
2. การใช้ continuous injector-flash cooler ดังแสดงในรูปที่ 18 ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ steam injector ทำหน้าที่ฉีดไอน้ำเข้าไปในอาหารโดยตรง holding section ซึ่งเป็นบริเวณที่ให้อาหารมีอุณหภูมิคงที่อยู่นานเป็นระยะเวลาหนึ่ง และ vacuum chamber ซึ่งเป็นบริเวณที่ทำให้อาหารที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งผ่านจาก holding section เข้ามาทาง expansion valve มีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 18 โคอะแกรมแสดงส่วนประกอบและการทำงานของ injector-flash cooler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการสเตอริไลส์อาหารเลี้ยงเชื้อโดยใช้ระบบต่อเนื่องทั้ง 2 วิธีนี้แสดงในรูปที่ 19 จากรูปจะเห็นได้ว่าการสเตอริไลส์โดยวิธีใช้ injector flash cooler จะมีระยะเวลาในการทำให้ร้อนและทำให้เย็นสั้นมาก



รูปที่ 19 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการสเตอริไลส์อาหารเลี้ยงเชื้ออย่างต่อเนื่อง a) ใช้วิธี injector-flash cooler b) ใช้วิธี plate heat exchanger

ในปี ค.ศ.1979 Banks ได้สรุปข้อดีและข้อเสียของระบบ steam injection ไว้ดังนี้

ข้อดี

1. ต้นทุนต่ำ
2. ดูแลรักษาและทำความสะอาดง่าย
3. สามารถใช้กับอาหารที่มี suspended solid ได้
4. ใช้เวลาในการทำให้ร้อนและทำให้เย็นสั้นกว่าวิธีอื่น
5. ใช้ไอน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีอื่น

ข้อเสีย

1. อาจเกิดฟองขึ้นในระหว่างการทำให้ร้อนและการทำให้เย็น
2. ไอน้ำสัมผัสกับอาหารเลี้ยงเชื้อโดยตรง ดังนั้นจึงต้องใช้ไอน้ำที่สะอาดปราศจากสารป้องกันการกัดกร่อน และต้องระเหยไอน้ำออกจากอาหารเลี้ยงเชื้อหลังจากการสเตอริไลส์เสร็จแล้วด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรวมแล้วการสเตอริไลส์แบบกะ และแบบต่อเนื่องต่างก็มีข้อดีดังต่อไปนี้

การสเตอริไลส์แบบต่อเนื่อง

1. สามารถรักษาคุณภาพของอาหาร เลี้ยง เชื้อได้ดีกว่า
2. ขยายขนาดได้ง่าย
3. ควบคุมโดยระบบอัตโนมัติได้ง่าย
4. ใช้เวลาน้อย
5. ในบางสภาวะ จะช่วยลดการกักกร่อนของถังหมักได้

การสเตอริไลส์แบบกะ

1. ต้นทุนอุปกรณ์และ เครื่องจักรต่ำกว่า
2. มีโอกาสเสี่ยงต่อการปนเปื้อนน้อยกว่า
3. ควบคุมโดยวิธีธรรมดาได้ง่ายกว่า
4. ใช้ได้ดีกับอาหาร เลี้ยง เชื้อที่มีของแข็งปริมาณสูง

การสูญเสียคุณค่าทางอาหารในระหว่างการให้ความร้อนในการสเตอริไลส์ มักเกิดจากปฏิกิริยาพื้นฐาน 2 ชนิดดังนี้คือ

1. ปฏิกิริยาระหว่างสารอาหารที่เป็นองค์ประกอบในอาหาร เลี้ยง เชื้อ ที่สำคัญได้แก่ Maillard reaction ซึ่งปกติจะเกิดจากหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลรีดิวซ์ทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนของกรดอะมิโนและโปรตีน ทำให้มีการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร และมีสีน้ำตาลเกิดขึ้น การป้องกันการเกิดปฏิกิริยาแบบนี้สามารถทำได้โดยการสเตอริไลส์ส่วนประกอบที่เป็นคาร์โบไฮเดรตแยกจากส่วนประกอบอื่น ๆ หลังจากที่ทำให้เย็นแล้วจึงนำมาผสมกันภายหลัง
2. ปฏิกิริยาการสลายตัวของสารอาหารที่ไม่ทนความร้อน เช่น วิตามินและกรดอะมิโนบางชนิด ซึ่งสามารถป้องกันการให้มีการสูญเสียที่น้อยที่สุดได้ โดยการใช้อุณหภูมิและ เวลาที่เหมาะสมในการสเตอริไลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสเตอริไลส์ถังหมัก

ในการสเตอริไลส์ถังหมักทำได้โดยนำน้ำ de-ionize าลงไปในถังหมัก แล้วเปิด heater ให้อุณหภูมิขึ้นจนถึง 100 องศาเซลเซียส แล้วเริ่มจับเวลา 1 ชั่วโมง ในระหว่างที่อุณหภูมิมีการเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จะมีการไล่อากาศออกเป็นระยะ ๆ เนื่องจากว่าอากาศเป็นฉนวนกันความร้อนทำให้ความดันภายในถังหมักไม่เพิ่มขึ้น าส่งเกตว่าเมื่ออากาศถูกไล่ออกไปจนหมดแล้วจะเห็นไอน้ำออกมาอย่างสม่ำเสมอไม่ขาดเป็นระยะ ๆ เมื่อครบเวลา 1 ชั่วโมง าส่งเกต heater แล้วทำการไล่ความดันที่มีในถังหมักให้หมด หลังจากนั้นจึง drain ไอน้ำออก แล้วให้ปิดวาล์วต่าง ๆ ทั้งหมดเพื่อไม่ให้อากาศจากภายนอกเข้าไปภายในถังหมัก สาเหตุที่ใช้ น้ำ de-ionize เพราะว่าถ้าหากใช้น้ำที่ไม่ผ่านการคั่งอิออนต่าง ๆ ออก หลังจากทำการสเตอริไลส์ถังหมักจะทำให้มีตะกรันเกาะข้าง ๆ ถังหมักและเกาะในส่วนของ heater ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นไปไม่ได้ และยากต่อการทำความสะอาดถังหมัก

ในกรณีของการสเตอริไลส์ถังหมักในระดับอุตสาหกรรมนิยมใช้ไอน้ำร้อนผ่านเข้าไปในแจคเก็ต (jacket) หรือ ขดลวด (coil) ภายในถังหมัก และอัดไอน้ำผ่านช่องเปิดเข้าสู่ถังหมักทุกจุดยกเว้นช่องทางออกของไอน้ำ เมื่ออัดไอน้ำร้อนเข้าไปจนได้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วแล้วให้คงไว้เป็นเวลาประมาณ 20 นาที เมื่อสเตอริไลส์เสร็จเรียบร้อยและความดันลดลงแล้วต้องอัดอากาศที่ปราศจากเชื้อเข้าไปในถังหมักให้มีความดันภายในสูงกว่าภายนอก มิฉะนั้นจะทำให้เกิดสภาพสุญญากาศภายในถังหมัก และอาจทำให้อากาศจากภายนอกไหลเข้าสู่ภายในถังหมักได้

การสเตอริไลส์อากาศ

ในกระบวนการหมักที่ต้องการอากาศ จำเป็นต้องมีการให้อากาศที่ปราศจากเชื้อ เข้าสู่ถังหมักในปริมาณที่เพียงพออย่างต่อเนื่อง แม้ว่าการใช้ความร้อนจะสามารถสเตอริไลส์อากาศได้แต่วิธีการที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือการกรอง และเครื่องกรองที่ใช้กรองจุลินทรีย์ออกจากอากาศนี้อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่คือ

1. เครื่องกรองที่มีขนาดของรูที่ใช้ในการกรองเล็กกว่าจุลินทรีย์ที่ต้องการกำจัด (absolute filter) ดังนั้นจึงสามารถกรองจุลินทรีย์ได้ 100 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เครื่องกรองที่มีรูขนาดใหญ่กว่าจุลินทรีย์ที่ต้องการกำจัด วัสดุที่ใช้ในการกรองทำจากสารที่มีลักษณะเป็นเส้นใย เช่น ใยฝ้าย ใยแก้ว ฟอยโลหะ (slag or steel wool) ช่องว่างระหว่างเส้นใยโดยทั่วไปมีขนาด 0.5-15 ไมโครเมตร ดังนั้นในทางทฤษฎีการกำจัดจุลินทรีย์โดยใช้วัสดุกรองที่เป็นเส้นใยนี้ จะไม่สามารถกรองจุลินทรีย์ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากจุลินทรีย์มีโอกาสผ่านรูของวัสดุกรองได้ ยกเว้นในกรณีที่ใช้วัสดุกรองที่มีความหนามากพอ

แม้ว่าวัสดุกรองประเภทแรก (absolute filter) จะมีประสิทธิภาพดีกว่า แต่ในอุตสาหกรรมการหมักนิยมใช้วัสดุกรองที่ทำจากสารพวกเส้นใยมากกว่า เนื่องจากมีความแข็งแรงสูง ราคาถูก และทำให้ความดันลดลงน้อยกว่าการใช้ absolute filter อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีการออกแบบ absolute filter ซึ่งมีความแข็งแรงมากขึ้น เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมหมักโดยเฉพาะ เช่น polytetrafluoroethylene cartridge filter ซึ่งมีรูสม่ำเสมอขนาด 0.2 ไมโครเมตร และตัวอย่างอุตสาหกรรมหมักที่ใช้ absolute filter ในการสเตอริไลส์อากาศได้แก่ การผลิตมวลเซลล์ในถังหมักแบบต่อเนื่องของบริษัทไอซีโอ เป็นต้น

ทฤษฎีการส่งผ่านออกซิเจน

การส่งผ่านออกซิเจนจากอากาศเข้าสู่เซลล์ เป็นกระบวนการที่มีหลายขั้นตอนดังนี้คือ

1. การส่งผ่านออกซิเจนจากห้องอากาศให้ละลายเข้าไปในอาหารเหลว
2. การส่งผ่านออกซิเจนที่ละลายอยู่ในอาหารเหลวไปยังเซลล์จุลินทรีย์
3. การดูดซึมออกซิเจนที่ละลายอยู่ในอาหารเหลวเข้าสู่เซลล์จุลินทรีย์

อัตราการส่งผ่านออกซิเจนจากห้องอากาศให้ละลายเข้าไปในของเหลวสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการดังนี้

$$dC_L/dt = K_L a (C^* - C_L)$$

| | | |
|-------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| เมื่อ | C_L | = ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในอาหารเหลว มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) |
| | t | = เวลา มีหน่วยเป็นชั่วโมง (h) |
| | dC_L/dt | = การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนในระยะ เวลาหนึ่ง หรือ อัตราการส่งผ่านออกซิเจน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของออกซิเจนต่อลิตรต่อชั่วโมง (mg O ₂ /l/h) |
| | K_L | = สัมประสิทธิ์การส่งผ่านออกซิเจน มีหน่วยเป็น เซนติเมตรต่อชั่วโมง (cm/h) |
| | a | = พื้นที่ผิวที่อยู่ระหว่างห้องอากาศและของเหลวต่อปริมาตรของของเหลวมีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตรต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (cm ² /cm ³) |
| | C^* | = ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนที่ละลายได้ในอาหารเหลว มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) |

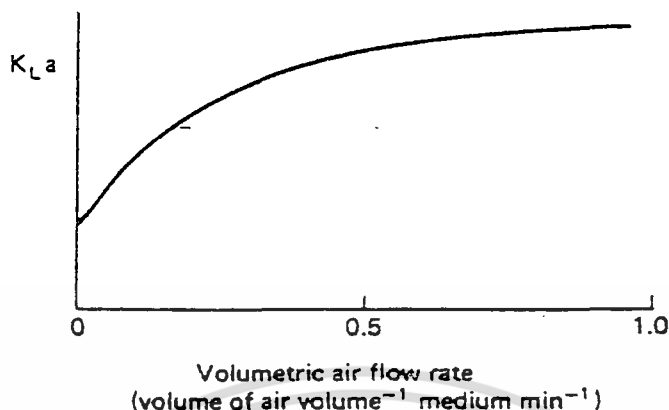
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า K_L อาจพิจารณาได้อีกอย่างหนึ่งว่าเป็นส่วนกลับของความต้านทานต่อการส่งผ่านออกซิเจนจากแก๊สไปยังของเหลว และ $(C^* - C_L)$ หมายถึง แรงผลักดันที่จะเอาชนะความต้านทาน ในทางปฏิบัติการวัดค่า K_L และ a ในกระบวนการหมักนั้นทำได้ยากมาก ดังนั้นโดยทั่วไปจึงวัดค่าทั้งสองนี้รวมเป็น K_{La} (สัมประสิทธิ์การส่งผ่านออกซิเจนต่อหน่วยปริมาตร มีหน่วยเป็น ชั่วโมง⁻¹) โดยการวัดความสามารถในการให้อากาศ (aeration capacity) ของถังหมักภายใต้สภาวะที่ทำการทดสอบ ถังหมักมีความสามารถในการให้อากาศได้สูง ค่า K_{La} ก็จะมีค่าสูงด้วย

ความสัมพันธ์ระหว่างการให้ออกซิเจนและละลายน้ำโดยถังหมัก กับความต้องการออกซิเจนของจุลินทรีย์ จะสะท้อนออกมาในรูปความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในอาหารเหลว ถ้า K_{La} ของถังหมักมีค่าไม่มากพอที่จะทำให้เกิดออกซิเจนและละลายน้ำได้ปริมาณมากตามความต้องการของจุลินทรีย์ ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในอาหารเหลวจะลดลงต่ำกว่า C_{crit} แต่ถ้า K_{La} มีค่าสูงกว่าที่จะทำให้เกิดออกซิเจนและละลายในอาหารเหลวได้มากตามความต้องการของจุลินทรีย์ ก็จะทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในอาหารเหลวสูงกว่า C_{crit} และอาจสูงถึง 70-80 เปอร์เซ็นต์ของระดับอิ่มตัว ดังนั้นในกระบวนการหมักที่ต้องการออกซิเจน จึงต้องใช้ถังหมักที่มีค่า K_{La} สูงพอที่จะทำให้เกิดออกซิเจนและละลายในอาหารเหลวได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการสร้างผลผลิตที่ต้องการ และสามารถรักษาความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในอาหารเหลวให้อยู่ในระดับนี้ได้ตลอดระยะเวลาของการหมัก

ปัจจัยที่มีผลต่อค่า K_{La} และอัตราการส่งผ่านออกซิเจน

1. อัตราการให้อากาศ (air-flow rate) ในถังหมักที่มีเครื่องกวนโดยทั่วไปนิยมใช้อัตราการให้อากาศอยู่ในช่วง 0.5-1.5 vvm (volume of air/ volume of medium/ minute) ซึ่งอัตราการให้อากาศในช่วงนี้จะมีผลต่อค่า K_{La} เพียงเล็กน้อยดังแสดงในรูปที่ แต่ถ้าวัดอัตราการให้อากาศสูงมากเกินไป ก็อาจทำให้อัตราการส่งผ่านออกซิเจนลดลง เนื่องจากฟองอากาศที่เกิดขึ้นปริมาณมากจะทำลมพัด ทำให้ฟองหมุนอยู่ใน gas phase จึงไม่สามารถช่วยส่งผ่านออกซิเจนเข้าไปในสารละลายได้



รูปที่ 20 แสดงผลของอัตราการให้อากาศต่อค่า $K_L a$ ของถังหมักชนิดที่มีเครื่องกวน

สำหรับอัตราการให้อากาศในถังหมักที่มีขนาดใหญ่ตามปกติจะนิยมใช้อัตราเดียวกันกับถังหมักขนาดเล็ก แต่เนื่องจากพื้นที่ผิวด้านบนของของเหลวในถังหมักซึ่งเป็นพื้นที่ให้อากาศระเหยออกไปนั้น จะเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่น้อยกว่าปริมาตรของถังหมัก เพราะฉะนั้นถ้าใช้อัตราการให้อากาศเท่ากับถังหมักขนาดเล็ก จึงอาจทำให้เกิดปัญหาการเกิดฟองมากเกินไป การแก้ปัญหานี้ทำได้โดยใช้ superficial air velocity (volumetric air-flow rate/cross sectional area of the fermenter) คงที่ แทนที่จะใช้อัตราการให้อากาศคงที่ แต่วิธีนี้ก็อาจทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนออกซิเจนได้ ดังนั้นวิธีที่ดีที่สุดในการให้อากาศสำหรับถังหมักขนาดใหญ่ จึงควรใช้อัตราการให้อากาศที่ใกล้เคียงกันกับที่ใช้ในถังหมักขนาดเล็กให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยไม่ทำให้เกิดปัญหาการเกิดฟองมากเกินไป

2. อัตราการกวน (degree of agitation) ตามปกติแล้วเมื่อใช้อัตราการกวนสูงขึ้น ก็จะทำให้ค่า $K_L a$ สูงขึ้นด้วย เนื่องจากการกวนทำให้ฟองอากาศมีขนาดเล็ก จึงช่วยเพิ่มพื้นที่ในการส่งผ่านออกซิเจน ช่วยลดการระเหยของฟองอากาศออกจากอาหารเหลว ช่วยป้องกันการรวมตัวกันของฟองอากาศ และทำให้อาหารเหลวเกิดการหมุนวน ซึ่งเป็นผลให้ความหนาของแผ่นฟิล์มของของเหลวที่อยู่รอบ ๆ ฟองอากาศลดลง

3. ความหนืดของอาหาร เลี้ยงเชื้อ โดยทั่วไปอัตราการส่งผ่านออกซิเจนจะมีค่าลดลง เมื่ออาหารเลี้ยงเชื้อมีความหนืดสูงขึ้น และทำให้ค่า K_La ลดลงด้วย สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของอาหารเลี้ยงเชื้อได้แก่ ส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อ ลักษณะการเจริญและความเข้มข้นของจุลินทรีย์ และผลผลิตของจุลินทรีย์

อาหารเลี้ยงเชื้อในกระบวนการหมักส่วนใหญ่ใช้แป้ง เป็นแหล่งคาร์บอน จึงทำให้อาหารมีความหนืดสูง และมีผลต่อการให้อากาศและการกวน แต่เมื่อจุลินทรีย์ใช้แป้งไปเพื่อการเจริญแล้ว ก็จะทำให้ความหนืดของอาหารลดลง ดังนั้นความหนืดที่เกิดจากส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อเริ่มต้น จึงไม่เป็นปัญหาต่อการให้ออกซิเจนแก่กระบวนการหมักมากนัก

ลักษณะการเจริญของเชื้อยีสต์และแบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่ทำให้เกิดปัญหาในการส่งผ่านออกซิเจนมากนัก แต่กระบวนการหมักโดยใช้เชื้อรามักมีปัญหา เนื่องจากไมซีเลียของเชื้อราทำให้ความหนืดสูง และเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพในการส่งผ่านออกซิเจนลดลง

สำหรับผลผลิตของจุลินทรีย์โดยทั่วไปนั้น มักทำให้ความหนืดของอาหารเลี้ยงเชื้อเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ยกเว้นผลผลิตพวกโพลีแซคคาไรด์ซึ่งจะทำให้ความหนืดของอาหารเพิ่มขึ้นมาก และทำให้การส่งผ่านออกซิเจนเข้าสู่กระบวนการหมักลดลง

4. ฟองและสารกาวจัดฟอง ฟองที่อยู่ถึงหมักเป็นเวลานาน ๆ จะเกิดการขาดแคลนออกซิเจนในฟองได้ นอกจากนี้การเกิดฟองมาก ๆ บริเวณผิวยังทำให้การกวนผสมอาหารเหลวในถังหมักไม่ดี และมีผลต่ออัตราการส่งผ่านออกซิเจนอีกด้วย ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงจำเป็นต้องทำลายฟองก่อนที่จะทำให้เกิดปัญหายุ่งยากในกระบวนการหมัก

สำหรับสารเคมีที่นิยมใช้ในการกำจัดฟองโดยทั่วไปมีคุณสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิวซึ่งส่วนใหญ่มักทำให้อัตราการส่งผ่านออกซิเจนและค่า K_La ลดลง เนื่องจากการสะสมของสารลดแรงตึงผิวที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างฟองอากาศกับของเหลว ทำให้ความต้านทานต่อการแพร่ของออกซิเจนสูงขึ้น ดังนั้นการใช้สารกำจัดฟองจึงต้องคิดถึงผลเสียที่อาจเกิดขึ้นด้วย ตามปกติควรใช้สารกำจัดฟองปริมาณน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

มีสารลดแรงตึงผิวบางชนิด มีผลทำให้อัตราการส่งผ่านออกซิเจนและ K_La มีค่าสูงขึ้นได้ เช่น โซเดียมลอริลซัลเฟต (sodium lauryl sulphate) เป็นต้น

การเก็บเกี่ยวผลผลิต

โดยทั่วไปการเก็บเกี่ยวผลผลิตจากกระบวนการหมักและการทำให้บริสุทธิ์ เป็นขั้นตอนที่เสียค่าใช้จ่ายประมาณ 20-60 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญมาก ในทางทฤษฎีการเก็บเกี่ยวผลผลิตจากกระบวนการหมักและการทำให้บริสุทธิ์ ควรเลือกใช้วิธีการที่มีประสิทธิภาพ รวดเร็ว ให้ผลผลิตคุณภาพสูง ใช้เครื่องมือที่เหมาะสมทั้งชนิดและขนาด เพื่อให้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด รวมทั้งพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ด้วยคือ

1. ตำแหน่งของผลผลิต อยู่ภายในหรือภายนอกเซลล์
2. ความเข้มข้นของผลผลิตในของเหลวที่ได้จากการหมัก
3. คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของผลผลิตที่ต้องการ
4. วัตถุประสงค์ของการนำผลผลิตไปใช้
5. มาตรฐานความบริสุทธิ์ต่ำสุดที่ยอมรับได้
6. สารเจือปนที่มีอยู่ในของเหลวที่ได้จากการหมัก
7. ราคาขายของผลผลิตในตลาด

วิธีการแยกเซลล์ออกจากอาหารเหลว

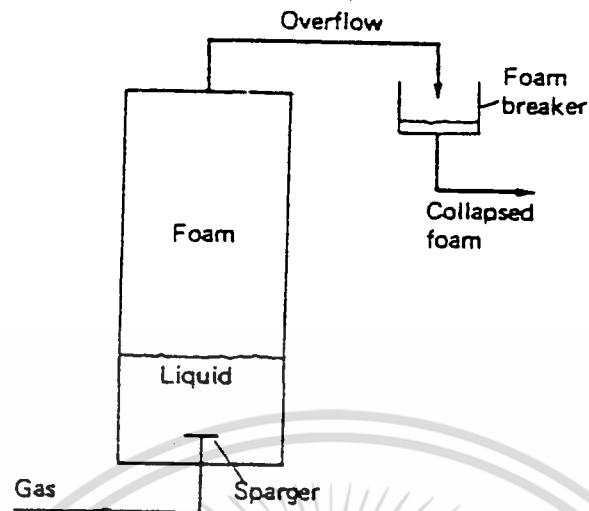
การแยกโดยใช้ฟอง

เป็นวิธีการแยกสารโดยอาศัยความแตกต่างของคุณสมบัติที่ผิวของสารชนิดต่าง ๆ ซึ่งสามารถดูดซับหรือยึดติดกับฟองอากาศและลอยขึ้นสู่ด้านบนของของเหลวได้ หลังจากนั้นก็จะแยกสารเหล่านั้นออกได้โดยการปล่อยให้ฟองอากาศส่วนบนไหลล้นออกไป ดังแสดงในรูปที่ สารที่สามารถแยกได้โดยวิธีนี้อาจเป็นเซลล์ทั้งเซลล์ หรือโปรตีน หรือคอลลอยด์ก็ได้

ในทางปฏิบัตินิยมมาใช้สารลดแรงตึงผิว ช่วยทำให้สารที่ต้องการแยกสามารถดูดซับหรือยึดติดกับฟองอากาศได้ดีขึ้น สำหรับปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกสารโดยวิธีนี้ ได้แก่ พีเอช อัตราการให้อากาศ ชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิว

ในปี ค.ศ.1966 Rubin และคณะ ได้ใช้เทคนิคนี้ในการแยกเซลล์ *E. coli* โดยใช้ laulic acid, stearyl amine หรือ t-octyl amine เป็นสารลดแรงตึงผิว พบว่าสามารถแยกเซลล์ได้สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ในเวลาเพียง 1 นาที และแยกเซลล์ได้ 99 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 21 แสดงไดอะแกรมวิธีการแยกสารโดยใช้ฟอง

การกรอง

เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการแยกอนุภาคแขวนลอยออกจากของเหลวหรือแก๊สโดยใช้วัสดุกรองที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ทึบหน้าที่ยกอนุภาคแข็งไว้ แต่ของเหลวและแก๊สสามารถไหลผ่านได้ วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการกรองมีหลายชนิด การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลดีที่สุดและเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด จะต้องพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

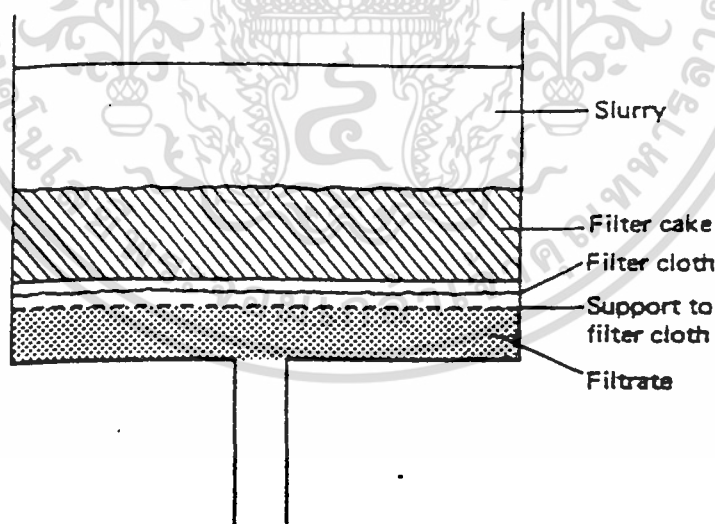
1. คุณสมบัติของของเหลวที่ต้องการกรอง โดยเฉพาะความหนาแน่นและความหนืด
2. คุณสมบัติของอนุภาคของแข็งที่ต้องการกรอง โดยเฉพาะขนาดและรูปร่าง ลักษณะการกระจายตัว หรือลักษณะการอัดตัวกัน
3. อัตราส่วนของของแข็งต่อของเหลว
4. วัตถุประสงค์ของการกรอง ต้องการเก็บเกี่ยวส่วนที่เป็นของแข็ง หรือของเหลวหรือทั้งสองส่วน
5. ปริมาณของเหลวที่ต้องการกรอง
6. ควรใช้ระบบแบบกะ หรือระบบต่อเนื่องในการกรอง
7. จำเป็นต้องใช้สภาพปลอดเชื้อหรือไม่
8. จำเป็นต้องใช้ความดัน หรือ การดูดด้วยระบบสุญญากาศ (vacuum suction) เพื่อช่วยย่นของเหลวมีอัตราการไหลที่ดีหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามปกติการกรองแบบที่เรียหรือสารอื่นที่มีขนาดเล็กมาก ๆ หรือซัสเพนชันที่มีลักษณะเหนียว จะนิยมใช้สารช่วยกรอง (filter aid) เช่น kieselguhr (diatomaceous earth) เคลือบ แผ่นกรองก่อนที่จะใช้งาน เพื่อป้องกันการอุดตัน หรืออาจเติมสารช่วยกรองผสมลงไปของเหลวที่ต้องการกรอง

ในการผลิตมวลเซลล์จุลินทรีย์ ไม่ควรใช้สารช่วยกรอง เพราะจะทำให้ปนเปื้อนเข้าไปในผลผลิตซึ่งเป็นตัวเซลล์ได้ โดยทั่วไปนิยมใช้ความร้อน ทำให้เซลล์จับตัวกันเป็นกลุ่ม ซึ่งจะช่วยให้กรองได้ง่ายขึ้น หรือเติมสารที่ทำให้เซลล์จับกลุ่มกันได้ดี (flocculant) ลงไปก่อนนำไปเข้าเครื่องกรอง

เครื่องกรองแบบง่าย ๆ มีลักษณะแสดงในรูปที่ ประกอบด้วยตัวค้ำจุน (support) ซึ่งมีรูพรุนอยู่ใต้ชั้นผ้ากรอง ด้านบนของผ้ากรองมีสารช่วยกรองและของแข็งที่ต้องการกรองสะสมอยู่เป็นชั้น เรียกว่า filter cake ซึ่งจะมีความหนาเพิ่มขึ้นตามลำดับระยะเวลาในการกรองที่นานขึ้น ถ้า filter cake ยิ่งหนามาก ก็จะทำให้มีความต้านทานต่อการไหลของของเหลวมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น ถ้าใช้ความดันคงที่กดลงบนผิวหน้าของของเหลวที่ต้องการกรอง ก็จะทำให้อัตราการไหลของของเหลว ลดลงตามความลึกของ filter cake ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้อัตราการไหลยังอาจลดลงได้เนื่องจากการอุดตันของรูในผ้ากรอง และในกรณีที่อนุภาคของแข็งมีลักษณะนุ่มและสามารถอัดตัวกันแน่นได้จนทำให้ ไม่มีช่องว่างระหว่างอนุภาค



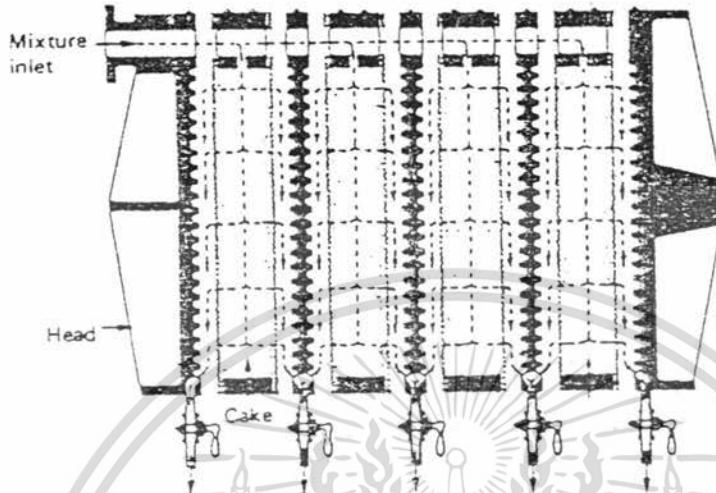
รูปที่ 22 ใคอะแกรมแสดงลักษณะและส่วนประกอบของ เครื่องกรองแบบง่าย ๆ

สำหรับชนิดของ เครื่องกรองที่ใช้ในอุตสาหกรรมหมัก แบ่งได้เป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ เครื่องกรองแบบกะ และ เครื่องกรองแบบต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกรองแบบกะ

เป็นเครื่องกรองที่ทำงานแบบไม่ต่อเนื่อง แบบที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมได้แก่ plate-frame filter ซึ่งอาศัยความดันช่วยในการกรอง แบบง่ายที่สุดประกอบด้วยเพลท (plate) ที่คลุมด้วยผ้ากรองหรือแผ่นกรอง เรียงสลับกับกรอบ (frame) ดังแสดงในรูป



รูปที่ 23 โคโตะแกรมแสดงส่วนประกอบและลักษณะการทำงานของ plate-frame filter

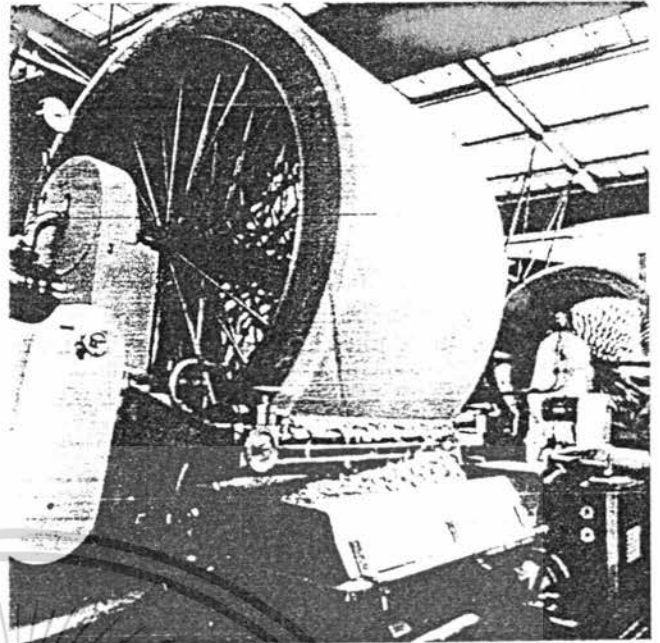
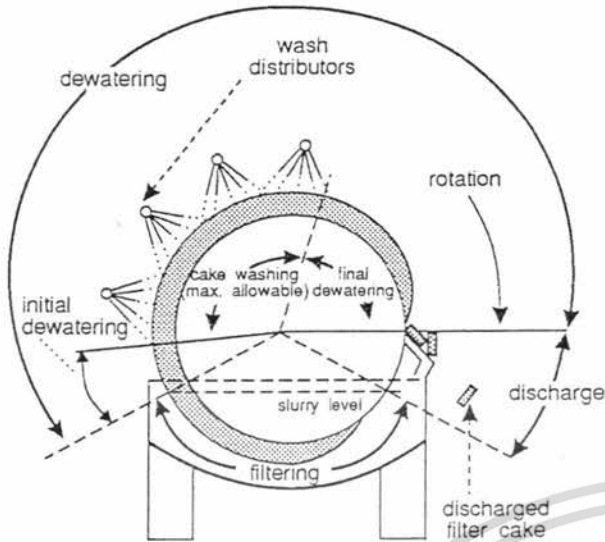
ของเหลวที่ต้องการกรอง จะถูกส่งผ่านเข้าไปในช่องทางด้านบนของเครื่องซึ่งต่อเนื่องไปยังแต่ละเพลท แล้วไหลผ่านลงมาตามร่องกลางเพลทและซึมออกทางด้านข้าง ผ่านลงมาตามท่อและไหลออกทางวาล์วด้านล่าง เมื่อทำการกรองจนตะกอนอุดตันแผ่นกรองแล้ว จะต้องถอดเพลทออกมาล้างตะกอนออกก่อน แล้วจึงประกอบเข้าใหม่ได้

เครื่องกรองชนิดนี้เหมาะสำหรับกรองของเหลวที่มีของแข็งปริมาณน้อยนิยมใช้ในการกรองยีสต์ที่เหลือปริมาณเพียงเล็กน้อยในอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ หลังจากที่ผ่านมาทำให้สะดวกโดย rotary vacuum filter มาแล้ว และเหมาะสำหรับกรองของแข็งที่มีราคาแพงซึ่งไม่สามารถใช้เครื่องกรองแบบต่อเนื่องได้ แต่ไม่เหมาะสำหรับกำจัดของแข็งที่ราคาถูกปริมาณมาก ๆ เนื่องจากต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูงในการถอดเครื่องเพื่อล้างและประกอบเครื่องใหม่

เครื่องกรองแบบต่อเนื่อง

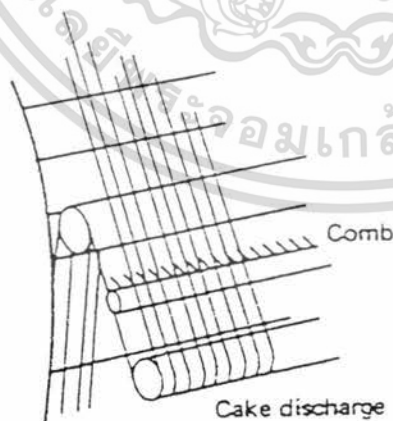
เหมาะสำหรับกรณีที่ต้องการกรองของเหลวปริมาณมาก ๆ เครื่องกรองแบบต่อเนื่องที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมได้แก่ rotary vacuum filter ซึ่งประกอบด้วยถังรูปทรงกระบอก มีแกนหมุนอยู่ที่ศูนย์กลาง ภายในแบ่งเป็นช่อง ๆ ตามแนวรัศมี เพื่อเป็นช่องทางสำหรับดูดของเหลวเข้าไปภายในเครื่อง และด้านนอกห่อหุ้มด้วยผ้ากรองหรือแผ่นกรองที่ทำจากโลหะ (metal filter) ดังรูปที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



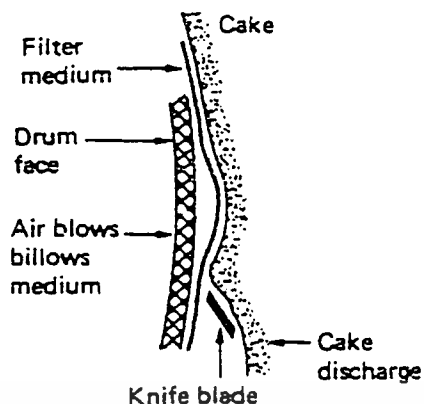
รูปที่ 24 โดอะแกรมแสดงส่วนประกอบและลักษณะการทำงานของ rotary vacuum filter

ในขณะที่กรอง ถังกรองจะหมุนอย่างช้า ๆ ด้วยความเร็วประมาณ 1 รอบต่อนาที โดยมี บางส่วนของถังจุ่มอยู่ในอ่างบรรจุอาหารเหลว อาหารเหลวจะถูกดูดผ่านแผ่นกรองเข้าไปรวมช่องภายใน ตัวถัง โดยการใช้แรงดูดสุญญากาศจากด้านใน แล้วไหลเข้าสู่ช่องทางออกเพื่อส่งต่อไปยังภาชนะรองรับ ส่วนของแข็งจะติดอยู่บนแผ่นกรองด้านนอก และถูกกำจัดออกไปโดยการลดแรงดูดสุญญากาศจากภายใน หรืออาจใช้ความดันอากาศส่งเข้าไปดันตะกอนไม่ให้ติดแน่นกับถังกรอง แล้วจึงขูดออกโดยใช้เส้นลวด (string discharge) หรือ ไบมีด (scraper discharge) ดังรูป



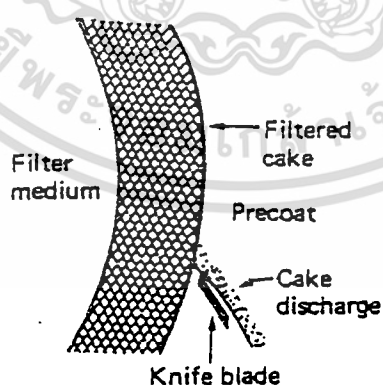
รูปที่ 25 โดอะแกรมแสดงลักษณะของ string discharge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 26 ไดอะแกรมแสดงวิธีการกำจัดตะกอนออกจาก rotary vacuum filter โดยใช้ scraper discharge

String discharge จะเหมาะสำหรับกำจัดตะกอนที่มีโมล็ดเลียมของเชื้อราปะปนอยู่แต่ถ้าเป็นเซลล์ยีสต์หรือแบคทีเรีย ควรเลือกใช้ scraper discharge อย่างไรก็ตามกรณีที่ใช้ scraper discharge จะเห็นได้ว่าใบมีดอยู่ใกล้ถึงกรองและมีโอกาสที่จะทำให้แผ่นกรองสึกหรอหรือขาดได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงนิยมเคลือบแผ่นกรองด้วยสารช่วยกรองให้หนาประมาณ 2-10 เซนติเมตรก่อนที่จะทำการกรอง และติดตั้งใบมีดไว้ในระยะที่เหมาะสมดังรูปที่ การใช้สารช่วยกรองเคลือบแผ่นกรองนอกจากจะช่วยให้ใบมีดไม่มีโอกาสสัมผัสกับแผ่นกรองแล้ว ยังช่วยลดปัญหาการอุดตันของแผ่นกรอง เนื่องจากเซลล์จุลินทรีย์อีกด้วย



รูปที่ 27 ไดอะแกรมแสดง rotary vacuum filter ที่มีสารช่วยกรองเคลือบอยู่ โดยใช้ scraper discharge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ เชนตริฟิวจ์

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตกตะกอนได้แก่ ความแตกต่างของความหนาแน่นของ เซลล์กับของเหลว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ เซลล์และความหนืดของของเหลว ในทางทฤษฎี เซลล์ที่ต้องการแยกควรมีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นแตกต่างจากของเหลวมาก และของเหลวควรมีความหนืดต่ำ แต่ในทางปฏิบัติปกติ เซลล์จะมีขนาดเล็กมาก มีความหนาแน่นต่ำและมักแขวนลอยอยู่ในอาหาร เหลวที่มีความหนืดสูง ดังนั้นจึงนิยมทำให้เซลล์เกิดการจับกลุ่มกันก่อนที่จะนำไป เชนตริฟิวจ์ เพื่อให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะทำให้ตกตะกอนได้ง่ายขึ้น

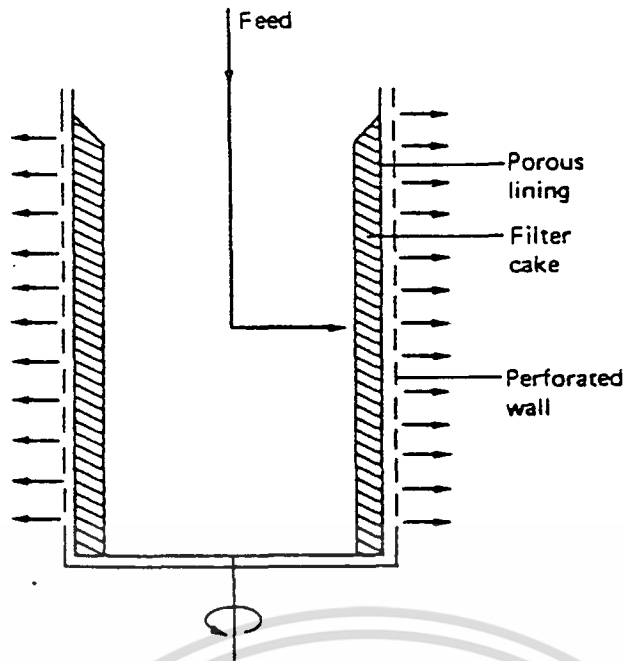
ชนิดของ เครื่อง เชนตริฟิวจ์

เครื่อง เชนตริฟิวจ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการหมักมีหลายชนิด แตกต่างกันที่รูปร่าง ความจุ อัตราเร็วในการแยกสาร และลักษณะการไหลออกของของเหลวและของแข็ง การเลือกใช้ เครื่อง เชนตริฟิวจ์ให้เหมาะสมกับกระบวนการหมัก จะต้องพิจารณาและทดสอบให้แน่ใจว่า เครื่อง เชนตริฟิวจ์นั้นสามารถแยกสารที่ต้องการได้ในอัตราเร็วที่เพียงพอกับอัตราการผลิตที่วางแผนไว้ เสียค่าใช้จ่าย และใช้แรงงานน้อยที่สุด

Basket centrifuge

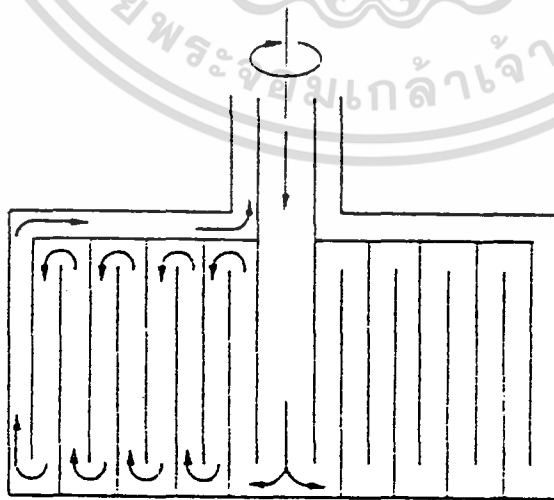
ประกอบด้วยตะกร้า เจาะรูปทรงด้วยถุงกรองที่ทำจากไนลอนหรือผ้าย ดั้งแสดงในรูปที่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และเมื่อตะกอนเต็มตะกร้าแล้ว ก็สามารถล้างตะกอนก่อนที่จะนำออกมาได้ นิยมใช้ในการแยกโมซีเลียมของเชื้อรา หรือสารประกอบที่มีลักษณะเป็นผลึก ตามปกติใช้ อัตราเร็วในการ เชนตริฟิวจ์ได้สูงถึง 4,000 รอบต่อนาที อัตราการไหลเข้าของของเหลว 50-300 ลิตรต่อนาที ข้อเสียของ เครื่อง เชนตริฟิวจ์แบบนี้คือ รูของตะกร้าอาจอุดตันได้ ถ้าสารที่ต้องการกรองมีลักษณะนิ่ม ทำให้ไม่สามารถใช้แรงเหวี่ยงสูง ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 28 โดอะแกรมแสดงลักษณะและการทำงานของ basket centrifuge

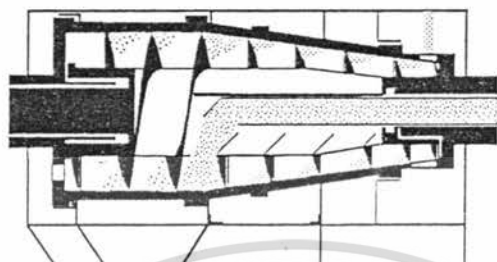
Multichamber centrifuge ประกอบด้วย concentric chamber วางซ้อนกันอยู่ในโรเตอร์ (rotor) ดังแสดงในรูปที่ ของเหลวไหลเข้าสู่เครื่อง เซนตริฟิวจ์ตรงกลางของแกนหมุน แล้วไหลก้อ้อมผ่านเข้าไปใน concentric chamber ของแข็งจะถูกแยกออกมาติดอยู่บนผิวของ concentric chamber แต่ละอัน โดยอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าจะถูกแยกออกมาที่ concentric chamber ชั้นนอก ๆ ซึ่งมีแรงเหวี่ยงสูงกว่าชั้นใน เครื่องเซนตริฟิวจ์แบบนี้ ที่มีโรเตอร์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 46 เซนติเมตร จะใช้อัตราเร็วในการหมุนได้สูงสุด 6,500 รอบต่อนาที และมีความจุสูงสุด 76 ลิตร เหมาะสำหรับใช้แยกอนุภาคของแข็งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1-200 ไมโครเมตร และมีปริมาณของแข็งไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 29 โดอะแกรมแสดงลักษณะของ multichamber centrifuge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solid bowl scroll centrifuge มีลักษณะดังรูป เหมาะสำหรับใช้แยกวัตุคืบที่มีลักษณะ
หยาบอย่างต่อเนื่อง เช่น sewage sludge

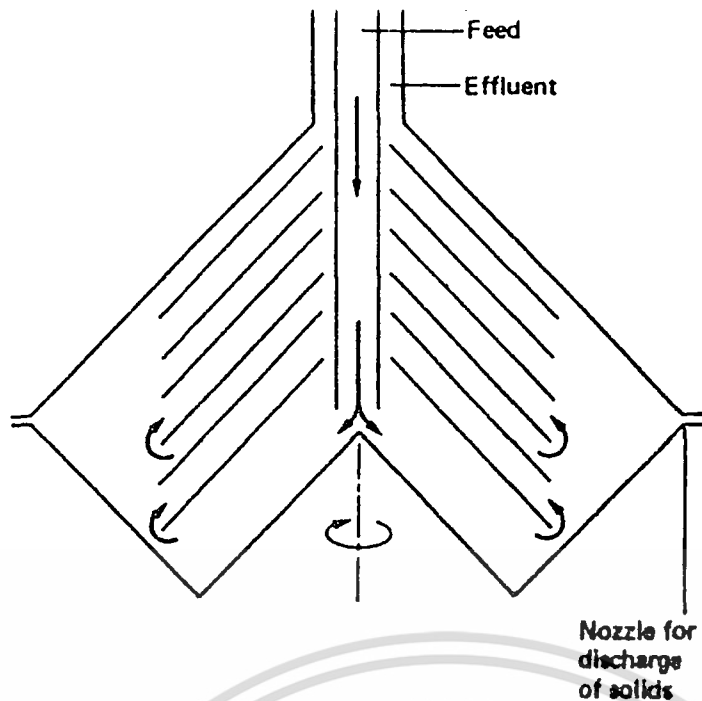


รูปที่ 30 ไลอะแกรมแสดงลักษณะของ solid-bowl scroll centrifuge

ของเหลวจะถูกส่งให้ไหลผ่านกลางแกนหมุนที่มีลักษณะเป็นสกรูรูปโรคน ซึ่งอยู่ภายในถังของ
แฉียงจะตกตะกอนอยู่บนผนังของถัง และถูกกำจัดออกไปทางด้านปลายโรคน ความลาดเอียงที่บริเวณ
โรคนของแกนหมุน จะช่วยกำจัดของเหลวที่เหลือ ออกจากตะกอนของแฉียงอีกครั้ง ก่อนที่ของแฉียงจะ
ถูกส่งออกมาภายนอก เครื่องเซนตริฟิวจ์แบบนี้ ขนาดใหญ่ที่สุดสามารถแยกของเหลวได้ 200,000
ลิตรต่อชั่วโมง และแยกของแฉียงได้ 40 ตันต่อชั่วโมง สำหรับอัตราเร็วในการหมุนสูงสุดจะจำกัดอยู่ที่
2,000- 4,000 รอบต่อนาที เนื่องจากความไม่สมดุลภายในถัง

Disc-bowl centrifuge ประกอบด้วยแผ่นดิสก์รูปกรวย วางซ้อนกันอยู่ในโรเตอร์ดังแสดงใน
รูปที่ ของเหลวที่ต้องการแยกจะไหลผ่านเข้าไปตามท่อที่อยู่ตรงกลาง และถูกเหวี่ยงให้ไหลย้อนขึ้นไป
ตามช่องว่างระหว่างดิสก์ ซึ่งทำมุม 45 องศา กับแกนหมุน แล้วไหลออกทางด้านบน ส่วนของแฉียงจะ
ไหลออกมาที่ขอบถังและสะสมอยู่ด้านในของโรเตอร์ เครื่องเซนตริฟิวจ์แบบนี้สามารถทำงานได้อย่างต่อ
เนื่อง และมีข้อดีคือสามารถออกแบบให้กำจัดของแฉียงออกจากระบบได้อย่างต่อเนื่อง แต่ก็มีข้อเสีย คือ
ไม่สามารถแยกน้ำออกจากของแฉียงได้อย่างสมบูรณ์ และต้องใช้แรงงานมากในการทำความสะดวกดิสก์
การใช้เครื่องเซนตริฟิวจ์แบบนี้ตามปกติจะสามารถแยกของเหลวได้ 45-1,800 ลิตรต่อนาที

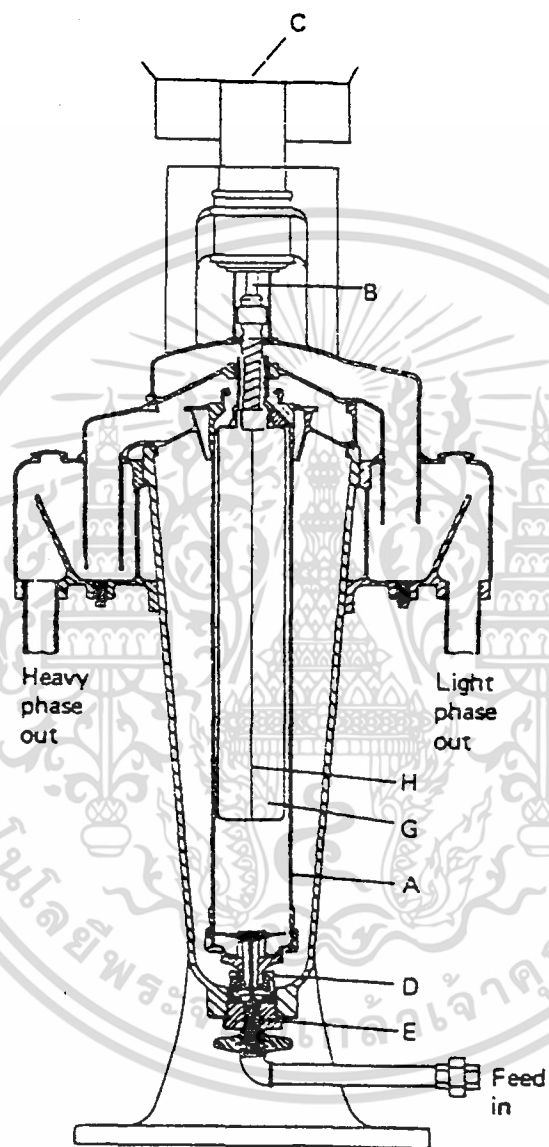
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 31 ไลอะแกรมแสดงลักษณะและการทำงานของ disc-bowl centrifuge

Tubular-bowl centrifuge ตัวอย่างเครื่องเซนตริฟิวจ์แบบนี้ได้แก่ Sharples Super-centrifuge ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ เหมาะสำหรับใช้แยกอนุภาคของแข็งขนาด 0.1-200 ไมครอน และมีปริมาณของแข็งไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 32 โคอะแกรมแสดงภาพตัดขวางของ Sharples Super-centrifuge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเซนตริฟิวจ์แบบนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ cylindrical bowl (A) ซึ่งอาจมีการออกแบบแตกต่างกันไปขึ้นกับการใช้งาน flexible shaft (B) เป็นแกนหมุนที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์หรือกังหันอากาศ (C) ที่อยู่ด้านบน ของเหลวจะไหลเข้าสู่เครื่องผ่านหัวฉีด (E) ซึ่งยึดติดอยู่กับฝาประกับเพลาทงด้านล่าง (D)

ข้อดีของเครื่องเซนตริฟิวจ์แบบนี้ได้แก่ มีแรงเหวี่ยงสูง แยกน้ำออกจากของแข็งได้ดี ทำความสะอาดง่าย และปรับใช้งานได้หลายแบบคือ ใช้แยกของเหลวที่มีความหนาแน่นต่างกันออกจากกัน หรือใช้แยกของแข็งออกจากของเหลว หรือใช้แยกของแข็งและของเหลวที่มีความหนาแน่นต่างกันออกจากกันได้ในเวลาเดียวกัน โดยของแข็งจะตกตะกอนอยู่บนผนัง cylindrical bowl ของเหลวที่มีความหนาแน่นสูงกว่าจะอยู่ที่บริเวณ (G) ของเหลวที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าจะอยู่ที่บริเวณ (H) และสามารถปรับให้ไหลแยกออกไปต่างทิศทางกันได้ สำหรับข้อเสียของเครื่องเซนตริฟิวจ์แบบนี้ได้แก่ มีความจุของแข็งต่ำ และประสิทธิภาพในการแยกของแข็งลดลง เมื่อมีของแข็งสะสมอยู่ในเครื่องมากขึ้น

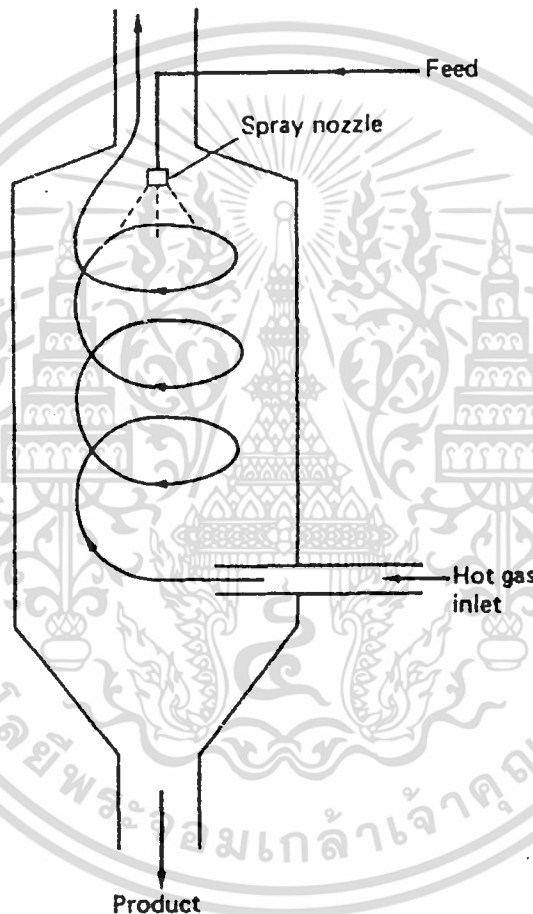
การทำแห้ง

การเก็บเกี่ยวผลผลิตหรือเซลล์จุลินทรีย์ ในขั้นสุดท้ายมักมีการทำให้แห้ง ก่อนที่จะบรรจุหีบห่อ และนำไปเก็บรักษาไว้เพื่อรอจำหน่าย เนื่องจากผลผลิตหรือเซลล์จุลินทรีย์ที่อยู่ในสภาพแห้ง จะบรรจุหีบห่อได้ง่าย ขนย้ายสะดวก ดูแลรักษาง่าย เก็บไว้ได้นาน และประหยัดค่าขนส่ง

ในกรณีผลผลิตที่มีลักษณะ เป็นของแข็ง จะสามารถทำแห้งได้ง่าย ๆ โดยการใช้ความร้อน แต่ในกรณีที่ผลผลิตอยู่ในสภาพสารละลาย เครื่องมือที่นิยมมาใช้ในการทำแห้ง ได้แก่ spray drier และ drum drier อย่างไรก็ตามก่อนที่จะนำผลผลิตหรือเซลล์จุลินทรีย์เข้าสู่เครื่องทำแห้ง ความปกติต้องกำจัดน้ำออกให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้เสียก่อน โดยใช้เครื่องกรองหรือเครื่องเซนตริฟิวจ์ เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการให้ความร้อนเพื่อทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

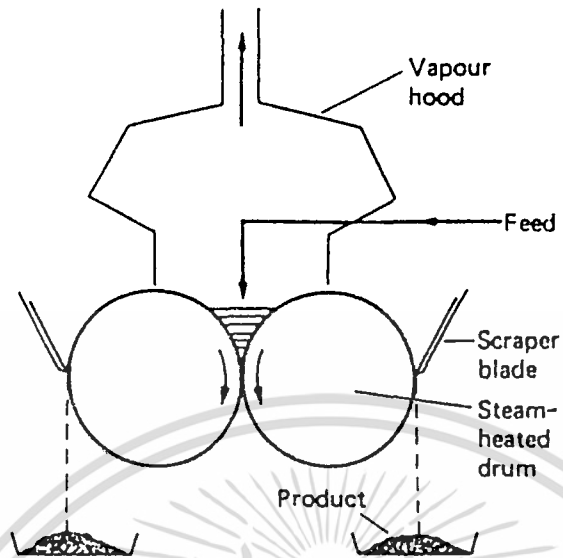
Spray drier เป็นเครื่องทําแห้งที่มีหลักการทํางานดังรูปที่ 33 สารที่ต้องการทําแห้งจะถูกพ่นผ่านหัวฉีดด้านบน ให้กระจายเป็นละอองขนาดเล็ก ซึ่งมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมาก ทําให้ระเหยกลายเป็นไอได้อย่างรวดเร็วภายในเวลาเพียง 2-3 วินาที เมื่อเคลื่อนที่ผ่านแก๊สร้อนอุณหภูมิสูง 150-250 องศาเซลเซียส ที่ทวนสวนทางเข้าไปทางด้านล่างของเครื่อง แม้ว่าทําแห้งโดยวิธีนี้จะใช้ความร้อนสูง แต่เนื่องจากของเหลวระเหยไปอย่างรวดเร็ว ผลของความร้อนที่เกิดจากการระเหยจึงช่วยป้องกันความเสียหายจากความร้อนที่อาจเกิดขึ้นต่อผลผลิตได้ อัตราการไหลของอากาศที่ทวนเข้าไปในเครื่องโดยทั่วไปจะต้องควบคุมให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถระเหยน้ำได้ตามปริมาณที่ต้องการ และตามปกติอากาศที่ผ่านออกจากเครื่องควรมีอุณหภูมิประมาณ 75-100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 33 ไดอะแกรมแสดงลักษณะการทํางานของเครื่อง spray drier

Drum drier เป็นเครื่องทําแห้งที่มีลักษณะดังรูปที่ 34 เหมาะสำหรับผลผลิตที่ทนความร้อนได้ดี การทําแห้งทําโดยใช้ไอน้ำที่ให้ความร้อน แล้วผ่านสารที่ต้องการทําแห้งลงไปในดรัมที่กำลังหมุนเข้าหากันอย่างช้า ๆ ความร้อนจากดรัมจะทําให้สารที่ต้องการแห้งติดอยู่ที่ผิวดรัม จากนั้นจึงใช้ใบมีดที่ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ขูดผลผลิตที่แห้งแล้วออกมาสู่ภาชนะรองรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 34 โค้ดแกรมแสดงลักษณะและการทำงานของเครื่อง drum drier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้คอมพิวเตอร์ในอุตสาหกรรมหมัก (Computer applications in fermentation technology)

การใช้คอมพิวเตอร์ในอุตสาหกรรมหมักเริ่มประมาณ ปี ค.ศ.1960 ในปี 1969 Yamashita และผู้ร่วมงานใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมกระบวนการหมัก (process control) กรดกลูตามิก และในปี 1969 เช่นกัน Grayson ใช้ในการควบคุมการผลิตเพนนิซิลิน และมีการใช้คอมพิวเตอร์ในอุตสาหกรรมหมักเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์มีราคาตกลงมาก และมีคอมพิวเตอร์ที่ยังมีราคาถูกมากจึงมีการใช้คอมพิวเตอร์กันอย่างกว้างขวาง ปัจจุบันราคาคอมพิวเตอร์คิดเป็นสัดส่วนน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับราคาของระบบในการผลิตทั้งหมด

คอมพิวเตอร์ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหมักเป็น 3 แบบ คือ

1. บันทึกรายละเอียดของกระบวนการ (Logging of process data)

การบันทึกรายละเอียดของกระบวนการหมักทำโดย data acquisition system ซึ่งประกอบด้วยโปรแกรมที่ตรวจสอบสัญญาณจากเครื่องวัดชนิดต่างๆ เป็นระยะ ๆ และมีโปรแกรมที่บันทึกรายละเอียดต่าง ๆ เก็บไว้

2. การวิเคราะห์รายละเอียด (Data analysis or Reduction of logged data)

การวิเคราะห์รายละเอียดของกระบวนการหมักทำโดย data analysis system ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ได้มาจากการใช้สมการคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม รายละเอียดที่วิเคราะห์แล้วจะถูกพิมพ์บันทึกไว้ หรือป้อนเก็บไว้ใน data bank หรือใช้เพื่อควบคุมกระบวนการหมัก (process control)

3. การควบคุมกระบวนการหมัก (Process control)

การควบคุมกระบวนการหมักทำได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สัญญาณจากคอมพิวเตอร์จะ
ไปกระตุ้นปั๊มหรือวาล์วหรือสวิช โดยผ่านทาง interface นอกจากนั้นโปรแกรมคอมพิวเตอร์อาจมีคำสั่ง
สั่งให้แสดงว่าเครื่องมือชิ้นไหนกำลังทำงาน หรือกระตุ้นสัญญาณเตือน (alarm) ถ้ามีข้อผิดพลาดในกระ
บวนการหมักจนการควบคุมโดยให้คอมพิวเตอร์ไม่ได้ผล

คอมพิวเตอร์อาจช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงสุด (process
optimization) ได้ โดยการวิเคราะห์รายละเอียดของกระบวนการหมักเปรียบเทียบกับรายละเอียดที่
รวบรวมไว้ก่อน แล้วใช้โปรแกรมควบคุมการผลิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เศรษฐศาสตร์การหมัก

ต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรมการหมักสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. ต้นทุนคงที่ (fixed costs) เช่น ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างอาคาร ค่าที่ดิน ค่าอสังหาริมทรัพย์และอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมทั้งค่าติดตั้ง
2. ต้นทุนแปรผัน (variable costs) เช่น ค่าวัตถุดิบในการผลิต ค่าเชื้อเพลิง ค่าสาธารณูปโภค ค่าจ้างหน้าที่ฝ่ายต่าง ๆ ค่าบ่มรักษาเสียและบริการอื่น ๆ

ในการพัฒนากระบวนการหมักแต่ละชนิดจำเป็นต้องศึกษาหาต้นทุนต่าง ๆ อย่างละเอียดเพื่อจะได้ทราบว่าต้นทุนในส่วนใดที่อาจประหยัดลงได้มาก ในการผลิต SCP มีต้นทุนในส่วนต่าง ๆ ของกระบวนการหมัก คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของต้นทุนทั้งหมดดังต่อไปนี้

| | |
|------------------------|----|
| Raw materials | 62 |
| Utilities | 10 |
| Labour and supervision | 9 |
| Fixed charges | 19 |
| Maintenance | ** |

หมายเหตุ ** รวมอยู่ใน 9 เปอร์เซ็นต์ ของค่าแรงงาน และค่าควบคุมดูแล (labour and supervision)

ในปี ค.ศ.1977 Nyiri และ Charles ได้รวบรวมรายงานจากแหล่งต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก และสรุปว่าค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมการหมักโดยทั่วไป จะมีลำดับจากมากไปหาน้อยดังนี้คือ ค่าวัตถุดิบ ต้นทุนคงที่ ค่าสาธารณูปโภค และค่าแรงงาน

ในกรณีที่ต้นทุนในการผลิตส่วนใหญ่เกิดจากค่าวัตถุดิบ การลดต้นทุนการผลิตจะสามารถทำได้โดยการวิจัยพัฒนาเพื่อปรับปรุงสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ และส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อเพราะจะทำให้ลดค่าใช้จ่ายลงได้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปจะต้องพยายามทำให้ปัจจัยพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนการผลิตมีค่าใช้จ่าายน้อยที่สุด คือ

1. ถังหมักและเครื่องมือต่าง ๆ ควรเลือกใช้แบบที่เหมาะสม มีความแข็งแรงทนทานราคาถูก และสามารถใช้กับกระบวนการหมักได้หลายชนิด
2. ควรเลือกใช้วัตถุดิบที่มีราคาถูกที่สุด หาได้ง่ายตลอดเวลา และถ้าเป็นไปได้ควรเลือกใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่น ขนส่งได้สะดวก เก็บรักษาง่าย เตรียมเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อได้ง่าย ไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการให้อากาศและการกวนผสม นำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้เกิดของเสียและน้ำทิ้งปริมาณน้อยที่สุด ไม่ก่อให้เกิดปัญหาในกระบวนการเก็บเกี่ยวและการทำให้บริสุทธิ์ และต้องมีการวิจัยพัฒนาเพื่อหาวัตถุดิบอื่นที่อาจใช้ทดแทนกันได้ในการมีที่มีปัญหา เช่น วัตถุดิบชนิดเดิมมีราคาสูงขึ้นหรือเกิดการขาดแคลน เป็นต้น
3. เลือกใช้จุลินทรีย์ที่ให้ผลผลิตสูงสุด เจริญได้เร็ว มีความคงตัวทางพันธุกรรมสูงสามารถเปลี่ยนสับสเตรทไปเป็นผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่สร้างสารพิษ ไม่ทำให้เกิดโรค มีสัณฐานวิทยาที่ทำให้แยกออกจากอาหารเหลวได้ง่าย ซึ่งจะช่วยให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวและควรมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญสูง เพื่อที่จะได้ลดค่าใช้จ่ายในการหล่อเย็นในขณะหมัก
4. ควบคุมกระบวนการผลิตให้มีการใช้แรงงานน้อยที่สุด และถ้าเป็นไปได้ควรเลือกใช้เครื่องจักรแทนแรงงานคน
5. เมื่อใช้กระบวนการผลิตแบบกะ ควรใช้วงจรการผลิตสั้นที่สุด เก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลผลิตต่อหน่วยเวลาสูงสุด หรืออาจใช้ระบบ fed-batch แทน
6. ควรเลือกใช้วิธีการเก็บเกี่ยวผลผลิตและการทำให้บริสุทธิ์แบบง่าย ๆ รวดเร็วใช้ขั้นตอนน้อยที่สุด แต่เก็บเกี่ยวผลผลิตได้มากที่สุด มีการสูญเสียผลผลิตน้อยที่สุด และเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เลือกใช้กระบวนการบำบัดน้ำทิ้งที่เหมาะสม ควบคุมกระบวนการผลิตให้มีการใช้น้ำน้อยที่สุด มีการแยกน้ำทิ้งจากหน่วยต่าง ๆ ที่มีความสกปรกต่างกันออกจากกัน บำบัดน้ำทิ้งส่วนที่มีความสกปรกมากแยกจากส่วนอื่น ๆ และหมุนเวียนน้ำทิ้งที่มีความสกปรกไม่มากนักกลับมาใช้ในหน่วยที่พอจะใช้ได้ เช่น การใช้น้ำหล่อเย็นในการล้างถังหมัก หรือใช้น้ำหล่อเย็นในการฉีดล้าง filter cake ออกจากเครื่องกรอง การใช้ของเหลวที่ได้จากการหมัก SCP หลังจากที่กรองแยกเซลล์จุลินทรีย์เรียบร้อยแล้ว หมุนเวียนกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตอีกก็จะทำให้ประหยัดการใช้น้ำ ทำให้มีน้ำทิ้งปริมาณน้อยที่สุด และลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำทิ้ง

8. ควบคุมการใช้ความร้อนและพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การนำน้ำหล่อเย็นซึ่งมีอุณหภูมิสูงไปใช้ในการให้ความร้อนอาหารเลี้ยงเชื้อก่อนที่จะสเตอริไลส์ เป็นต้น

9. ใช้พื้นที่น้อยที่สุด แต่ควรมีพื้นที่เผื่อไว้สำหรับการขยายงานได้

จะเห็นว่าต้นทุนการผลิตของกระบวนการหมัก ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ไปพร้อมกัน เพื่อให้ได้กระบวนการผลิตที่มีต้นทุนรวมน้อยที่สุด

บทบาทของมันสำปะหลัง

ปัญหาประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงทศวรรษ 1970 ในขณะที่มีพื้นที่จำกัดจึงทำให้ปัญหาทางด้านอาหารจึงเป็นปัญหาที่มีความสำคัญยิ่งในประเทศกำลังพัฒนา โดยเฉพาะในเอเชีย และแอฟริกา ซึ่ง FAO ได้คาดการณ์ว่าจะผลิตอาหารไม่พอที่จะเลี้ยงตัวเอง คือ ปริมาณแคลอรีที่ได้ไม่พอกับความต้องการของร่างกายซึ่งปัญหานี้ "มันสำปะหลัง" น่าจะเป็นคำตอบได้

มันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญเป็นอันดับ 7 ของโลกรองจากรัญญาพืชชนิดต่างๆ ซึ่งมันสำปะหลังนี้ปลูกได้ทั่วไปในแถบเขตร้อน, ระดับความสูงไม่เกิน 2,000 เมตร, อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 18-35 องศาเซลเซียส, พีเอชระหว่าง 5-9 และมีปริมาณน้ำฝน 20-200 นิ้วต่อปี

ลักษณะของมันสำปะหลัง

อธิบายเป็นแต่ละส่วน ได้ดังนี้

1. ต้น มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่ม ความสูงอยู่ระหว่าง 1-5 เมตร จัดเป็นไม้เนื้ออ่อนมี pith ขนาดใหญ่ ลำต้นมีเปลือกบางลอกได้ง่าย ระยะเวลาที่พืชเจริญเติบโตเร็วอยู่ในช่วงฤดูฝน
2. ใบ ใบมันฯ เป็นแบบ simple leaf แผ่นใบประกอบด้วยแฉกใบปลีกแบบ palmate ซึ่งตามปกติใบมี 3-9 lobe (แฉกใบ) ซึ่งในแต่ละพันธุ์จะมี lobe ที่มีรูปร่างแตกต่างกันไป
3. ดอก มันสำปะหลัง เป็นพืชที่มีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่แยกดอกกันแต่จะอยู่ในช่อดอกเดียวกัน ดอกตัวเมียมามีขนาดใหญ่กว่าดอกตัวผู้
4. รากหรือหัว มันสำปะหลังมีระบบรากชนิด Adventitious Root System รากจะเกิดจากส่วนต่างๆของต้นได้ คือจาก cambium, จากตา, จาก leaf scar และจากโคนของ shoot รากของมันสำปะหลังมี 2 ชนิด คือ รากจริงและรากสะสม ซึ่งรากจริงจะเจริญไปทางด้านลึก แต่สำหรับรากสะสมจะเจริญทางด้านข้าง และจะเริ่มขยายขนาดเพราะการสะสมแป้งใน parenchyma cell ซึ่งภายหลังจะเรียกรากสะสมนี้ว่า หัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลัง

หัวมันสำปะหลังเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญโดยประกอบด้วยแป้ง, น้ำตาล, cellulose และ hemicellulose ซึ่งแป้งของมันสำปะหลังจะมีองค์ประกอบ 2 อย่างคือ amylose และ amylopectin ส่วนสารอาหารอื่นๆ ที่มีในมันสำปะหลังก็มี โปรตีน, วิตามิน และพวกเกลือแร่ ในปริมาณค่อนข้างต่ำ แต่มันสำปะหลังจะมีปริมาณแคลเซียมและวิตามินซีสูงมาก โดยเปรียบเทียบกับความต้องการของคนต่อวัน สำหรับรายละเอียดอื่นๆ อยู่ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงส่วนประกอบของสารอาหารที่มีในมันสำปะหลังในส่วนที่กินได้ 100 กรัม

| ส่วนประกอบ | หน่วยวัด | ชนิดของพืชหัวที่รับประทาน | | |
|--------------|-----------|---------------------------|----------|--------|
| | | มันสำปะหลังสด | มันฝรั่ง | มันเทศ |
| พลังงาน | kcal | 146.0 | 82.0 | 117.0 |
| น้ำ | กรัม | 62.5 | 78.0 | 70.0 |
| คาร์โบไฮเดรต | กรัม | 34.7 | 18.9 | 27.3 |
| โปรตีน | กรัม | 1.2 | 2.0 | 1.3 |
| ไขมัน | กรัม | 0.3 | 0.1 | 0.4 |
| แคลเซียม | มิลลิกรัม | 33.0 | 8.0 | 34.0 |
| เหล็ก | มิลลิกรัม | 0.7 | 0.7 | 1.0 |
| วิตามินเอ | IU | น้อยมาก | น้อยมาก | 500.0 |
| วิตามินบี 1 | มิลลิกรัม | 0.06 | 0.1 | 0.1 |
| วิตามินบี 2 | มิลลิกรัม | 0.03 | 0.03 | 0.05 |
| ไนอาซิน | มิลลิกรัม | 0.6 | 1.4 | 0.6 |
| วิตามินซี | มิลลิกรัม | 36.0 | 10.0 | 23.0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มันสำปะหลังกับประเทศไทย

ตารางที่ 7 มูลค่าสินค้าออกภาคเกษตรกรรมและสินค้าออกทั้งหมดของประเทศระหว่าง

พ.ศ. 2532-2536

หน่วย: ล้านบาท

Unit: million bahts

| ประเภทผลิตภัณฑ์ | ๒๕๓๒- 1989 | ๒๕๓๓ 1990 | ๒๕๓๔ 1991 | ๒๕๓๕ 1992 | ๒๕๓๖ 1993 | Products |
|-------------------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------------------------------|
| ข้าว | 45,462.3 | 27,769.5 | 30,515.8 | 36,213.8 | 32,946.6 | Rice |
| ผลิตภัณฑ์จากข้าว | 926.5 | 1,037.6 | 1,237.6 | 1,521.8 | 1,749.7 | Rice products |
| พืชอาหาร | 6,607.1 | 7,150.4 | 7,117.5 | 3,486.1 | 3,835.9 | Food crops |
| ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง | 23,974.8 | 23,136.8 | 23,175.1 | 27,592.8 | 19,552.1 | Cassava products |
| น้ำตาลและผลิตภัณฑ์ | 20,204.8 | 19,119.1 | 16,669.7 | 20,675.5 | 13,388.5 | Sugar and products |
| พืชที่ใช้น้ำมัน | 313.0 | 521.7 | 420.4 | 347.7 | 215.7 | Oil seeds |
| น้ำมันพืช | 148.6 | 154.5 | 158.8 | 160.9 | 165.2 | Vegetable oils |
| พืชเส้นใย | 7,897.6 | 8,438.2 | 8,669.9 | 8,953.6 | 8,967.5 | Fiber crops |
| พืชสวนผักและผลิตภัณฑ์ | 3,613.1 | 4,137.5 | 5,777.0 | 5,864.4 | 7,092.1 | Garden crop and products |
| ผลไม้และผลิตภัณฑ์ | 8,507.3 | 11,198.1 | 14,836.3 | 16,058.9 | 14,299.2 | Fruits and products |
| เครื่องเทศ | 250.4 | 268.1 | 211.8 | 286.6 | 262.1 | Spices |
| พืชอื่น ๆ | 1,119.3 | 1,347.5 | 1,409.7 | 1,569.5 | 1,520.2 | Miscellaneous crops |
| ชาและกาแฟ | 1,926.2 | 1,309.8 | 761.1 | 1,334.0 | 1,328.1 | Tea and coffee |
| ผลิตภัณฑ์อาหารอื่น ๆ | 1,898.8 | 2,408.6 | 3,279.9 | 4,363.2 | 5,080.2 | Other food products |
| ยาสูบและผลิตภัณฑ์ | 1,396.0 | 1,845.6 | 2,874.0 | 3,655.2 | 2,672.6 | Tobacco and products |
| ยางและผลิตภัณฑ์ | 31,952.6 | 30,155.9 | 32,156.6 | 38,137.1 | 4,0631.2 | Rubber and products |
| สัตว์มีชีวิต | 90.3 | 83.5 | 69.1 | 100.1 | 163.6 | Live animals |
| อาหารสัตว์ | 4,171.4 | 3,848.1 | 4,865.9 | 4,814.6 | 5,128.8 | Animal feed |
| ผลิตภัณฑ์จากสัตว์ | 8,875.5 | 11,291.1 | 15,170.3 | 17,019.8 | 16,829.6 | Animal products |
| ผลิตภัณฑ์นม | 231.3 | 295.8 | 307.2 | 357.6 | 527.5 | Milk products |
| ปุ๋ยและยาปราบศัตรูพืช | 125.6 | 253.6 | 380.8 | 291.6 | 315.2 | Fertilizer and pesticides |
| เครื่องจักรและเครื่องมือ เพื่อการเกษตร | 88.0 | 141.5 | 266.2 | 298.4 | 407.3 | Machinery and appliances for agricultural purposes |
| ผลิตภัณฑ์จากสัตว์น้ำ | 50,002.6 | 57,802.2 | 73,958.1 | 78,190.4 | 86,191.6 | Fishery products |
| กระดาษและผลิตภัณฑ์ | 1,761.2 | 1,232.5 | 1,634.1 | 1,937.1 | 2,259.6 | Paper and products |
| ไม้และผลิตภัณฑ์ | 8,353.5 | 8,595.4 | 9,505.9 | 10,916.1 | 12,912.8 | Wood and products |
| ผลิตภัณฑ์จากป่า | 637.2 | 623.8 | 601.2 | 763.8 | 847.8 | Forestry products |
| สินค้าเกษตรกรรม อื่น ๆ | 1.7 | 1.6 | 5.9 | 69.5 | 359.9 | Other agricultural products |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่ามันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์ของมันสำปะหลังมีลำดับของการส่งออกเป็นอันดับที่ 3 รองจากผลิตภัณฑ์อาหารทะเลและข้าว ตามลำดับ แสดงว่ามันสำปะหลังนั้นถือเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศไทยที่หารายได้ให้แก่ประเทศเป็นอย่างมากในแต่ละปี

ตารางที่ 7 (ต่อ)

| ประเทศ | เนื้อที่เก็บเกี่ยว (๑,๐๐๐ ไร่) Harvested area (1,000 rais) | | | | | | |
|---------------------|---------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | ๒๕๓๑ 1988 | ๒๕๓๒ 1989 | ๒๕๓๓ 1990 | ๒๕๓๔ 1991 | ๒๕๓๕ 1992 | ๒๕๓๑ 1988 | ๒๕๓๒ 1989 |
| รวมทั้งโลก | 94,543 | 96,725 | 94,728 | 99,279 | 98,535 | 148,725 | 151,773 |
| แอฟริกา | 53,931 | 54,588 | 53,450 | 58,637 | 58,144 | 67,007 | 6,504 |
| ไนจีเรีย | 1,000 | 10,250 | 10,212 | 12,713 | 11,250 | 20,000 | 15,425 |
| ชาอิร์ | 13,794 | 14,250 | 14,250 | 14,925 | 15,000 | 17,000 | 17,400 |
| แทนซาเนีย | 4,375 | 4,669 | 3,688 | 3,775 | 4,275 | 6,100 | 7,792 |
| กานา | 2,213 | 2,594 | 2,019 | 3,344 | 3,375 | 3,300 | 3,327 |
| ยูกันดา | 2,256 | 2,450 | 2,606 | 2,606 | 2,688 | 3,271 | 3,568 |
| โมซัมบิก | 3,625 | 5,875 | 5,900 | 6,075 | 6,081 | 3,400 | 4,000 |
| มาดากัสการ์ | 2,081 | 2,138 | 2,144 | 2,144 | 2,188 | 2,286 | 2,277 |
| อังโกลา | 3,125 | 3,125 | 3,125 | 3,125 | 3,250 | 1,980 | 1,800 |
| ไอวอรี โคสต์ | 1,488 | 1,531 | 1,581 | 1,762 | 1,875 | 1,400 | 1,460 |
| แคเมอรูน | 3,750 | 488 | 562 | 575 | 575 | 1,500 | 1,137 |
| เบนิน | 719 | 762 | 738 | 788 | 731 | 780 | 977 |
| คองโก | 663 | 688 | 688 | 625 | 625 | 761 | 699 |
| คินยา | 406 | 412 | 450 | 594 | 594 | 600 | 630 |
| กินี | 438 | 450 | 512 | 512 | 519 | 450 | 358 |
| แอฟริกากลาง | 1,044 | 1,063 | 1,200 | 1,250 | 1,250 | 533 | 560 |
| บูรุนดี | 338 | 381 | 319 | 325 | 331 | 614 | 698 |
| โตโก | 381 | 350 | 481 | 412 | 406 | 413 | 409 |
| ชาด | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 330 | 330 |
| อื่น ๆ | 2,785 | 2,662 | 2,525 | 2,637 | 2,681 | 2,289 | 2,200 |
| อเมริกาเหนือ-กลาง | 1,213 | 1,288 | 1,200 | 1,188 | 1,225 | 944 | 1,001 |
| คิวบา | 456 | 456 | 450 | 450 | 438 | 305 | 305 |
| ไฮติ | 469 | 512 | 469 | 425 | 425 | 300 | 327 |
| อื่น ๆ | 288 | 320 | 281 | 313 | 362 | 339 | 369 |
| อเมริกาใต้ | 14,300 | 15,256 | 15,925 | 15,744 | 15,331 | 28,284 | 30,593 |
| บราซิล | 10,950 | 11,756 | 12,112 | 12,144 | 11,775 | 21,674 | 23,668 |
| ปารากวัย | 1,438 | 1,462 | 1,506 | 1,500 | 1,375 | 3,891 | 3,978 |
| โคลัมเบีย | 931 | 1,069 | 1,294 | 1,088 | 1,144 | 1,282 | 1,509 |
| เวเนซุเอลา | 256 | 269 | 238 | 262 | 262 | 328 | 348 |
| อื่น ๆ | 725 | 700 | 775 | 750 | 775 | 1,109 | 1,090 |
| เอเชีย | 24,999 | 25,487 | 24,047 | 23,604 | 23,729 | 52,318 | 54,963 |
| ไทย | 9,668 | 9,957 | 9,297 | 8,960 | 9,066 | 22,307 | 24,264 |
| อินโดนีเซีย | 8,144 | 8,800 | 8,200 | 8,244 | 8,331 | 15,471 | 17,117 |
| อินเดีย | 1,675 | 1,556 | 1,512 | 1,519 | 1,544 | 5,417 | 4,833 |
| สาธารณรัฐประชาชนจีน | 1,450 | 1,419 | 1,444 | 1,444 | 1,444 | 3,277 | 3,320 |
| เวียดนาม | 1,988 | 1,750 | 1,606 | 1,669 | 1,738 | 2,839 | 2,585 |
| ฟิลิปปินส์ | 1,356 | 1,331 | 1,338 | 1,125 | 1,000 | 1,846 | 1,847 |
| ศรีลังกา | 313 | 288 | 269 | 250 | 212 | 492 | 421 |
| อื่น ๆ | 405 | 386 | 381 | 393 | 394 | 669 | 576 |
| โอเชียเนีย | 100 | 106 | 106 | 106 | 106 | 172 | 169 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

มหาวิทยาลัยสุโขทัยวิทยาเขตพิษณุโลก ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 เนื้อที่เก็บเกี่ยว, ผลผลิตและผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ของมันสำปะหลังทั้งในประเทศไทย

และประเทศผู้ผลิตที่สำคัญบางประเทศ ระหว่าง พ.ศ. 2531-2535

| ผลผลิต (๑,๐๐๐ ตัน) Production (1,000 tons) | | | ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (กก.) Yield per rai (kgs.) | | | | | Country |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------|--------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| ๒๕๓๓ 1990 | ๒๕๓๔ 1991 | ๒๕๓๕ 1992 | ๒๕๓๑ 1988 | ๒๕๓๒ 1989 | ๒๕๓๓ 1990 | ๒๕๓๔ 1991 | ๒๕๓๕ 1992 | |
| 149,844 | 151,668 | 151,444 | 1,573 | 1,569 | 1,582 | 1,528 | 1,537 | World Total |
| 67,542 | 69,940 | 70,445 | 1,242 | 1,192 | 1,264 | 1,193 | 1,212 | Africa |
| 19,043 | 20,339 | 20,000 | 2,000 | 1,505 | 1,865 | 1,600 | 1,778 | Nigeria |
| 17,600 | 18,227 | 18,300 | 1,232 | 1,221 | 1,235 | 1,221 | 1,220 | Zaire |
| 6,922 | 6,266 | 7,111 | 1,394 | 1,669 | 1,877 | 1,660 | 1,663 | Tanzania |
| 2,717 | 3,600 | 4,000 | 1,491 | 1,283 | 1,346 | 1,077 | 1,185 | Ghana |
| 3,339 | 3,599 | 3,780 | 1,450 | 1,456 | 1,281 | 1,381 | 1,406 | Uganda |
| 4,056 | 3,690 | 3,239 | 936 | 681 | 687 | 607 | 533 | Mozambique |
| 2,292 | 2,307 | 2,320 | 1,099 | 1,065 | 1,069 | 1,076 | 1,060 | Madagascar |
| 1,900 | 1,850 | 1,885 | 634 | 576 | 608 | 592 | 580 | Angola |
| 1,393 | 1,465 | 1,350 | 941 | 954 | 881 | 831 | 720 | Ivory Coast |
| 1,200 | 1,230 | 1,230 | 400 | 2,330 | 2,135 | 2,139 | 2,139 | Cameroun |
| 937 | 1,046 | 932 | 1,085 | 1,282 | 1,270 | 1,327 | 1,275 | Benin |
| 770 | 780 | 790 | 1,148 | 1,016 | 1,119 | 1,248 | 1,264 | Congo |
| 723 | 761 | 770 | 1,478 | 1,529 | 1,607 | 1,281 | 1,296 | Kenya |
| 658 | 658 | 660 | 1,027 | 796 | 1,285 | 1,285 | 1,272 | Guinea |
| 547 | 575 | 606 | 511 | 527 | 456 | 460 | 485 | Cent AFR.REP |
| 569 | 584 | 597 | 1,817 | 1,832 | 1,784 | 1,797 | 1,804 | Burundi |
| 593 | 511 | 480 | 1,084 | 1,169 | 1,233 | 1,240 | 1,182 | Togo |
| 330 | 330 | 330 | 733 | 733 | 733 | 733 | 733 | Chad |
| 1,953 | 2,122 | 2,065 | 822 | 826 | 773 | 805 | 770 | Others |
| 1,001 | 984 | 999 | 778 | 777 | 834 | 828 | 816 | NC America |
| 300 | 300 | 290 | 669 | 669 | 667 | 667 | 662 | Cuba |
| 300 | 290 | 240 | 640 | 639 | 640 | 682 | 565 | Haiti |
| 401 | 394 | 469 | 1,177 | 1,153 | 1,427 | 1,259 | 1,296 | Others |
| 31,300 | 31,617 | 29,343 | 1,978 | 2,005 | 1,965 | 2,008 | 1,914 | South America |
| 24,322 | 24,531 | 22,652 | 1,979 | 2,013 | 2,008 | 2,020 | 1,924 | Brazil |
| 3,550 | 3,900 | 3,300 | 2,706 | 2,721 | 2,357 | 2,600 | 2,400 | Paraguay |
| 1,939 | 1,645 | 1,836 | 1,377 | 1,412 | 1,498 | 1,512 | 1,605 | Colombia |
| 302 | 381 | 382 | 1,281 | 1,294 | 1,269 | 1,454 | 1,458 | Venezuela |
| 1,187 | 1,160 | 1,173 | 1,530 | 1,557 | 1,532 | 1,547 | 1,514 | Others |
| 49,810 | 48,936 | 50,463 | 2,093 | 2,157 | 2,071 | 2,073 | 2,127 | Asia |
| 20,701 | 19,705 | 20,356 | 2,307 | 2,437 | 2,227 | 1,999 | 2,245 | Thailand |
| 15,830 | 15,954 | 16,318 | 1,900 | 1,945 | 1,930 | 1,935 | 1,955 | Indonesia |
| 4,962 | 5,111 | 5,200 | 3,234 | 3,106 | 3,282 | 3,365 | 3,368 | India |
| 3,216 | 3,310 | 3,358 | 2,260 | 2,340 | 2,227 | 2,292 | 2,325 | China |
| 2,276 | 2,390 | 3,000 | 1,428 | 1,477 | 1,417 | 1,432 | 1,726 | Vietnam |
| 1,854 | 1,500 | 1,320 | 1,361 | 1,388 | 1,386 | 1,333 | 1,320 | Philippines |
| 384 | 359 | 302 | 1,572 | 1,462 | 1,428 | 1,436 | 1,425 | Sri Lanka |
| 587 | 607 | 609 | 1,652 | 1,492 | 1,541 | 1,545 | 1,546 | Others |
| 191 | 191 | 194 | 1,720 | 1,594 | 1,802 | 1,802 | 1,830 | Oceania |

Source : Thailand, Office of Agricultural Economics

Others, FAO Production Yearbook 1989,1990,1991

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่าประเทศไทยผลิตมันสำปะหลังได้เป็นอันดับ 1 ของเอเชียและผลิตได้มากเป็นอันดับ 2 หรือ 3 ของโลก อาจเนื่องมาจากการที่ประเทศไทยมีเนื้อที่ในการเพาะปลูกมากกว่าก็อาจเป็นไปได้อีกทั้งสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศที่เอื้ออำนวยในการปลูก ซึ่งเมื่อมาแยกตามภาคของ ไทยจะได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เนื้อที่, ผลผลิต และผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ของมันสำปะหลัง เป็นรายภาคของประเทศไทย ในระหว่างปี พ.ศ. 2534-2537 (ที่มา สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร)

| ภาค | เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่) | | | | เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่) | | | |
|--------------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Planted area (rais) | | | | Harvested area (rais) | | | |
| | ๒๕๓๔ | ๒๕๓๕ | ๒๕๓๖ | ๒๕๓๗ | ๒๕๓๔ | ๒๕๓๕ | ๒๕๓๖ | ๒๕๓๗ |
| 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | |
| ตะวันออกเฉียงเหนือ | 5,827,544 | 5,825,253 | 5,661,308 | 5,462,750 | 5,650,198 | 5,628,887 | 5,633,466 | 5,384,455 |
| เหนือ | 868,702 | 990,449 | 1,070,660 | 1,053,616 | 851,338 | 948,704 | 1,013,215 | 1,033,377 |
| กลาง | 2,626,498 | 2,507,749 | 2,368,407 | 2,300,905 | 2,458,335 | 2,488,275 | 2,340,927 | 2,224,013 |
| ใต้ | - | - | - | - | - | - | - | - |
| รวมทั้งประเทศ | 9,322,744 | 9,323,451 | 9,100,375 | 8,817,271 | 8,959,871 | 9,065,866 | 8,987,608 | 8,641,845 |

| ผลผลิต (ตัน) | | | | ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (กก.) | | | | Region |
|-------------------|------------|------------|------------|--------------------------|-------|-------|-------|---------------|
| Production (tons) | | | | Yield per rai (kgs.) | | | | |
| ๒๕๓๔ | ๒๕๓๕ | ๒๕๓๖ | ๒๕๓๗ | ๒๕๓๔ | ๒๕๓๕ | ๒๕๓๖ | ๒๕๓๗ | |
| 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | |
| 12,125,453 | 12,231,400 | 12,417,787 | 11,679,874 | 2,146 | 2,173 | 2,204 | 2,169 | North-Eastern |
| 1,934,198 | 2,229,097 | 2,263,999 | 2,219,578 | 2,272 | 2,350 | 2,234 | 2,148 | Northern |
| 5,645,389 | 5,895,226 | 5,521,111 | 5,191,895 | 2,296 | 2,369 | 2,359 | 2,334 | Central Plain |
| - | - | - | - | - | - | - | - | Southern |
| 19,705,040 | 20,355,723 | 20,202,897 | 19,091,347 | 2,199 | 2,245 | 2,248 | 2,209 | Whole Kingdom |

เมื่อดูจากเนื้อที่ที่ใช้ปลูกและผลผลิตที่ได้ตามรายภาคในตารางที่ 9 จะเห็นว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีพื้นที่เพาะปลูก และปริมาณผลผลิตที่มากที่สุด ส่วนภาคใต้จะไม่นิยมปลูกมันสำปะหลังเลย ซึ่งในที่นี้จะขอยกตัวอย่างจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ปลูกมันสำปะหลัง ดังตารางที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 เนื้อที่, ผลผลิต และผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ เป็นรายจังหวัด (ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) ระหว่างพ.ศ. 2534-2537 (ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร)

| จังหวัด | เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่) Planted area (rais) | | | | เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่) Harvested area (rais) | | | |
|---------------|-----------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | ๒๕๓๔ 1991 | ๒๕๓๕ 1992 | ๒๕๓๖ 1993 | ๒๕๓๗ 1994 | ๒๕๓๔ 1991 | ๒๕๓๕ 1992 | ๒๕๓๖ 1993 | ๒๕๓๗ 1994 |
| รวมทั้งประเทศ | 9,322,744 | 9,323,451 | 9,100,375 | 8,817,271 | 8,959,871 | 9,066,866 | 8,987,608 | 8,641,845 |
| นครพนม | 71,606 | 50,724 | 46,145 | 45,621 | 69,641 | 47,646 | 46,145 | 45,621 |
| สกลนคร | 157,197 | 161,427 | 149,413 | 161,612 | 142,407 | 149,651 | 149,413 | 152,569 |
| หนองคาย | 422,290 | 441,438 | 412,257 | 402,195 | 412,579 | 429,270 | 412,257 | 402,195 |

| ผลผลิต (ตัน) Production (tons) | | | | ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (กก.) Yield per rai (kgs.) | | | | Province |
|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| ๒๕๓๔ 1991 | ๒๕๓๕ 1992 | ๒๕๓๖ 1993 | ๒๕๓๗ 1994 | ๒๕๓๔ 1991 | ๒๕๓๕ 1992 | ๒๕๓๖ 1993 | ๒๕๓๗ 1994 | |
| 19,705,040 | 20,355,723 | 20,202,897 | 19,091,347 | 2,199 | 2,245 | 2,248 | 2,209 | Whole Kingdom |
| 133,688 | 98,354 | 87,906 | 86,817 | 1,920 | 2,064 | 1,903 | 1,903 | Nakhon Phanom |
| 289,941 | 293,166 | 328,410 | 324,032 | 2,036 | 1,959 | 2,198 | 2,124 | Sakon Nakhon |
| 323,920 | 889,056 | 838,943 | 814,043 | 1,997 | 2,071 | 2,035 | 2,024 | Nong Khai |

ตารางที่ 11 ผลผลิตมันสำปะหลังตามราคาซื้อขายได้ ระหว่างพ.ศ. 2528-2537 (ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร)

| พ.ศ. | เนื้อที่ เพาะปลูก Planted area | เนื้อที่ เก็บเกี่ยว Harvested area | ผลผลิต Production | ผลผลิต เฉลี่ย ต่อไร่ Yield per rai | ราคา เกษตรกร ขายได้ Farm price | มูลค่าของผลผลิต ตามราคา เกษตรกรขายได้ Farm value | Year |
|------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------|
| | ๑,๐๐๐ ไร่ 1,000 rais | ๑,๐๐๐ ไร่ 1,000 rais | ๑,๐๐๐ ตัน 1,000 tons | กก. kgs. | บาท/กก. Bahts per kg. | ล้านบาท Million bahts | |
| ๒๕๒๘ | 9,230 | 8,603 | 19,263 | 2,239 | 0.4 | 7,705.1 | 1985 |
| ๒๕๒๙ | 7,748 | 7,528 | 15,255 | 2,026 | 0.78 | 11,898.8 | 1986 |
| ๒๕๓๐ | 8,820 | 8,567 | 19,554 | 2,283 | 0.89 | 17,403.2 | 1987 |
| ๒๕๓๑ | 9,879 | 9,668 | 22,307 | 2,307 | 0.61 | 13,607.3 | 1988 |
| ๒๕๓๒ | 10,136 | 9,957 | 24,264 | 2,437 | 0.56 | 13,587.8 | 1989 |
| ๒๕๓๓ | 9,562 | 9,297 | 20,701 | 2,227 | 0.62 | 12,834.3 | 1990 |
| ๒๕๓๔ | 9,323 | 8,960 | 19,705 | 2,199 | 0.83 | 16,355.2 | 1991 |
| ๒๕๓๕ | 9,323 | 9,066 | 20,356 | 2,245 | 0.77 | 15,673.9 | 1992 |
| ๒๕๓๖ | 9,100 | 8,988 | 20,203 | 2,248 | (r) 0.60 | (r) 12,121.7 | 1993 |
| ๒๕๓๗ | 8,817 | 8,642 | 19,091 | 2,209 | 0.57 | 10,882.1 | 1994 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 กรมการสถิติฯ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเด่นของน้ำมันสาปะหลัง

การที่น้ำมันสาปะหลังได้กลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในไทย จนประเทศไทยสามารถส่งออกน้ำมันสาปะหลังได้มากที่สุดในโลก ทั้งนี้เพราะน้ำมันสาปะหลังมีลักษณะเด่นต่างๆ ดังนี้คือ

1. เวลาปลูกไม่แน่นอน เพียงแค่ดินมีความชื้นพอก็สามารถปลูกได้
2. พอนพันธุ์หาได้ง่าย ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวส่วนลาต้นที่เหลือสามารถใช้เป็นพอนพันธุ์ได้
3. การปลูกทำได้อย่างรวดเร็ว เพียงแค่ขุดหลุมในดินที่พรวนแล้วมีระยะห่างกัน 1 เมตรก็ใช้ได้
4. การกำจัดวัชพืช จะทำในช่วงต้นของการปลูก
5. การเก็บเกี่ยวน้ำมันสาปะหลัง ทาน่แค่ขุดจัดหัวน้ำมันสาปะหลังซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ประสบการณ์ในการเก็บ
6. การขายน้ำมันสาปะหลังจะทำได้ง่าย
7. ให้ผลผลิตเป็นที่พอใจในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ
8. สามารถทนแล้งได้ดี
9. ให้ผลผลิตที่สูง
10. เวลาที่เก็บเกี่ยวไม่จำกัด โดยยิ่งทิ้งไว้นานผลผลิตมัน (หัว) ก็เพิ่มตามอายุ

ประเภทของการใช้ประโยชน์

น้ำมันสาปะหลังที่ปลูกอยู่โดยทั่วไป แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. ประเภทที่ใช้เป็นอาหารมนุษย์ หรือน้ำมันสาปะหลังประเภทหวาน ซึ่งน้ำมันสาปะหลังที่ผลิตได้ในโลก 95% จัดอยู่ในประเภทนี้ ซึ่งจะถูกใช้ทั้งในรูปอาหารหลัก ,อาหารรอง และอาหารเสริม โดยน้ำมันสาปะหลังมาทำแปรรูปโดยการต้ม บั้ง หรือ ทอด เพื่อการบริโภค
2. ประเภทที่ใช้ในอุตสาหกรรม หรือน้ำมันประเภทขม ซึ่งน้ำมันสาปะหลังที่ผลิตได้ในโลกประมาณ 1-3% จัดอยู่ในประเภทนี้ น้ำมันสาปะหลังนี้มีกรดท HCN สูง มีแ้มงมาก รสขม ไม่เหมาะจะรับประทาน ควรใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือส่งเข้าโรงงานอุตสาหกรรม ในประเทศไทยจะนิยมปลูกมันชนิดนี้ถึง 97% โดยจะถูกแปรรูปใช้เป็นอาหารสัตว์ ถึง 70% ส่วนที่เหลือจะใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปรรูปมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเมื่อขุดจากดินแล้วจะเก็บได้ไม่นาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลง แป้งจะเริ่มเป็นน้ำตาล ดังนั้นจึงต้องทำการแปรรูป โดยแต่เดิมจะใช้บริโภคโดยนำไปต้มหรือทอด ต่อมาจึงมีการนำเข้าโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อทำการแปรรูปไปเป็นมันเส้น , มันอัดเม็ด และผลิตภัณฑ์แป้งมันานที่สุด

การผลิตมันเส้น

การผลิตจะประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญคือ เครื่องจักร , ลานตากและโรงคังเก็บ โดยเมื่อนำหัวมันสำปะหลังสดมาก็จะถูกนำมาเข้าเครื่องทำให้เป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งเมื่อต้มเสร็จแล้วคนงานจะขนไปยังลานตากซึ่งเป็นพื้นที่ซีเมนต์ และเมื่อตากดีแล้วก็จะเก็บเข้าโรงคังซึ่งอาจเป็นเรือนไม่มีหลังคาคลุมมิดชิดหรือก่อด้วยซีเมนต์เป็นสำคัญ จากการศึกษาของกองส่งเสริมธุรกิจการเกษตรพบว่าหัวมันสำปะหลังสด 1 กิโลกรัม ได้มันเส้นประมาณ 0.4 กิโลกรัม

การผลิตมันอัดเม็ด

มันเส้นได้ทำหามีปัญหาในด้านการขนส่งเพราะมันเส้นมีลักษณะที่กินเนื้อที่มาก อีกทั้งมันเส้นไม่สามารถจะใช้เครื่องคัดถ่ายออกได้ จึงได้มีการคิดมันอัดเม็ดขึ้นมาโดยนำมันเส้นและซีแป้งเข้าสู่เครื่องทุบ (Hammer Mill) แล้วเข้าสู่เครื่องอัด ซึ่งมันอัดเม็ดที่ผ่านขั้นตอนนี้จะมีลักษณะนุ่มแล้วนำมันที่ได้เข้าสู่ cooler-dryers เพื่อลดอุณหภูมิและความชื้นลงเหลือเพียง 14% มันขึ้นน้ำหนัก 1 กิโลกรัม จะผลิตมันอัดเม็ดได้ประมาณ 0.89 กิโลกรัม

การผลิตแป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคู เป็นรูปแบบของการแปรรูปมันสำปะหลังในเชิงอุตสาหกรรมในระยะเริ่มแรกของไทยซึ่งเริ่มในจังหวัดทางภาคตะวันออกโดยเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือน ต่อมาหลังสงครามโลกครั้งที่สองได้มีการตั้งโรงงานแป้งมันที่ทันสมัยเพื่อส่งออกไปสหรัฐอเมริกาจึงทำให้การปลูกมันสำปะหลังเปลี่ยนจากเพื่อบริโภคเป็นปลูกเพื่อการค้า

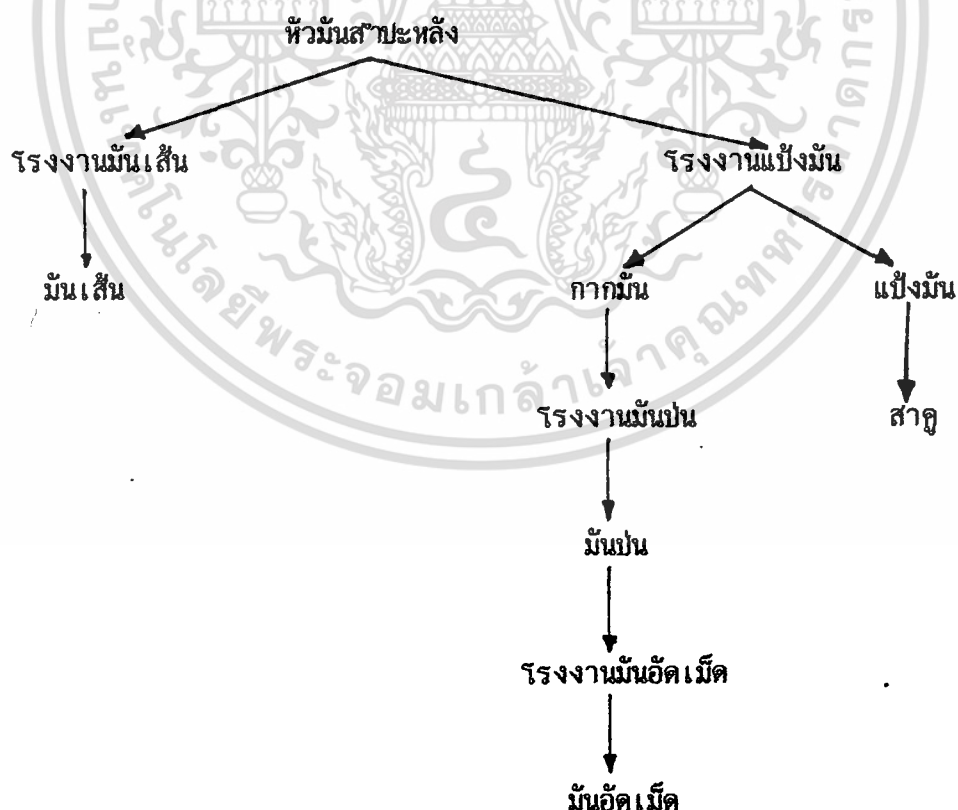
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลัง แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนคือ

1. การทำความสะอาดและจัดเตรียมหัวมัน เริ่มจากนำหัวมันสดมาทำการร่อน ,ล้างแล้วเข้าสู่เครื่องสับและชูดเปลือก เพื่อให้สะอาดต่อการสกัดเอาน้ำแป้งออก
2. การสกัดเอาน้ำแป้งออก น้ำมันจากข้อ 1 มาเข้าเครื่องบดแล้วเข้าสู่เครื่องแยกเอากากและน้ำแป้งออกจากกัน (กากมันจะนำไปตากเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์หรือไปผสมกับมันเส้นทำเป็นมันอัดเม็ด)
3. การทำให้บริสุทธิ์ น้ำน้ำแป้งที่ผ่านโถกะฉันทันซึ่งโถนี้จะช่วยพอกและขจัดขี้ที่ปะปนมากับน้ำแป้งทำให้น้ำแป้งขาวสะอาดขึ้น
4. ทำให้แห้ง นำน้ำแป้งผ่านเครื่องสลัดน้ำทำให้แห้งขึ้น แล้วจึงนำเข้าสู่เครื่องอบก็จะได้แป้งที่แห้งเพื่อบรรจุลงจาทนต่อไป

หัวมันสำปะหลังสด 1 กิโลกรัม ทำแป้งมันสำปะหลังได้เฉลี่ยประมาณ 0.2 กิโลกรัมและกากมันประมาณ 0.04-0.05 กิโลกรัม

รูปที่ 36 การแปรรูปหัวมันสำปะหลังสดไปเป็นผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตลาดของมันเป็นสาระหลัง

แม้ว่าประเทศไทยจะไม่ใช่อันดับผู้ผลิตมันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดในโลกก็ตาม แต่ไทยเองก็ส่งออกมันสำปะหลัง ถือเป็นอันดับ 1 ของโลก ทั้งนี้เนื่องจากผู้ผลิตรายใหญ่ เช่น บราซิล , เวียดนาม เป็นต้น จะทำการผลิตเพื่อการบริโภคภายในเป็นส่วนใหญ่ ส่วนทางประเทศไทยจะบริโภคภายในน้อย ประมาณ 5% ที่เหลือจะทำการส่งออกต่างประเทศโดยส่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ เป็น ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเพื่อการเลี้ยงสัตว์ และเป็นแป้งมันสำปะหลัง

ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเพื่อการเลี้ยงสัตว์

ลานมันเส้นส่วนใหญ่มักขายมันเส้นให้กับโรงงานมันอัดเม็ด เพราะปัจจุบันการส่งออกมันเส้นมีน้อยมากแทบจะไม่ส่งออกในรูปแบบนี้ มันอัดเม็ดที่ผลิตได้จะส่งออกไปต่างประเทศ ตามทอๆ ไป คือ โรงงานมันอัดเม็ดจะขายมันอัดเม็ดให้ผู้ส่งออก และผู้ส่งออกก็จะส่งให้กับบริษัทตัวแทนของประชาคมยุโรปอีกทีหนึ่ง สาเหตุที่ไทยสามารถส่งมันอัดเม็ดไปขายยังประชาคมยุโรปได้มาก เนื่องจากผลของการริเริ่มนโยบายการเกษตรร่วม (Common Agricultural Policy หรือ CAP) โดยเริ่มใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2505 เป็นต้นมา ประเทศที่ไทยส่งออกมันอัดเม็ดมากคือ เนเธอร์แลนด์, เยอรมัน , ฝรั่งเศส และเบลเยียม โดยนโยบายนี้จะปกป้องด้านการเกษตรในประเทศ และทำการกีดกันสินค้าการเกษตรจากต่างชาติ โดยเฉพาะธัญพืช โดยวิธีการเก็บภาษีขาเข้าที่สูงแต่อัตราภาษีที่สูงนั้นไม่รวมผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังและโปรตีนจากพืช จึงทำให้ผู้ผลิต Compound Feed จึงนำสินค้าทั้ง 2 มาเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ เพื่อลดการใช้ธัญพืชและเนื้อสัตว์ป่นที่มีราคาสูง

คุณภาพทั่วไปของมันอัดเม็ดมีดังนี้

1. ปริมาณความชื้นต่ำกว่า 13-14 %
2. มีเปอร์เซ็นต์แป้งมากกว่า 60%
3. มีเส้นใยน้อยกว่า 5%
4. มีสิ่งเจือปนน้อยกว่า 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จะส่งออกไปต่างประเทศ แต่ปริมาณการส่งออกไปในแต่ละปีจะไม่แน่นอน เนื่องจากประเทศผู้นำเข้าสามารถใช้แป้งชนิดอื่นทดแทนได้ เพราะว่ามีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกัน มีเพียงแต่ว่าแป้งในแต่ละชนิดจะมีขนาดตัวที่ต่างกัน ดังนั้นประเทศที่นำเข้าจึงต้องใช้แป้งที่ผลิตได้ในประเทศเป็นอันดับแรกซึ่งการนำเข้าแป้งมันเป็นแต่เพียงขดเชยแป้งที่ไม่พอกับความต้องการในประเทศเท่านั้น สำหรับที่นำเข้าแป้งมันสำปะหลังของไทยมากในอดีต คือ สหรัฐอเมริกา แต่ในช่วงต่อมากการส่งออกไปสหรัฐอเมริกาความสำคัญลง เพราะตลาดทางเอเชียมีความต้องการแป้งมากขึ้น โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่น แล้วยังมีไต้หวัน, ฮองกง และสิงคโปร์ โดยในไต้หวันจะใช้แป้งมันในอุตสาหกรรมการทำ น้ำเชื่อม, สิ่งทอ, ไม้อัด และกาว และยังมีการใช้ประกอบอาหาร ส่วนในฮองกงจะใช้แป้งมันเพื่อ ประกอบอาหารเป็นหลัก

นอกจากตลาดแป้งมันในต่างประเทศแล้ว ตลาดแป้งมันในประเทศยังต้องการใช้แป้งมันที่นอกเหนือไปจากการใช้ประกอบอาหารยังมีการใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมผงชูรส อุตสาหกรรมน้ำเชื่อม , อุตสาหกรรมสิ่งทอ , อุตสาหกรรมผลิตกาวน้ำ , ผลิตไม้อัดและกล่องกระดาษ, ผลิตกลูโคส เป็นต้น

อนาคตของมันสำปะหลัง

แม้ว่าประเทศไทยจะมีภูมิประเทศและภูมิอากาศที่เอื้ออำนวยต่อการปลูกมันสำปะหลังแต่เนื่องจากตลาดของมันสำปะหลังในต่างประเทศ มีการคุ้มครองการ เกษตรภายใน และกีดกันสินค้าการ เกษตรจากต่างประเทศโดยใช้วิธีการตั้งกำแพงภาษีหรือการลดโควตาการนำเข้าหรือจำกัดโควตาในแต่ละปี

ด้วยเหตุผลนี้การแก้ปัญหามันสำปะหลังในอนาคตของไทยจึงควรแก้ไขโดย

1. การกระจายหรือขยายตลาดไปยังประเทศอื่นๆ ให้กว้างขวางขึ้น เช่น ในยุโรปตะวันออก
2. การพัฒนาการแปรรูปให้กว้างขวางยิ่งขึ้น
3. การหาพืชชนิดอื่นๆ มาทดแทนมันสำปะหลัง

(ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะการพัฒนาการแปรรูปให้กว้างขวางยิ่งขึ้นอย่างเดียว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปรรูปมันสำปะหลังของไทยอยู่ในขอบเขตที่จำกัดมีเพียงแต่การทำผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเพื่อการเลี้ยงสัตว์และใช้ทำแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งทำให้ในบางปีการผลิตที่มีผลผลิตมากจนทำให้เกิดภาวะล้นตลาดของมันสำปะหลังได้ ดังนั้นจึงน่าที่จะนำมันสำปะหลังมาใช้ในอุตสาหกรรม ดังเช่น

1. อุตสาหกรรมผลิตแอลกอฮอล์ ซึ่งประเทศบราซิลได้มีการนำไปใช้ทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมอย่างจริงจัง
2. อุตสาหกรรมทำกาวจากมันสำปะหลัง
3. อุตสาหกรรมทำแป้งขนมปังจากมันสำปะหลัง

นอกจากนี้อาจนำมาแปรรูปโดยผ่านการหมัก (fermentation) เพื่อให้เป็นอาหารอื่นๆ เช่นในแอฟริกาตะวันตกจะนำมาทำเป็น Gari เพื่อใช้บริโภค เป็นต้น

นโยบายและการวิจัยเกี่ยวกับมันสำปะหลังในประเทศไทย

รัฐบาลได้ให้นโยบายในการสนับสนุนงานวิจัยเกี่ยวกับมันสำปะหลังแก่หน่วยงานของรัฐดังนี้

1. งานวิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์ของมันสำปะหลังของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) โดยแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ
 - 1.1 งานวิจัยด้านอาหารมนุษย์ เช่น การใช้แป้งมันสำปะหลังแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด , การศึกษากรรมวิธีการผลิต Gari เป็นต้น
 - 1.2 งานวิจัยด้านอาหารสัตว์ เช่น การหมักมันสำปะหลังเพื่อเป็นอาหารสัตว์, การผลิตโปรตีนจากยีสต์โดยใช้มันสำปะหลัง , การผลิตอาหารจากมันสำปะหลังและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร, การแก้ปัญหาหมันเม็ดเป็นฝูง เป็นต้น
 - 1.3 งานวิจัยด้านพลังงานทดแทน เช่น การผลิตแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลัง เป็นต้น
2. งานวิจัยด้านการผลิตมันสำปะหลังของกรมวิชาการเกษตร ส่วนใหญ่จะเน้นในด้านการปรับปรุงพันธุ์ , การปรับปรุงวิธีเกษตรกรกรรม , ระบบการปลูก , ดินและปุ๋ย , การป้องกันกำจัดโรค , การกำจัดแมลง , การกำจัดวัชพืช เป็นต้น
3. งานวิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์มันสำปะหลังของมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์
4. งานวิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์มันสำปะหลังของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

นอกจากนี้ยังมีอีกหลายหน่วยงานที่มีงานวิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังอีกมากที่ยังไม่ได้กล่าวถึงซึ่งทุกหน่วยงานก็ล้วนแต่มีเป้าหมายเพื่อยกระดับผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังให้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินการ

1. ระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale)

1) การเตรียมกล้าเชื้อเริ่มต้น

1.1) ถ่ายเชื้อ *E.fibuligera* จากหลอดทดลองจำนวน 1 หลอด (loop) ลงในอาหาร YM (yeast and malt extract) เกลวปริมาณ 50 ml ในพลาสติก 250 ml

1.2) นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่มีความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.3) การเตรียมเชื้อเริ่มต้นของ *C.utilis* ทำเช่นเดียวกับทำเชื้อเริ่มต้นของ *E.fibuligera* แต่ใช้เชื้อ *C.utilis* แทน

2) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลรีดิวซ์โดย *E.fibuligera* ในแป้งมัน 2% ลงในอาหารที่มี แป้งมัน 2% $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.2% ปริมาณ 200 ml

2.1) เติมหุ้นเชื้อเริ่มต้นของ *E.fibuligera* อายุ 24 ชั่วโมง ปริมาณ 5 ml ลงในอาหารที่มี แป้งมัน 2% $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ pH 4.5 ที่มีปริมาณ 200 ml ในพลาสติก 500 ml จำนวน 3 พลาสติก อีก 1 พลาสติกเป็นตัวควบคุม

2.2) นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่มีความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที

2.3) นำมาวัดน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่ง (reducing sugar) โดยวิธีของไซมोजัยและเนลสัน (Samogyi and Nelson method) (ดูภายนอก) ทุก 4 ชั่วโมง ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 จนกระทั่งครบ 28 ชั่วโมง

2.4) บันทึกปริมาณน้ำตาลตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 28

2. ระดับ Semi-pilot scale

ก. การเตรียมถังหมัก

- 1) นำน้ำ de-ionize ใส่หม้อต้มให้เดือด
- 2) เปิดฝาแล้วเทน้ำลงไปในถังจนท่วม termometer และ heater probe แล้วปิดฝาดังและ วาล์วต่างๆ ให้หมด
- 3) เปิด heater ให้น้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส แล้วเริ่มจับเวลา 1 ชั่วโมง ในระหว่าง heat ให้ มีการใส่อากาศออกเพราะอากาศจะเป็นฉนวนกันความร้อนทำให้อุณหภูมิขึ้นช้า (ใส่อากาศออกทางวาล์ว) ให้สังเกตว่าอากาศถูกใส่หมดแล้วไอน้ำจะออกมาอย่างสม่ำเสมอ แล้วปิดวาล์ว และมีการกวนผสมทุก ๆ 10 นาที โดยเปิด air bubble เพื่อให้อุณหภูมิกระจายอย่างทั่วถึง
- 4) เมื่ออุณหภูมิครบ 1 ชั่วโมง ให้ปิด heater ใส่ความดันออกให้หมดโดยเปิดวาล์วใส่ความดัน
- 5) เปิดวาล์วช่องเก็บตัวอย่างให้น้ำร้อนไหลออกมาเพื่อเป็นการฆ่าเชื้อ
- 6) Drain น้ำออกจากถังให้หมด พร้อมกับเปิดวาล์วต่างๆ
- 7) ให้เอาน้ำร้อนใส่ช่องทาง manhold แล้วเปิด heater จนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง
- 8) ททำการทดสอบ sterility นานับผสมน้ำที่ผ่านการสเตอริไลส์แล้วและทำให้เย็นผสมให้เข้ากัน
- 9) เทลงไปในช่อง manhold พร้อมกับเทสารละลาย $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.2% ที่สเตอริไลซ์ลงไปเปิด air bubble ผสมให้เข้ากันและทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 45 องศาเซลเซียส ททำการปรับพีเอชด้วย HCl จนได้พีเอชประมาณ 4.0-4.5 ด้วยกระดาษวัดพีเอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. การเตรียมเชื้อเริ่มต้น (starter)

การเตรียมเชื้อ *E. fibuligera* จำนวน 1 ลิตร

- 1) นำ *E. fibuligera* 1 ลูป (loop) ลงใน YM Broth ปริมาตร 20 มิลลิลิตรในพลาสติก 250 มิลลิลิตร จำนวน 5 พลาสติก
- 2) นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่มีความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 3) นำมาเทลงในอาหารที่ส่วนประกอบของแป้ง 2% $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ พีเอช 4.5 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในพลาสติก 500 มิลลิลิตร แบบพลาสติกต่อพลาสติก
- 4) นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การเตรียมเชื้อ *E. fibuligera* จำนวน 7 ลิตร

ทำเช่นเดียวกันกับการเตรียมเชื้อ *E. fibuligera* จำนวน 1 ลิตร แต่เพิ่มจำนวนพลาสติกของ YM broth และอาหารแป้งเป็น 35 พลาสติก

การเตรียมเชื้อ *C. utilis* จำนวน 400 มิลลิลิตร

- 1) นำ *C. utilis* จำนวน 1 ลูป ลงใน YM broth ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ในพลาสติก 250 มิลลิลิตร จำนวน 2 พลาสติก
- 2) นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 3) นำมาเทลงใน YM broth ปริมาตร 200 มิลลิลิตร แบบพลาสติกต่อพลาสติก
- 4) นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ค. การศึกษาการเพิ่มจำนวนของยีสต์ (*Symba yeast*) ในแป้งมัน 2% และ $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.2% ในปริมาณ 70 ลิตร โดยใช้เชื้อเริ่มต้น 1 ลิตร

- 1) เติมหุ้นเชื้อเริ่มต้นของ *E. fibuligera* อายุ 24 ชั่วโมง ปริมาตร 1 ลิตร ลงไปในถังหมักที่มีแป้งมัน 2% $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.2% ทางช่อง manhole ด้วยวิธี aseptic technique
- 2) เปิดม้ออากาศที่ผ่านแผ่นกรองอากาศเพื่อให้เชื้อและอาหารผสมกันได้ดี เป็นเวลา 5 นาที แล้วเก็บตัวอย่างเป็นชั่วโมงที่ 0
- 3) เก็บตัวอย่างทุกๆ 4 ชั่วโมงเป็นเวลา 18 ชั่วโมง แล้วเติมหุ้นเชื้อ *C. utilis* 400 มิลลิลิตร ลงไปในถังหมัก
- 4) เปิดม้ออากาศให้ทวนเป็นเวลา 5 นาที แล้วเก็บตัวอย่าง เป็นเวลาที่ 0
- 5) ทำการนับจำนวนโคโลนีของ *E. fibuligera* และ *C. utilis* โดยใช้เทคนิค spread plate บน YM agar ทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง และทำการวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธีการของ Samogyi and Nelson ทั้งก่อนเติม *C. utilis* ลงในถังหมัก

ง. การศึกษาการเพิ่มจำนวนของยีสต์ในแป้งมัน 2% $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.2% ในปริมาณ 70 ลิตร โดยใช้เชื้อเริ่มต้น 7 ลิตร

วิธีการทำเช่นเดียวกันกับที่ใช้เชื้อเริ่มต้น 1 ลิตร แต่เปลี่ยนมาใช้เชื้อ *E. fibuligera* 7 ลิตรใส่ลงในถังหมักแทน โดยใช้เชื้อ *C. utilis* เท่าเดิมคือ 400 มิลลิลิตร

บทที่ 4

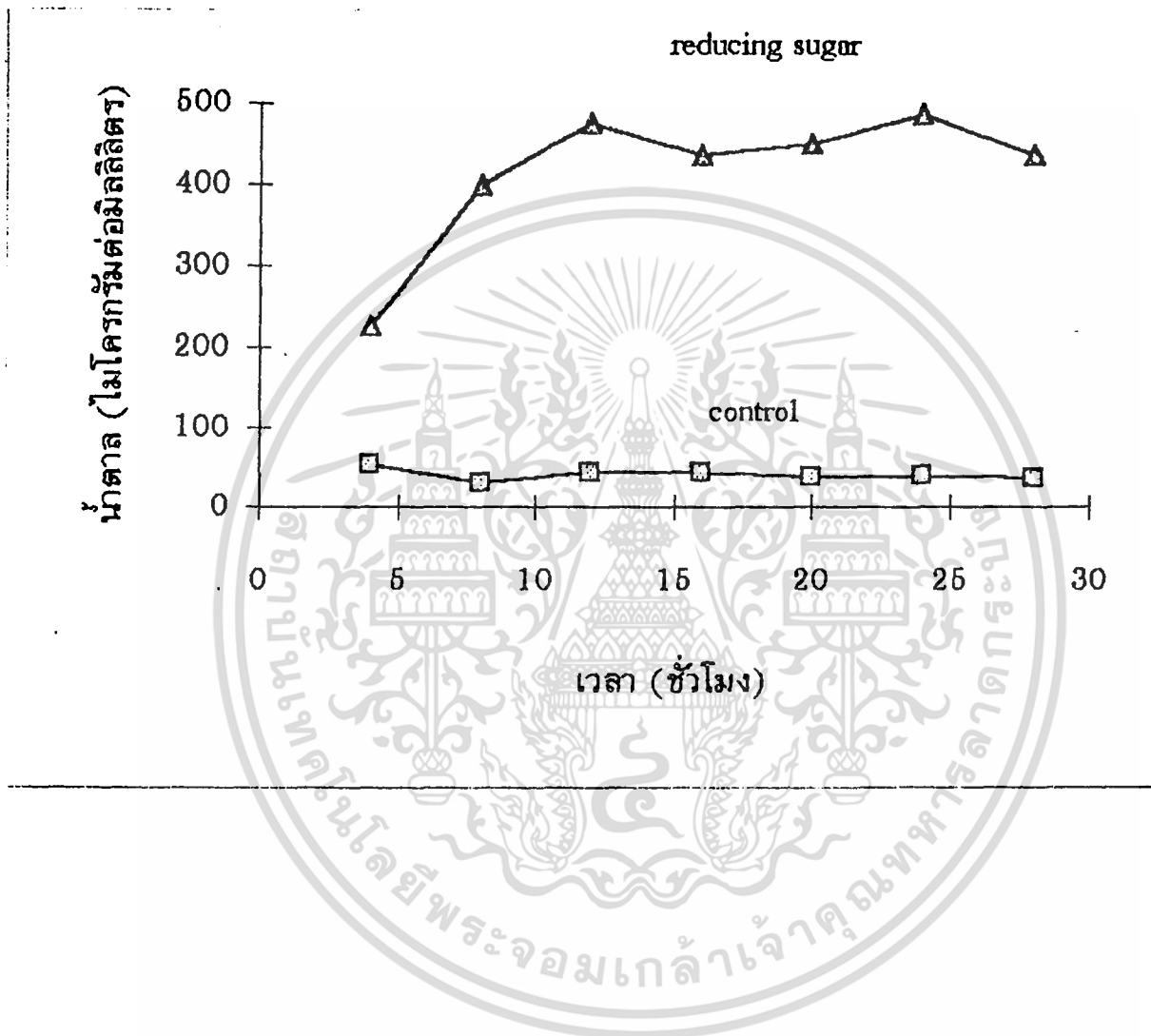
ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการทดลองที่ 1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลรีดิวซ์โดย *E.fibuligera* ในอาหารที่ประกอบด้วยแป้งมัน 2% และ $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.2% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร

จากการศึกษาการเพิ่มปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์พบว่าจะมีปริมาณน้ำตาลสูงอยู่ในช่วง 16-20 ชั่วโมง หลังจากลงเชื้อ *E.fibuligera* โดยจะให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่ระหว่าง 450-470 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

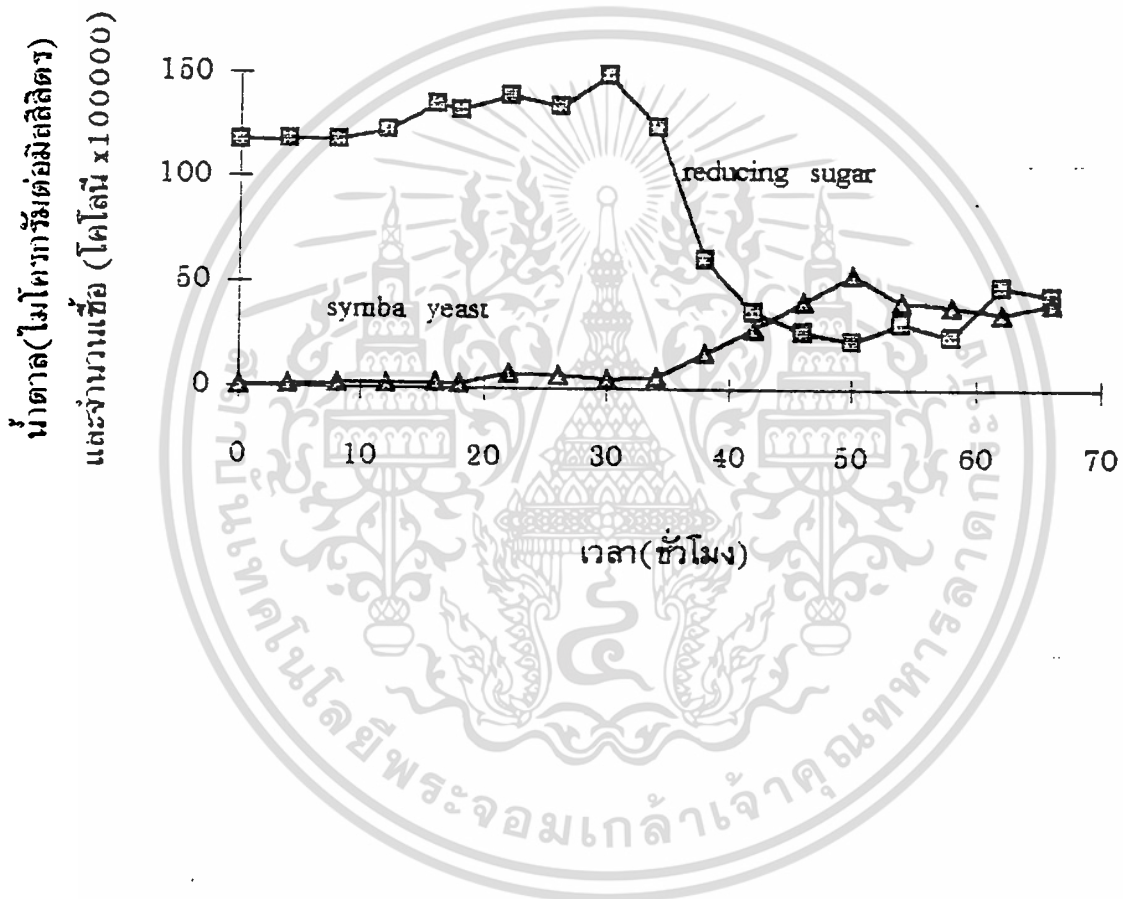
ผลการทดลองที่ 2 การศึกษาการเพิ่มจำนวนของซิมบิอัสต์ในแป้งมัน 2% $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.2% ในปริมาณ 70 ลิตร โดยใช้เชื้อเริ่มต้น 1 ลิตร

หลังจากได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาล โดยใช้ *E.fibuligera* ย่อยแป้งในปริมาณ 200 มิลลิลิตร แล้ว จึงได้ทำการศึกษาวิธีการผลิตในปริมาณ 70 ลิตร โดยใช้อาหารที่มีแป้งมัน 2% และ $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.2% พบว่าหลังจากลงเชื้อในถังหมักแล้ว ช่วง 8 ชั่วโมงแรกปริมาณน้ำตาลไม่มี การเปลี่ยนแปลงและเชื้อ *E.fibuligera* มีการเจริญเติบโตเล็กน้อย เนื่องจากกำลังอยู่ในระยะ พักตัวและปรับสภาวะแวดล้อมต่างๆ ให้คุ้นเคยกับถังหมัก หลังจากนั้นปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึง ชั่วโมงที่ 18 จึงมีการเติม *C.utilis* 400 มิลลิลิตร ลงไปในถังหมัก หลังจากเลี้ยงไปอีก 8 ชั่วโมง คือ ชั่วโมงที่ 26 ปริมาณซิมบิอัสต์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่ง ชั่วโมงที่ 46 จะมีปริมาณ เชื้อมากที่สุด พร้อมกับมีการใช้น้ำตาลในการเจริญเติบโตมากที่สุดทำให้ปริมาณน้ำตาลเหลือน้อยที่สุด และ เมื่อทำการหมักเป็นเวลา 62 ชั่วโมง แล้วทำการเก็บตัวอย่าง เพื่อทำนายน้ำหนักซิมบิอัสต์ โดยใช้สม การถดถอย พบว่าใน 70 ลิตร มีน้ำหนักเชื้อ 150 กรัม น้ำหนักเปียก



รูปที่ 38 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่ง โดย *E. fibuligera* ในอาหารปริมาตร 200 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



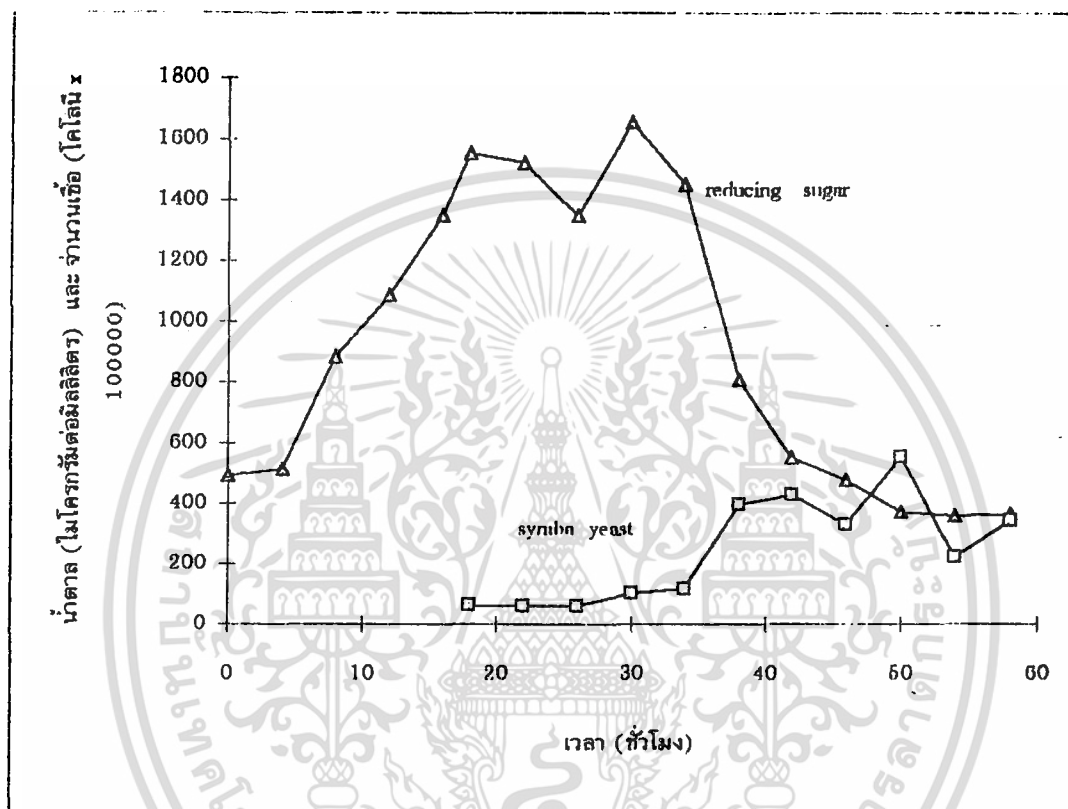
รูปที่ 39 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลรีดิวซ์ซิงและการเจริญเติบโตของซิมบายีสต์ โดยใช้ *E. fibuligera* 1 ลิตร ในอาหารปริมาตร 70 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ 3 การศึกษาการเพิ่มจำนวนของซิมบิอัสต์ในแป้งมัน 2% $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.2% ในปริมาตร 70 ลิตร โดยใช้เชื้อเริ่มต้น 7 ลิตร

หลังจากได้ทำการศึกษาการผลิตซิมบิอัสต์ ในถังหมักโดยใช้เชื้อเริ่มต้นของ *E. fibuligera* จำนวน 1 ลิตร พบว่าได้เชื้อยีสต์น้อย และในน้ำหมักที่แยกเอาเซลล์ออกแล้วยังมีความขุ่นของแป้งเหลืออยู่ จึงได้เพิ่ม เชื้อเริ่มต้นของ *E. fibuligera* เป็น 7 ลิตร โดยใช้ปริมาตร *C. utilis* เท่าเดิม หลังจากเลี้ยง *E. fibuligera* เป็นเวลา 18 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณน้ำตาลสูงที่สุด จึงมีการเติม *C. utilis* ลงในถังหมักในระยะ 8 ชั่วโมงแรก มีการเจริญเติบโตของซิมบิอัสต์น้อย ในช่วงชั่วโมงที่ 12-32 หลังจากการเติม *C. utilis* จะมีการเจริญของซิมบิอัสต์อย่างรวดเร็วพร้อมกับการใช้น้ำตาลในการเจริญเติบโตมากที่สุด เมื่อทำการหมักเป็นเวลาทั้งสิ้น 58 ชั่วโมง แล้วทำการเก็บตัวอย่าง เพื่อนำมาใช้น้ำหมักซิมบิอัสต์โดยใช้สมการถดถอยพบว่า 70 ลิตร มีน้ำหมักเชื้อ 380 กรัม น้ำหนักเปียก และสังเกตว่าน้ำหมักที่แยกเซลล์ออกแล้วมีลักษณะใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 40 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลรีดิวซ์และการเจริญเติบโตของยีสต์ซึ่งโดย *E. fibuligera* 7 ลิตรในอาหารปริมาตร 70 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาวิจัย

ในระดับ lab scale ได้มีการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตซิมบาศีสต์จากแป้งมันมา แล้วคืออาหารที่ประกอบด้วย แป้งมัน 2% , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.2% ปริมาณ 4.5 และมีช่วงเวลาที่เหมาะสมในการลงเชื้อ *C. utilis* ระหว่าง 16-20 ชั่วโมง ต่อมาได้นำสภาวะที่เหมาะสมมาใช้ในการศึกษาต่อในระดับ semi-pilot scale โดยใช้ถังหมักขนาด 100 ลิตร ทำการหมัก 70 ลิตร ในการศึกษาระดับนี้เปรียบเทียบระหว่างใส่เชื้อเริ่มต้น ของ *E. fibuligera* 1 ลิตร และ 7 ลิตร พบว่าใส่เชื้อเริ่มต้น 1 ลิตร จะมีน้ำหนักเปียกของซิมบาศีสต์ 150 กรัมและยังพบว่าในน้ำหมักที่แยกเซลล์ออกมีความขุ่นของแป้งอยู่ ส่วนการใส่เชื้อเริ่มต้น 7 ลิตร พบว่ามีซิมบาศีสต์ 380 กรัม น้ำหมักที่แยกเซลล์ออกมีลักษณะใส แต่การใส่เชื้อเริ่มต้น 7 ลิตร จะไม่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นในการพัฒนาในขั้นต่อไปควรมีการหาสูตรอาหารที่เหมาะสม และ ควรใช้ถังหมักที่มีใบกวนเนื่องจากอาหารที่ใช้เลี้ยงคือ แป้งซึ่งมีความหนืด ทำให้อัตราการให้อากาศไม่ดี ส่วนเรื่องการเตรียมอาหารในระดับนี้ยังไม่เหมาะสม เพราะใช้แรงงานและเวลามาก ดังนั้น ในอุตสาหกรรมนิยมใช้ heat exchanger เพื่อลดอุณหภูมิของอาหารทำให้ประหยัดแรงงานและเวลาเป็นอย่างมาก และในการหมักควรมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้เชื้อเจริญเติบโตได้ดี

จากการศึกษาในระดับ semi-pilot scale นี้ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับภาคของเสีจ้านวนกแป้งได้ ช่วยลดค่า BOD ของแหล่งน้ำแต่การนำน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันมาใช้ต้องมีการคำนึงถึงปัจจัยในการ recycle คือ ต้องมีน้ำทิ้งมากตลอดปีและน้ำทิ้งนั้นมันหรือไม่ว่าเทคโนโลยีการผลิตซิมบาศีสต์ยังต้องมีการพัฒนาอีกมาก เพื่อเพิ่มผลผลิตให้ได้จำนวนมาก และในการใช้ประโยชน์จากกากของเสีจ้านวนอีกทางหนึ่งด้วย โดยนำเอาซิมบาศีสต์ที่ผลิตได้ไปทำผลิตภัณฑ์ที่มีราคาแพง เช่น ซีลด์สก็ด ,meat flavour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สูตรอาหารสำหรับ เลี้ยง เชื้อจุลินทรีย์

1. Yeast extract - Malt extract (YM)

| | |
|-----------------------------------|-------|
| yeast extract | 0.3 % |
| malt extract | 0.3 % |
| peptone | 0.5 % |
| glucose | 1.0 % |
| ถ้าต้องการอาหารยูนึ่งให้เต็ม agar | 2.0 % |

2. อาหารแข็ง

| | |
|------------------------------------|-----------|
| แป้งมันสำปะหลัง | 2.0 % |
| $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ | 0.2 % |
| ปรับพีเอช | 4.0 - 4.5 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์ทาง เคมี

วิธีการหาน้ำตาลรีดิวซ์ ตามวิธี Somogyi-Nelson Method (A.O.A.C, 1980)

สารเคมี

1. Somogyi Reagent

Copper reagent A

ละลาย 25 กรัมของ Na_2CO_3 (anhydrous) ,25 กรัม ของ Sodium potassium tartrate (Rochelle salt), 20 กรัม ของ Na_2HCO_3 และ 200 กรัมของ Na_2SO_4 (anhydrous) ในน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ในหลอดวงปริมาตร

Copper reagent B

ละลาย 15 กรัมของ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ด้วยหลอดวงปริมาตร นำ 25 ส่วนของ reagent A ผสมกับ 1 ส่วนของ reagent B เตรียมเมื่อใช้เท่านั้น

2. Nelson's reagent

ละลาย ammonium molybdate 50 กรัม ในน้ำกลั่น 900 มล. เติมน้ำ conc. H_2SO_4 42 มล. เขย่าให้เข้ากัน เติมน้ำ $\text{Na}_2\text{HASO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (sodium arsenate) 6 กรัม ที่ละลายในน้ำกลั่น 50 มล. เขย่าให้เข้ากันปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ในหลอดวงปริมาตร บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส 24-28 ชั่วโมง ก่อนนำมาใช้ สารละลาย เก็บในขวดสีชา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการ

1. ทาการาพมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคสหรือมอลโตส ความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 มก./มล. นำสารละลายน้ำตาล 1 มล. ใส่หลอดทดลอง เติมสาร copper reagent 1 มล. เขย่าสารละลายให้ผสมกันดี นำใบตมำน้ำเดือดนาน 15-20 นาที ทาให้เย็นเติม Nelson's reagent 1 มล. เขย่าสารละลายผสมทิ้งไว้ 15 นาที เติมน้ำ 2 มล. ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่า O.D. ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร
2. หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ จากตัวอย่าง โดยใส่สารละลาย 1 มล. ทาการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 นำค่า O.D. ที่ได้ไปเปรียบหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากกราฟมาตรฐาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. แรงศักดิ์ดี และคณะ, การหาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตซิมบ่ายีสต์จากแป้งข้าวเจ้า , ครงงานพิเศษระดับปริญญาตรี, พระจอมเกล้าลาดกระบัง, 2536
2. ดวงพร คันทชาติ , โปรตีนเซลล์เดียว, วารสารคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ 4 (1), 2528 : 85-101
3. นิธิย สราภรณ์ , ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับมันสำปะหลังสำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี, 2528
4. พนรัช และคณะ , การหาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตซิมบ่ายีสต์จากแป้งมันสำปะหลัง , ครงงานพิเศษระดับปริญญาตรี, พระจอมเกล้าลาดกระบัง, 2536
5. วรณา วงศ์ชาติกุล , โปรตีนเซลล์เดียว , วารสารอาหารและอุตสาหกรรม เกษตร 2(1) , 2528 : 1-5
6. ศูนย์สถิติการเกษตรสำนักงานสถิติการเกษตรกระทรวง เกษตรและสหกรณ์, สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2536/37, 2537:28-33
7. สมใจ คิริโชค , เทคโนโลยีการหมัก, คู่มือสื่อ เสริมกรุง เทพ ๑, 2537
8. อรพิน ภูมิภร, โปรตีนเซลล์เดียวกับโภชนาการ, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 4(3), 2532 : 23-35
9. A.O.A.C , Official Method of Analysis, 16 edition Washington D.C., The Association of Official Analytical Chemist, 1980
10. Lodder Editor, J , The yeast a taxonomic study, second revised and enlarged edition, 1971:1064-1066, 181-185
11. H.J.Phaff .MW. Miller ,EM. Mro, The life of yeasts, Harward University, Press VII , 1966:83-92
12. Product Recvery in Bioprocess Technology, Butterworth-Heinemann, 1992
13. Rose ,A.S.and Harison, J.S., The yeast, Vol 2, Academic Press Inc. New York, 1969 : 36-53
14. Rose , A.S. and Harison, J.S., The yeast, Vol 2 , Academic Press Inc. New York , 1971:571
15. Skogman, H, Production of Symba Yeast from Potatoes Waste, 1976:167-179

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้