

การศึกษาผลของอัตราเร็วอากาศต่อการหมักถั่วเหลืองในถังแพคเบด

Air Flow Rate Effect Study of Soybean Fermentation in Packed Bed Columns

มณีนันท์ ติรันทกุล¹ และ เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ²¹ แผนกเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ 10120 โทร. 287-3211-25 ต่อ 174² ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 10900 โทร. 942-8555 ต่อ 1213

E-Mail : fengpjts@nonttri.ku.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของอัตราเร็วอากาศในการหมักถั่วเหลืองกับเชื้อรา *Aspergillus oryzae* ในระบบแพคเบด โดยทำการทดลองในถังแพคเบดขนาดปริมาตร 42 ลิตร ซึ่งขยายขนาดมาจากถังแพคเบดเล็ก 6.4 ลิตร โดยการแปรค่าอัตราเร็วอากาศ 3 ค่า คือ 35.4 80.24 และ 118 ลิตร/นาที (คิดเป็นอัตราส่วนปริมาตรอากาศต่อปริมาตรโคจิ 2:1, 4:1 และ 6:1 ตามลำดับ) และทำการเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูง 11 เซนติเมตร นำไปวัดค่าตัวแปรต่างๆในช่วงการหมัก 96 ชั่วโมง ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณความชื้น พีเอช กิจกรรมเอนไซม์อะไมเลส กิจกรรมเอนไซม์โปรติเอส ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงค์ ปริมาณโปรตีนละลายน้ำ ปริมาณโปรตีนที่แท้จริง ปริมาณกลูโคซามีน พบว่าอุณหภูมิจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มาก ซึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเกิน 50 องศาเซลเซียสทำให้จุลินทรีย์ในระบบตายและลดกิจกรรมต่างๆลง พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราเร็วอากาศจะมีผลให้อุณหภูมิของเบดลดลงและทำให้ค่าตัวแปรต่างๆสูงขึ้น เป็นผลดีต่อระบบการหมัก โดยเมื่อใช้อัตราเร็วอากาศสูงสุด 118 ลิตร/นาที จะให้ค่าอุณหภูมิสูงสุด 39 องศาเซลเซียส ณ จุดกึ่งกลางเบด และให้ค่าการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆทางเคมีสูงสุดด้วย

ABSTRACT

Experimental study of the fermentation of air flow rate of soybean fermentation in packed bed columns was carried on in two different sizes of packed bed bioreactors. A large bioreactor of 42 liters is scale up from a small bioreactor of 6.4 liters. Studied effect of ratio of the air volume /Koji volume (2:1, 4:1 and 6:1) by varying air flow rate (35.4, 80.24 and 118 respectively). Various parameters namely protease activity, amylase activity, reducing sugar content, soluble protein content, true protein content, glucosamine content, pH, temperature and moisture content were measured at the height level of

11 cm. during 96 hours of fermentation. The results show that temperature has dominated effect on the fungal growth. When the temperature higher than 50 °C, some of the fungi was died and stopped growing. Increasing the air velocities resulted in the reduction of bed temperature and increasing values of other parameters. The lowest maximum temperature of 39 °C at the center of the bed was achieved at the highest air velocity of 118 liters/min.

1. คำนำ

การหมักแบบแห้ง (Solid substrate fermentation) เป็นการหมักที่เลี้ยงจุลินทรีย์ให้มีการเจริญเติบโตสร้างผลิตภัณฑ์บนอาหารแข็ง (Solid substrate) ที่มีปริมาณความชื้นต่ำ ในประเทศไทยมีการศึกษาเรื่องนี้น้อยมาก ทั้งที่อุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมเกษตรที่ใช้การหมักแบบนี้มีอยู่มาก เช่น การทำปุ๋ยหมัก, การทำกะปิ, เต้าเจี้ยว, ซีอิ๊ว เป็นต้น [1] ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการหมักถั่วเหลืองในชั้นตอนโคจิ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในอุตสาหกรรมเต้าเจี้ยวและซีอิ๊ว ซึ่งโดยปกติในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะใช้การหมักแบบถาด (Tray) แต่มีปัญหาเรื่องการสิ้นเปลืองพื้นที่ใช้สอยและอุปกรณ์ รวมทั้งควบคุมตัวแปรต่างๆยากกว่าระบบแพคเบด [6] งานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาระบบถังหมักแบบแพคเบด (Packed bed) เนื่องจากเป็นถังหมักที่ไม่ทำลายจุลินทรีย์ เพราะไม่มีการเคลื่อนที่ของเชื้อ จุลินทรีย์และประจุไฟฟ้าลงงานเนื่องจากไม่มีการกวน และมีความเป็นไปได้ในการขยายขนาดของการผลิตในขั้นอุตสาหกรรม ในการศึกษานี้จะทำการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสภาวะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ รวมทั้งศึกษาผลของอัตราเร็วอากาศที่มีต่อค่าตัวแปรต่างๆ เช่น กิจกรรมเอนไซม์อะไมเลส เอนไซม์โปรติเอส น้ำตาลรีดิวซิงค์ โปรตีนละลายน้ำ โปรตีนที่แท้จริง ปริมาณกลูโคซามีน พีเอช อุณหภูมิ และปริมาณความชื้น โดยจะทำการเปรียบเทียบผลที่อัตราเร็วอากาศ 3 ค่า คือ 35.4 80.24 และ 118 ลิตร/นาที ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้จะทำให้ทราบสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่หมักในระบบแพคเบด และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

RECEIVED 19 MAY, 2000

ACCEPTED 18 SEPTEMBER, 2001

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

สปอร์เชื้อรา *Aspergillus oryzae* ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีเขียวเข้ม ได้รับจากภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยมหิดล

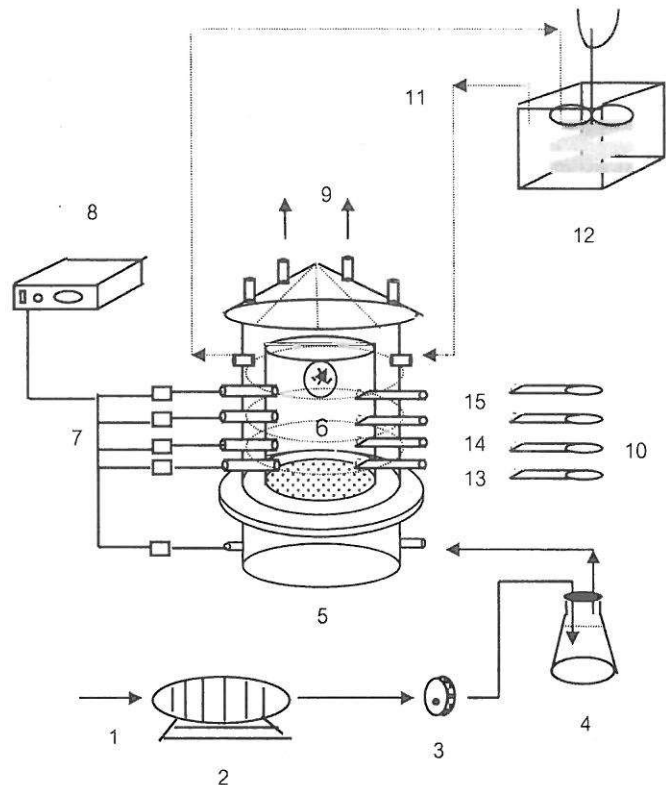
2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การหมักโคจโนถึงแพคเกจต้องใช้อุปกรณ์ต่างๆดังต่อไปนี้

- 2.2.1 ถังหมักแพคเกจขนาดความจุ 42 ลิตร
- 2.2.2 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermocouple)
- 2.2.3 เครื่องวัดอัตราการไหลอากาศ (Air flow meter)
- 2.2.4 เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (Hygrometer)
- 2.2.5 เครื่องอัดอากาศ (Compressor)
- 2.2.6 อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง (Sampling)
- 2.2.7 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
- 2.2.8 หม้อนึ่งความดัน (Autoclave)

3. ขั้นตอนการหมักโคจโน

นำถั่วเหลืองล้างน้ำและแช่น้ำทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง (เปลี่ยนน้ำทุก 2-3 ชั่วโมง เพื่อป้องกันการบูดเน่าเนื่องจากเชื้อแบคทีเรียที่ติดมากับเปลือกถั่วเหลือง) นำไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดัน ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ นาน 30 นาที วางทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้น นำแป้งสาลีใส่ลงในถั่วเหลืองที่เตรียมไว้ในอัตราส่วน 7 ต่อ 1 ต่อ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ถั่วเหลือง : แป้งสาลี : เชื้อจุลินทรีย์ *A.oryzae*) บรรจุส่วนผสมที่ได้ในแพคเกจขนาด 42 ลิตร ติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลอากาศ เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องควบคุมอุณหภูมิ เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ และเครื่องอัดอากาศ โดยใช้สภาวะควบคุมเริ่มต้นที่ อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 53 เปอร์เซ็นต์ ทำการหมักเป็นเวลา 96 ชั่วโมง โดยจะทำการทดลองซ้ำในอัตราเร็วอากาศทั้ง 3 ค่า คือ 35.4 80.24 และ 118 ลิตร/นาที ในการเก็บตัวอย่างจะเก็บที่ตำแหน่ง 14 รายละเอียดดังภาพที่ 1 จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ค่า กิจกรรมเอนไซม์อะไมเลส เอนไซม์โปรติเอส น้ำตาลรีดิวซ์ โปรตีนละลายน้ำ โปรตีนที่แท้จริง ปริมาณกลูโคซามีน ฟิเอซ อุณหภูมิ และปริมาณความชื้น [2]



ภาพที่ 1 ระบบการหมักถั่วเหลืองในถังแพคเกจที่ใช้ในการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. อากาศขาเข้า (Air inlet)
2. เครื่องอัดอากาศ (Compressor)
3. ตัวกรองอากาศ (Air filter)
4. ตัวเพิ่มความชื้นอากาศขาเข้า (Humidifier)
5. ถังแพคเกจ (Packed bed column)
6. เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (Hygrometer)
7. ก้านวัดอุณหภูมิ (Thermocouple probe)
8. เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermocouple)
9. อากาศขาออก (Air outlet)
10. อุปกรณ์ตักตัวอย่าง (Sampling)
11. สายยาง (Pipe)
12. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
13. ช่องเก็บตัวอย่างที่ 1 (สูงจากฐาน 3 ซม.)
14. ช่องเก็บตัวอย่างที่ 2 (สูงจากฐาน 11 ซม.)
15. ช่องเก็บตัวอย่างที่ 3 (สูงจากฐาน 26 ซม.)

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

อุณหภูมิภายในถังหมักจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก และแปรผกผันกับอัตราเร็วอากาศ โดยจะมีค่าสูงสุด 52 48 และ 39 องศาเซลเซียส ที่อัตราเร็วอากาศ 35.4, 80.24 และ 118 ลิตร/นาที่ ตามลำดับ (คิดเป็นอัตราส่วนปริมาตรอากาศต่อปริมาตรโคจิ 2:1, 4:1 และ 6:1 ตามลำดับ) อุณหภูมิดังกล่าวเป็นช่วงการหมักที่จุลินทรีย์มีปริมาณสูงสุด พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มาก โดยในระยะแรกของการหมักจุลินทรีย์จะมีการย่อยอาหาร ตั้งคราเซ่กิจกรรมเอนไซม์ และเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้อุณหภูมิในระบบเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเกิน 50 องศาเซลเซียสทำให้จุลินทรีย์ในระบบตายและลดกิจกรรมต่างๆลง จึงมีการคายความร้อนน้อยลง ทำให้อุณหภูมิในถังหมักลดลงตามไปด้วย ผลของอุณหภูมิต่อผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณกลูโคซามีนดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งจากภาพที่ 2 พบว่าอุณหภูมิจะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราเร็วอากาศ เนื่องจากอัตราเร็วอากาศที่สูงขึ้นจะทำให้การพาความร้อนออกไปจากระบบการหมักได้เร็วขึ้น [5]

4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของพีเอช

พีเอชจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักโคจิ ดังแสดงในภาพที่ 3 เนื่องจากในช่วงแรกจุลินทรีย์จะใช้คาร์โบไฮเดรตจากแป้งในโคจิเป็นอาหารหลัก ต่อมาเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นเชื้อจุลินทรีย์จะเริ่มมีการใช้โปรตีนเป็นอาหารและให้ผลผลิตเป็นแอมโมเนียออกมา ทำให้สภาวะในถังหมักมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามไปด้วย สอดคล้องกับการทดลองหมักถั่วเหลืองกับเชื้อรา *A. oryzae* เพื่อใช้เป็นอาหารลูกสุกร [3] จะเห็นได้ว่าพีเอชจะลดลงและแปรผกผันกับอัตราเร็วอากาศที่มากขึ้น เนื่องจากอัตราเร็วอากาศที่สูงจะลดความร้อนในระบบ และทำให้เชื้อราสามารถปรับพีเอชในช่วงที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตได้

4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ความชื้น

พบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมีค่าเปลี่ยนแปลงไปดังภาพที่ 4 โดยค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก และเมื่อเปรียบเทียบความชื้นที่ได้จากการหมักโคจิระหว่างถังแตกเบดที่มีอัตราส่วนปริมาตรอากาศต่อปริมาตรโคจิต่างกัน จะเห็นได้ว่าความชื้นจะเพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับอัตราเร็วอากาศที่มากขึ้น เนื่องจากอัตราเร็วอากาศที่เพิ่มสูงขึ้นจะเป็นผลให้มีการถ่ายเทอากาศชื้นเข้าและออกจากระบบมากขึ้น ซึ่งไอน้ำที่เข้ามากับอากาศจะเกาะตัวอยู่กับอนุภาคอาหารเลี้ยงเชื้อ ประกอบกับมีการระเหยของไอน้ำโดยเฉพาะด้านบนของเบดทำให้ความชื้นบริเวณด้านบนของเบดต่ำกว่าบริเวณอื่น [4]

4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมเอนไซม์โปรติเอส

กิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสจะเพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับอัตราเร็วอากาศที่มากขึ้นแสดงดังภาพที่ 5 เนื่องจากอัตราเร็วอากาศที่เพิ่มสูงขึ้นจะเป็นผลให้มีการระบายความร้อนออกจากระบบและรักษาสภาวะความเป็นกรดคงไว้ได้ดีกว่า ซึ่งเหมาะแก่กิจกรรมการเจริญเติบโตของเชื้อรา *A. oryzae* และค่าเฉลี่ยของกิจกรรมเอนไซม์ในช่วงแรกจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักโคจิจนถึง 36-48 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการติดตามปริมาณโปรตีนละลายน้ำในภาพที่ 8

4.5 ผลการเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลส

กิจกรรมเอนไซม์อะไมเลสจะเพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับอัตราเร็วอากาศที่มากขึ้นดังแสดงในภาพที่ 6 เนื่องจากอัตราเร็วอากาศที่เพิ่มสูงขึ้นจะเป็นผลให้มีการระบายความร้อนออกจากระบบและรักษาพีเอชและความชื้นได้ดีกว่า ซึ่งเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเชื้อรา *A. oryzae*

4.6 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกลูโคซามีน

ปริมาณกลูโคซามีน เป็นปริมาณที่บ่งบอกการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ พบว่าเพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับอัตราเร็วอากาศแสดงดังภาพที่ 7 โดยช่วงแรกจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักจนสูงสุดที่เวลาการหมักที่มีอุณหภูมิสูงสุด จากนั้นปริมาณกลูโคซามีนจะค่อยๆลดลงเมื่อเวลาผ่านไปเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในระบบเป็นผลให้จุลินทรีย์หยุดการเจริญเติบโตและบางส่วนตายไป ซึ่งปริมาณกลูโคซามีนที่ลดลงแสดงว่าเชื้อราเริ่มอัตราการเจริญเติบโตสร้างเส้นใยลดลง

4.7 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนละลายน้ำ

ปริมาณโปรตีนละลายน้ำจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักจนสูงสุด เมื่อเวลา 36-48 ชั่วโมง มีค่าเป็น 11.10 16.80 และ 19.10 เปอร์เซ็นต์กรัมโคจิ ที่อัตราเร็วอากาศ 35.4, 80.24 และ 118 ลิตร/นาที่ ตามลำดับ (คิดเป็นอัตราส่วนปริมาตรอากาศต่อปริมาตรโคจิ 2:1, 4:1 และ 6:1 ตามลำดับ) เนื่องจากจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตมากในช่วงแรกของการหมัก ต่อมาเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้จุลินทรีย์บางส่วนหยุดการเจริญเติบโตและบางส่วนตายลง ทำให้ค่าปริมาณโปรตีนละลายน้ำลดลงดังแสดงในภาพที่ 8 จากนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป จะเห็นว่าปริมาณโปรตีนละลายน้ำจะเพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับอัตราเร็วอากาศ

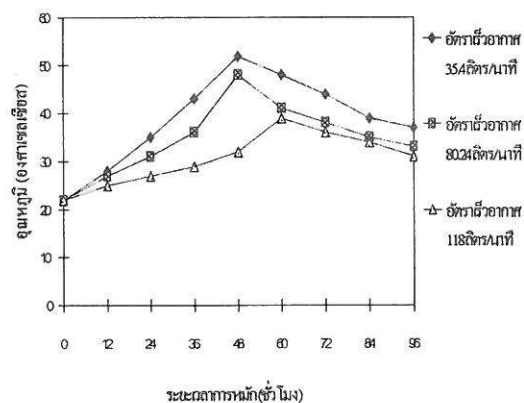
4.8 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนที่แท้จริง

ปริมาณโปรตีนที่แท้จริงจะเพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับอัตราเร็วอากาศ แต่มีค่าใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากปริมาณโปรตีนที่แท้จริงจะแสดงค่าปริมาณโปรตีนรวมของระบบคือทั้งโปรตีนที่เป็นผลิตภัณฑ์และ

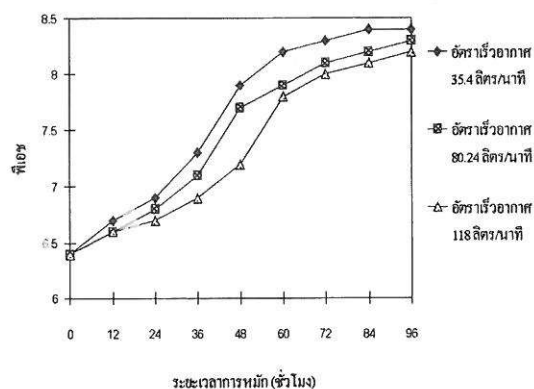
โปรตีนจากเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้ค่าตัวแปรนี้ไม่ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเพราะว่าแม้จุลินทรีย์ในระบบจะเกิดการตายลงแต่ยังสามารถวัดค่าโปรตีนจากเซลล์ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลัง 36 ชั่วโมงจะคงที่อยู่ระหว่าง 39.5-40 เปอร์เซ็นต์/กรัมโคจิ ดังแสดงในภาพที่ 9 เนื่องจากอัตราเร็วอากาศที่เพิ่มขึ้นจะช่วยระบายความร้อนและรักษาพีเอชของระบบไว้ได้ดีกว่าซึ่งเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเชื้อรา

4.9 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงค์

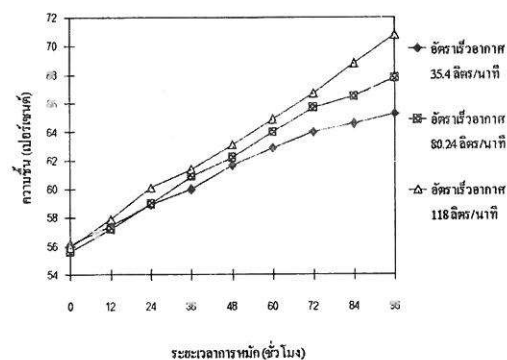
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงค์จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักจนสูงสุด ณ เวลา 36 และ 60 ชั่วโมง (0.89 1.42 และ 1.69 เปอร์เซ็นต์/กรัมโคจิ ที่อัตราเร็วอากาศ 35.4 80.24 และ 118 ลิตร/นาที่ ตามลำดับ) การที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงค์เพิ่มขึ้นเนื่องจาก เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตและย่อยสลายแป้งที่มีอยู่ในโคจิได้เป็นน้ำตาลรีดิวซิงค์ และต่อจากนั้นจะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ ประกอบกับต่อมาเชื้อราลดการเจริญเติบโตลงเนื่องจากผลการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงค์กลับลดลงในเวลาต่อมา ดังแสดงในภาพที่ 10 จากนั้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงค์จะเปลี่ยนแปลงขึ้นและลงเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากอุณหภูมิในระบบลดลง ทำให้เชื้อจุลินทรีย์บางส่วนสามารถทำกิจกรรมต่อได้ จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงค์จะเพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับอัตราเร็วอากาศที่มากขึ้น เนื่องจากอัตราเร็วอากาศที่มากขึ้นจะช่วยรักษาอุณหภูมิของระบบให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเชื้อรา



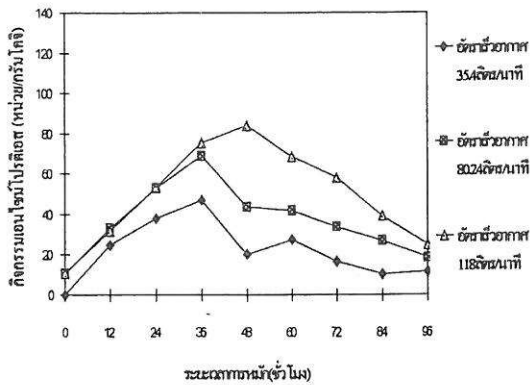
ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับระยะเวลาการหมักเมื่อใช้อัตราเร็วอากาศต่างกัน



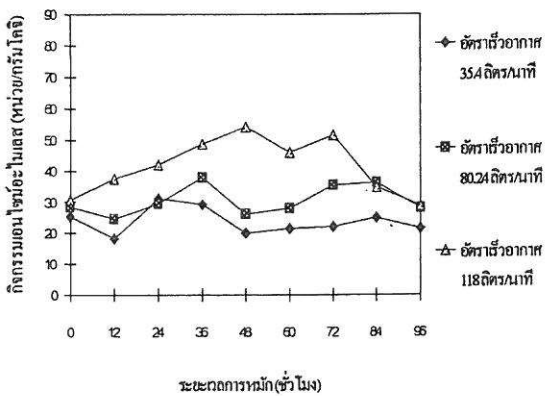
ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของพีเอชกับระยะเวลาการหมักเมื่อใช้อัตราเร็วอากาศต่างกัน



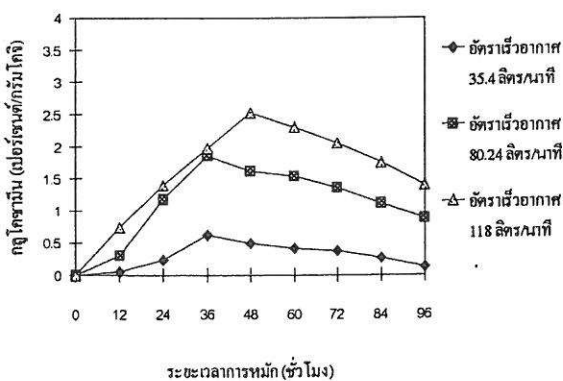
ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการหมักเมื่อใช้อัตราเร็วอากาศต่างกัน



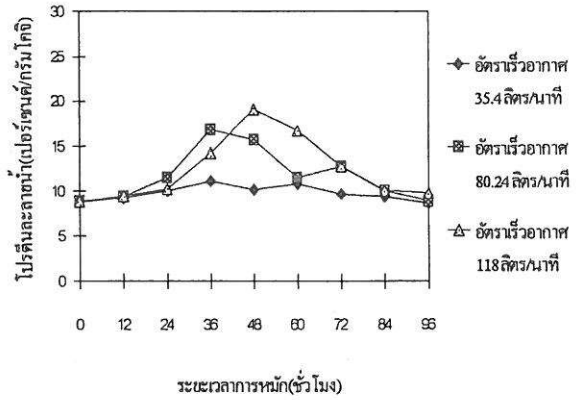
ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมเอนไซม์โปรติเอสกับระยะเวลาการหมักเมื่อใช้อัตราเร็วอากาศต่างกัน



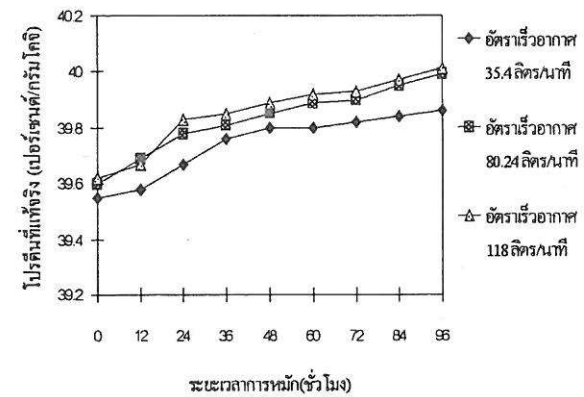
ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลสกับระยะเวลาการหมักเมื่อใช้อัตราเร็วอากาศต่างกัน



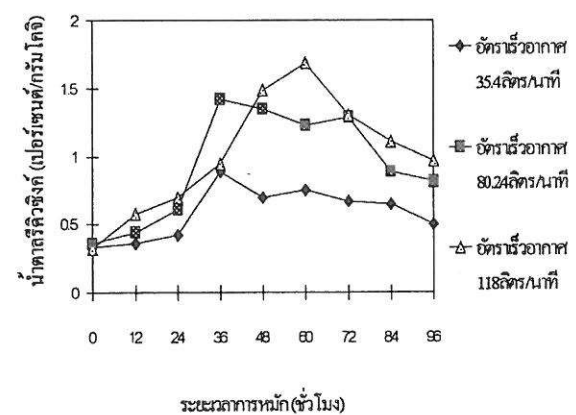
ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของกลูโคซามีนกับระยะเวลาการหมักเมื่อใช้อัตราเร็วอากาศต่างกัน



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนละลายน้ำกับระยะเวลาการหมักเมื่อใช้อัตราเร็วอากาศต่างกัน



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนที่แท้จริงกับระยะเวลาการหมักเมื่อใช้อัตราเร็วอากาศต่างกัน



ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงค์กับระยะเวลาการหมักเมื่อใช้อัตราเร็วอากาศต่างกัน

5. สรุป

อัตราส่วนปริมาตรอากาศต่อปริมาตรโคจิ หรืออัตราเร็วอากาศไหลเข้า คือ ตัวแปรเบื้องต้นที่มีผลต่อการทำงานของระบบ (Operating condition) และส่งผลกระทบเนื่องต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและค่าต่างๆทางเคมีในระหว่างการหมักโคจิ นั่นคืออุณหภูมิจะแปรผกผันกับอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อปริมาตรโคจิ ขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะแปรผันตามกับอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อปริมาตรโคจิ เนื่องจากเมื่อมีอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อปริมาตรโคจิสูง จะมีอากาศชื้นไหลเข้าระบบมาก ทำให้เกิดการระบายความร้อนโดยการพา และการระเหยความชื้นในระบบขึ้น มีผลให้เชื้อรา *A.oryzae* มีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น (ดูได้จากค่าปริมาณกลูโคซามีนซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับมวลชีวภาพ) และเกิดกิจกรรมเอนไซม์โปรติเอส กิจกรรมเอนไซม์อะไมเลสได้สูง สามารถย่อยแป้งและถั่วเหลืองให้ปริมาณน้ำตาลน้ำตาลรีดิวซิงค์และปริมาณโปรตีนละลายน้ำได้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] กลนิษฐา สุวรรณเมนะ. 2522. การศึกษาเชื้อราในขบวนการหมักซีอิ้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [2] มณีรัตน์ ติรนนทกุล. 2542. การศึกษาทดลองหมักถั่วเหลืองแบบอาหารแข็งในระบบแพคเบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [3] วรณดี แสงดี. 2529. การหมักถั่วเหลืองด้วยเชื้อจุลินทรีย์ผสมเพื่อใช้เป็นอาหารลูกสุกรหย่านมก่อนกำหนด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [4] Narahara, H. , Y. Koyama, T. Yshida, P. Atthasampunna and H. Taguchi. 1984. Control of water content in a solid state culture of *Aspergillus.oryzae*. J. Ferment. Technol. 62:453-459.
- [5] Sangsurasak, P. and D.A. Mitchell. 1995. Incorporation of death kinetic into a 2- dimensional dynamic heat transfer model for solid state fermentation. J. Chem. Tech. Biotechnol. 64:253-260.
- [6] Sangsurasak, P., Heat transfer model of packed bed bioreactors in solid-state fermentation. PhD thesis, The University of Queensland, Brisbane, Australia, 1996.