บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการตรวจสอบลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์

4.1.1 *Cellulomonas* sp.

จากการตรวจสอบลักษณะของเซลล์ *Cellulomonas* sp. ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 500 เท่า พบลักษณะของเซลล์ ดังรูปที่ 10

4.1.2 *A. faecalis*

จากการตรวจสอบลักษณะของเซลล์ *A. faecalis* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 500 เท่า พบลักษณะของเซลล์ ดังรูปที่ 11

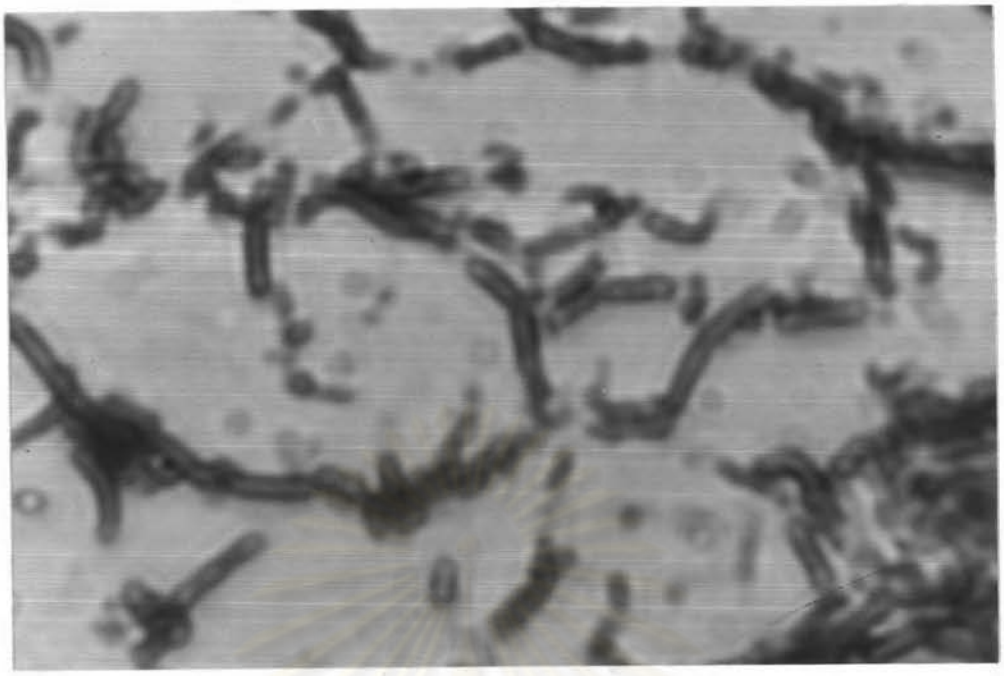
4.1.3 *T. viride*

จากการตรวจสอบลักษณะสปอร์และไมซีเลี่ยมของ *T. viride* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 500 เท่า พบลักษณะของสปอร์และไมซีเลี่ยม ดังรูปที่ 12

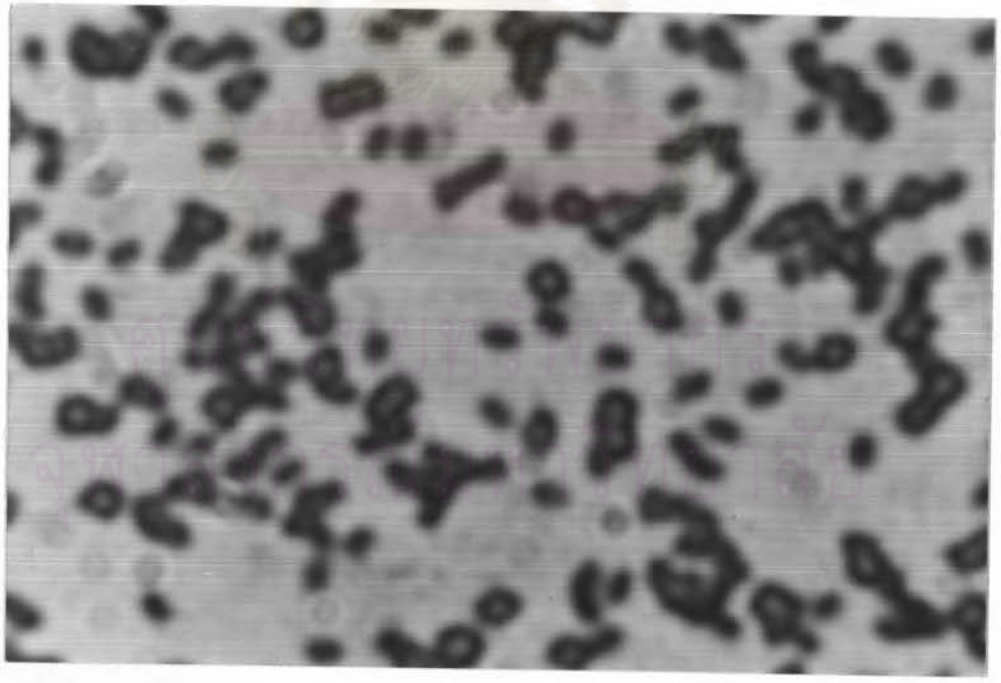
4.1.4 *C. utilis*

จากการตรวจสอบลักษณะของเซลล์ *C. utilis* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 500 เท่า พบลักษณะของเซลล์ ดังรูปที่ 13

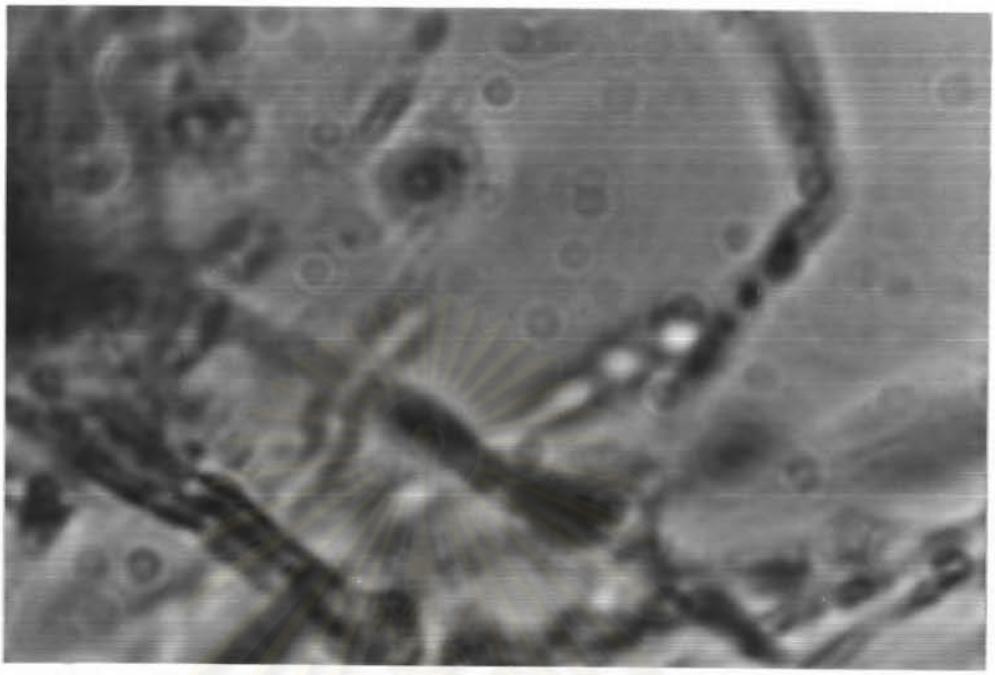
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



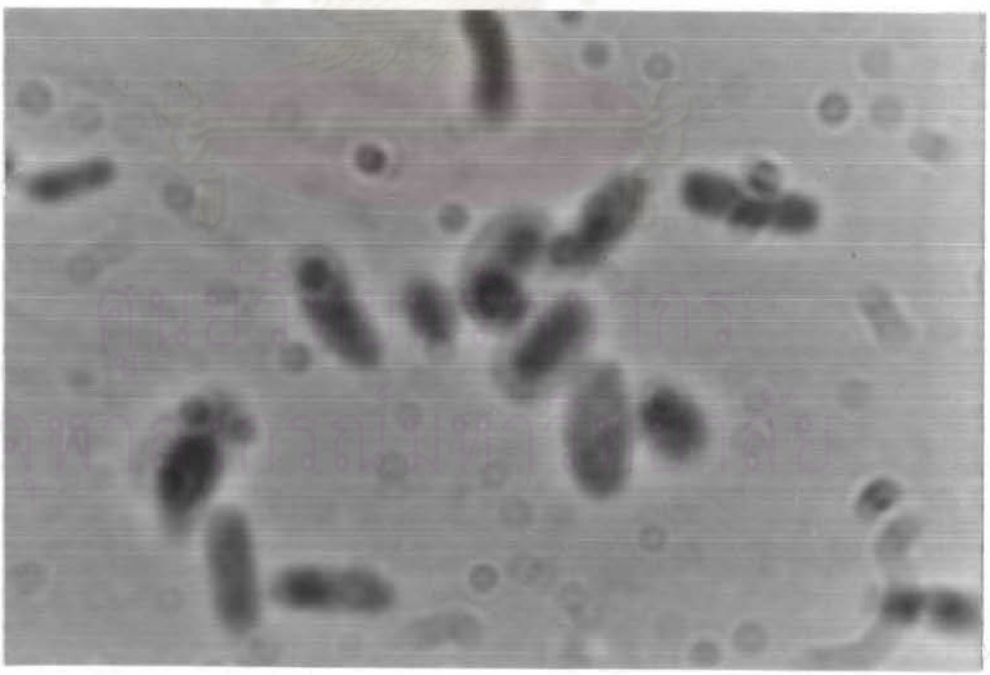
รูปที่ 10 ลักษณะของเซลล์ *Cellulomonas* sp. ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 11 ลักษณะของเซลล์ *A. faecalis* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 12 ลักษณะสปอร์และไมซีเลี่ยมของ *T. viride* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 13 ลักษณะของเซลล์ *C. utilis* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 500 เท่า

4.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น

โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 4 เปอร์เซนต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที นึ่งในหม้อนึ่งความดัน ตามวิธีการทดลองที่ 3.6.1 และ 3.6.2 วิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ได้ผลดังตารางที่ 3

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น

ส่วนประกอบ	% น้ำหนักแห้ง
โฮโลเซลลูโลส	76.90
แอลฟา-เซลลูโลส	52.60
เฮมิเซลลูโลส	24.30
ลิกนิน	10.60
โปรตีน	4.60

4.3 ผลการศึกษาการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ชนิดเดียวในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว

4.3.1 ผลการศึกษาการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp.ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว

จากการทดลองหมักฟางข้าวด้วยเชื้อ *Cellulomonas* sp. ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว ตามสูตรของ Han และ Callihan (1974) และใช้ฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ตามวิธีการทดลองข้อ 3.6.1 และ 3.6.2 เป็นแหล่งคาร์บอน หมักบนเครื่องเขย่าแบบหมุนวน ที่ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส เวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน ตามวิธี 3.7.1.1 เมื่อครบกำหนดเวลานำมาศึกษาผลการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส, การเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อ, ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก ตลอดจนศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และ

ปริมาณ soluble protein ที่เกิดจากการหมักฟางข้าวได้ผลการทดลอง ดังต่อไปนี้ คือ

4.3.1.1 ผลการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

จากการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ย่อยที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เซลลูเลสคือ เอกโซกลูคาเนส, เอนโดกลูคาเนส, เบต้า-กลูโคซิเดส และเซลลูเลสรวม (เป็นดัชนีแสดงการย่อยสลายเซลลูโลสของเอนไซม์เซลลูเลส) (Mandels และ Reese, 1957; Mandels 1975; Mandels และ Sternberg, 1976) ติดตามผลการทดลอง ดังแสดงรูป 14 พบว่า ระยะแรกของการหมัก (0-2วัน) มีแอคติวิตีของเซลลูเลสรวม, เอกโซ-กลูคาเนส, เอนโดกลูคาเนสและเบต้า-กลูโคซิเดสต่ำ แต่เมื่อหมักเป็นเวลานานขึ้นแอคติวิตีของเอนไซม์ย่อยทั้ง 4 ชนิดค่อยๆเพิ่มขึ้นและแอคติวิตีของเซลลูเลสรวมสูงสุดในวันที่ 8 ของการหมักเท่ากับ 0.51 หน่วยต่อมิลลิลิตร และแนวโน้มลดลงเมื่อหมักเป็นเวลานานขึ้น(10วัน)ส่วนแอคติวิตีของเอกโซกลูคาเนส, เอนโดกลูคาเนส และ เบต้า-กลูโคซิเดส มีแอคติวิตีสูงสุดเท่ากับ 3.07, 0.47 และ 0.09 หน่วยต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

4.3.1.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวระหว่างการหมักที่มีผลต่อการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว พบว่า พีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวเพิ่มสูงขึ้นจากจุดเริ่มต้นคือ 6.6 ในขณะที่มีการสังเคราะห์เอนไซม์เซลลูเลสโดยเพิ่มขึ้นเป็น 7.21, 7.36, 6.98, 7.26 และ 7.21 ในวันที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 ของการหมักตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 14

4.3.1.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก พบว่า ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างช้า ๆ ดังแสดงในรูปที่ 14 เมื่อหมักฟางข้าวด้วยแบคทีเรียนี้เป็นเวลานานขึ้น โดยมีปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดเท่ากับ 0.139 กรัมโปรตีนต่อกรัมฟางข้าว ในวันที่ 8 ของการหมัก

4.3.2 ผลการศึกษาการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว

จากการทดลองหมักฟางข้าวด้วยเชื้อ *T. viride* ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว

Czapek's dox media ตามสูตรของ Mandels และ Weber (1969) และใช้ฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นตามวิธีการทดลองข้อ 3.6.1 และ 3.6.2 เป็นแหล่งคาร์บอน หมักบนเครื่องเขย่าแบบหมุนวน ที่ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน ตามลำดับ ตามวิธีการทดลองที่ 3.7.2.1 เมื่อครบกำหนดเวลานำมาศึกษาผลการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส,การเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว,ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักตลอดจนศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณ soluble protein ที่เกิดจากการหมักฟางข้าว ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้ คือ

4.3.2.1 ผลการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

จากการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ย่อยที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เซลลูเลสคือ เอกโซกลูคาเนส, เอนโดกลูคาเนส, เบต้า-กลูโคซิเดส และเซลลูเลสรวม (เป็นดัชนีแสดงการย่อยสลายเซลลูโลสของเอนไซม์เซลลูเลส) (Mandels และ Reese, 1957; Mandels 1975; Mandels และ Sternberg, 1976) ติดตามผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 15 พบว่า แอคติวิตีของเซลลูเลสรวมสูงสุดในวันที่ 6 ของการหมัก เท่ากับ 1.02 หน่วยต่อมิลลิลิตร และมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อหมักเป็นเวลานานขึ้น (8-10วัน) ส่วนแอคติวิตีของเอกโซกลูคาเนส, เอนโดกลูคาเนส และเบต้า-กลูโคซิเดส มีแอคติวิตีสูงสุด เท่ากับ 9.01, 0.61 และ 0.26 หน่วยต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

4.3.2.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวระหว่างการหมักที่มีผลต่อการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

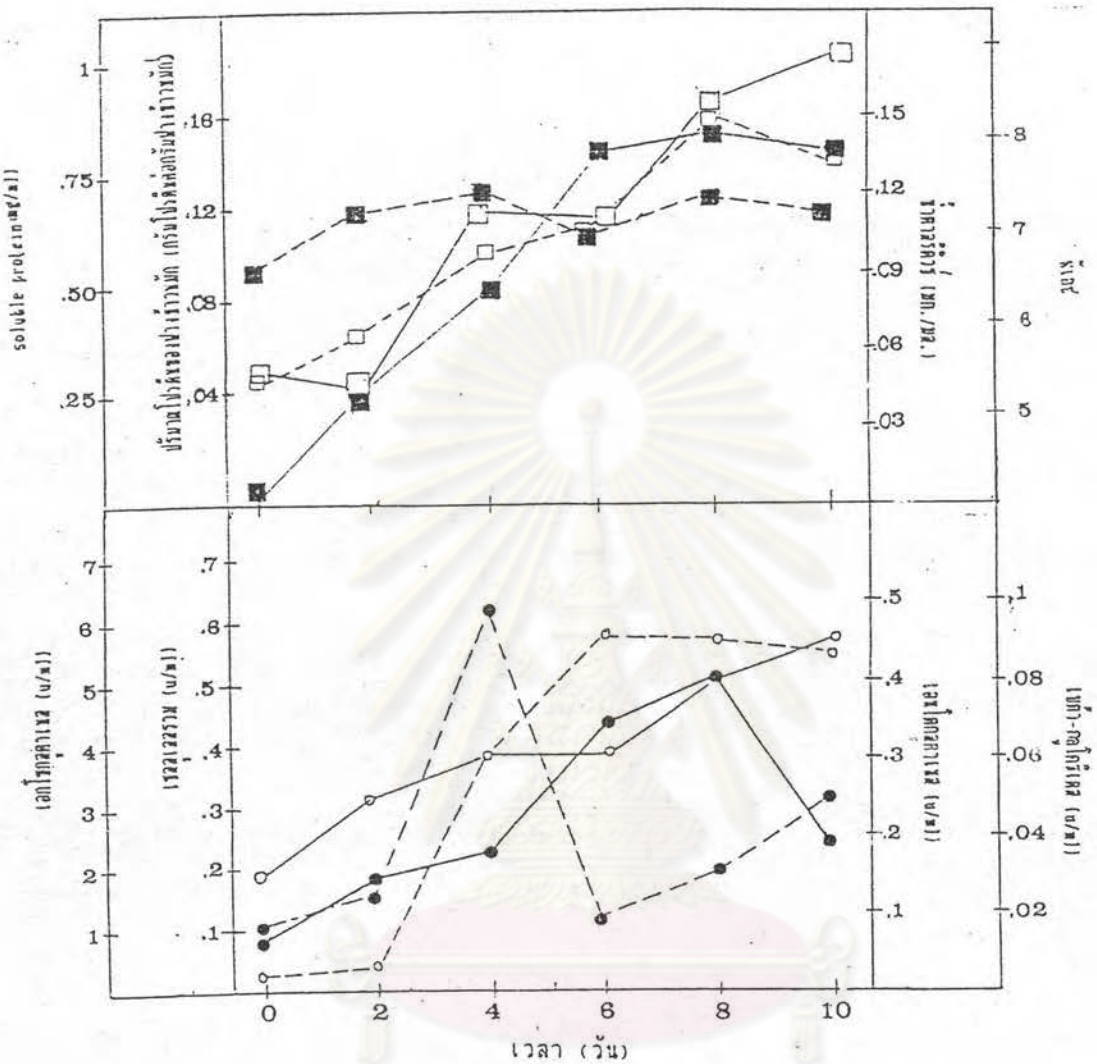
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว พบว่า พีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากจุดเริ่มต้น คือ 5.3 ขณะที่มีการสังเคราะห์เอนไซม์เซลลูเลส โดยเปลี่ยนแปลงเป็น 5.52, 5.86, 5.13, 4.93 และ 4.23 ในวันที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 ของการหมักตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 15

4.3.2.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก พบว่า ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างช้า ๆ ดังแสดงในรูปที่ 15 เมื่อหมักฟางข้าวด้วยเชื้อรานี้เป็นเวลานานขึ้น และมีปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุด คือ 0.123 กรัมโปรตีนต่อกรัม

ฟางข้าวในวันที่ 6 ของการหมัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 14 การหมักน่างข้าวด้วย *Cellulomonas* sp.

●——● หมายถึง เซลลูเลสรวม

■——■ หมายถึง น้ำตาลรีดิวซ์

●- - - -● หมายถึง เอกโซกลูคาเนส

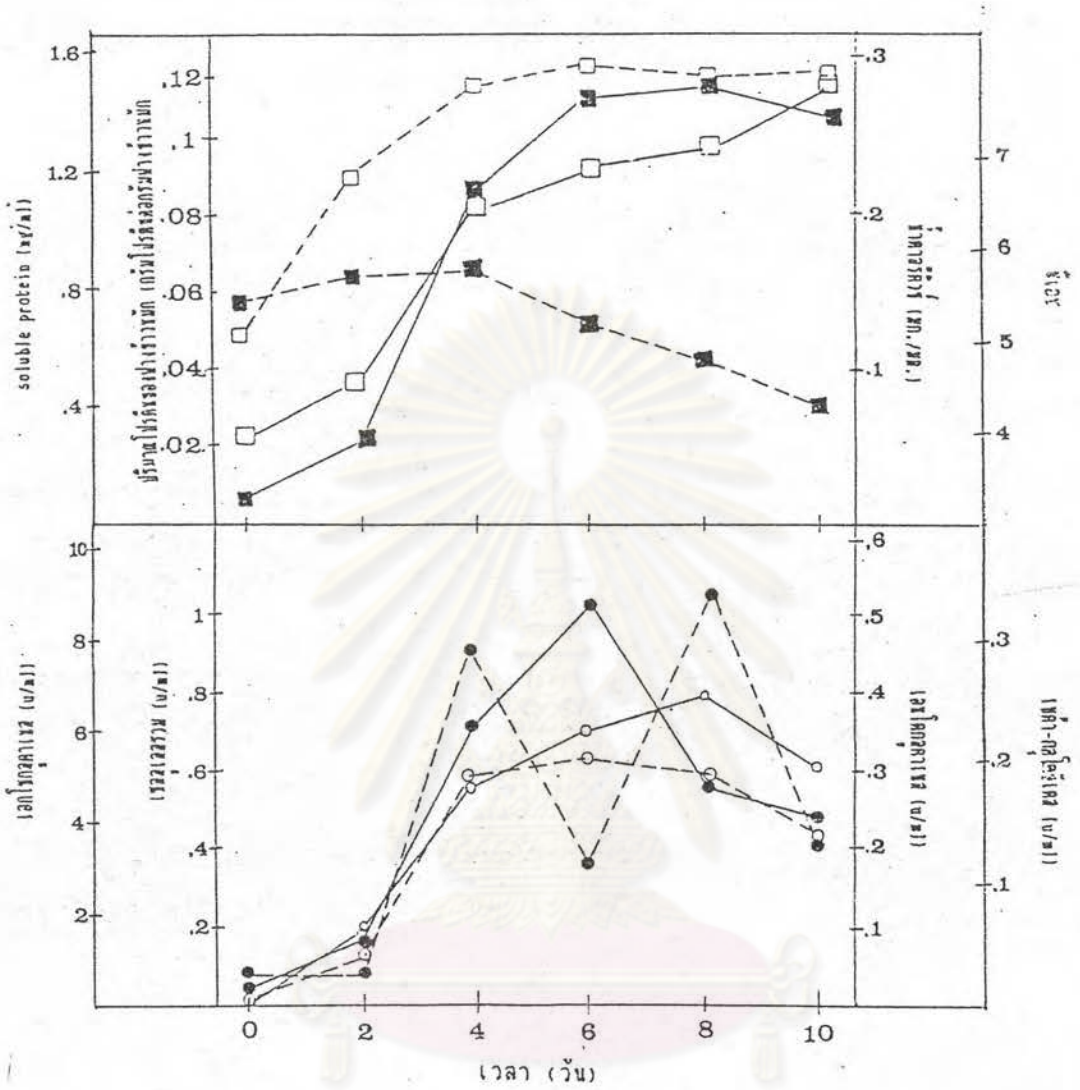
□- - -□ หมายถึง โปรตีนของน่างข้าวหมัก

○——○ หมายถึง เอนโดกลูคาเนส

□——□ หมายถึง soluble protein

○- - - -○ หมายถึง เบต้า-กลูโคซิเดส

■- - -■ หมายถึง พีเอช



รูปที่ 15 การหมักฝ่างข้าวด้วย *T. viride*

หมายถึง เซลลูเลสรวม

หมายถึง น้ำตาลรีดิวซ์

หมายถึง เอกโซกลูคาเนส

หมายถึง โปรตีนของฝ่างข้าวหมัก

หมายถึง เอนโดกลูคาเนส

หมายถึง soluble protein

หมายถึง เบต้า-กลูโคซิเดส

หมายถึง พีเอช

4.4 ผลการศึกษาการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ชนิดเดียวใน buffer medium

4.4.1 ผลการศึกษาการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. และควบคุมพีเอชที่ 6.6 ด้วย buffer medium

จากการทดลองหมักฟางข้าวด้วยเชื้อ *Cellulomonas* sp. ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว ตามสูตรของ Han และ Callihan (1974) แต่เปลี่ยนมาใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 6.6 แทนน้ำกลั่นในสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว และใช้ฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นตามวิธีการทดลองข้อ 3.6.1 และ 3.6.2 เป็นแหล่งคาร์บอนหมักบนเครื่องเขย่าแบบหมุนวนที่ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน ตามวิธีที่ 3.7.1.1 และ 3.7.1.3 เมื่อครบกำหนดเวลานำมาศึกษา ผลการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส, การเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว, ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก ตลอดจนศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และ soluble protein ที่เกิดจากการหมักฟางข้าว ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้ คือ

4.4.1.1 ผลการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

จากการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ย่อยที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เซลลูเลสคือ เอกโซกลูคาเนส, เอนโดกลูคาเนส, เบต้า-กลูโคซิเดส และเซลลูเลสรวม ติดตามผลการทดลอง ดังแสดงรูปที่ 16 พบว่า *Cellulomonas* sp. มีแอคติวิตีของเซลลูเลสรวมสูงสุด เท่ากับ 0.67 หน่วยต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 4 ของการหมักและมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อหมักเป็นเวลานานขึ้น ส่วนแอคติวิตีของเอกโซกลูคาเนส, เอนโดกลูคาเนส และเบต้า-กลูโคซิเดส มีค่าแอคติวิตีสูงสุดเท่ากับ 8.52, 0.62 และ 0.10 หน่วยต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

4.4.1.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของ buffer medium ระหว่างการหมักที่มีผลต่อการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของ buffer medium ดังแสดงในรูปที่ 16 พบว่า พีเอชของ buffer medium เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากจุดเริ่มต้น คือ 6.6ในขณะที่มีการสังเคราะห์เอนไซม์เซลลูเลสเพียงเล็กน้อย โดยเปลี่ยนแปลงเป็น 6.90, 6.38, 6.86, 6.84 และ 7.10 ในวันที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 ของการหมักตามลำดับ

4.4.1.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก พบว่า ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างช้า ๆ ดังแสดงในรูปที่ 16 เมื่อหมักแบคทีเรียนี้เป็นเวลานานขึ้น โดยมีผลผลิตโปรตีนเซลล์เดียวสูงสุดเท่ากับ 0.139 กรัมโปรตีนต่อกรัมฟางข้าว ในวันที่ 8 ของการหมัก และเมื่อหมักจนครบ 10 วัน พบว่า ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักมีแนวโน้มลดลง

4.4.2 ผลการศึกษาการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* และควบคุมพีเอชที่ 5.3 ด้วย buffer medium

จากการทดลองหมักฟางข้าวด้วยเชื้อ *T. viride* ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว Czapek's dox media ตามสูตรของ Mandels และ Weber, (1969) แต่ดัดแปลงมาใช้ซิเตรตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ พีเอช 5.3 แทนน้ำกลั่นในสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว และใช้ฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นตามวิธีทดลองข้อ 3.6.1 และ 3.6.2 เป็นแหล่งคาร์บอนหมักบนเครื่องเขย่าแบบหมุนวน ที่ 200รอบต่อนาที อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ10 วัน ตามวิธีการทดลองที่ 3.7.2.1 และ 3.7.2.3 เมื่อครบกำหนดเวลานำมาศึกษาผลการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส, การเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว, ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก ตลอดจนศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณ soluble protein ที่เกิดจากการหมักฟางข้าว ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้ คือ

4.4.2.1 ผลการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

จากการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ย่อยที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เซลลูเลสคือ เอกโซกลูคาเนส, เอนโดกลูคาเนส ,เบต้า-กลูโคซิเดส และเซลลูเลสรวม,ติดตามผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 17 พบว่า *T. viride* มีแอคติวิตีของเซลลูเลสรวมสูงสุดเท่ากับ 1.05 หน่วยต่อมิลลิลิตรในวันที่ 4 ของการหมัก และมีแนวโน้มลดลงเมื่อหมักเป็นเวลานานขึ้นส่วนแอคติวิตีของเอกโซกลูคาเนส, เอนโดกลูคาเนส และเบต้า-กลูโคซิเดส มีแอคติวิตีสูงสุดเท่ากับ 14.79, 0.90 และ 0.30 หน่วยต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

4.4.2.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของ buffer medium ระหว่างการหมักที่มีผลต่อการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของ buffer medium ดังแสดงในรูปที่ 17 พบว่า พีเอชของ buffer medium เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพียงเล็กน้อยจากจุดเริ่มต้น คือ 5.3 ในขณะที่มีการสังเคราะห์เอนไซม์เซลลูเลสโดยเปลี่ยนแปลงเป็น 5.27, 5.26, 5.07, 4.99 และ 5.83 ในวันที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 ของการหมักตามลำดับ

4.4.2.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก พบว่า ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างช้า ๆ ดังแสดงในรูปที่ 17 เมื่อหมักฟางข้าวด้วยเชื้อรานี้เป็นเวลานานขึ้น โดยมีผลผลิตโปรตีนเซลล์เดียวสูงสุดเท่ากับ 0.174 กรัมโปรตีนต่อกรัมฟางข้าว ในวันที่ 6 ของการหมักและเมื่อหมักจนครบ 10 วัน พบว่า ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักมีแนวโน้มลดลง

4.5 <u>เปรียบเทียบผลการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ชนิดเดียวที่ควบคุมพีเอชด้วย buffer medium และไม่ใช้ buffer medium</u>

4.5.1 ผลการเปรียบเทียบการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. กับ *Cellulomonas* sp. และควบคุมพีเอชที่ 6.6 ด้วย buffer medium

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. ดังผลข้อ 4.3.1 กับการหมักด้วย *Cellulomonas* sp. และควบคุมพีเอชที่ 6.6 ด้วย buffer medium ดังผลข้อ 4.4.1 พบว่า แอคติวิตีของเอนไซม์ย่อยที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เซลลูเลส 4 ชนิด จากการหมักฟางข้าวและควบคุมพีเอชที่ 6.6 มีแนวโน้มของเอนไซม์ย่อยทั้ง 4 ชนิดที่สูงกว่าการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. ดังแสดงในรูปที่ 18 เช่นเดียวกับปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักที่เกิดขึ้น ซึ่งการหมักแบบควบคุมพีเอช ที่ 6.6 มีแนวโน้มที่จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการหมักแบบควบคุมพีเอชที่ 6.6 มีแนวโน้มว่ามีปริมาณสูงกว่า โดยสูงกว่า 0.002, 0.06, 0.01, 0.0273 และ 0.027 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อหมักเป็นเวลา 2, 4, 6 8 และ 10 วันตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 19 และเมื่อเปรียบเทียบแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลสและปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดโดยการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า การหมักฟางข้าวด้วยวิธีการทั้ง 2 วิธีการ มีแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลสทั้ง 4 ชนิด และปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก

สูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลส และปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดจากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. และควบคุมพีเอชที่ 6.6 ด้วย buffer medium กับ *Cellulomonas* sp.

ชนิด	แอคติวิตีสูงสุด (หน่วยต่อมิลลิลิตร)				ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก (ก./ก.ฟางข้าว)
	C_o	C_1	C_x	β	
Cellulomonas sp.	0.51	6.39	0.47	0.09	0.139
Cellulomonas sp.*	0.67	8.52	0.62	0.10	0.139

* แบบควบคุมพีเอชที่ 6.6 ด้วย buffer medium

หมายเหตุ C_o คือ เซลลูเลสรวม

C_1 คือ เอกโซกลูคาเนส

C_x คือ เอนโดกลูคาเนส

β คือ เบต้า-กลูโคซิเดส

4.5.2 ผลการเปรียบเทียบการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* และควบคุมพีเอชที่ 5.3 ด้วย buffer medium กับ *T. viride*

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ดังข้อ 4.3.2 กับผลการหมักด้วย *T. viride* และควบคุมพีเอชที่ 5.3 ด้วย buffer medium ดังข้อ 4.4.2 พบว่า แอคติวิตีของเอนไซม์ย่อยที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เซลลูเลส 4 ชนิดจากการหมักฟางข้าวและควบคุมพีเอชที่ 5.3 มีแนวโน้มของเอนไซม์ย่อยทั้ง 4 ชนิดที่สูงกว่าการหมักฟางข้าวด้วย

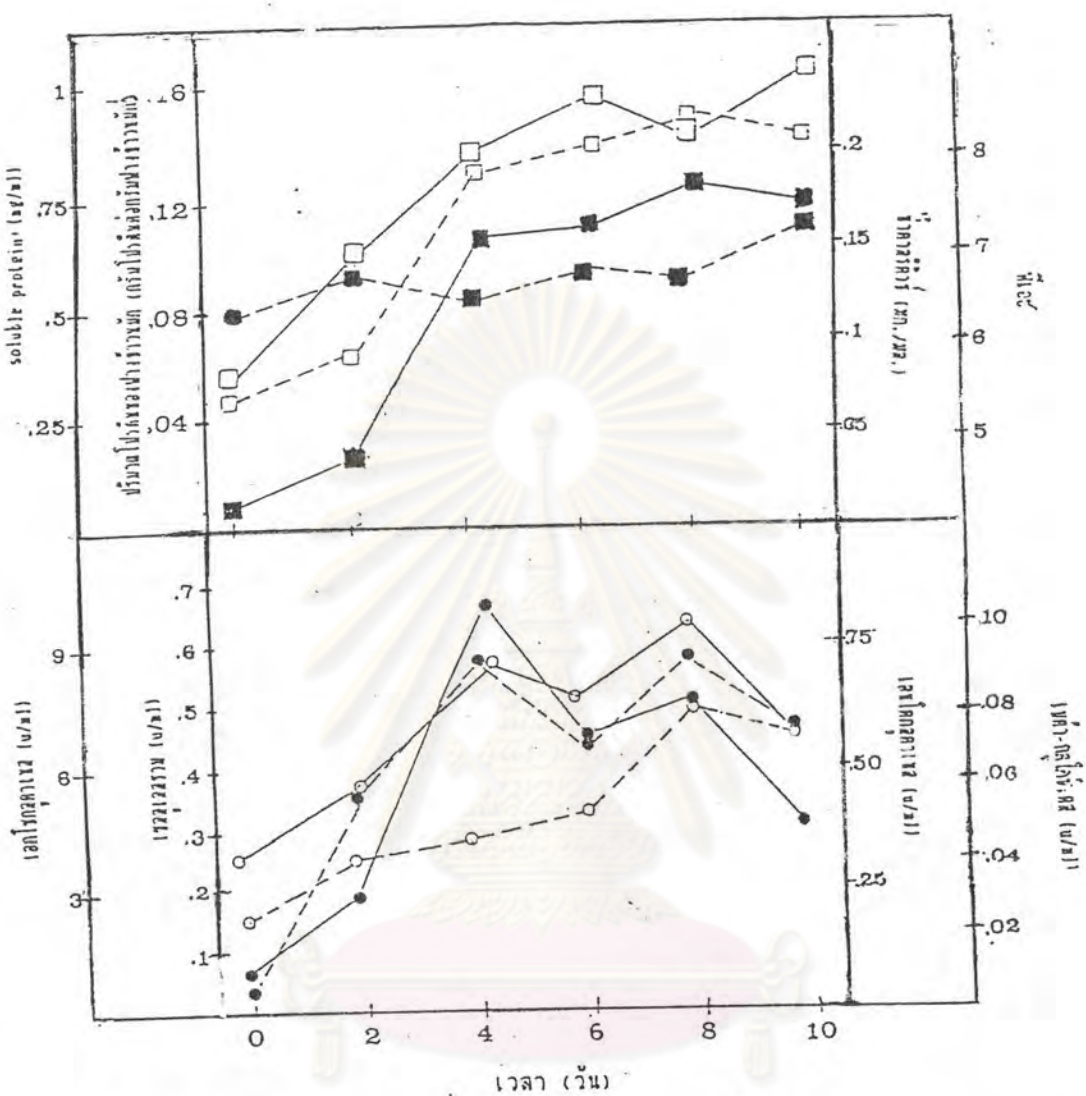
T. viride ดังแสดงในรูปที่ 20 เช่นเดียวกับปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักที่เกิดขึ้น การหมักและควบคุมพีเอชที่ 5.3 ด้วย buffer medium มีแนวโน้มว่ามีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการหมักและควบคุมพีเอชที่ 5.3 มีแนวโน้มว่าจะมีปริมาณมากกว่าโดยสูงกว่า 0.003, 0.081, 0.019, 0.041 และ 0.065 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรเมื่อหมักเวลา 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 21 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลสและปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักจากการหมักโดยการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า การหมักฟางข้าวด้วยวิธีการทั้งสอง มีค่าเฉลี่ยของแอคติวิตีของเซลลูเลสรวม, เอนโดกลูคาเนส และเบต้า-กลูโคซิเดส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติส่วนเอกโซกลูคาเนสและปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลส และปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก จากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* และควบคุมพีเอชที่ 5.3 ด้วย buffer medium กับ *T. viride*

ชนิด	แอคติวิตีสูงสุด(หน่วยต่อมิลลิลิตร)				ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก (ก./ก.ฟางข้าว)
	C_o	C_1	C_x	β	
T. viride	1.02	9.01	0.61	0.26	0.123
*T. viride**	1.05	14.79**	0.91	0.30	0.174**

* แบบควบคุมพีเอชที่ 5.3 ด้วย buffer medium

** ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



รูปที่ 16 การหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. และควบคุมพีเอชที่ 6.60 ด้วย buffer medium

หมายถึง เซลลูเลสรวม

หมายถึง น้ำตาลรีดิวซ์

หมายถึง เอกโซกลูคาเนส

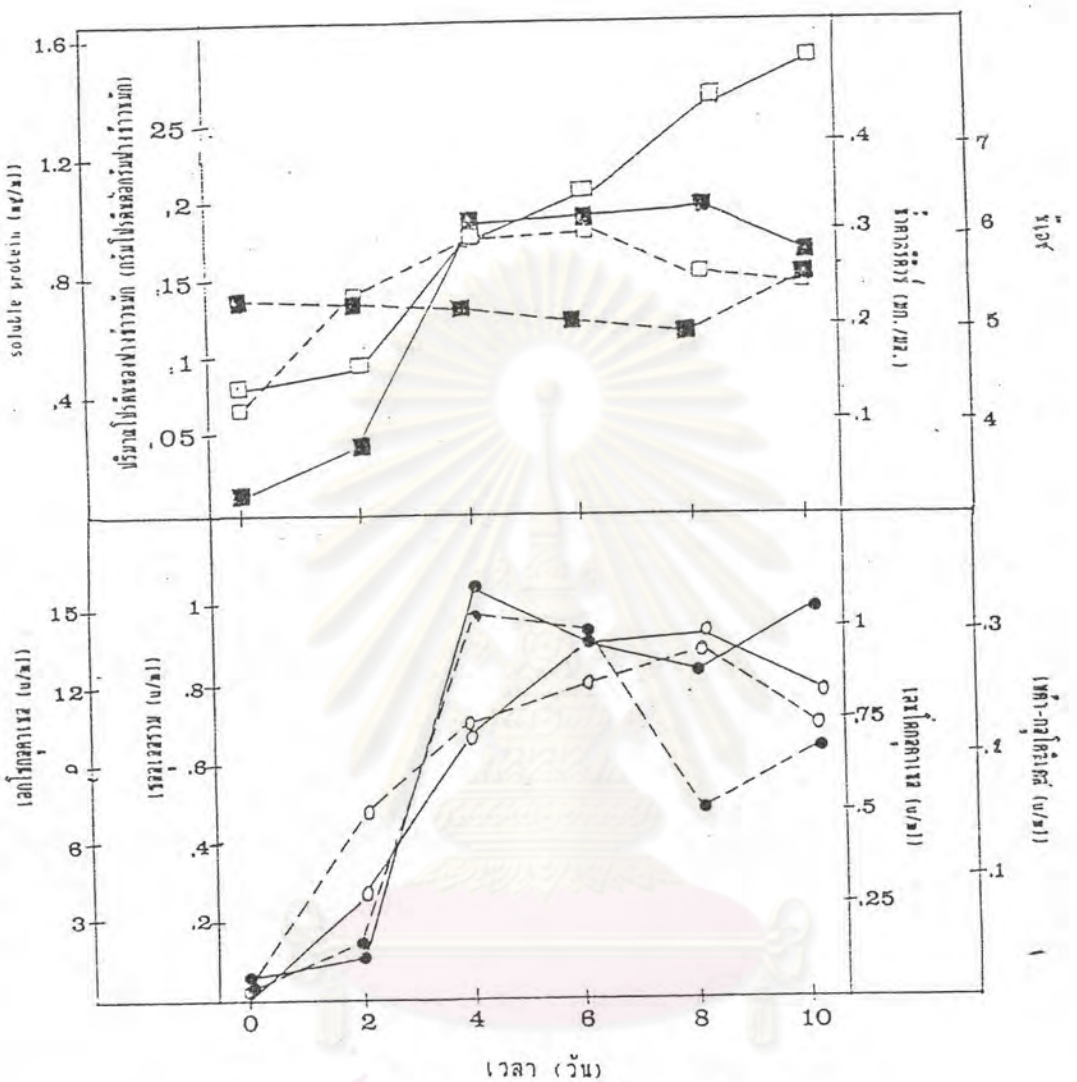
หมายถึง โปรตีนของฟางข้าวหมัก

หมายถึง เอนโดกลูคาเนส

หมายถึง soluble protein

หมายถึง เบต้า-กลูโคซิเดส

หมายถึง พีเอช



รูปที่ 17 การหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* และควบคุมพีเอชที่ 5.30 ด้วย buffer medium

หมายถึง เซลลูเลสรวม

หมายถึง น้ำตาลรีดิวซ์

หมายถึง เอกโซกลูคาเนส

หมายถึง โปรตีนของฟางข้าวหมัก

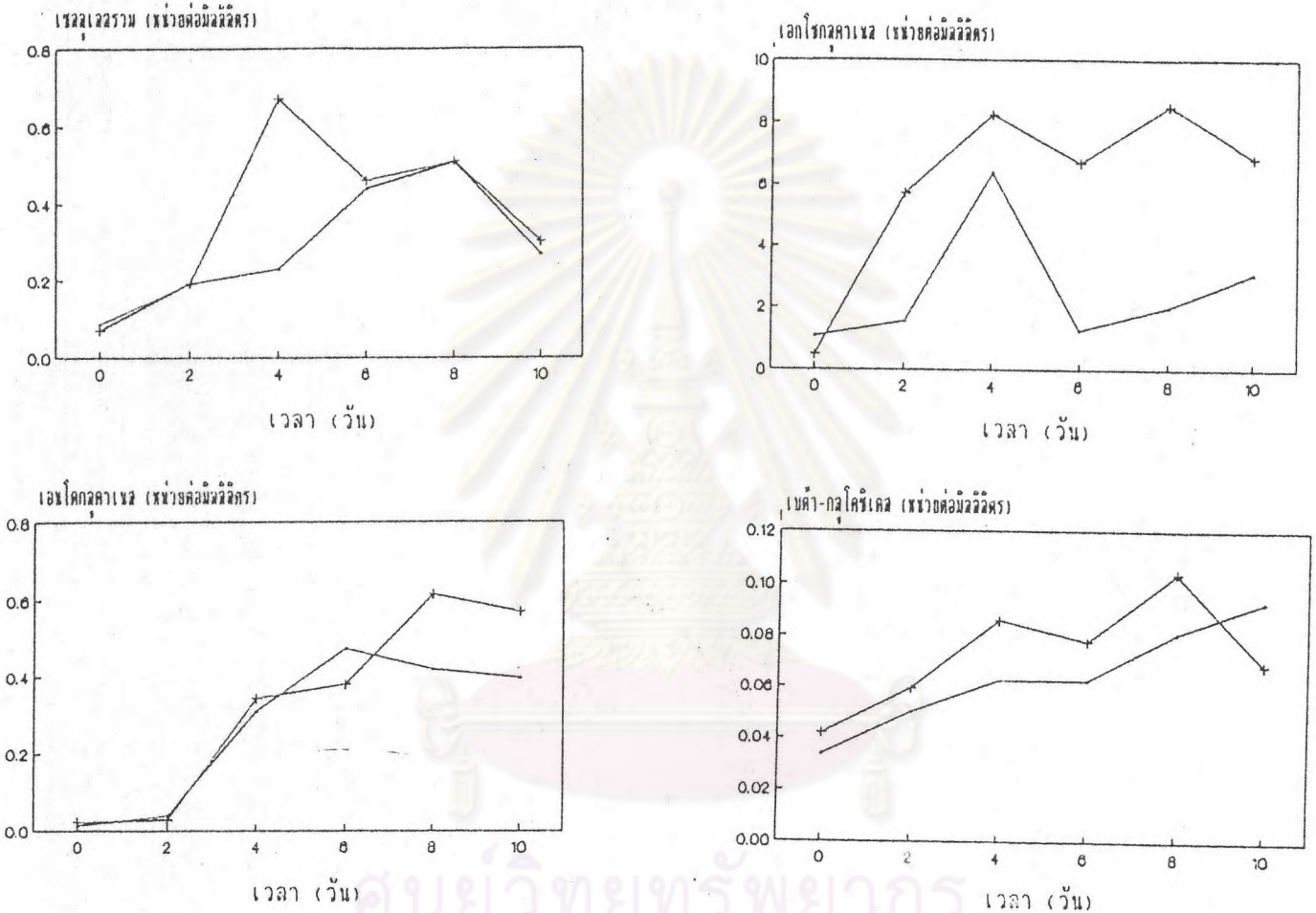
หมายถึง เอนโซกลูคาเนส

หมายถึง soluble protein

หมายถึง เบต้า-กลูโคซิเดส

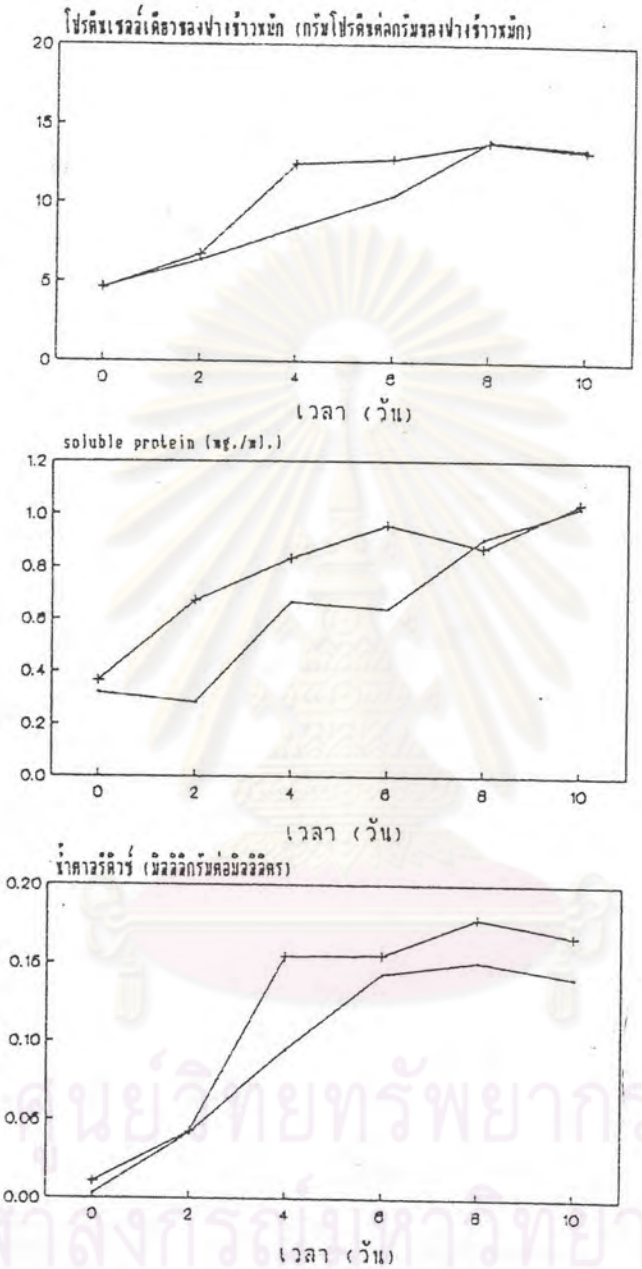
หมายถึง พีเอช

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

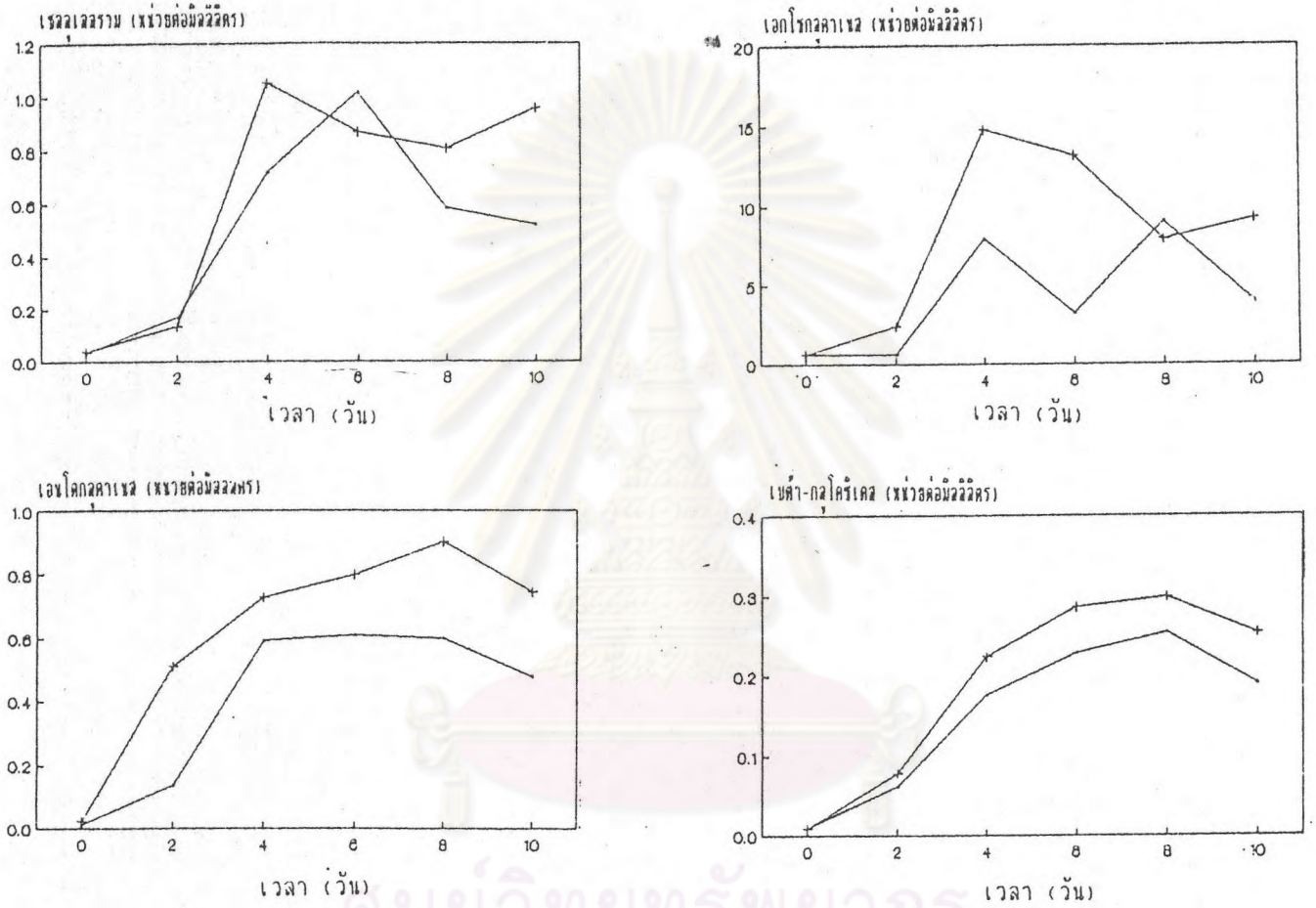


รูปที่ 18 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเซลลูเลสรวม เอกโซกลูคาเนส เอนโดกลูคาเนส และเบต้า-กลูโคซิเดส จากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. แบบควบคุมพีเอชที่ 6.60 (⟷) และแบบไม่ควบคุมพีเอช (⟷)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

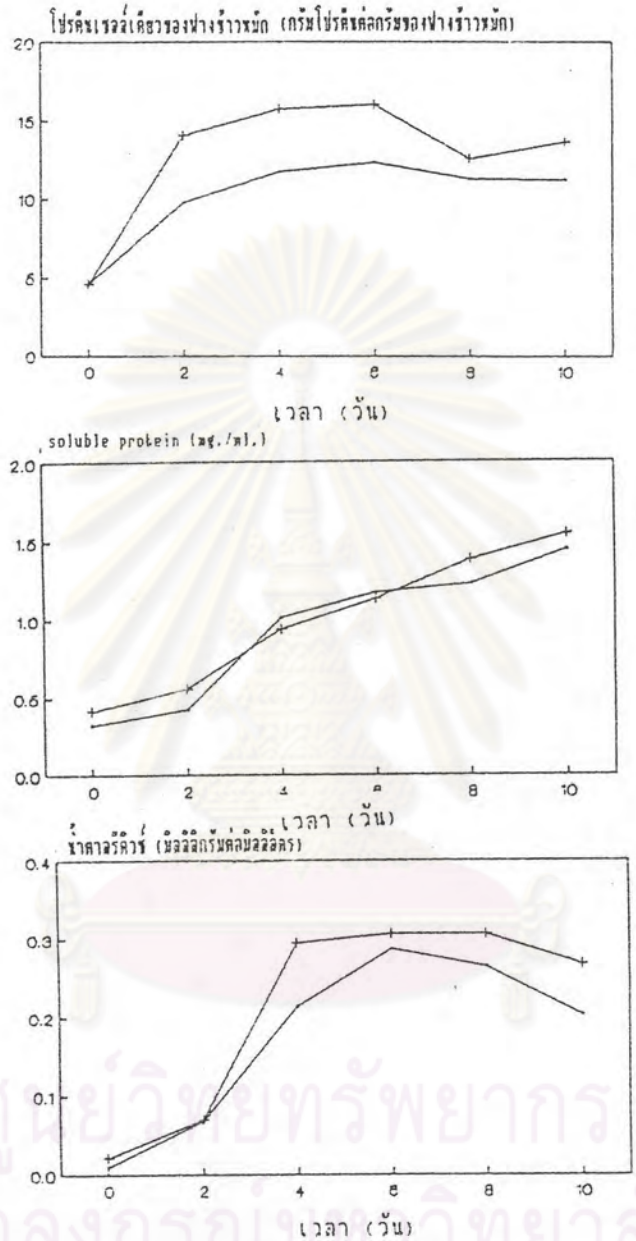


รูปที่ 19 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และ soluble protein จากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. (———) กับ *Cellulomonas* sp. และควบคุมพีเอชที่ 6.60 ด้วย buffer medium (—-+—-)



รูปที่ 20 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเซลลูเลสรวม เอกโซกลูคาเนส เอนโดกลูคาเนส และเบต้า-กลูโคซิเดส จากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* แบบควบคุมพีเอช ที่ 5.30 (——+——) และแบบไม่ควบคุมพีเอช (————)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 21 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และ soluble protein จากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* (———) กับ *T. viride* และควบคุมพีเอชที่ 5.30 ด้วย buffer medium (----)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6 ผลการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ผสมในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว

4.6.1 ผลการศึกษาการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp.กับ *A. faecalis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว

จากการทดลองหมักฟางข้าวด้วยเชื้อแบคทีเรียผสม *Cellulomonas* sp.กับ *A. faecalis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว ตามสูตรของ Han และ Callihan (1974) และใช้ฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นตามวิธีทดลองข้อ 3.6.1 และ 3.6.2 เป็นแหล่งคาร์บอน หมักบนเครื่องเขย่าแบบหมุนวน ที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน ตามลำดับ ตามวิธีการทดลองที่ 3.7.1.2 เมื่อครบกำหนดเวลานำมาศึกษาผลการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส, การเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว, ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก ตลอดจนศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และ soluble protein ที่เกิดจากการหมัก ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้ คือ

4.6.1.1 ผลการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

จากการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ย่อยที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เซลลูเลสคือ เอกโซกลูคาเนส, เอนโดกลูคาเนส, เบต้า-กลูโคซิเดส และเซลลูเลสรวม ติดตามผลดังแสดงในรูปที่ 22 พบว่า แบคทีเรียผสม *Cellulomonas* sp.กับ *A. faecalis* มีแอคติวิตีของเซลลูเลสรวมสูงสุด เท่ากับ 0.99 หน่วยต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 8 ของการหมัก และมีแนวโน้มลดลงเมื่อหมักเป็นเวลานานขึ้น ส่วนแอคติวิตีของเอกโซกลูคาเนส, เอนโด-กลูคาเนส และเบต้า-กลูโคซิเดส มีแอคติวิตีสูงสุดเท่ากับ 10.54, 0.56 และ 0.16 หน่วยต่อมิลลิลิตรตามลำดับ

4.6.1.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวในระหว่างการหมักที่มีผลต่อการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว พบว่าพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวเพิ่มขึ้นจากจุดเริ่มต้น คือ 6.6 ในขณะที่มีการสังเคราะห์เอนไซม์เซลลูเลส โดยเปลี่ยนแปลงเป็น 7.33, 7.26, 7.25, 7.20 และ 7.33 ดังแสดงในรูปที่ 22 ในวันที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 ของการหมักฟางข้าวด้วยแบคทีเรียผสม ตามลำดับ

4.6.1.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก พบว่า ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น เมื่อหมักฟางข้าวด้วยแบคทีเรียนี้เป็นเวลานานขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 22 โดยปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดเท่ากับ 0.177 กรัมโปรตีนต่อกรัมฟางข้าว ในวันที่ 10 ของการหมักฟางข้าว

4.6.2 ผลการศึกษาการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว

จากการทดลองหมักฟางข้าวด้วยเชื้อผสม *T. viride* กับ *C. utilis* ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว Czapek's dox media ตามสูตรของ Mandels และ Weber, (1969) และใช้ฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นตามวิธีการข้อ 3.6.1 และ 3.6.2 เป็นแหล่งคาร์บอน หมักบนเครื่องเขย่าแบบหมุนวน ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน ตามลำดับ ตามวิธีการทดลองที่ 3.7.2.2 เมื่อครบกำหนดเวลานำมาศึกษาผลการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส, การเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว, ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักตลอดจนศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และ soluble protein ที่เกิดจากการหมักฟางข้าว ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้ คือ

4.6.2.1 ผลการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

จากการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ย่อยที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เซลลูเลสคือ เอกโซกลูคาเนส, เอนโดกลูคาเนส, เบต้า-กลูโคซิเดส และเซลลูเลสรวม ติดตามผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 23 พบว่า เชื้อผสม *T. viride* กับ *C. utilis* มีแอคติวิตีของเซลลูเลสรวมสูงสุด เท่ากับ 1.04 หน่วยต่อมิลลิลิตรในวันที่ 6 ของการหมัก และมีแนวโน้มลดลงเมื่อหมักเป็นเวลานานขึ้น สำหรับแอคติวิตีของเอกโซกลูคาเนส, เอนโด-กลูคาเนส และเบต้า-กลูโคซิเดส มีแอคติวิตีสูงสุดเท่ากับ 9.60, 1.00 และ 0.42 หน่วยต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

4.6.2.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวระหว่างการหมักที่มีผลต่อการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว พบว่า พีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากจุดเริ่มต้น คือ 5.3 ดังแสดงในรูปที่ 23 ในขณะที่มีการสังเคราะห์เอนไซม์เซลลูเลส โดยเปลี่ยนแปลงเป็น 5.72, 5.07, 4.89, 4.34 และ 5.04 ในวันที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 ของการหมักด้วยจุลินทรีย์ผสม ตามลำดับ

4.6.2.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก พบว่า ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงขึ้นเมื่อหมักเป็นเวลานานขึ้นดังแสดงในรูปที่ 23 โดยมีปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุด 0.163 กรัมโปรตีนต่อกรัมฟางข้าวในวันที่ 10 ของการหมักฟางข้าว ส่วนวันที่ 2-8 ของการหมักปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักมีแนวโน้มคงที่หรือลดลงเล็กน้อย

4.7 <u>เปรียบเทียบผลการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ชนิดเดียวกับจุลินทรีย์ผสม</u>

4.7.1 ผลการเปรียบเทียบการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. ร่วมกับ *A. faecalis* กับ *Cellulomonas* sp. ชนิดเดียว

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. ดังผลข้อ 4.3.1 กับผลการหมักด้วยแบคทีเรียผสม *Cellulomonas* sp. กับ *A. faecalis* ดังข้อ 4.6.1 พบว่า แอคติวิตีของเอนไซม์ย่อยที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เซลลูเลส 4 ชนิด จากการหมักฟางข้าวด้วยแบคทีเรียผสม มีแนวโน้มของเอนไซม์ย่อยทั้ง 4 ชนิดสูงกว่าการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp.เพียงชนิดเดียว ดังแสดงในรูปที่ 24 เช่นเดียวกับ ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักที่เกิดขึ้น ซึ่งการหมักฟางข้าวโดยใช้แบคทีเรียผสม มีแนวโน้มว่าจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ดังรูปที่ 25 ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการหมักโดยใช้จุลินทรีย์ผสม มีปริมาณสูงกว่าการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ชนิดเดียว โดยสูงกว่า 0.030, 0.074, 0.067, 0.086 และ 0.061 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อหมักเป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 26 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลส และปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดจากการหมักโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า การหมักฟางข้าวทั้ง 2 วิธี มีค่าเฉลี่ยของเอนโด-กลูคาเนส, เบต้า-กลูโคซิเดสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนแอคติวิตีของเซลลูเลสรวม, เอกโซกลูคาเนสและปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตาราง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลส และปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดจากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. ร่วมกับ *A. faecalis* และ *Cellulomonas* sp. ชนิดเดียว

ชนิด	แอคติวิตีสูงสุด(หน่วยต่อมิลลิลิตร)				ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก (ก./ก.ฟางข้าว)
	C_o	C_1	C_x	β	
Cellulomonas sp.	0.51	6.39	0.47	0.09	0.139
Cellulomonas sp. ร่วมกับ *A. faecalis*	0.99**	10.54**	0.56	0.16	0.177**

** ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

4.7.2 ผลการเปรียบเทียบการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* กับ *T. viride* ชนิดเดียว

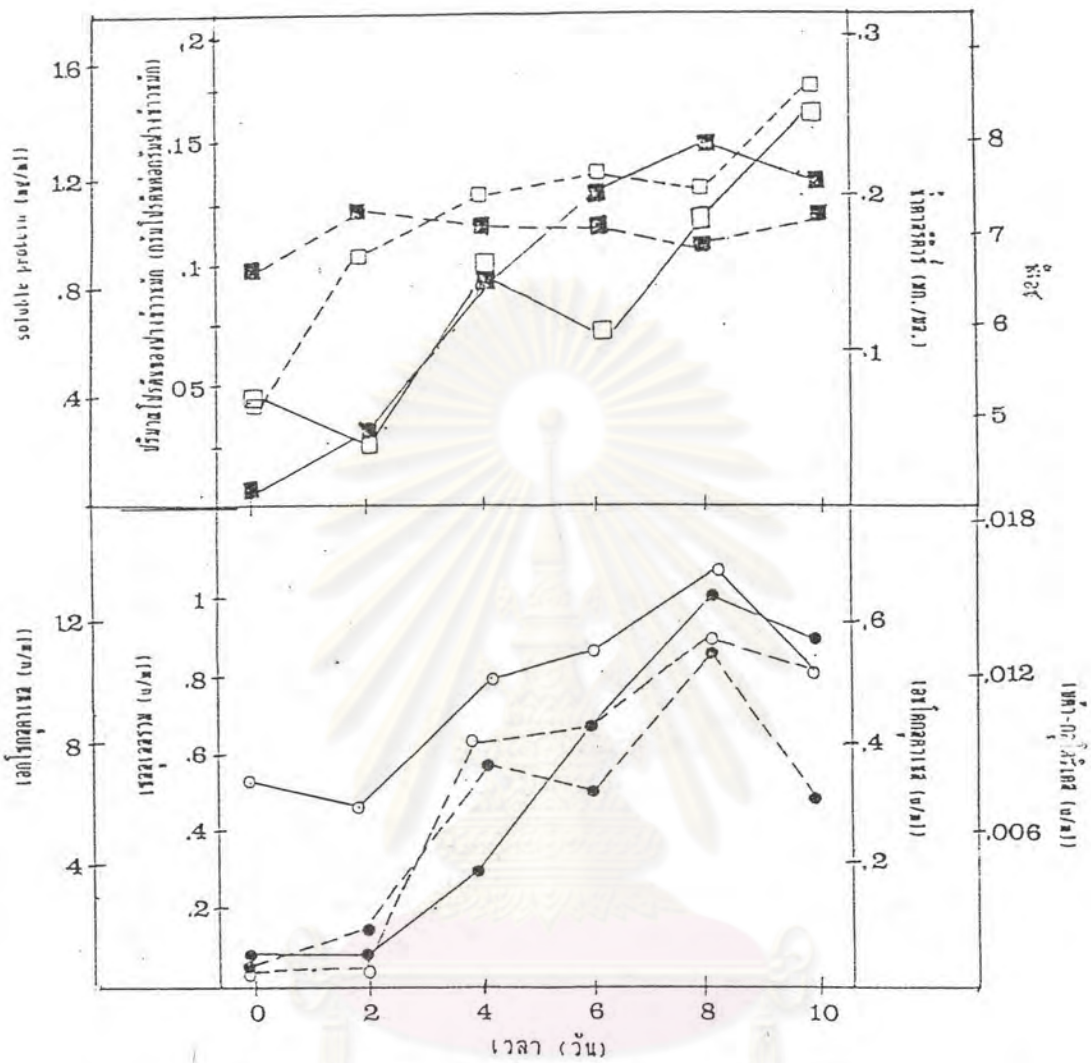
เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ดังผลข้อ 4.3.2 กับผลการหมักด้วยรา *T. viride* ร่วมกับยีสต์ *C. utilis* ดังผลข้อ 4.6.2 พบว่า แอคติวิตีของเอนไซม์ย่อยที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เซลลูเลสทั้ง 4 ชนิดจากการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ผสม มีแนวโน้มของเอนไซม์ย่อยทั้ง 4 ชนิดที่สูงกว่าการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* เพียงชนิดเดียว ดังแสดงในรูปที่ 26 เช่นเดียวกับผลผลิตโปรตีนเซลล์เดียวและ ปริมาณ soluble protein ที่เกิดขึ้น ซึ่งการหมักฟางข้าวโดยใช้จุลินทรีย์ผสม มีแนวโน้มมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการหมักโดยใช้จุลินทรีย์ผสม มีแนวโน้มไม่แน่ชัดว่ามีปริมาณสูงหรือต่ำกว่าการหมักฟางข้าวด้วยเชื้อราอย่างเดียว โดยแตกต่างกัน เท่ากับ +0.033, -0.023, -0.086, -0.025 และ

+0.018 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (+ มีปริมาณสูงกว่า, -มีปริมาณต่ำกว่า) เมื่อหมักเป็นเวลา 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 26 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลสและปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดจากการหมักโดยวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* มีค่าเฉลี่ยของแอคติวิตีของเซลลูเลสรวม, เอกโซกลูคาเนส และเบต้า-กลูโคซิเดส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติส่วนเอนโดกลูคาเนสและปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลส และปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดจากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* และ *T. viride*

ชนิด	แอคติวิตีสูงสุด(หน่วยต่อมิลลิลิตร)				ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก (ก./ก.ฟางข้าว)
	C_o	C_1	C_x	β	
T. viride	1.02	9.01	0.61	0.26	0.123
T. viride ร่วมกับ *C. utilis*	1.04	9.60	1.00**	0.42	0.163**

** ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



รูปที่ 22 การหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. ร่วมกับ *A. faecalis*

หมายถึง เซลลูเลสรวม

หมายถึง น้ำตาลรีดิวซ์

หมายถึง เอกโซกลูคาเนส

หมายถึง โปรตีนของฟางข้าวหมัก

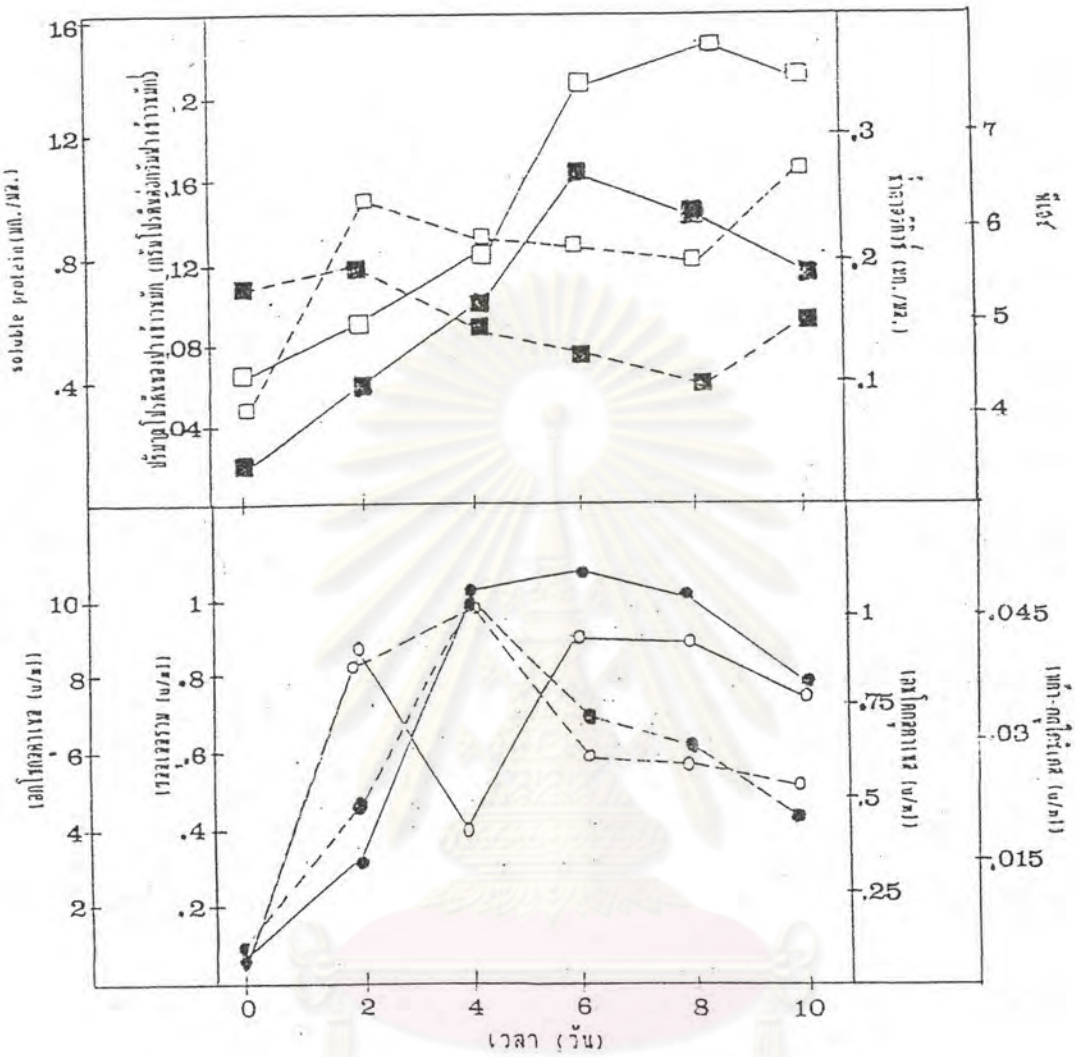
หมายถึง เอนโดกลูคาเนส

หมายถึง soluble protein

หมายถึง เบต้า-กลูโคซิเดส

หมายถึง พีเอช

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 23 การหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis*

หมายถึง เซลลูเลสรวม

หมายถึง น้ำตาลรีดิวซ์

หมายถึง เอกโซกลูคาเนส

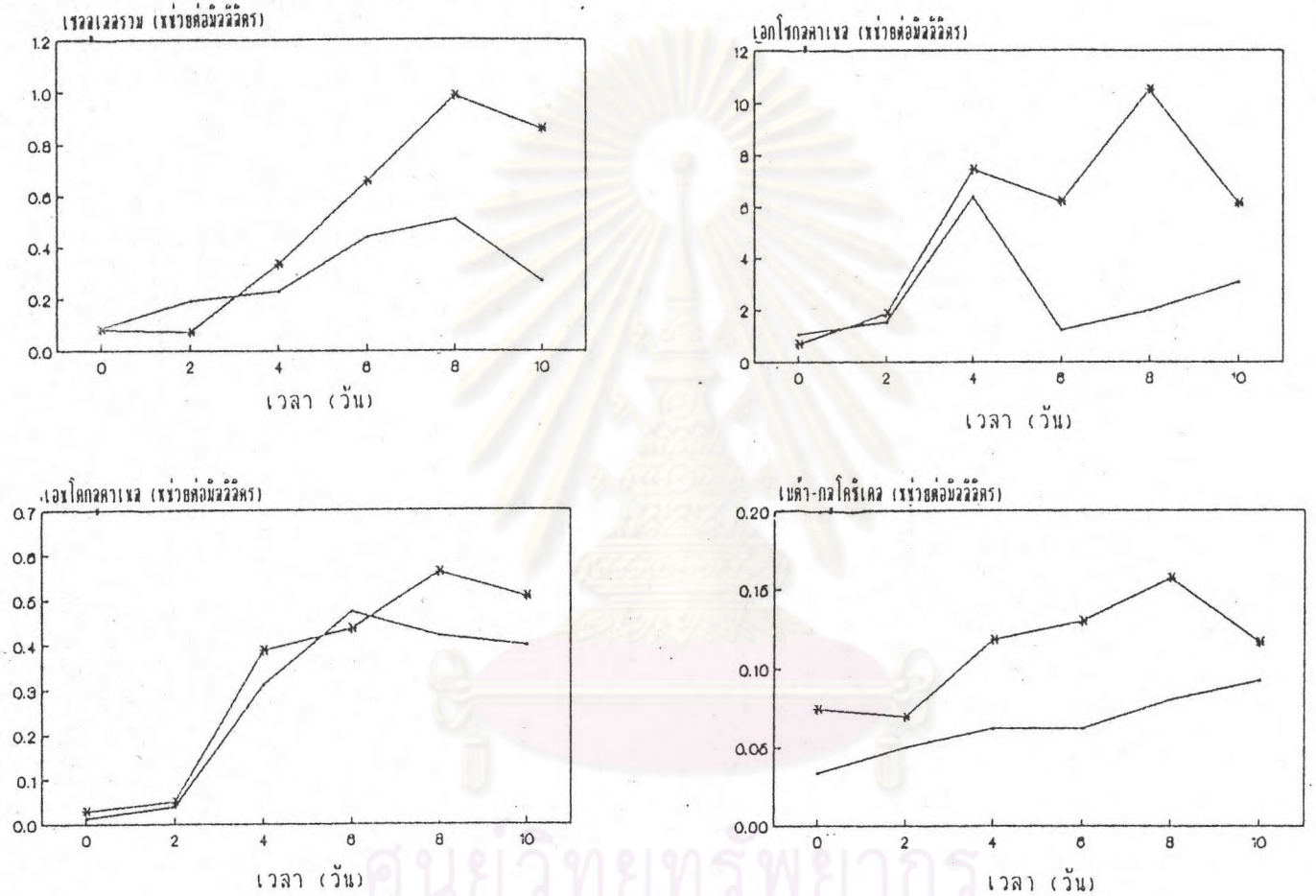
หมายถึง โปรตีนของฟางข้าวหมัก

หมายถึง เอนโดกลูคาเนส

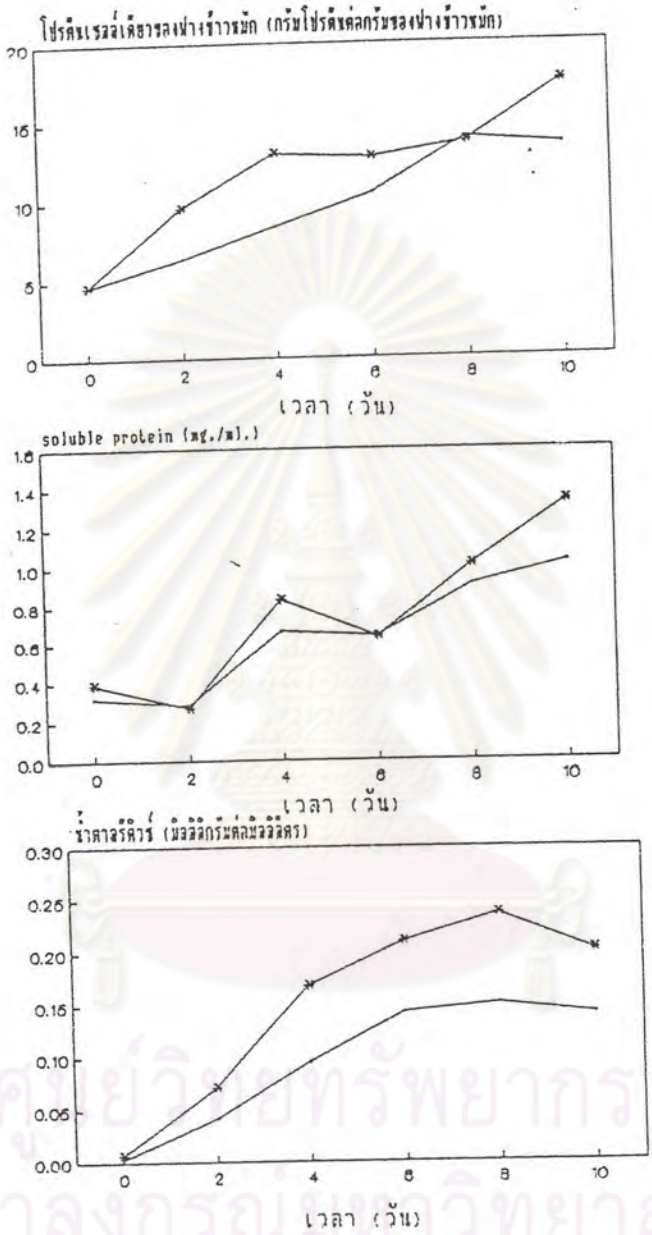
หมายถึง soluble protein

หมายถึง เบต้า-กลูโคซิเดส

หมายถึง พีเอช

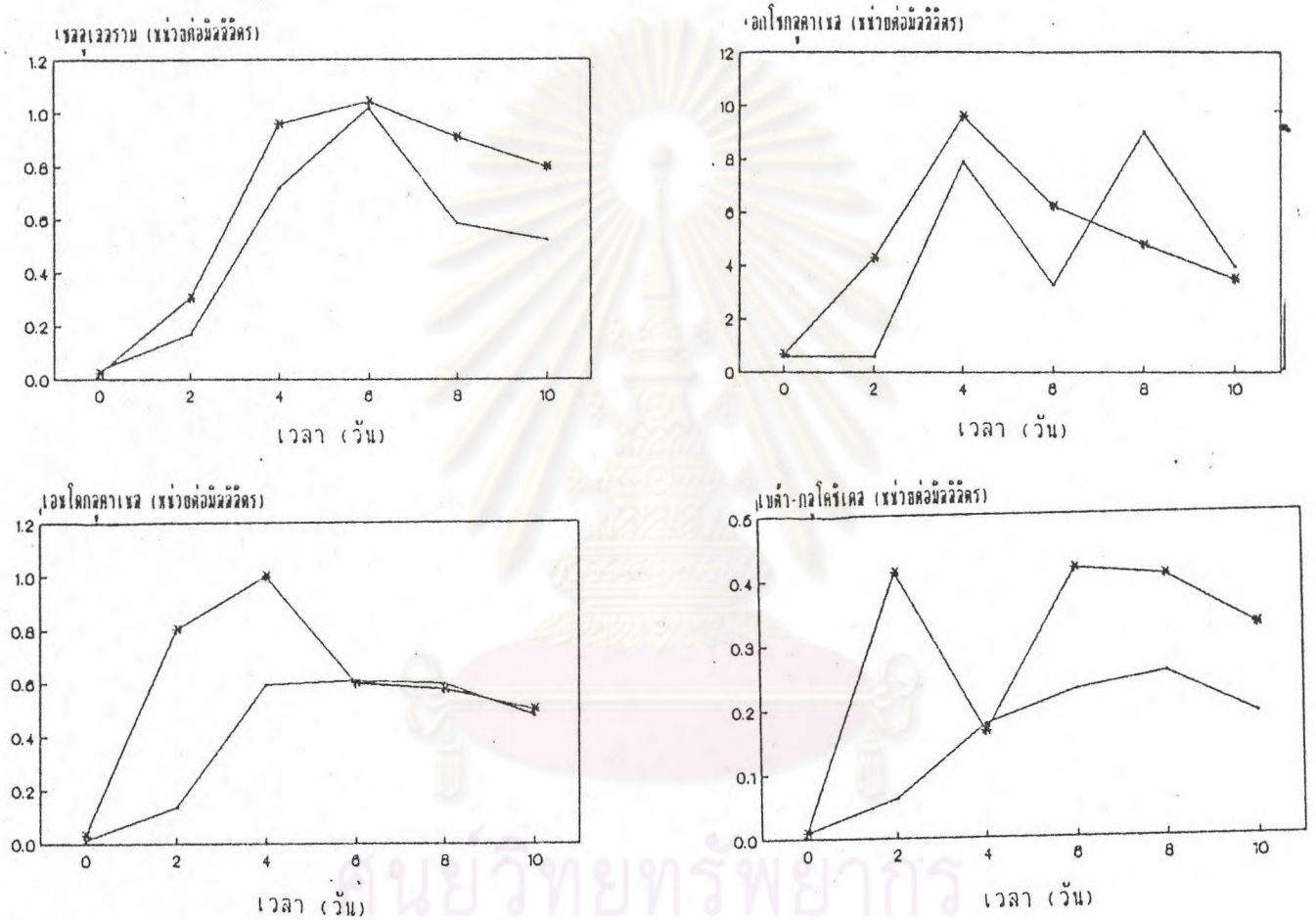


รูปที่ 24 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเซลลูเลสรวม เอกโซกลูคาเนส เอนโดกลูคาเนส และ เบต้า-กลูโคซิเดส จากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. รวมกับ *A. faecalis* (—✱—) กับ *Cellulomonas* sp. ชนิดเดียว (———)

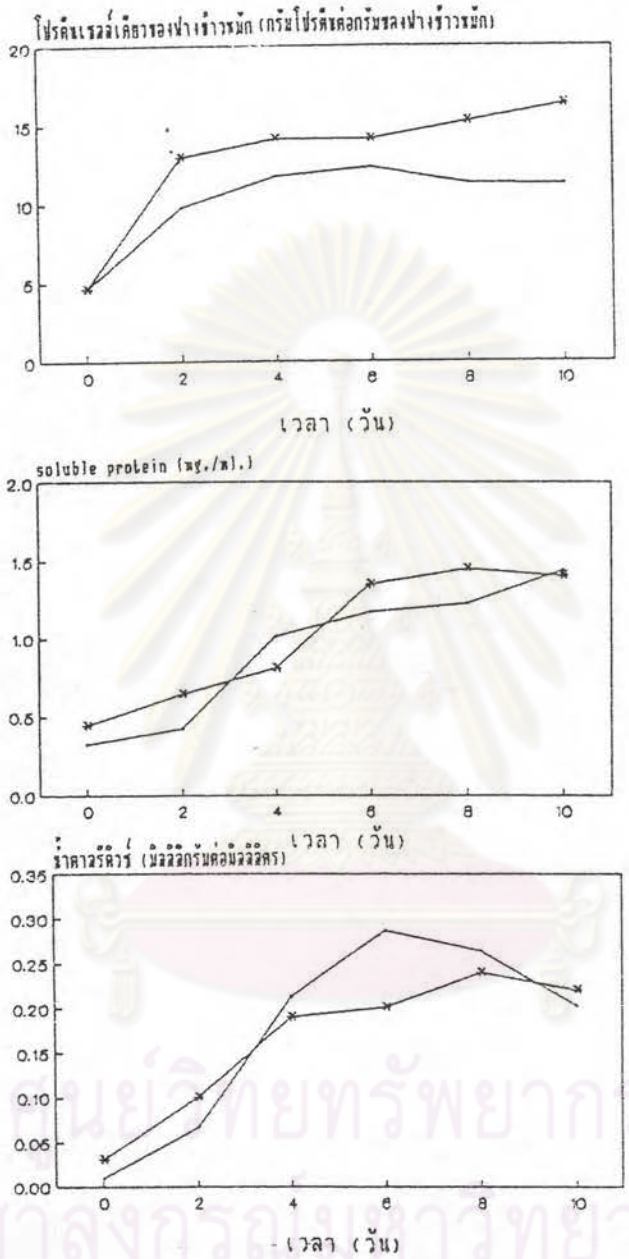


รูปที่ 25 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของฝางข้าวหมัก ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และsoluble proteinจาก การหมักฝางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. รวมกับ *A. faecalis* (—×—) กับ *Cellulomonas* sp. ชนิดเดียว (————)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 26 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเซลลูเลสรวม เอกโซกลูคาเนส เอนโดกลูคาเนส และ เบต้า-กลูโคซิเดส จากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* รวมกับ *C. utilis* (——*——) กับ *T. viride* ชนิดเดียว (————)



รูปที่ 27 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และ soluble protein จากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* รวมกับ *C. utilis* (⟵⟶) กับ *T. viride* ชนิดเดียว (⟵)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.8 ผลการศึกษาการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ชนิดผสมใน buffer medium

4.8.1 ผลการศึกษาการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. กับ *A. faecalis* และควบคุมพีเอชที่ 6.6 ด้วย buffer medium

จากการทดลองหมักฟางข้าวด้วยเชื้อแบคทีเรียผสม *Cellulomonas* sp. กับ *A. faecalis* และควบคุมพีเอชที่ 6.6 ด้วย buffer medium ตามสูตรของ Han และ Callihan (1974) แต่เปลี่ยนมาใช้ฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 6.6 แทนน้ำกลั่นในสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว โดยใช้ฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นตามวิธีการทดลอง ข้อ 3.6.1 และ 3.6.2 เป็นแหล่งคาร์บอน หมักบนเครื่องเขย่าแบบหมุนวน อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน ตามลำดับ ตามวิธีการทดลองที่ 3.7.1.2 และ 3.7.1.3 เมื่อครบกำหนดระยะเวลานำมาศึกษาผลการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส, การเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว, ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักตลอดจนศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณ soluble protein ที่เกิดจากการหมักฟางข้าว ได้ผลการทดลอง ดังนี้

4.8.1.1 ผลการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

จากการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ย่อยที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เซลลูเลสคือ เอกโซกลูคาเนส, เอนโดกลูคาเนส, เบต้า-กลูโคซิเดส และเซลลูเลสรวม ติดตามผล ดังแสดงในรูปที่ 28 พบว่า แบคทีเรียผสม *Cellulomonas* sp. กับ *A. faecalis* และควบคุมพีเอชที่ 6.6 ด้วย buffer medium มีแอคติวิตีของเซลลูเลสรวมสูงสุดเท่ากับ 1.22 หน่วยต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 6 ของการหมัก และมีแนวโน้มลดลง เมื่อหมักเวลานานขึ้น ส่วนแอคติวิตีของเอกโซกลูคาเนส, เอนโดกลูคาเนส และเบต้า-กลูโคซิเดส มีแอคติวิตีสูงสุดเท่ากับ 10.84, 0.80 และ 0.16 หน่วยต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

4.8.1.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวระหว่างการหมักที่มีผลต่อการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว พบว่าพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวเพิ่มขึ้นจากจุดเริ่มต้น คือ 6.6 ในขณะที่มีการสังเคราะห์เอนไซม์เซลลูเลส โดยเปลี่ยนแปลงเป็น 6.89, 6.87, 6.84, 6.97 และ 7.20 ในวันที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 ของการหมัก ดังแสดงในรูปที่ 28

4.8.1.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก แสดงในรูปที่ 28 พบว่า ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อหมักฟางข้าวด้วยแบคทีเรียผสมนี้ เป็นเวลานานขึ้น โดยมีปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดเท่ากับ 0.205 กรัมโปรตีนต่อกรัมฟางข้าว ในวันที่ 10 ของการหมัก

4.8.2 ผลการศึกษาการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* และควบคุมพีเอชที่ 5.3 ด้วย buffer medium

จากการทดลองหมักฟางข้าวด้วยเชื้อผสม *T. viride* กับ *C. utilis* และควบคุมพีเอชที่ 5.3 ด้วย Czapek's dox media ตามสูตรของ Mandels และ Weber, (1969)แต่ดัดแปลงมาใช้ซิเตรตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ พีเอช 5.3 แทนน้ำกลั่นในสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว และใช้ฟางข้าวที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นตามวิธีการทดลองข้อ 3.6.1 และ 3.6.2 เป็นแหล่งคาร์บอน หมักบนเครื่องเขย่าแบบหมุนวน ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วันตามลำดับ ตามวิธีการทดลองที่ 3.7.2.2 และ 3.7.2.3 เมื่อครบกำหนดเวลานำมาศึกษาผลการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส, การเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว, ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักตลอดจนศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณ soluble protein ที่เกิดจากการหมักฟางข้าว ได้ผลการทดลอง ดังต่อไปนี้ คือ

4.8.2.1 ผลการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

จากการศึกษาการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ย่อยที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เซลลูเลสคือ เอกโซกลูคาเนส, เอนโดกลูคาเนส, เบต้า-กลูโคซิเดส และเซลลูเลสรวมติดตามผล ดังแสดงในรูปที่ 28 พบว่า เชื้อผสม *T. viride* กับ *C. utilis* และควบคุมพีเอชที่ 5.3 ด้วย buffer medium จะมีแอคติวิตีของเซลลูเลสรวมสูงสุดเท่ากับ 1.27 หน่วยต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 4 ของการหมักและมีแนวโน้มลดลงเมื่อหมักเป็นเวลานานขึ้น ส่วนแอคติวิตีของเอกโซกลูคาเนส, เอนโดกลูคาเนส และเบต้า-กลูโคซิเดส มีแอคติวิตีสูงสุดเท่ากับ 17.22, 1.03 และ 0.60 หน่วยต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

4.8.2.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวระหว่างการหมักที่มีผลต่อการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว พบว่าพีเอชของอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากจุดเริ่มต้น คือ 5.3 ในขณะที่มีการสังเคราะห์เอนไซม์เซลลูเลสเพียงเล็กน้อย โดยเปลี่ยนแปลงเป็น 5.92, 5.08, 5.44, 5.23 และ 5.48 ในวันที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 ของการหมัก ดังแสดงในรูปที่ 29

4.8.2.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก พบว่า ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น เมื่อหมักเชื้อผสมนี้เวลานานขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 29 โดยมีปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักเท่ากับ 0.238 กรัมโปรตีนต่อกรัมฟางข้าว ในวันที่ 10 ของการหมัก

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.9 <u>เปรียบเทียบผลการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ชนิดผสมและควบคุมพีเอชด้วย buffer medium กับจุลินทรีย์ผสมที่ไม่ได้ควบคุมพีเอช</u>

4.9.1 ผลการเปรียบเทียบการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. ร่วมกับ *A. faecalis* และควบคุมพีเอชที่ 6.6 ด้วย buffer medium กับไม่ได้ควบคุมพีเอช

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. ร่วมกับ *A. faecalis* ดังผลข้อ 4.6.1 กับการหมักด้วยแบคทีเรียผสม *Cellulomonas* sp. กับ *A. faecalis* และควบคุมพีเอชที่ 6.6 ด้วย buffer medium ดังผลข้อ 4.8.1 พบว่าแอคติวิตีของเอนไซม์ย่อยที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เซลลูเลส 4 ชนิดจากการหมักฟางข้าวด้วยแบคทีเรียผสมและควบคุมพีเอชที่ 6.6 มีแนวโน้มของเอนไซม์ย่อยสูงกว่าการหมักฟางข้าวด้วย แบคทีเรียผสมที่ไม่ได้ใช้ buffer medium ดังแสดงในรูปที่ 30 เช่นเดียวกับปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักที่เกิดขึ้น ซึ่งการหมักฟางข้าวโดยใช้แบคทีเรียผสมและควบคุมพีเอชที่ 6.6 มีแนวโน้มว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการหมักโดยใช้จุลินทรีย์ผสมและควบคุมพีเอชที่ 6.6 มีแนวโน้มว่ามีปริมาณสูงกว่าการหมักฟางข้าวด้วยแบคทีเรียที่ไม่ได้ใช้ buffer medium โดยสูงกว่า 0.105,

0.069, 0.025, 0.011 และ 0.028 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อหมักเป็นเวลา 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 31 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลสและปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดจากการหมักโดยการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าการหมักฟางข้าวด้วยแบคทีเรียผสมแบบควบคุมพีเอชที่ 6.6 มีค่าเฉลี่ยของแอคติวิตีของเซลลูเลสรวมเอนโดกลูคาเนส และปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนแอคติวิตีของเอกโซกลูคาเนส และ เบต้า-กลูโคซิเดส ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลส และปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดจากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. ร่วมกับ *A.faecalis* และควบคุมพีเอชที่ 6.6 ด้วย buffer medium กับ ไม่ใช้ buffer medium

ชนิด	แอคติวิตีสูงสุด(หน่วยต่อมิลลิลิตร)				ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก (ก./ก.ฟางข้าว)
	C_o	C_1	C_x	β	
Cellulomonas sp. กับ *A. faecalis*	0.99	10.53	0.56	0.16	0.171
Cellulomonas sp. กับ *A. faecalis* *	1.22**	10.84	0.80**	0.16	0.205**

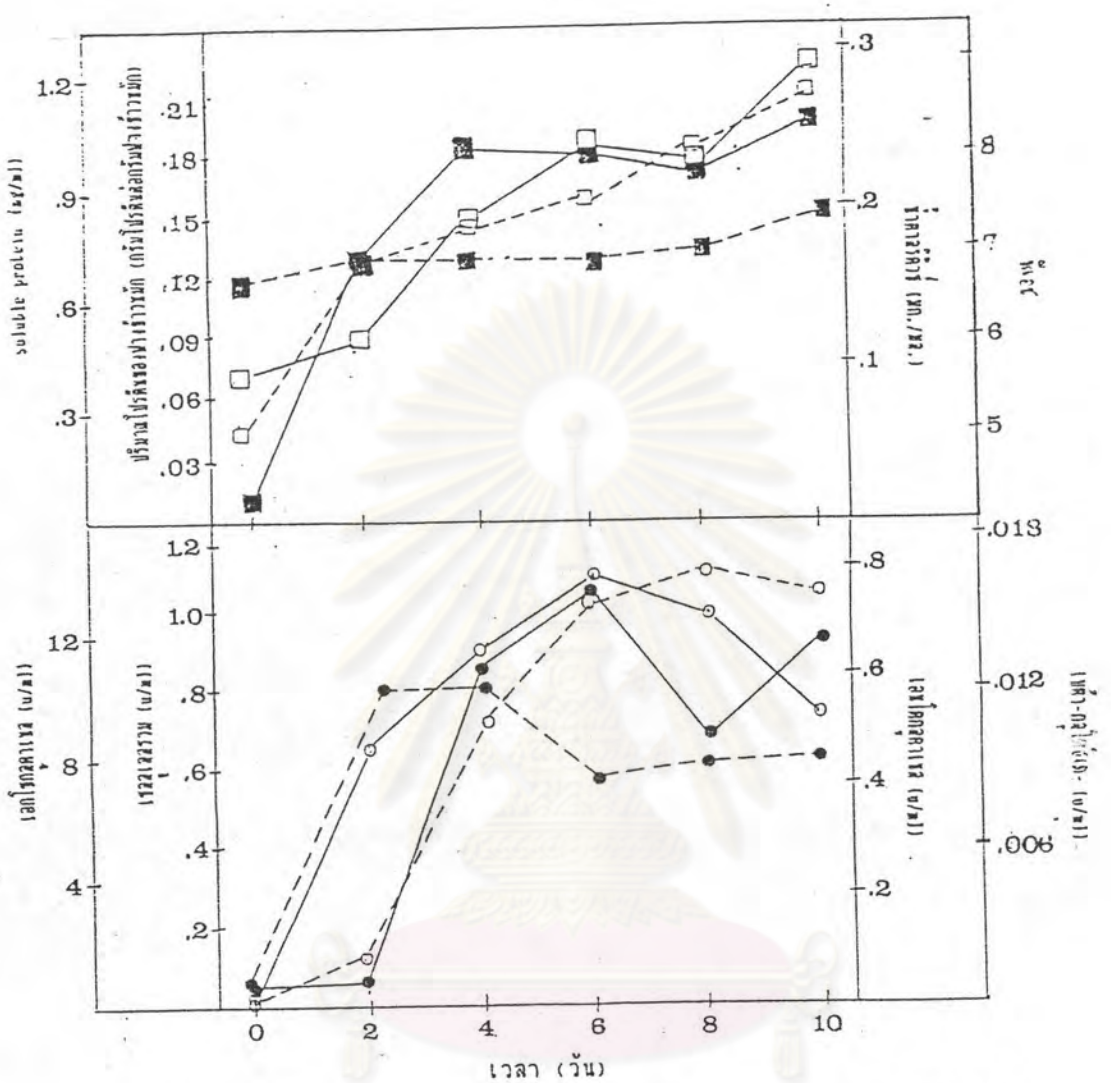
* แบบควบคุมพีเอชที่ 6.6 ด้วย buffer medium

** ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

4.9.2 ผลการเปรียบเทียบการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* และควบคุมพีเอชที่ 5.3 ด้วย buffer medium กับไม่ได้ควบคุมพีเอช

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ดังผลข้อ 4.6.2 กับผลการหมักด้วยเชื้อผสม *T. viride* กับ *C. utilis* และควบคุมพีเอชที่ 5.3 ด้วยอาหาร buffer medium ดังผลข้อ 4.8.2 พบว่า แอคติวิตีเอนไซม์ย่อยที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เซลลูเลสทั้ง 4 ชนิดจากการหมักฟางข้าวด้วยจุลินทรีย์ผสมและควบคุมพีเอชที่ 5.3 มีแนวโน้มของเอนไซม์ย่อยทั้ง 4 ชนิดสูงกว่าการหมักฟางข้าวด้วยที่ไม่ได้ใช้ buffer medium ดังแสดงในรูป 32 เช่นเดียวกับปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก ซึ่งการหมักฟางข้าวที่ใช้จุลินทรีย์ผสมและควบคุมพีเอชที่ 5.3 มีแนวโน้มว่ามีประสิทธิภาพดีกว่า ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากการหมักโดยใช้จุลินทรีย์ผสมและควบคุมพีเอชที่ 5.3 มีแนวโน้มว่าจะมีปริมาณสูงกว่าการใช้เชื้อราอย่างเดียว คือ 0.03, 0.045, 0.09, 0.103 และ 0.074 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อหมักเป็นเวลา 2, 4, 6, 8 และ 10วัน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 33 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลสและปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมักสูงสุดโดยวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* มีค่าเฉลี่ยแอคติวิตีของเอกโซกลูคาเนส และปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนแอคติวิตีของเซลลูเลสรวม, เอนโดกลูคาเนส และเบต้า-กลูโคซิเดส ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 28 การหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp.ร่วมกับ *A. baecalis* และควบคุมพีเอชที่ 6.60 ด้วย buffer medium

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมายถึง เซลลูเลสรวม

หมายถึง น้ำตาลรีดิวซ์

หมายถึง เอกโซกลูคาเนส

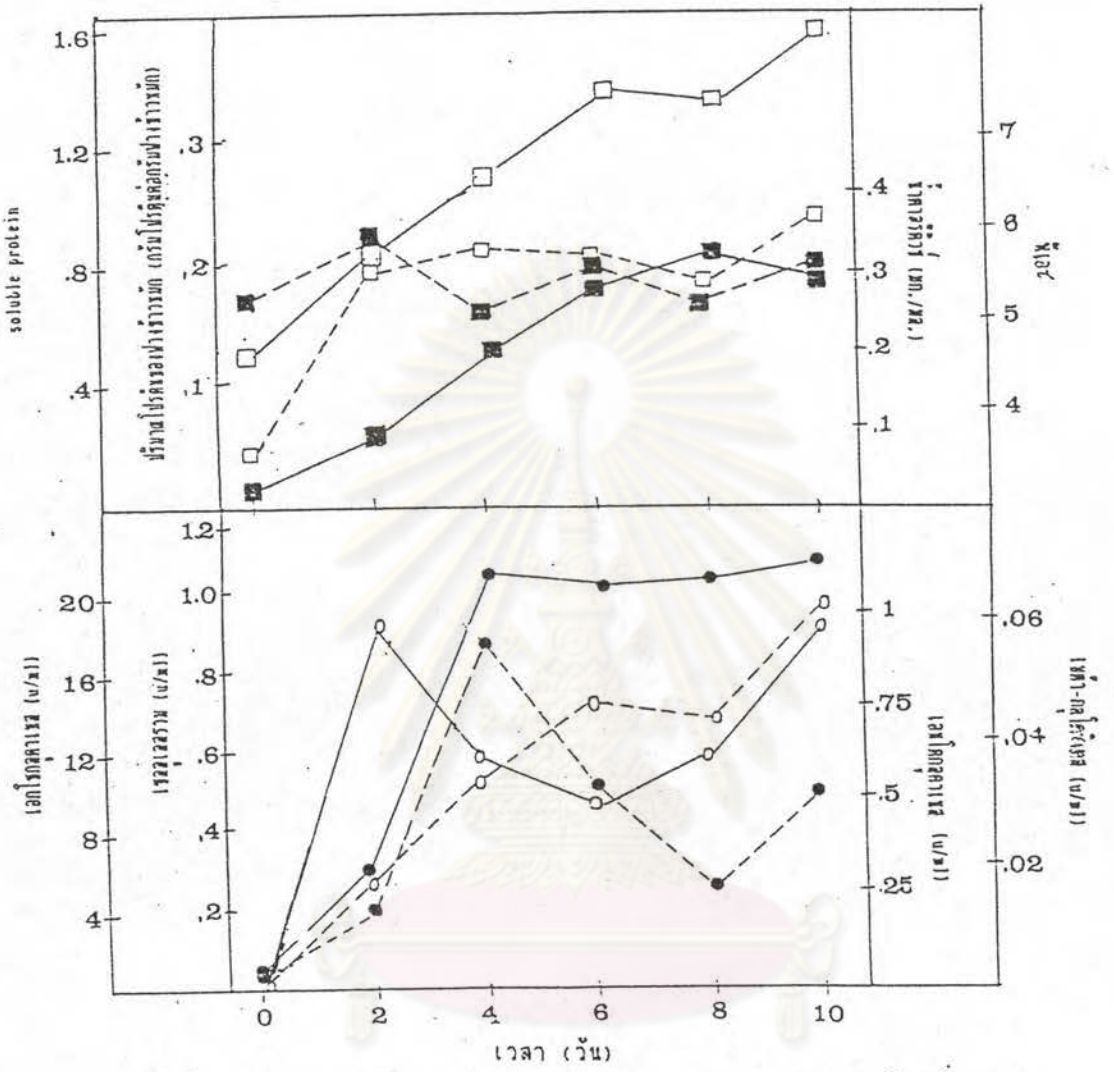
หมายถึง โปรตีนของฟางข้าวหมัก

หมายถึง เอนโดกลูคาเนส

หมายถึง soluble protein

หมายถึง เบต้า-กลูโคซิเดส

หมายถึง พีเอช



รูปที่ 29 การหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* และควบคุมนิเอชที่ 5.30 ด้วย buffer medium

● —— ● หมายถึง เซลลูเลสรวม

■ —— ■ หมายถึง น้ำตาลรีดิวซ์

● - - - - ● หมายถึง เอกโซกลูคาเนส

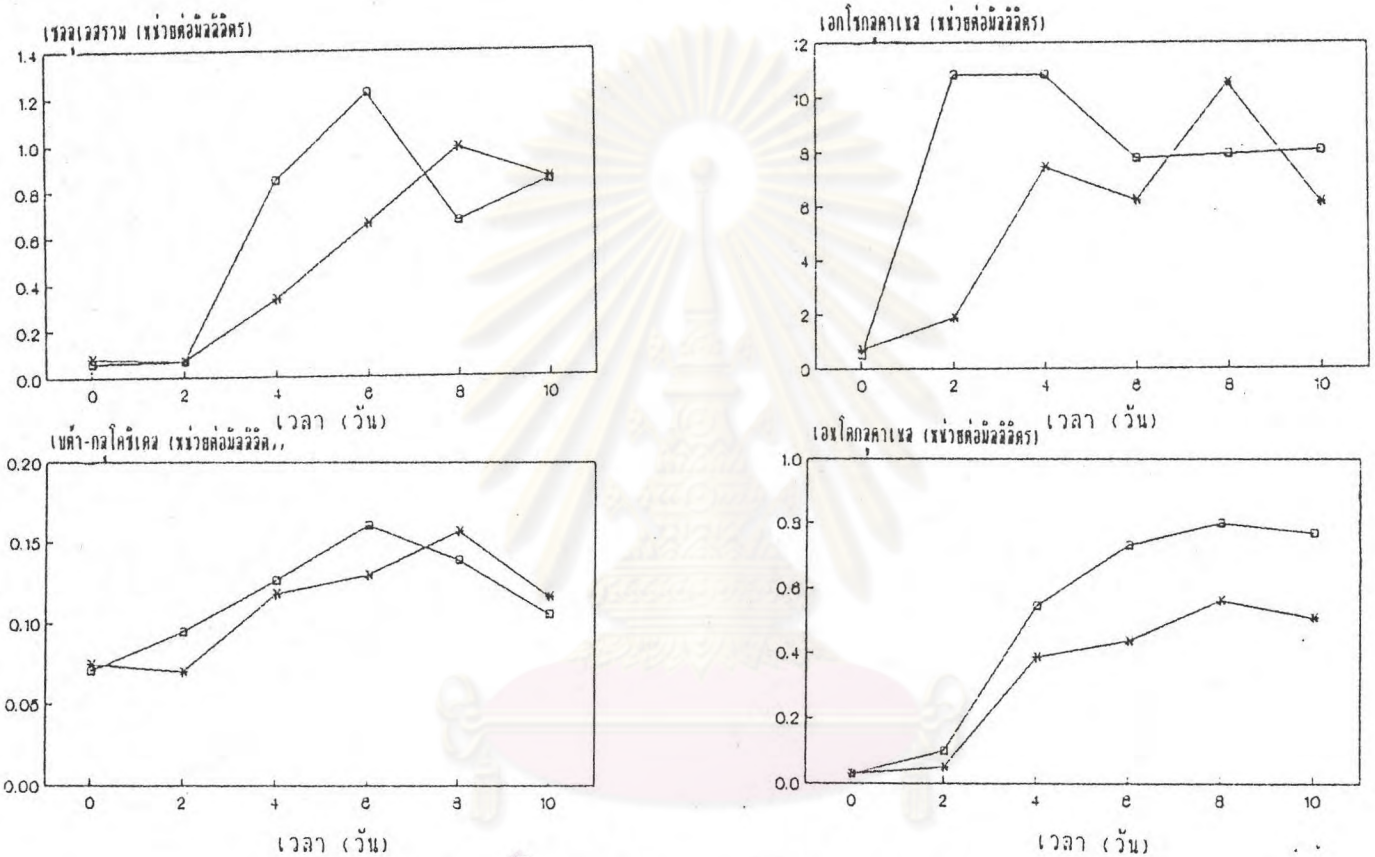
□ - - - □ หมายถึง โปรตีนของฟางข้าวหมัก

○ —— ○ หมายถึง เอนโดกลูคาเนส

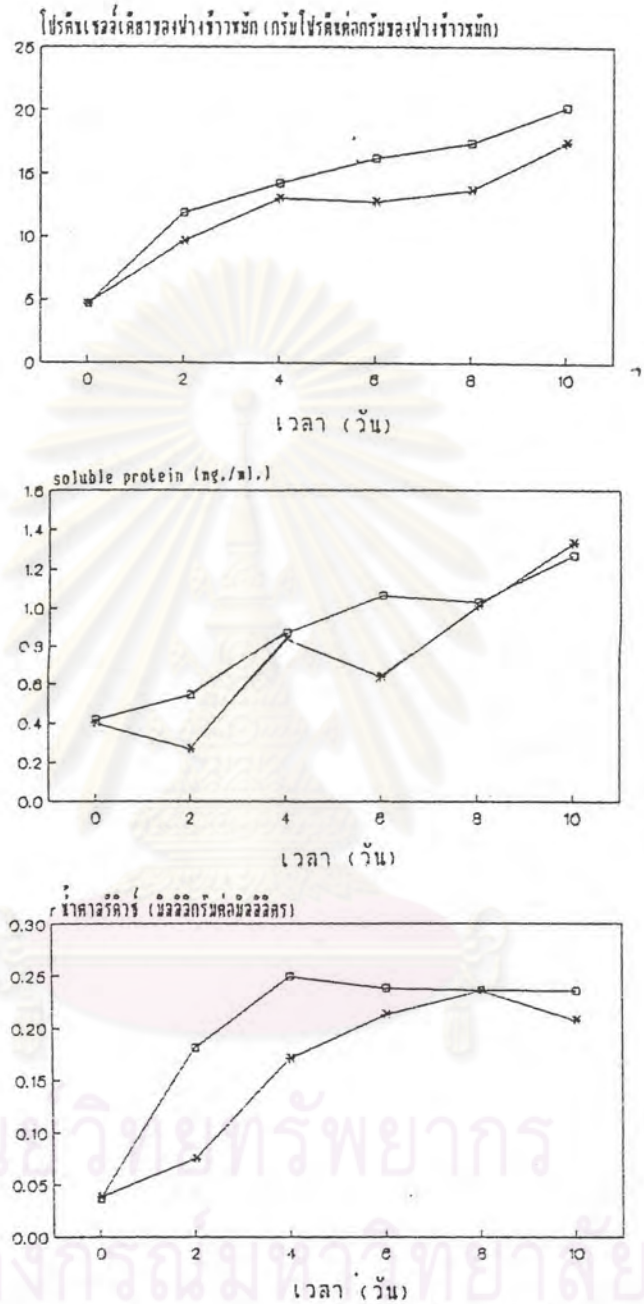
□ —— □ หมายถึง soluble protein

○ - - - - ○ หมายถึง เบต้า-กลูโคซิเดส

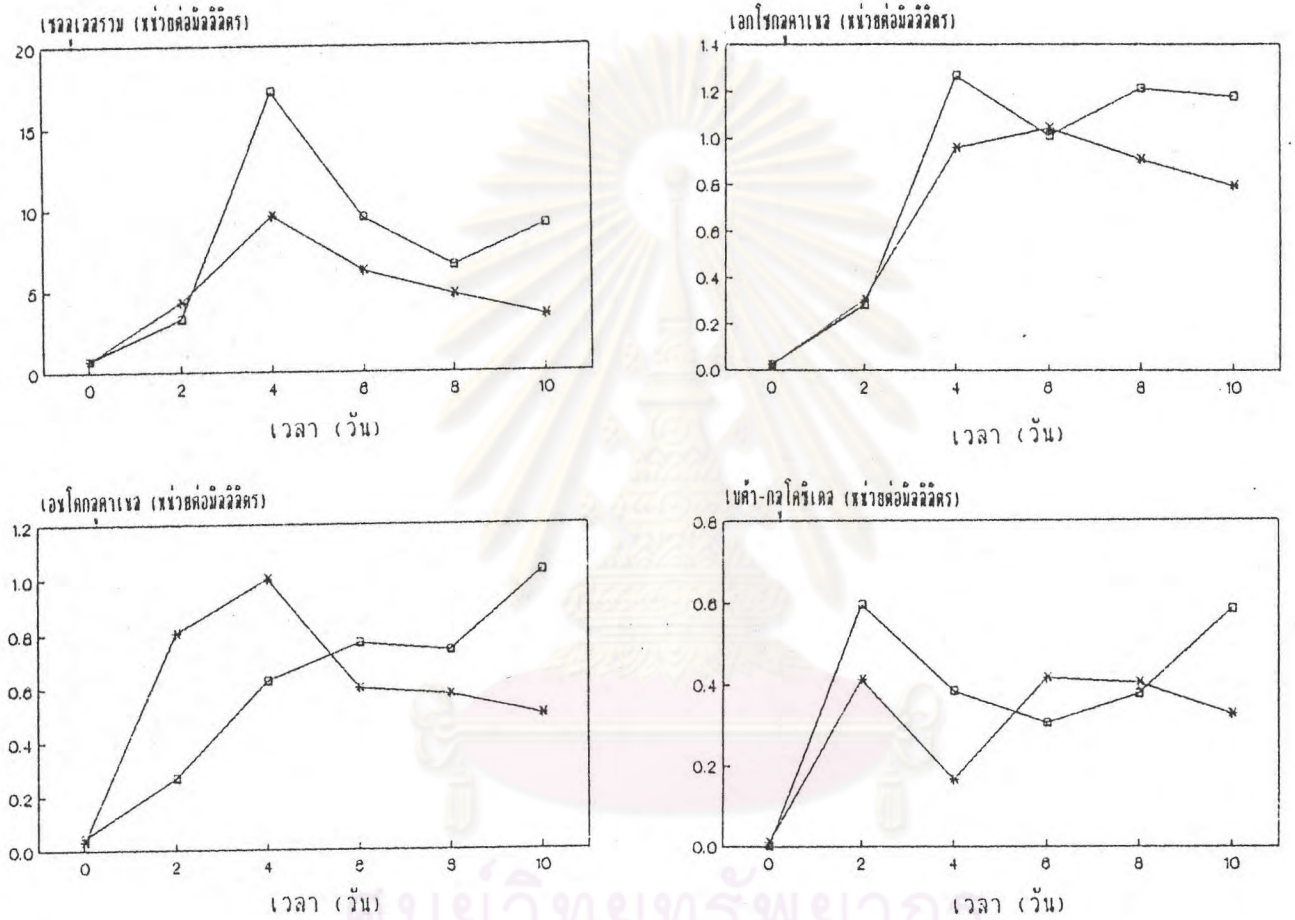
■ - - - - ■ หมายถึง พีเอช



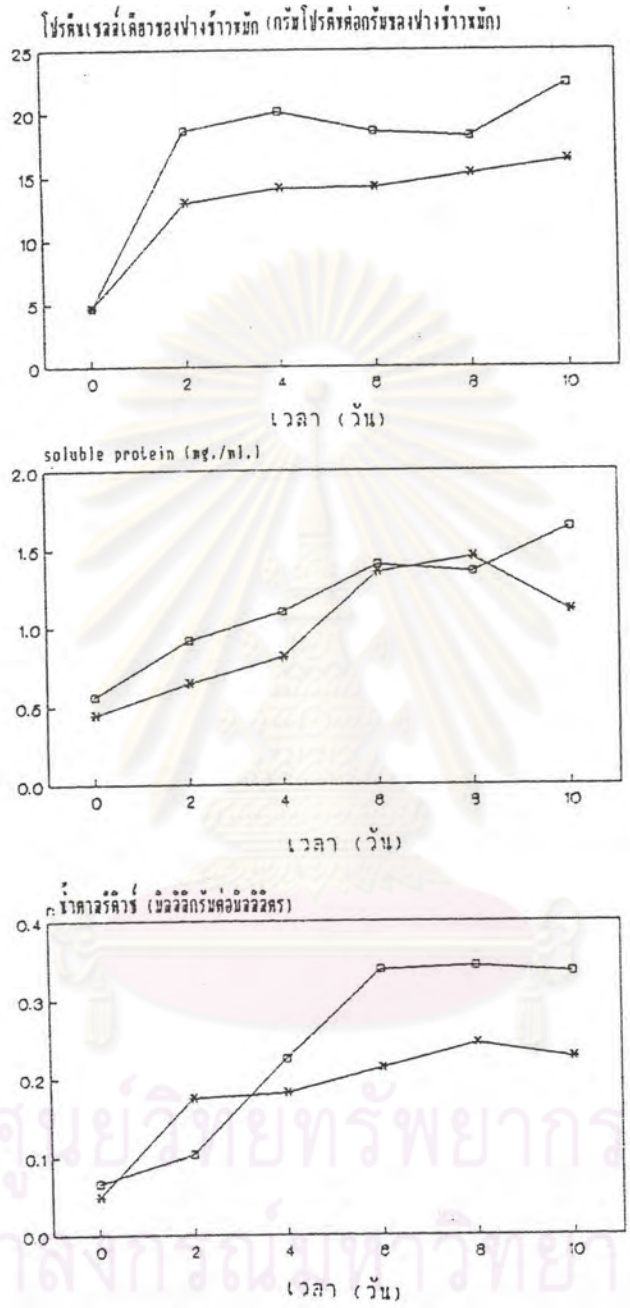
รูปที่ 30 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเซลลูเลสรวม เอกโซกลูคาเนส เอนโดกลูคาเนส และ เบต้า-กลูโคซิเดส จากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. รวมกับ *A. faecalis* และควบคุมพีเอชที่ 6.60 (—□—) กับแบบไม่ควบคุมพีเอช (—+—)



รูปที่ 31 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และ soluble protein จากการหมักฟางข้าวด้วย *Cellulomonas* sp. รวมกับ *A. faecalis* และควบคุมพีเอชที่ 6.6 ด้วย buffer medium (-□——□-) กับ *Cellulomonas* sp.ร่วมกับ *A. faecalis* (*——*)



รูปที่ 32 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเซลลูเลสรวม เอกโซกลูคาเนส เอนโดกลูคาเนส และเบต้า-กลูโคซิเดส จากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* รวมกับ *C. utilis* ควบคุมพีเอชที่ 5.30 (—□—) กับ *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* (—×—)



รูปที่ 33 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และ soluble protein จากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* รวมกับ *C. utilis* ควบคุมพีเอชที่ 5.30 ด้วย buffer medium (-o—— o-) กับแบบไม่ควบคุมพีเอช (————)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบแอคติวิตีของเอนไซม์เซลลูเลส และปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก จากการหมักฟางข้าวด้วย *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* และควบคุมพีเอช ที่ 5.3 ด้วย buffer medium กับ ไม่ได้ควบคุมพีเอช

ชนิด	แอคติวิตีสูงสุด(หน่วยต่อมิลลิลิตร)				ปริมาณโปรตีนของฟางข้าวหมัก (ก./ก.ฟางข้าว)
	C_o	C_1	C_x	β	
T. viride กับ *C. utilis*	1.04	9.60	1.00	0.42	0.163
T. viride กับ *C. utilis**	1.27	17.22**	1.03	0.60	0.238**

* แบบควบคุมพีเอชที่ 6.6 ด้วย buffer medium

** ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

4.10 <u>ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของผลผลิตโปรตีนเซลล์เดียว</u>

4.10.1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของผลผลิตโปรตีนเซลล์เดียว

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของ *Cellulomonas* sp., *Cellulomonas* sp. ร่วมกับ *A. faecalis* , *T. viride* และ *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* ดังวิธีการทดลองในข้อ 3.11.1 และ 3.11.2 แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Semi-micro Kjeldahl Distillation ได้ผลดังตารางที่ 10

4.10.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของผลผลิตโปรตีนเซลล์เดียวที่ผ่านการสกัด

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของ *Cellulomonas* sp. ร่วมกับ *A. faecalis* และ *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* ดังวิธีการทดลองในข้อ 3.12.1.1 และ

3.11.2.1 แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน ได้ผลดังตารางที่ 11

ตารางที่ 10 ปริมาณโปรตีนของผลผลิตโปรตีนเซลล์เดียว

ชนิด	ปริมาณโปรตีน (ก./100ก.โปรตีนเซลล์เดียว)
Cellulomonas sp.	26.57
Cellulomonas sp.ร่วมกับ *A. faecalis*	31.67
T. viride	13.08
T. viride ร่วมกับ *C. utilis*	15.67

ตารางที่ 11 ปริมาณโปรตีนของผลผลิตโปรตีนเซลล์เดียวที่ผ่านการสกัด

ชนิดของโปรตีนเซลเดียวที่ผ่านการสกัด	เปอร์เซนต์โปรตีน (ก./100ก.โปรตีนเซลล์เดียว)
Cellulomonas sp.ร่วมกับ *A. faecalis*	32.56
T. viride ร่วมกับ *C. utilis*	17.93

4.11 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโนของผลผลิตโปรตีนเซลล์เดียว

4.11.1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโนของผลผลิตโปรตีนเซลล์เดียว จากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโน *Cellulomonas* sp., *Cellulomonas* sp. ร่วมกับ *A. faecalis* , *T. viride* และ *T. viride* ร่วมกับ *C. utilis* ดังวิธีการทดลองในข้อ 3.11.1.1 และ 3.11.2.1 แล้วนำมาวิเคราะห์หากรดอะมิโน ได้ผลดังตารางที่ 12, 13, 14 และ 15

4.11.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโนของผลผลิตโปรตีนเซลล์เดียวที่ผ่านการสกัด จากการวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโน *Cellulomonas* sp. ร่วมกับ *A. faecalis* และ *T.viride* ร่วมกับ *C. utilis* ดังวิธีการทดลองในข้อ 3.11.1.1 และ 3.11.2.1 แล้วนำมาวิเคราะห์หากรดอะมิโน ได้ผลดังตารางที่ 12, 13, 14 และ 15

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 12 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนของโปรตีนเซลล์เดียวจากการหมักฟางข้าว และการสกัดโปรตีน (กรัมต่อ 100 กรัมโปรตีนเซลล์เดียว)

(a = *Cellulomonas* sp.,
b = *Cellulomonas* sp. รวมกับ *A. faecalis*,
c = *Cellulomonas* sp. รวมกับ *A. faecalis* ที่ผ่านการสกัด)

กรดอะมิโน	a	b	c
THREONINE	1.455	1.847	2.278
ISOLEUCINE	1.290	1.617	2.097
LEUCINE	2.408	2.896	3.620
LYSINE	1.749	2.170	2.814
METHIONINE	1.119	1.524	2.316
CYSTINE	0.282	0.270	0.235
PHENYLALANINE	2.445	3.253	3.172
TYROSINE	9.89	1.347	0.984
VALINE	1.607	1.904	2.455
ARGININE	1.625	2.068	2.939
HISTIDINE	0.542	0.709	1.122
ALANINE	2.276	3.376	4.318
ASPARTIC ACID	2.965	3.942	4.659
GLUTAMIC ACID	4.915	6.162	7.455
GLYCINE	1.428	2.733	2.796
PROLINE	1.372	2.056	2.455
SERINE	1.278	1.669	2.115

ตารางที่ 13 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนของจากการหมักฟางข้าวและการสกัดโปรตีน (กรัมต่อ 100 กรัมโปรตีน)

(a = *T. viride*,
b = *T. viride* รวมกับ *C. utilis*,
c = *T. viride* รวมกับ *C.utilis* ที่ผ่านการสกัด)

กรดอะมิโน	a	b	c
THREONINE	1.110	1.325	1.622
ISOLEUCINE	0.674	0.882	1.221
LEUCINE	1.227	1.514	1.972
LYSINE	1.124	1.463	1.789
METHIONINE	0.531	0.757	0.489
CYSTINE	0.314	0.390	0.609
PHENYLALANINE	1.699	1.625	2.440
TYROSINE	0.832	0.830	1.102
VALINE	1.203	1.705	2.041
ARGININE	1.215	1.431	1.928
HISTIDINE	0.481	0.485	0.661
ALANINE	1.458	1.751	2.419
ASPARTIC ACID	1.522	1.825	2.639
GLUTAMIC ACID	1.938	2.311	3.104
GLYCINE	0.993	1.207	1.822
PROLINE	0.940	1.605	1.619
SERINE	0.923	1.302	1.846

ตารางที่ 14 ปริมาณกรดอะมิโนของโปรตีนเซลล์เดียวจากการหมักฟางข้าว และการสกัดโปรตีน (กรัมต่อ 100 กรัมโปรตีน)
(a = *Cellulomonas* sp.,
b = *Cellulomonas* sp. รวมกับ *A. faecalis*,
c = *Cellulomonas* sp. รวมกับ *A. faecalis* ที่ผ่านการสกัด)

กรดอะมิโน	WHO*	a	b	c
THREONINE	2.8	5.48	5.83	7.00
ISOLEUCINE	4.2	4.86	5.11	6.44
LEUCINE	4.8	9.06	9.14	11.12
LYSINE	4.2	6.58	6.85	8.64
METHIONINE	2.2	4.21	4.81	7.11
CYSTINE	2.0	1.06	0.85	0.72
PHENYLALANINE	2.8	9.20	10.27	9.74
VALINE	4.2	6.05	6.01	7.54
TRYPTOPHAN	1.4	-	-	-

* หมายเหตุ เนื่องจาก World Health Organization, (1973) ได้กำหนดปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายไว้ดังตาราง โดยที่มีหน่วยเป็นกรัมต่อโปรตีน 100 กรัม

ตารางที่ 15 ปริมาณกรดอะมิโนของโปรตีนเซลล์เดียวจากการหมักฟางข้าว และการสกัดโปรตีน (กรัมต่อ 100 กรัมโปรตีน)
(a = *T. viride*,
b = *T. viride* รวมกับ *C. utilis*,
c = *T. viride* รวมกับ *C.utilis* ที่ผ่านการสกัด)

กรดอะมิโน	WHO*	a	b	c
THREONINE	2.8	4.10	4.27	4.87
ISOLEUCINE	4.2	2.74	3.23	4.26
LEUCINE	4.8	4.52	4.95	6.15
LYSINE	4.2	4.65	5.30	5.97
METHIONINE	2.2	2.24	2.93	2.37
CYSTINE	2.0	1.11	1.23	1.98
PHENYLALANINE	2.8	7.06	5.40	8.11
VALINE	4.2	4.40	5.89	6.47
TRYPTOPHAN	1.4	-	-	-

* หมายเหตุ เนื่องจาก World Health Organization, (1973) ได้กำหนดปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายไว้ดังตาราง โดยที่มีหน่วยเป็นกรัมต่อโปรตีน 100 กรัม