บทที่ 4
ผลการทดลอง และวิจารณ์

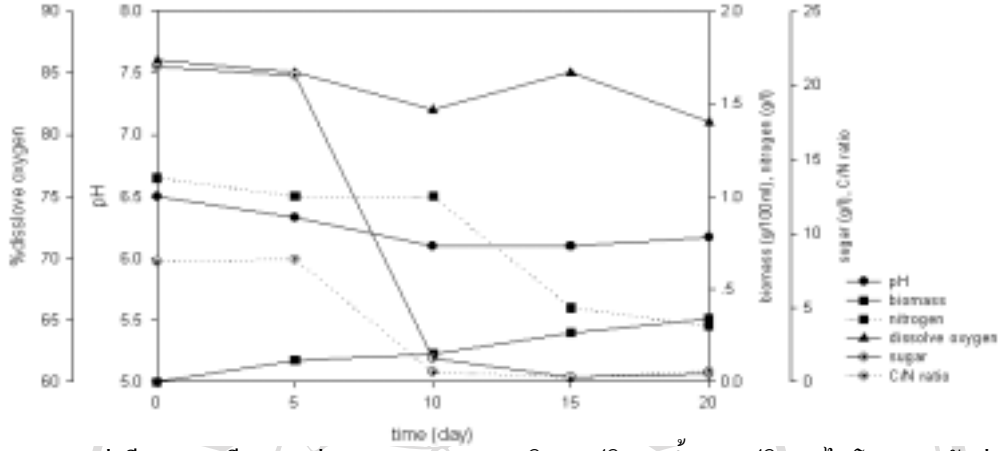
4.1 ผลของกลูโคส และ/หรือ แลคโตส และ โมโนโซเดียมกลูตาเมท (monosodium glutamate) หรือฮีสติดีน (L- histidine) ในอาหารเหลวสังเคราะห์ (Chemically Defined Medium) ต่อการผลิตรงควัตถุสีแดงและซิตรินิน โดยเชื้อรา *Monascus purpureus* FTCMU และ *Monascus ruber* TISTR 3006

การทดลองนี้เพื่อศึกษาการผลิตรงควัตถุสีแดงและซิตรินินโดยเชื้อรา *M. purpureus* FTCMU และ *M. ruber* TISTR 3006 โดยใช้แหล่งคาร์บอน 2 ชนิด คือ กลูโคส และ/หรือ แลคโตส และแหล่งไนโตรเจน 2 ชนิด คือ โมโนโซเดียมกลูตาเมท หรือ ฮีสติดีน ปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของอาหารเหลวเท่ากับ 6.5 วัดค่าพีเอช ปริมาณมวลชีวภาพ ค่าการละลายของออกซิเจน ปริมาณน้ำตาล ปริมาณไนโตรเจน คำนวณสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง และปริมาณซิตรินิน ทุกๆ 5 วัน ตลอดระยะเวลาการหมัก 20 วัน ได้ผลดังนี้คือ

4.1.1 อาหารเหลวสูตร 1 ใช้น้ำตาลกลูโคส 20 กรัม/ลิตร เป็นแหล่งคาร์บอน และโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/ลิตร เป็นแหล่งไนโตรเจน หมักโดย *M. purpureus* FTCMU วัดค่าการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของอาหารระหว่างกระบวนการหมัก จากรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 พบว่าค่าพีเอชของอาหารลดลงจาก 6.5 เหลือ 6.10 ในช่วงวันที่ 10-15 จากนั้นเพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.17 เมื่อสิ้นสุดการหมัก สำหรับค่าการละลายของออกซิเจนไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาการหมัก มีค่าอยู่ในช่วง 80.50-86.00% มวลชีวภาพแสดงถึงความสามารถในการเจริญของเชื้อรา พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ระหว่าง 0.12-0.15 กรัม/100 มิลลิลิตร ในช่วงวันที่ 5-10 จากนั้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 15 เท่ากับ 0.26 กรัม/100 มิลลิลิตร และเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 0.34 กรัม/100 มิลลิลิตร เมื่อสิ้นสุดการหมัก ปริมาณน้ำตาลในอาหารเริ่มต้น 21.25 กรัม/ลิตร ลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 10 เท่ากับ 1.60 กรัม/ลิตร และค่อยๆ ลดลงเล็กน้อยเหลือ 0.56 กรัม/ลิตร เมื่อสิ้นสุดการหมัก ส่วนปริมาณไนโตรเจนไม่มีการเปลี่ยนแปลงใน 10 วันแรก อยู่ในช่วง 1.0-1.1 กรัม/ลิตร จากนั้นลดลงอย่างรวดเร็วเหลือ 0.3 กรัม/ลิตร สำหรับสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน เริ่มต้นเท่ากับ 8.10 และลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 10 จากนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนสิ้นสุดการหมัก อยู่ในช่วง 0.31-0.71 ปริมาณรงควัตถุสีแดงที่วัดด้วยวิธีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (500 นาโนเมตร) ไม่สามารถวัดได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เพราะไม่มีการสร้างรงควัตถุสีแดงในอาหาร ตรวจพบซิตรินิน น้อยกว่า 50 ส่วนในล้านส่วน เมื่อตรวจด้วยวิธี HPTLC (High Performance Thin Layer Chromatography)



รูปที่ 4.1 แสดงค่าพีเอช มวลชีวภาพ ค่าการละลายของออกซิเจน ปริมาณน้ำตาล ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง และปริมาณซิตรินิน ของอาหารเหลวสังเคราะห์ ที่มีกลูโคส 20 กรัม/ลิตร และโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช มวลชีวภาพ ค่าการละลายของออกซิเจน ปริมาณน้ำตาล ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง และปริมาณซิตรินิน ของอาหารเหลวสังเคราะห์ที่มีกลูโคส 20 กรัม/ลิตร และโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

เวลา (วัน)	pH	biomass (g/100ml)	%dissolve oxygen	Sugar (g/l)	nitrogen (g/l)	C/N ratio	Red pigment (Unit/ml)	citrinin (ppm)
0	6.50^{a}	0.00^{c}	86.00±2.83	21.25^{a}±2.37	1.10^{a}±0.00	8.10^{a}±0.90	-	-
5	6.33^{b}±0.01	0.12^{b}±0.01	84.50±2.12	20.67^{a}±0.87	1.00^{a}±0.00	8.27^{a}±0.35	-	-
10	6.10^{d}±0.04	0.15^{b}±0.01	81.50±2.12	1.60^{b}±0.07	1.00^{a}±0.01	0.67^{b}±0.01	-	-
15	6.10^{d}±0.01	0.26^{a}±0.01	84.50±4.95	0.34^{b}±0.01	0.40^{b}±0.00	0.31^{b}±0.01	-	-
20	6.17^{c}±0.01	0.34^{a}±0.08	80.50±9.19	0.56^{b}±0.34	0.30^{b}±0.01	0.71^{b}±0.04	-	-

หมายเหตุ 1. ตัวเลขที่แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

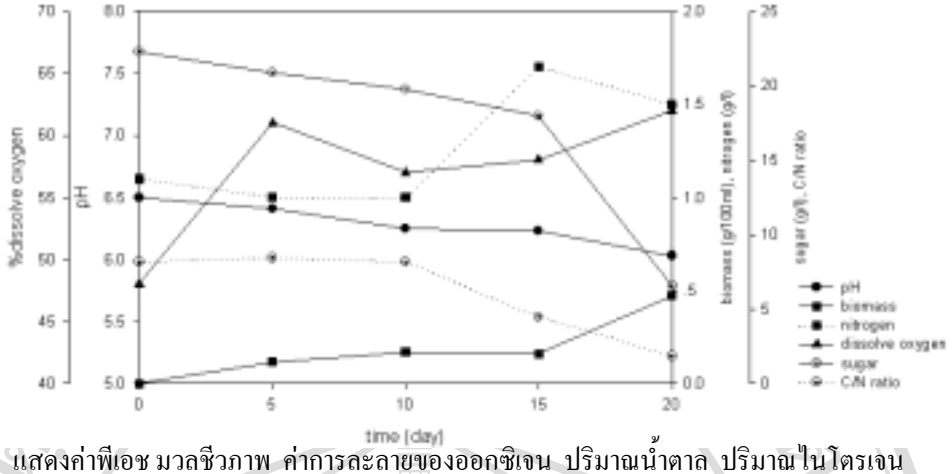
ผลของการหมักพบว่าค่าพีเอชของอาหารลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำตาลในอาหารลดลง เพราะเชื้อราโมแนสคัสสามารถใช้น้ำตาลเพื่อการเจริญทำให้มวลชีวภาพเพิ่มขึ้น และอาหารมีกรดอินทรีย์เกิดขึ้นจากกระบวนการเมตาโบไลท์ (บุษบา, 2542) ได้แก่ malate, succinic, fumarate และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

tartrate (Hajjaj และคณะ, 2000b) และเมื่อปริมาณน้ำตาลในอาหารลดลงต่ำมาก เชื้อราเริ่มมีการใช้แหล่งไนโตรเจน ทำให้ปริมาณไนโตรเจนในอาหารลดลง ส่งผลให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น (Carel และ Shepherd (1997); Shepherd (1997), อ้างอิงในบุษบา, 2542; Stryer, L., 1981) สำหรับสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงแบบเดียวกับปริมาณน้ำตาล กล่าวคือมีค่าลดลงเมื่อปริมาณน้ำตาลลดลง สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน เป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าอัตราการใช้คาร์บอนหรือไนโตรเจน ถ้าสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนมาก หมายถึง อัตราการใช้ไนโตรเจนเร็วกว่าคาร์บอน แต่ถ้าสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนมีค่าน้อย แสดงว่าเชื้อใช้คาร์บอนได้เร็วกว่าไนโตรเจน สำหรับค่าการละลายของออกซิเจนในอาหารแสดงปริมาณออกซิเจนที่เชื้อรานำไปใช้และที่สามารถละลายในอาหารมีความสมดุลกัน ทำให้ค่าการละลายของออกซิเจนในอาหารไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง ปริมาณรงควัตถุสีแดงไม่สามารถวัดค่าได้ ทั้งนี้เพราะว่าเชื้อราเจริญได้น้อยในอาหารเลี้ยงเชื้อ เพราะมีการเติม แคลเซียมคลอไรด์ ($CuCl_2.2H_2O$), กรดบอริค (H_3BO_3) และ แอมโนเนียโมลิบเดท [$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$] เท่ากับ 5.0, 11.0 และ 5.0 มิลลิกรัม/อาหาร 1 ลิตร ตามลำดับ (Hajjaj และคณะ ,2001) นอกจากนั้นอาหารพื้นฐานสำหรับเลี้ยงเชื้อรา *Monascus* sp. เพื่อสร้างรงควัตถุสีแดงมีกลูโคส 20 กรัม/ลิตร และโมโนโซเดียมกลูตาเมทเพียง 5 กรัม/ลิตร (Hajjaj และคณะ ,1999) สำหรับการทดลองนี้เชื้อเจริญได้สูงสุดเมื่อปริมาณน้ำตาลในอาหารต่ำสุด และตรวจพบซิตรินินน้อยกว่า 50 ส่วนในล้านส่วน เพราะว่าการเกิดซิตรินินมักจะเกิดพร้อมๆ กับการสร้างรงควัตถุสีแดง (Hajjaj และคณะ ,2000; จุลยุทธ, 2546)

4.1.2 อาหารเหลวสูตร 2 ใช้กลูโคส 20 กรัม/ลิตร เป็นแหล่งคาร์บอน และฮีสติดีน 12.5 กรัม/ลิตร เป็นแหล่งไนโตรเจน หมักโดย *M. purpureus* FTCMU จากรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.2 พบว่า ค่าพีเอชของอาหารมีแนวโน้มลดลงตลอดการทดลองซึ่งมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 6.03 สำหรับค่าการละลายของออกซิเจนไม่มีความแตกต่างกันตลอดการหมัก อยู่ในช่วง 48.00-61.50% มวลชีวภาพเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วง 15 วันแรก โดยอยู่ในช่วง 0.12-0.17 กรัม/100 มิลลิลิตร และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเท่ากับ 0.47 กรัม/100 มิลลิลิตร ในวันสุดท้ายของการหมัก ปริมาณน้ำตาลค่อยๆ ลดลง จาก 22.28 กรัม/ลิตร เหลือ 6.58 กรัม/ลิตร ส่วนปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นในวันที่ 15 ของการหมัก จาก 1.0% เป็น 1.7% จากนั้นลดลงเล็กน้อยเหลือ 1.5% ในวันสุดท้าย สำหรับสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน จากเริ่มต้น 8.16 ลดลงประมาณ 2 เท่าในวันที่ 15 จากนั้นลดลงอย่างรวดเร็วจนเหลือ 1.85 ในวันสุดท้ายของการหมัก สำหรับปริมาณรงควัตถุสีแดงไม่สามารถวัดได้เพราะไม่มีการสร้างรงควัตถุสีแดงในอาหาร ปริมาณซิตรินินให้ผลเช่นเดียวกับอาหารสูตร 1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.2 แสดงค่าพีเอช มวลชีวภาพ ค่าการละลายของออกซิเจน ปริมาณน้ำตาล ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง และปริมาณซิตรินิน ของอาหารเหลวสังเคราะห์ที่มีกลูโคส 20 กรัม/ลิตร และฮีสติดีน 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช มวลชีวภาพ ค่าการละลายของออกซิเจน ปริมาณน้ำตาล ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง และปริมาณซิตรินิน ของอาหารเหลวสังเคราะห์ที่มีกลูโคส 20 กรัม/ลิตร และฮีสติดีน 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

เวลา (วัน)	pH	biomass (g/100ml)	%dissolve oxygen	sugar (g/l)	nitrogen (g/l)	C/N ratio	red pigment (Unit/ml)	citrinin (ppm)
0	6.50^{a}	0.00^{c}	48.00±2.83	22.28^{a}±0.44	1.10±0.00	8.16^{a}±0.16	-	-
5	6.41^{b}±0.01	0.12^{b}±0.01	61.00±1.41	20.86^{b}±0.47	1.00±0.01	8.44^{a}±0.53	-	-
10	6.25^{c}±0.01	0.17^{b}±0.02	56.50±4.95	19.75^{b}±0.02	1.00±0.01	8.16^{a}±1.56	-	-
15	6.23^{c}±0.02	0.12^{b}±0.01	58.00±9.90	17.95^{c}±0.66	1.70±0.02	4.48^{b}±0.73	-	-
20	6.03^{d}±0.04	0.47^{a}±0.07	61.50±2.12	6.58^{d}±0.71	1.50±0.04	1.85^{c}±0.19	-	-

หมายเหตุ 1. ตัวเลขที่แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

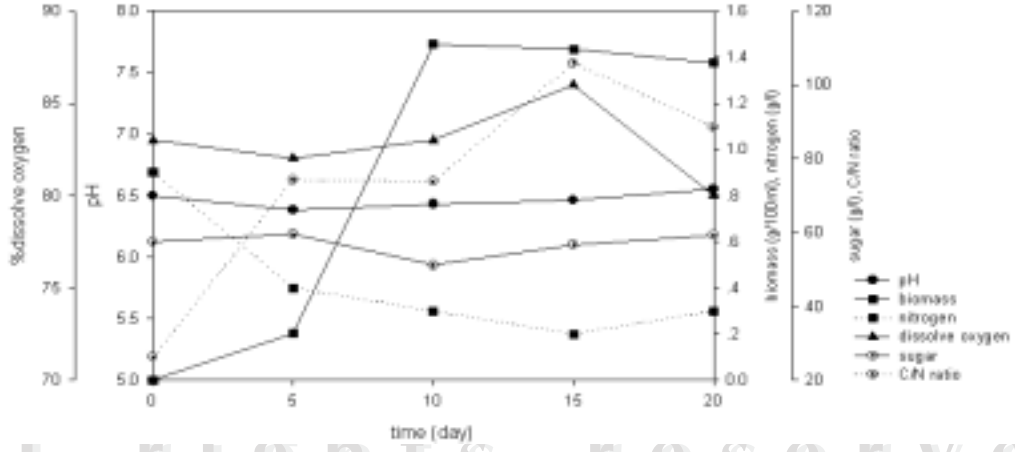
2. ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าพีเอชของอาหารมีแนวโน้มลดลงตลอดการหมัก สัมพันธ์กับปริมาณน้ำตาลในอาหารที่ลดลง พบว่ามวลชีวภาพมีค่ามากสุดเมื่อในอาหารมีปริมาณน้ำตาลเหลืออยู่ต่ำมาก สอดคล้องกับ Hajjaj และคณะ (1999) เช่นเดียวกับอาหารสูตร 1 แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน อาจเป็นเพราะฮีสติดีนให้ปริมาณไนโตรเจนได้มากกว่าโมโนโซเดียมกลูตาเมท (ตารางที่ ค-2 ภาคผนวก ค) จึงเหลืออยู่ในอาหารมาก และเมื่อพิจารณาสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน มีการเปลี่ยนแปลงแบบเดียวกับปริมาณน้ำตาล กล่าวคือมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อปริมาณน้ำตาลลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน

สำหรับค่าการละลายของออกซิเจนในอาหาร มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงแสดงว่าออกซิเจนที่ละลายในอาหารสมดุลกับปริมาณออกซิเจนที่เชื้อรานำไปใช้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับในอาหารสูตรที่ 1 มีปริมาณน้อยกว่า เพราะในช่วงทดลองอาหารสูตร 2 ทดลองในเดือนกุมภาพันธ์ อุณหภูมิห้องเฉลี่ยประมาณ 25$\pm$2^{O}ซ ทำให้ออกซิเจนละลายในอาหารได้น้อยกว่าอาหารสูตร 1 ส่วนรงควัตถุสีแดงและซิตรินินไม่สามารถวัดค่าได้ ทั้งนี้เพราะเชื้อราเจริญในอาหารได้น้อย ด้วยเหตุผลได้กล่าวมาแล้วในอาหารสูตร 1 ข้อ 4.1.1

4.1.3 อาหารเหลวสูตร 3 ใช้แลคโตส 45 กรัม/ลิตร และโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. purpureus* FTCMU จากรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.3 พบว่าค่าพีเอชของอาหารลดลงในวันที่ 5 เท่ากับ 6.38 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เท่ากับ 6.55 เมื่อสิ้นสุดการหมัก ค่าการละลายของออกซิเจนไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาการหมัก มีค่าระหว่าง 79.50-85.50% มวลชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 10 เท่ากับ 1.46 กรัม/100 มิลลิลิตร จากนั้นลดลงเหลือ 1.37 กรัม/100 มิลลิลิตร เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณน้ำตาลไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดการหมัก อยู่ในช่วง 51.11-59.44 กรัม/ลิตร ส่วนปริมาณไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงจาก 0.90 กรัม/ลิตร เหลือ 0.40 กรัม/ลิตร ในวันที่ 5 และไม่เปลี่ยนแปลงจนสิ้นสุดการหมัก สำหรับสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน เริ่มต้น 26.30 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในวันที่ 5 เป็น 74.24 จากนั้นมีค่าเปลี่ยนแปลง อยู่ในช่วง 73.78-105.86 ปริมาณรงควัตถุสีแดงและปริมาณซิตรินินให้ผลเช่นเดียวกับอาหารสูตร 1 และ 2 ในข้อ 4.1.1 และ 4.1.2



รูปที่ 4.3 แสดงค่าพีเอช มวลชีวภาพ ค่าการละลายของออกซิเจน ปริมาณน้ำตาล ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง และปริมาณซิตรินิน ของอาหารเหลวสังเคราะห์ที่มีแลคโตส 45 กรัม/ลิตร และโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช มวลชีวภาพ ค่าการละลายของออกซิเจน ปริมาณน้ำตาล ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง และปริมาณซิตรินิน ของอาหารเหลวสังเคราะห์ที่มีแลคโตส 45 กรัม/ลิตร และโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

เวลา (วัน)	pH	biomass (g/100ml)	%dissolve oxygen	Sugar (g/l)	Nitrogen (g/l)	C/N ratio	Red pigment (Unit/ml)	Citrinin (ppm)
0	6.50^{b}	0.00^{d}	83.00±2.83	57.41±4.45	0.90^{a}±0.00	26.30^{a}±2.04	-	-
5	6.38^{d}±0.01	0.20^{c}±0.02	82.00±2.83	59.44±2.84	0.40^{b}±0.01	74.24±9.72	-	-
10	6.43^{c}±0.00	1.46^{a}±0.00	83.00±1.41	51.11±0.54	0.30^{bc}±0.01	73.78±10.56	-	-
15	6.46^{c}±0.01	1.43^{a}±0.04	85.50±4.95	56.71±0.47	0.20^{c}±0.00	105.86±17.11	-	-
20	6.55^{a}±0.02	1.37^{b}±0.01	79.50±0.71	59.24±0.75	0.30^{bc}±0.01	88.47±25.02	-	-

หมายเหตุ 1. ตัวเลขที่แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

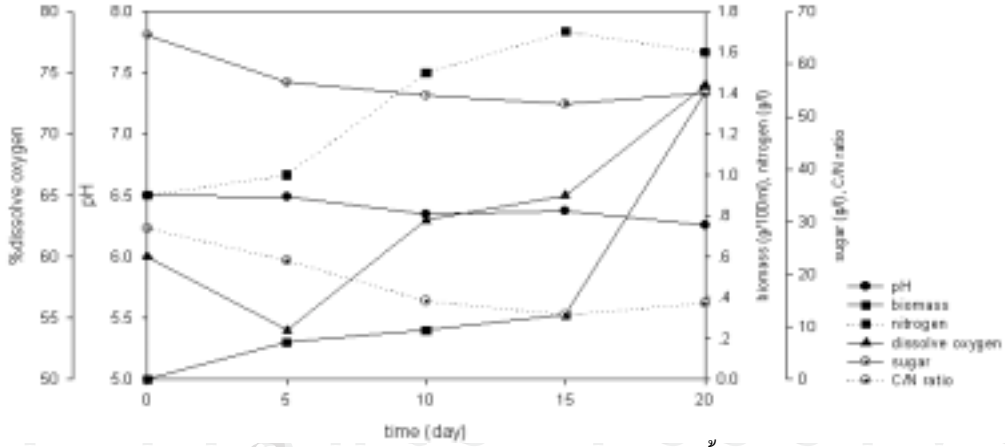
จากการทดลองพบว่า ค่าพีเอชของอาหารมีค่าลดลงในช่วง 5 วันแรก จากนั้นเพิ่มขึ้นตลอดการหมัก สัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนที่ลดลง สำหรับอาหารสูตรนี้ใช้แลคโตสเป็นแหล่งคาร์บอน โดยแลคโตส 1 โมเลกุล สามารถแตกตัวได้ กลูโคส 1 โมเลกุล และกาแลคโตส 1 โมเลกุล ดังนั้นแลคโตสอาจแตกตัวได้บ้างในช่วงแรก และเชื้อสามารถใช้กลูโคสที่มีน้อยในอาหาร ทำให้ค่าพีเอชลดลงในช่วงแรก เมื่อกลูโคสหมด และเชื้อไม่สามารถใช้แลคโตสเป็นแหล่งคาร์บอนได้ Su Huang (1980) (อ้างในบุษบา, 2542) ไม่พบเชื้อราเจริญในกาแลคโตส แลคโตส และซูโครส ดังนั้นอาหารสูตรนี้จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาล แต่อาหารสูตรนี้ใช้โมโนโซเดียมกลูตาเมทที่เป็นทั้งแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจน เชื้อราจึงสามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญ สำหรับสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หมายความว่าอัตราในการใช้ไนโตรเจนเร็วกว่าคาร์บอน สำหรับค่าการละลายของออกซิเจนในอาหาร มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงแสดงว่าออกซิเจนที่ละลายในอาหารสมดุลกับปริมาณออกซิเจนที่เชื้อรานำไปใช้ เมื่อเปรียบเทียบกับในอาหารสูตร 1 มีปริมาณใกล้เคียงกัน เพราะในช่วงทดลองอาหารสูตรที่ 3 ทดลองในเดือนธันวาคม-มกราคม อุณหภูมิห้องเฉลี่ยประมาณ 18±2^{O}ซ อาจทำให้ออกซิเจนละลายในอาหารได้มากเช่นเดียวกับอาหารสูตร 1 ส่วนปริมาณรงควัตถุสีแดงไม่สามารถวัดค่าได้ ทั้งนี้เพราะเชื้อราสร้างเส้นใยได้น้อย และอาหารเหลวสังเคราะห์มีแร่ธาตุ 3 ชนิดเพิ่มขึ้น คือ แคลเซียมคลอไรด์ ($CuCl_2.2H_2O$), กรดบอริค (H_3BO_3) และแอมโนเนียโมลิบเดท [$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$] เท่ากับ 5.0, 11.0 และ 5.0 มิลลิกรัม/อาหาร 1 ลิตร ตาม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ลำดับ ซึ่งอาหารปกติที่ใช้เลี้ยงเชื้อนี้เพื่อให้สร้างรงควัตถุสีแดงไม่มี (Hajjaj และคณะ ,2001) ดังได้อธิบายมาแล้วในข้อ 4.1.1

4.4.4 อาหารเหลวสูตร 4 ใช้แลคโตส 45 กรัม/ลิตร และฮีสติดีน 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. purpureus* FTCMU จากรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.4 พบว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลงตลอดการหมัก ค่าพีเอชสุดท้ายเท่ากับ 6.26 สำหรับค่าการละลายของออกซิเจนมีค่าไม่คงที่ตลอดการหมักอยู่ในช่วง 54.00-74.00% มวลชีวภาพค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.41 กรัม/100 มิลลิลิตร ปริมาณน้ำตาลลดลงเล็กน้อยตลอดการทดลอง โดยลดลงจาก 65.54 กรัม/ลิตร เหลือ 54.42 กรัม/ลิตร ส่วนปริมาณไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยเพิ่มจาก 0.9 กรัม/ลิตร เป็น 1.6 กรัม/ลิตร ในวันสุดท้ายของการหมัก สำหรับสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในช่วง 15 วันแรก โดยลดลงจาก 28.75 เหลือ 14.90 และไม่เปลี่ยนแปลงจนสิ้นสุดการหมัก สำหรับรงควัตถุสีแดงและซิตรินินให้ผลเดียวกับอาหารสูตร 1-3

จากการทดลองพบว่า ค่าพีเอชของอาหารมีค่าลดลงเมื่อปริมาณน้ำตาลลดลง เพราะอาหารสูตร 4 ใช้แลคโตสเป็นแหล่งคาร์บอน เช่นเดียวกับสูตร 3 แต่มีฮีสติดีนเป็นแหล่งไนโตรเจน พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน ซึ่งให้ผลการทดลองคล้ายกับสูตร 2 และพบอีกว่าเมื่อไม่มีแหล่งคาร์บอนหรือไนโตรเจนอื่นที่เชื้อนำไปใช้ได้ดี เชื้อราจึงพยายามใช้แลคโตสเพื่อเพิ่มมวลชีวภาพ ทำให้ปริมาณน้ำตาลลดลงเล็กน้อย สำหรับสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย จากนั้นคงที่จนสิ้นสุดการหมัก หมายความว่า อัตราการนำคาร์บอนไปใช้ได้เร็วกว่าไนโตรเจน



รูปที่ 4.4 แสดงค่าพีเอช มวลชีวภาพ ค่าการละลายของออกซิเจน ปริมาณน้ำตาล ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง และปริมาณซิตรินิน ของอาหารเหลวสังเคราะห์ที่มีแลคโตส 45 กรัม/ลิตร และฮีสติดีน 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช มวลชีวภาพ ค่าการละลายของออกซิเจน ปริมาณน้ำตาล ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง และปริมาณซิตรินิน ของอาหารเหลวสังเคราะห์ที่มีแลคโตส 45 กรัม/ลิตร และฮีสติดีน 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

เวลา (วัน)	PH	biomass (g/100ml)	%dissolve oxygen	Sugar (g/l)	nitrogen (g/l)	C/N ratio	Red pigment (Unit/ml)	Citrinin (ppm)
0	6.50^{a}	0.0000^{e}	$59.50^{c}\pm0.71$	$65.54^{a}\pm1.21$	$0.90^{b}\pm0.00$	$28.75^{a}\pm0.53$	-	-
5	$6.49^{a}\pm0.02$	$0.18^{d}\pm0.00$	$54.00^{b}\pm1.41$	$56.51^{b}\pm1.56$	$1.00^{b}\pm0.01$	$22.59^{b}\pm3.25$	-	-
10	$6.35^{b}\pm0.01$	$0.24^{c}\pm0.00$	$63.00^{c}\pm1.41$	$54.05^{c}\pm0.04$	$1.50^{a}\pm0.01$	$14.90^{c}\pm0.11$	-	-
15	$6.37^{b}\pm0.01$	$0.32^{b}\pm0.01$	$64.50^{c}\pm3.54$	$52.44^{c}\pm0.19$	$1.70^{a}\pm0.01$	$12.28^{c}\pm0.74$	-	-
20	$6.26^{c}\pm0.01$	$1.41^{a}\pm0.02$	$74.00^{a}\pm1.41$	$54.42^{bc}\pm0.46$	$1.60^{a}\pm0.02$	$14.49^{c}\pm2.09$	-	-

หมายเหตุ 1. ตัวเลขที่แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

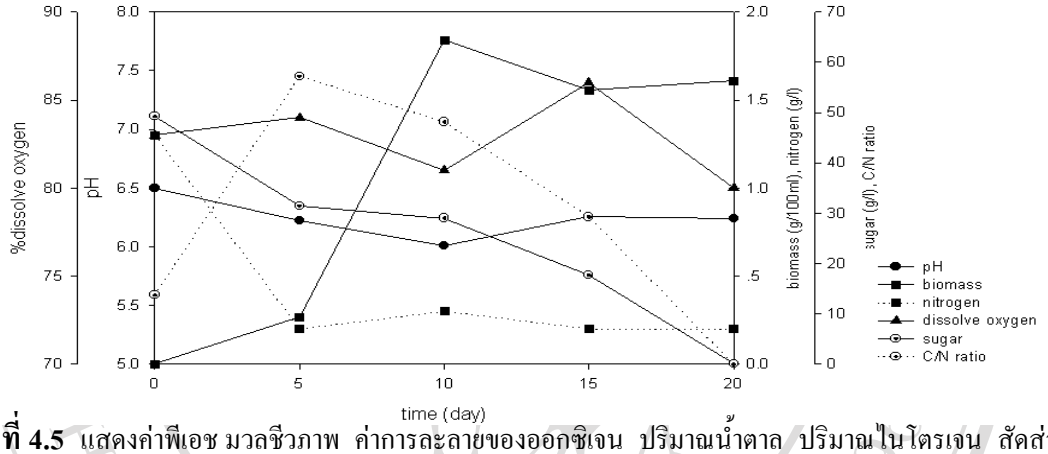
2. ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

4.1.5 อาหารเหลวสูตร 5 ใช้กลูโคส 20 กรัม/ลิตร และแลคโตส 20 กรัม/ลิตร เป็นแหล่งคาร์บอน และ โมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/ลิตร เป็นแหล่งไนโตรเจน หมักโดย *M. purpureus* FTCMU จากรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.5 พบว่าค่าพีเอชของอาหารลดลงต่ำสุดเท่ากับ 6.01 ในวันที่ 10 จากนั้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าการละลายของออกซิเจนไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการหมัก อยู่ในช่วง 80.00-85.50% มวลชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 10 เท่ากับ 1.84 กรัม/100 มิลลิลิตร จากนั้นคงที่ตลอดการทดลอง อยู่ในช่วง 1.55-1.84 กรัม/100 มิลลิลิตร ปริมาณน้ำตาลมีแนวโน้มลดลงจาก 49.26 กรัม/ลิตร และถูกใช้จนหมดเมื่อสิ้นสุดการหมัก ส่วนปริมาณไนโตรเจนลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 5 จาก 1.3 กรัม/ลิตร เหลือ 0.20 กรัม/ลิตร จากนั้นไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง สำหรับสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน มีแนวโน้มลดลงตลอดการทดลอง รงวัตถุสีแดงและซิตรินินให้ผลเช่นเดียวกับอาหารสูตร 1-4

จากการทดลองพบว่า ค่าพีเอชของอาหารมีค่าลดลงเมื่อปริมาณน้ำตาลลดลง แสดงว่ามีการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรด และพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนลดลง เนื่องจากการใช้สารประกอบไนโตรเจนทำให้เกิดสารประกอบด่าง (Stryer, L.,1981) สำหรับอาหารสูตร 5 ใช้กลูโคสร่วมกับแลคโตสเป็นแหล่งคาร์บอน เชื้อ *M. purpureus* FTCMU สามารถใช้กลูโคสได้เร็วทำให้พีเอชต่ำลง และในขณะเดียวกันมีการใช้โมโนโซเดียมกลูตาเมทค่าพีเอชจึงเพิ่มขึ้น มวลชีวภาพเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 10 แสดงว่าขณะนั้นมีกลูโคสในอาหารเหลือน้อยพร้อมกับมีการใช้ไนโตรเจนควบคู่กัน อาหารสูตรนี้ใช้ทั้งกลูโคสและแลคโตส เมื่อเชื้อราใช้กลูโคสหมดจึงเริ่มใช้แลคโตส สอด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

คล้องกับ Hajjaj และคณะ (2001) พบว่ามวลชีวภาพของเชื้อ *A. terreus* มีค่าสูงสุดเมื่อปริมาณกลูโคสในอาหารหมด จากนั้นเริ่มมีการใช้แลคโตสเพื่อรักษามวลชีวภาพให้คงที่ตลอดการทดลอง สำหรับสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลง เป็นไปในทำนองเดียวกับปริมาณน้ำตาลที่ลดลง ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในอาหารสมดุลกับปริมาณออกซิเจนที่เชื้อรานำไปใช้ ส่วนปริมาณรงควัตถุสีแดงไม่สามารถวัดค่าได้ เพราะเชื้อราสร้างเส้นใยได้น้อยเช่นเดียวกับอาหารสูตรที่ 1-4 ปริมาณรงควัตถุสีแดงไม่สามารถวัดค่าได้ ทั้งนี้เพราะว่าเชื้อราเจริญได้น้อยในอาหารเลี้ยงเชื้อ ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาแล้วในข้อ 4.1.1



รูปที่ 4.5 แสดงค่าพีเอช มวลชีวภาพ ค่าการละลายของออกซิเจน ปริมาณน้ำตาล ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง และปริมาณซิตรินิน ของอาหารเหลวสังเคราะห์ที่มีกลูโคสและแลคโตส ชนิดละ 20 กรัม/ลิตร และโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช มวลชีวภาพ ค่าการละลายของออกซิเจน ปริมาณน้ำตาล ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง และปริมาณซิตรินิน ของอาหารเหลวสังเคราะห์ที่มีกลูโคสและแลคโตส ชนิดละ 20 กรัม/ลิตร และโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

เวลา (วัน)	pH	biomass (g/100ml)	%dissolve oxygen	Sugar (g/l)	nitrogen (g/l)	C/N ratio	Red pigment (Unit/ml)	Citrinin (ppm)
0	6.50^{a}	0.00^{b}	83.00±4.24	49.26^{a}±3.47	1.30^{a}±0.01	13.78^{bc}±1.04	-	-
5	6.22^{b}±0.01	0.27^{b}±0.00	83.50±2.12	31.45^{b}±1.23	0.20±0.00	57.18^{a}±7.11	-	-
10	6.01^{c}±0.03	1.84^{a}±0.24	80.50±0.71	29.04^{b}±2.53	0.30±0.01	48.12^{a}±19.78	-	-
15	6.26^{b}±0.01	1.55^{a}±0.09	85.50±2.12	27.71^{b}±1.43	0.20±0.00	29.25^{bc}±24.65	-	-
20	6.24^{b}±0.01	1.61^{a}±0.07	80.00±2.83	0.00^{c}±0.00	0.20±0.00	0.00^{c}±0.00	-	-

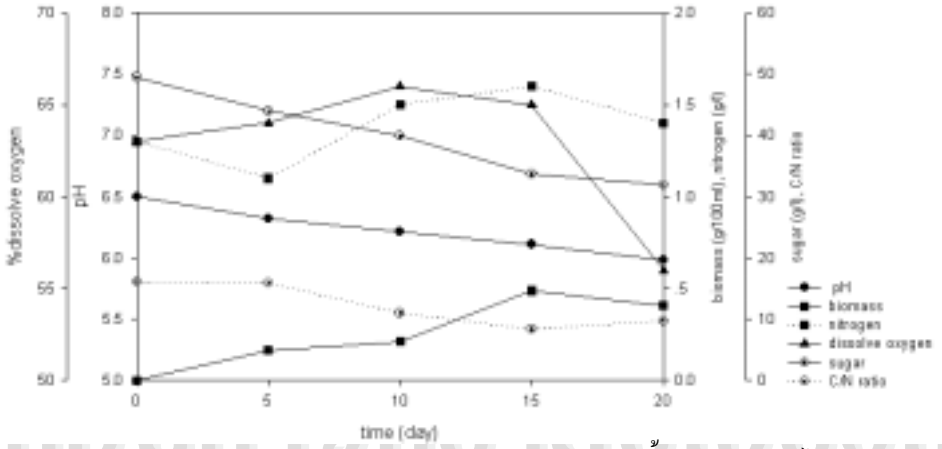
หมายเหตุ 1. ตัวเลขที่แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.6 อาหารเหลวสูตร 6 ใช้กลูโคส 20 กรัม/ลิตร, แลคโตส 20 กรัม/ลิตร และ ฮีสติดีน 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. purpureus* FTCMU จากรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.6 พบว่าค่าพีเอชของอาหารมีแนวโน้มลดลงตลอดการทดลอง โดยลดลงจาก 6.50 เหลือ 5.98 สำหรับค่าการละลายของออกซิเจนไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการหมัก อยู่ในช่วง 56.00-66.00% ส่วนมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และมีค่าเท่ากับ 0.41 กรัม/100 มิลลิลิตร ในวันสุดท้ายของการหมัก ปริมาณน้ำตาลมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จากเริ่มต้น 49.43 กรัม/ลิตร เหลือ 31.89 กรัม/ลิตร ส่วนปริมาณไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อยู่ในช่วง 1.1-1.6 กรัม/ลิตร สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนลดลงช้าๆ ตลอดการหมัก จาก 16.13 เหลือ 9.73 ปริมาณรงควัตถุสีแดงไม่สามารถวัดได้เพราะไม่มีการสร้างรงควัตถุสีแดงในอาหาร รวมทั้งปริมาณซิตรินินให้ผลเช่นเดียวกับอาหารสูตร 1-5

ผลของการหมักพบว่าค่าพีเอชของอาหารมีค่าลดลงเมื่อปริมาณน้ำตาลลดลง อาหารสูตรนี้ใช้กลูโคสร่วมกับแลคโตสเป็นแหล่งคาร์บอน เชื้อ *M. purpureus* FTCMU สามารถใช้น้ำตาลกลูโคสได้เร็วทำให้พีเองต่ำลง และปริมาณไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เพราะใช้ฮีสติดีนเป็นแหล่งไนโตรเจน เช่นเดียวกับสูตร 2 และ 4 จึงให้ผลคล้ายกัน เมื่อพิจารณาสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยตลอดการหมัก แสดงว่ามีอัตราการใช้คาร์บอนเร็วกว่าไนโตรเจน



รูปที่ 4.6 แสดงค่าพีเอช มวลชีวภาพ ค่าการละลายของออกซิเจน ปริมาณน้ำตาล ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง และปริมาณซิตรินิน ของอาหารเหลวสังเคราะห์ที่มีกลูโคสและแลคโตส ชนิดละ 20 กรัม/ลิตร และฮีสติดีน 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช มวลชีวภาพ ค่าการละลายของออกซิเจน ปริมาณน้ำตาล ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง และปริมาณซิตรินิน ของอาหารเหลวสังเคราะห์ที่มีกลูโคสและแลคโตส ชนิดละ 20 กรัม/ลิตร และฮีสติดีน 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

เวลา (วัน)	pH	biomass (g/100ml)	%dissolve oxygen	Sugar (g/l)	nitrogen (g/l)	C/N ratio	Red pigment (Unit/ml)	Citrinin (ppm)
0	6.50^{a}	0.00^{c}	62.50±0.71	49.43^{a}±1.16	1.30^{c}±0.01	16.13^{a}±0.92	-	-
5	6.32^{b}±0.11	0.16^{b}±0.01	63.50±0.71	43.93^{b}±0.49	1.10^{d}±0.00	15.92^{a}±0.06	-	-
10	6.21^{bc}±0.01	0.21^{b}±0.02	66.00±1.41	39.89^{c}±0.17	1.50^{b}±0.01	11.00^{b}±0.71	-	-
15	6.11^{c}±0.01	0.49^{a}±0.04	65.00±2.83	33.62^{d}±0.30	1.60^{a}±0.00	8.37^{c}±0.16	-	-
20	5.98^{d}±0.03	0.41^{a}±0.07	56.00^{a}±2.83	31.89^{e}±0.39	1.40^{bc}±0.01	9.73^{bc}±0.35	-	-

หมายเหตุ 1. ตัวเลขที่แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

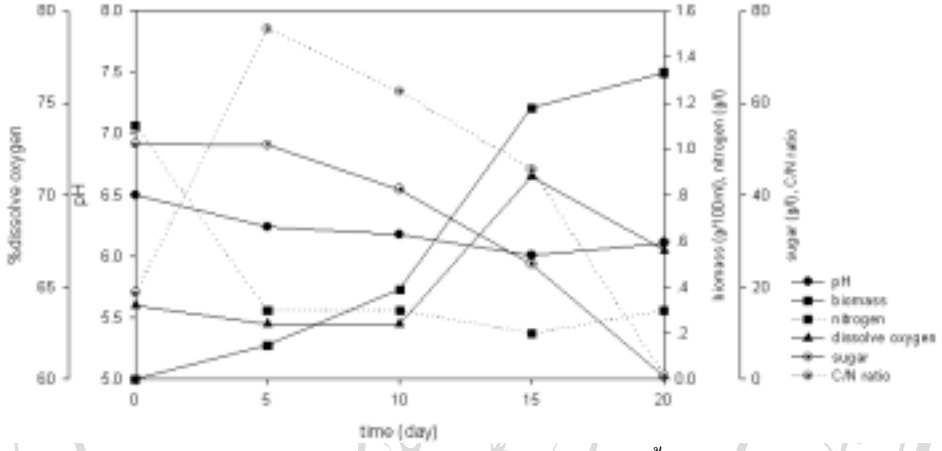
2. ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.1.7 อาหารเหลวสูตร 7 ใช้กลูโคส 45 กรัม/ลิตร และโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 ใช้เป็นชุดเปรียบเทียบการสร้างซิตรินิน จากรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.7 พบว่าค่าพีเอชของอาหารมีแนวโน้มลดลง จาก 6.50 เหลือ 6.01 ในวันที่ 15 จากนั้นเพิ่มขึ้นเป็น 6.11 ในวันสุดท้ายของการหมัก สำหรับค่าการละลายของออกซิเจนมีค่าไม่คงที่ อยู่ในช่วง 62.50-70.50% มวลชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 15 ของการหมัก โดยมีค่าเท่ากับ 1.18 กรัม/100 มิลลิลิตร และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่ากับ 1.33 กรัม/100 มิลลิลิตร ในวันสุดท้ายของการหมัก ปริมาณน้ำตาลมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จากเริ่มต้น 51.02 กรัม/ลิตร เหลือ 0.62 กรัม/ลิตร ส่วนปริมาณไนโตรเจนลดลงจาก 1.1 กรัม/ลิตร เหลือ 0.3 กรัม/ลิตร ในวันที่ 5 จากนั้นไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการหมัก สำหรับสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนลดลงแบบเดียวกับปริมาณน้ำตาลและไนโตรเจน ส่วนปริมาณรงควัตถุสีแดงไม่สามารถวัดได้ และปริมาณซิตรินินให้ผลเช่นเดียวกับอาหารสูตร 1-6

จากการทดลองพบว่า ค่าพีเอชของอาหารมีค่าลดลงเมื่อปริมาณน้ำตาลลดลง เพราะเชื้อราสามารถใช้น้ำตาลในการเจริญ พร้อมกับอาหารมีกรดอินทรีย์ที่เกิดจากกระบวนการเมตาโบไลท์ (Lumyong และคณะ, (1990), Lumyong และ Tomita (1992,1993); (อ้างในบุษบา, 2542) และเมื่อปริมาณน้ำตาลในอาหารลดลงต่ำมาก เชื้อราเริ่มมีการใช้โมโนโซเดียมกลูตาเมท ทำให้ปริมาณไนโตรเจนในอาหารลดลง ส่งผลให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น (Carel และ Shepherd (1997); Shepherd (1997) ;อ้างอิงในบุษบา, 2542) สำหรับมวลชีวภาพที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 15 ของการหมัก เพราะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณน้ำตาลลดลงเร็วมาก สอดคล้องกับ Hajjaj และคณะ (1999) พบว่ามวลชีวภาพของเชื้อ *Monascus ruber* มากที่สุดเมื่อกลูโคสในอาหารหมด เมื่อพิจารณาสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแสดงว่าอัตราการใช้ไนโตรเจนเร็วกว่าคาร์บอน ปริมาณรงควัตถุสีแดงและซิตรินินไม่สามารถวัดค่าได้เช่นเดียวกับอาหารสูตรที่ 1-6 และอาหารสูตรนี้เป็นชุดเปรียบเทียบการสร้างซิตรินิน โดย Blanc และคณะ (1995a) ซึ่งได้ศึกษาการสร้างซิตรินินโดยเชื้อรา *M. ruber* (wild) เลี้ยงในอาหารเหลวที่มีองค์ประกอบของอาหารต่างกัน



รูปที่ 4.7 แสดงค่าพีเอช มวลชีวภาพ ค่าการละลายของออกซิเจน ปริมาณน้ำตาล ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง และปริมาณซิตรินิน ของอาหารเหลวสังเคราะห์ที่มีกลูโคส 45 กรัม/ลิตร และโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ตารางที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช มวลชีวภาพ ค่าการละลายของออกซิเจน ปริมาณน้ำตาล ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง และปริมาณซิตรินิน ของอาหารเหลวสังเคราะห์ที่มีกลูโคส 45 กรัม/ลิตร และโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

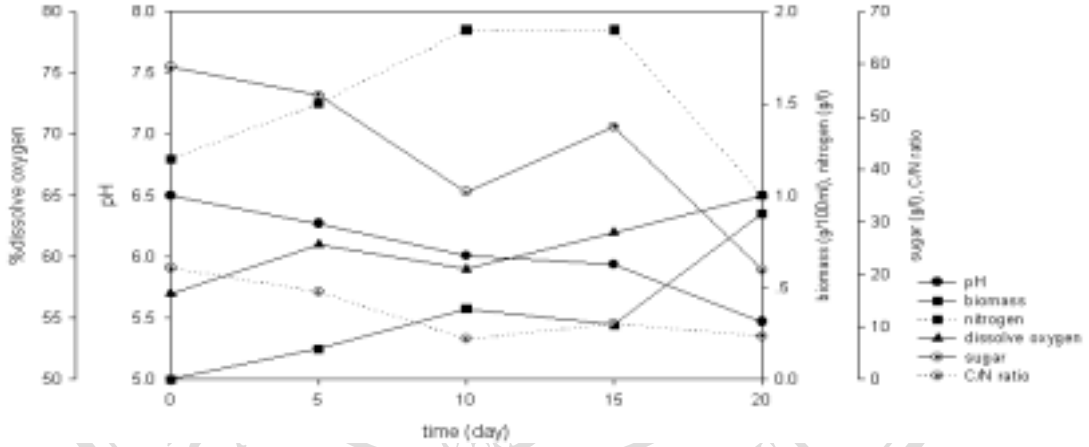
เวลา (วัน)	pH	biomass (g/100ml)	%dissolve oxygen	sugar (g/l)	nitrogen (g/l)	C/N ratio	red pigment (Unit/ml)	citrinin (ppm)
0	6.50^{a}	0.00^{c}	$64.00^{b}\pm1.41$	$51.02^{a}\pm0.61$	$1.10^{a}\pm0.00$	$18.78^{c}\pm0.22$	-	-
5	$6.24^{b}\pm0.01$	$0.158^{c}\pm0.01$	$63.00^{b}\pm1.41$	$50.90^{a}\pm1.41$	0.30 ± 0.01	$76.07^{a}\pm8.80$	-	-
10	$6.18^{bc}\pm0.08$	$0.39^{b}\pm0.05$	$62.50^{b}\pm2.12$	$41.22^{b}\pm0.35$	0.30 ± 0.00	$62.47^{b}\pm0.92$	-	-
15	$6.01^{d}\pm0.01$	$1.18^{a}\pm0.01$	$70.50^{a}\pm2.12$	$25.03^{c}\pm3.47$	0.20 ± 0.08	$10.42^{cd}\pm5.47$	-	-
20	$6.11^{c}\pm0.00$	$1.33^{a}\pm0.15$	$67.00^{ab}\pm2.83$	$0.62^{d}\pm0.01$	0.30 ± 0.00	$0.36^{d}\pm0.04$	-	-

หมายเหตุ 1. ตัวเลขที่แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.8 อาหารเหลวสูตร 8 ใช้กลูโคส 45 กรัม/ลิตร และฮีสติดีน 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 เป็นชุดเปรียบเทียบการสร้างซิตรินินเช่นกันกับสูตร 7 จากรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.8 พบว่าค่าพีเอชของอาหารมีแนวโน้มลดลงตลอดการทดลอง โดยลดลงจาก 6.50 เหลือ 5.47 ค่าการละลายของออกซิเจนไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง อยู่ในช่วง 57.00-64.50% มวลชีวภาพเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.90 กรัม/100 มิลลิลิตร ในวันสุดท้ายของการหมักปริมาณน้ำตาลมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ โดยลดลงจาก 59.42 กรัม/ลิตร เหลือ 20.75 กรัม/ลิตร ส่วนปริมาณไนโตรเจนไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง อยู่ในช่วง 1.0-1.9 กรัม/ลิตร สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนลดลงในทำนองเดียวกับปริมาณน้ำตาล สำหรับปริมาณรงควัตถุสีแดงไม่สามารถวัดได้และตรวจพบปริมาณซิตรินินเช่นเดียวกับอาหารสูตร 1-7



รูปที่ 4.8 แสดงค่าพีเอช มวลชีวภาพ ค่าการละลายของออกซิเจน ปริมาณน้ำตาล ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง และปริมาณซิตรินิน ของอาหารเหลวสังเคราะห์ที่มีกลูโคส 45 กรัม/ลิตร และฮีสติดีน 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ผลของการหมักพบว่าค่าพีเอชของอาหารลดลงเมื่อปริมาณน้ำตาลลดลง พร้อมกับมวลชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งยืนยันผลเช่นเดียวกับข้อ 4.1.1, 4.1.5, 4.1.6 และ 4.1.7 ส่วนปริมาณไนโตรเจนไม่เปลี่ยนแปลงคล้ายๆ กับอาหารสูตรอื่นที่ใช้ฮีสติดีนเป็นแหล่งไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงเพราะน้ำตาลมีแนวโน้มลดลงนั่นเอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช มวลชีวภาพ ค่าการละลายของออกซิเจน ปริมาณน้ำตาล ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง และปริมาณซิตรินิน ของอาหารเหลวสังเคราะห์ที่มีกลูโคส 45 กรัม/ลิตร และฮีสติดีน 12.5 กรัม/ลิตร หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

เวลา (วัน)	pH	biomass (g/100ml)	%dissolve oxygen	Sugar (g/l)	nitrogen (g/l)	C/N ratio	Red pigment (Unit/ml)	Citrinin (ppm)
0	6.50^{a}	0.00^{d}	57.00±1.41	59.42^{a}±2.23	1.20±0.01	21.21^{a}±1.74	-	-
5	6.27^{b}±0.01	0.16^{c}±0.01	61.00±1.41	54.10^{b}±0.06	1.50±0.06	16.67^{ab}±7.50	-	-
10	6.01^{c}±0.01	0.38^{b}±0.02	59.00±2.83	35.66^{d}±0.23	1.90±0.03	7.68^{b}±1.29	-	-
15	5.94^{d}±0.01	0.30^{b}±0.07	62.00±4.24	48.09^{c}±0.01	1.90±0.02	10.59^{b}±1.12	-	-
20	5.47^{e}±0.03	0.90^{a}±0.06	64.50±0.71	20.75^{e}±0.96	1.00±0.00	8.24^{b}±0.33	-	-

หมายเหตุ 1. ตัวเลขที่แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

อภิปรายผลการทดลองเลี้ยงเชื้อ *Monascus purpureus* FTCMU และ *Monascus ruber* TISTR 3006 ในอาหารเหลวสังเคราะห์

ปริมาณรงควัตถุสีแดงจากการวัดด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่าอาหารเหลวทั้ง 8 สูตร ไม่สามารถสร้างรงควัตถุสีแดง เพราะมีการเจริญของเชื้อราโมแนสคัสน้อยมากมีลักษณะเป็นก้อนกลมๆ (pellet) เพราะปกติเชื้อราสร้างรงควัตถุขึ้นภายในเส้นใยไมซีเลียม ทั้งนี้อาจเพราะสูตรอาหารเหลวสังเคราะห์ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อราโมแนสคัส เพราะการทดลองนี้ดัดแปลงมาจากสูตรอาหารเหลวสังเคราะห์สำหรับเชื้อรา *A. terreus* (Hajjaj และคณะ, 2001) ซึ่งมีสารประกอบที่แตกต่างไปจากอาหารเหลวพื้นฐานสำหรับเชื้อโมแนสคัส ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ ($CuCl_2.2H_2O$), กรดบอริค (H_3BO_3) และ แอมโนเนียโมลิบเดท [$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$] สันนิษฐานได้ว่าสารตัวใดตัวหนึ่ง อาจมีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อราโมแนสคัส นอกจากนั้นสูตรอาหารพื้นฐานในการเลี้ยง *Monascus* sp. เพื่อสร้างรงควัตถุมีกลูโคสเพียง 20 กรัม/ลิตร และโมโนโซเดียมกลูตาเมทเพียง 5 กรัม/ลิตร เท่านั้น สภาวะการเลี้ยงเชื้อได้ทดลองที่อุณหภูมิห้อง (ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่) โดยทดลองที่อุณหภูมิประมาณ 18-20^{O}ซ (เดือนธันวาคม 2545-มกราคม 2546) ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อราโมแนสคัส เพราะปกติจะเจริญที่อุณหภูมิ 25-28^{O}ซ สอดคล้องกับ Mannandhar และ Apinis (1971) (อ้างจาก บุษบา, 2542) พบว่าที่อุณหภูมิ 18^{O}ซ การเจริญของเชื้อโมแนสคัสจะช้ามาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณซิตรินินในอาหารเหลวสังเคราะห์ จากผลการวิเคราะห์ปริมาณซิตรินินในอาหารเหลวสังเคราะห์ทั้ง 8 สูตร ได้แก่ อาหารสูตร 1-6 โดย *M. purpureus* FTCMU และอาหารสูตร 7 และ 8 โดย *M. ruber* TISTR 3006 ปรากฏว่าซิตรินินน้อยกว่า 50 ส่วนในล้านส่วน ในอาหารเหลวทุกสูตร ตลอดระยะเวลาการหมัก จากผลการวิเคราะห์ด้วย TLC พบแถบสีฟ้าเรืองแสงภายใต้แสงยูวี ที่ความยาวคลื่น 365 นาโนเมตร ณ ตำแหน่ง relative retention time แตกต่างกับซิตรินินมาตรฐานที่เรืองแสงสีเหลือง (รูปที่ ก-11 ภาคผนวก ก) จึงมั่นใจว่าแถบสีที่สามารถแยกออกมาจากตัวอย่างที่สกัดจากอาหารเหลวสังเคราะห์ไม่ใช่ซิตรินิน สำหรับขั้นตอนและวิธีการสกัดซิตรินินอ้างอิงจาก Blanc และคณะ (1995b) อาจมีส่วนทำให้ซิตรินินที่มีในอาหารเหลวสังเคราะห์สลายไปได้ แต่ Blanc และคณะ (1995b) ตรวจซิตรินินแบบพบหรือไม่พบ (qualitative) เท่านั้นไม่ได้หาปริมาณ การทดลองนี้ได้วิเคราะห์ปริมาณซิตรินินแบบ recovery โดยเติมซิตรินินมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนลงในตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ (ก่อนการสกัด) จากนั้นทำการเตรียมตัวอย่างและทำการสกัดเช่นเดียวกัน เมื่อวิเคราะห์ปริมาณซิตรินินไม่พบในปริมาณที่ใกล้เคียงกับซิตรินินมาตรฐานที่เติมลงในตัวอย่าง พบ %recovery ของซิตรินินน้อยมาก ดังนั้นวิธีการสกัดอาจไม่เหมาะสม ทั้งขั้นตอนการสกัด รวมทั้งชนิดและปริมาณของตัวทำละลาย และปริมาณตัวอย่างอาหารเหลวที่นำมาสกัด จึงควรมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมทั้งการสกัด สัดส่วนตัวทำลายที่เหมาะสมต่อไป

การทดลองนี้สามารถศึกษาผลของกลูโคส แลคโตส โมโนโซเดียมกลูตาเมท และฮีสติดีนในอาหารเหลวสังเคราะห์ต่อการเพิ่มปริมาณมวลชีวภาพได้ กล่าวคือ อาหารเหลวที่มีกลูโคส 20 กรัม/ลิตร และแลคโตส 20 กรัม/ลิตร และโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/ลิตร ให้ค่ามวลชีวภาพมากที่สุดภายในระยะเวลาการหมักเพียง 10 วัน จากนั้นมีค่าคงที่ตลอดการหมัก รองลงมาได้แก่อาหารเหลวที่ใช้แลคโตส 45 กรัม/ลิตร และโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/ลิตร ส่วนอาหารสูตรที่เหลือจะเพิ่มอัตรามวลชีวภาพน้อยกว่า อาหารที่เติมโมโนโซเดียมกลูตาเมทจะให้ปริมาณมวลชีวภาพสูงกว่าอาหารที่เติมฮีสติดีน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอาหารเหลวที่ใช้กลูโคสร่วมกับแลคโตส จะทำให้เชื้อรานำไปเพิ่มมวลชีวภาพได้มากกว่าอาหารเหลวที่ใช้แลคโตส หรือ กลูโคสเพียงชนิดเดียวในปริมาณสูงๆ เพราะความเข้มข้นที่มากเกินไปอาจไปยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ แต่เมื่อเราใช้กลูโคสร่วมกับแลคโตสเชื้อสามารถใช้กลูโคสจนหมดจากนั้นจึงย่อยแลคโตสที่เหลือต่อไป สำหรับแหล่งไนโตรเจนที่เติมในอาหารก็เช่นเดียวกัน โดยอาหารที่เติมโมโนโซเดียมกลูตาเมท พบว่าเชื้อสามารถใช้โมโนโซเดียมกลูตาเมทได้ดีกว่าฮีสติดีน โดยสังเกตจากปริมาณไนโตรเจนในอาหารเหลวที่ลดลงนั่นเอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 ผลของโมโนโซเดียมกลูตาเมท (monosodium glutamate) หรือฮีสติดีน (L-histidine) ในข้าวต่อการผลิตรงควัตถุสีแดงและซิตรินิน โดยเชื้อรา *Monascus purpureus* FTCMU และ *Monascus ruber* TISTR 3006

การทดลองนี้เพื่อศึกษาการผลิตรงควัตถุสีแดงและซิตรินินโดยเชื้อรา *M. purpureus* FTCMU และ *M. ruber* TISTR 3006 โดยใช้แหล่งไนโตรเจน 2 ชนิด คือโมโนโซเดียมกลูตาเมท และ ฮีสติดีนเติมลงในข้าว วัดค่าพีเอช ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณไนโตเจน คำนวณสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณสี (สีแดงที่ 500 นาโนเมตร, สีส้มที่ 470 นาโนเมตร และ สีเหลืองที่ 400 นาโนเมตร) ค่าสีโดยระบบ Hunter Lab และปริมาณซิตรินิน ทุกๆ 5 วัน ตลอดเวลาการหมัก 20 วัน

จากการเปรียบเทียบข้าวที่เติมโมโนโซเดียมกลูตาเมทและฮีสติดีน ดังตารางที่ 4.9 พบว่าปริมาณไนโตรเจนของข้าวเพิ่มสูงขึ้น จากเริ่มต้น 1.39% โดยข้าวที่เติมโมโนโซเดียมกลูตาเมทมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเป็น 1.49% และข้าวที่เติมฮีสติดีนมีไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเป็น 1.98% เนื่องจากสูตรโครงสร้างของโมโนโซเดียมกลูตาเมทแตกต่างกับฮีสติดีน (ตารางที่ ค-2 ภาคผนวก ค) โมโนโซเดียมกลูตาเมท มีมวลโมเลกุล = 187 กรัม (คาร์บอน = 60.06 กรัม, ไนโตรเจน = 28.01 กรัม) ในขณะที่ฮีสติดีน มีมวลโมเลกุล = 155.156 กรัม (คาร์บอน = 72.07 กรัม, ไนโตรเจน = 42.02 กรัม) เมื่อทำการเติมแหล่งไนโตรเจนทั้ง 2 ชนิดลงในข้าว ในปริมาณที่เท่ากันคือ 12.5 กรัม/กิโลกรัม ดังนั้นข้าวที่เติมฮีสติดีนจึงมีปริมาณไนโตรเจนมากกว่าข้าวที่เติมโมโนโซเดียมกลูตาเมท และเมื่อปริมาณไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น ทำให้สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนลดลง

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบคุณภาพของข้าว 3 สูตร ก่อนใช้ในการหมัก

สูตรข้าว	คาร์โบไฮเดรต (%)	คาร์บอน (%)	ไนโตรเจน (%)	สัดส่วน คาร์บอน/ไนโตรเจน
ข้าว	$62.23^{b}\pm0.04$	22.63	$1.39^{b}\pm0.01$	$16.28^{a}\pm0.01$
ข้าว เติม โมโนโซเดียมกลูตาเมท	$56.89^{c}\pm1.99$	20.69	$1.49^{b}\pm0.01$	$13.89^{b}\pm0.56$
ข้าว เติม ฮีสติดีน	$76.79^{a}\pm0.16$	27.93	$1.98^{a}\pm0.11$	$14.10^{b}\pm1.05$

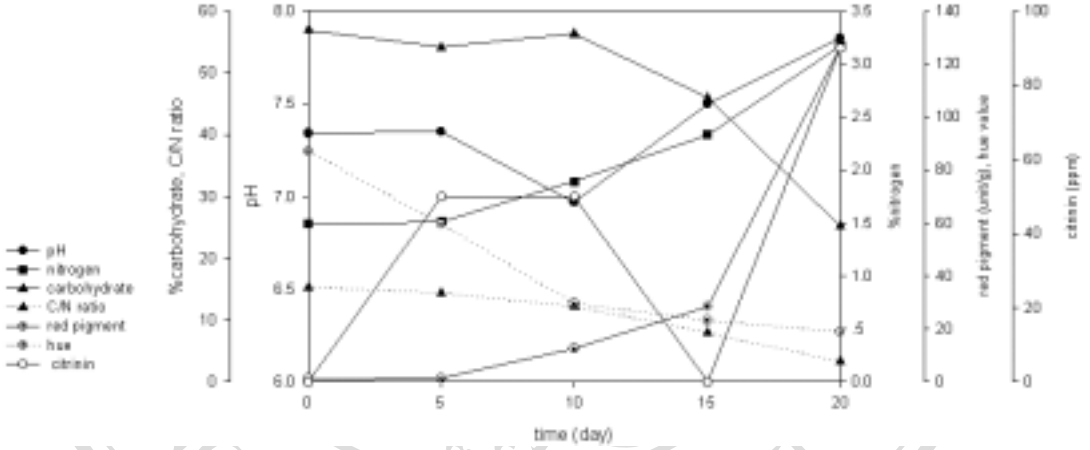
หมายเหตุ 1. ตัวเลขที่แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

4.2.1 ข้าวสูตร 1 คือข้าวที่เติมโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/กิโลกรัม หมักโดย *M. purpureus* FTCMU จากรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.10 พบว่าค่าพีเอชของข้าวมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดการทดลอง อยู่ในช่วง 6.97-7.85 สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรต (เทียบเท่ากลูโคส) ค่อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้างคงที่ใน 10 วันแรก อยู่ในช่วง 54.10-56.89% จากนั้นค่อยๆ ลดลงเหลือ 25.19% ส่วนปริมาณไนโตรเจนค่อยๆ เพิ่มขึ้นจาก 1.49% จนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.17% ในวันสุดท้ายของการหมัก สำหรับสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าๆ จาก 15.32 เหลือ 12.23 ในช่วง 15 วันแรก จากนั้นลดลงอย่างรวดเร็วเหลือ 3.28 ในวันสุดท้ายของการหมัก สำหรับรงควัตถุสีแดงที่ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร เริ่มวัดได้ในวันที่ 10 เท่ากับ 20.52 ยูนิต/กรัม และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในวันสุดท้ายของการหมักเท่ากับ 126.51 ยูนิต/กรัม ค่า hue ของข้าวลดลงจาก 87.07 องศา เป็น 59.54 องศา ในวันที่ 5 แสดงว่าข้าวเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม จากนั้นค่า hue ลดลงเรื่อยๆ จนเท่ากับ 18.86 องศา ตรวจพบซิตรินินในวันที่ 5 เท่ากับ 50 ส่วนในล้านส่วน และมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 90 ส่วนในล้านส่วน ในวันสุดท้ายของการหมัก



รูปที่ 4.9 แสดงค่าพีเอช ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง ค่าสี hue และปริมาณซิตรินิน ของข้าวที่เติมโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/กิโลกรัม หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ผลจากการหมักทำให้ได้ค่าพีเอชลดลง เนื่องจากเชื้อราโมแนสคัสสามารถย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล จากนั้นย่อยถูกต่อได้ผลผลิตเป็นกรดอินทรีย์ (บุษบา, 2542) ได้มวลชีวภาพเพิ่มขึ้น ในระหว่างการหมักมีการใช้โปรตีนในข้าวพร้อมกับการเจริญของโมแนสคัส จึงทำให้ค่าโปรตีนรวมหรือปริมาณไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้น (Teng และ Feldeim, 2001) ส่วนอัตราส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนมีค่าลดลงช้าๆ ในช่วงแรกและลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 15 และลดลงในสัดส่วนน้อยที่สุดในวันสุดท้ายของการหมัก แสดงให้เห็นว่ามีการเจริญของเชื้อราเพิ่มขึ้น และใช้ส่วนประกอบคาร์บอนได้เร็วกว่าส่วนประกอบไนโตรเจน ทำให้สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนลดลง สำหรับปริมาณรงควัตถุสีแดงที่วัดด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ มีค่าเพิ่มมากขึ้นไปในแนวทางเดียวกับปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ค่า hue ของข้าวสูตรนี้ค่อยๆ ลดลงตลอดการหมักเนื่องจากค่า hue ลดลงต่ำกว่า 30 องศา และเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองตั้งแต่วันที่ 5 และแดงขึ้นจนวันสุดท้ายของการหมัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับปริมาณซิตรินินเริ่มตรวจพบตั้งแต่วันที่ 5 ของการหมัก เท่ากับ 50 ส่วนในล้านส่วน จากนั้นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อสิ้นสุดการหมัก

ตารางที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง ค่าสี hue และปริมาณซิตรินิน ของข้าวที่เติมโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/กิโลกรัม หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ระยะเวลา (วัน)	pH	%carbohydrate (as glucose)	%nitrogen	C/N ratio	Red Pigment (unit/g)	ค่า hue (องศา)	Citrinin (ppm)
0	7.34±0.07	56.89^{a}±1.99	1.49^{c}±0.01	15.32^{a}±0.56	1.19^{d}±3.49	87.07^{a}±0.16	ไม่พบ
5	7.35±0.13	54.10^{ab}±3.66	1.51^{c}±0.10	14.41^{a}±1.95	1.29^{d}±1.16	59.54^{b}±9.43	50
10	6.97±0.10	56.26^{a}±1.05	1.89^{bc}±0.40	12.23^{ab}±2.81	20.52^{c}±0.26	29.49^{c}±3.94	50
15	7.50±0.30	45.91^{b}±1.90	2.33^{b}±0.09	7.92^{b}±0.65	28.51^{b}±1.92	23.20^{d}±0.16	ไม่พบ
20	7.85±0.35	25.19^{c}±6.94	3.17^{a}±0.46	3.28^{c}±1.36	126.51^{a}±1.18	18.86^{e}±0.14	90

หมายเหตุ 1. ตัวเลขที่แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

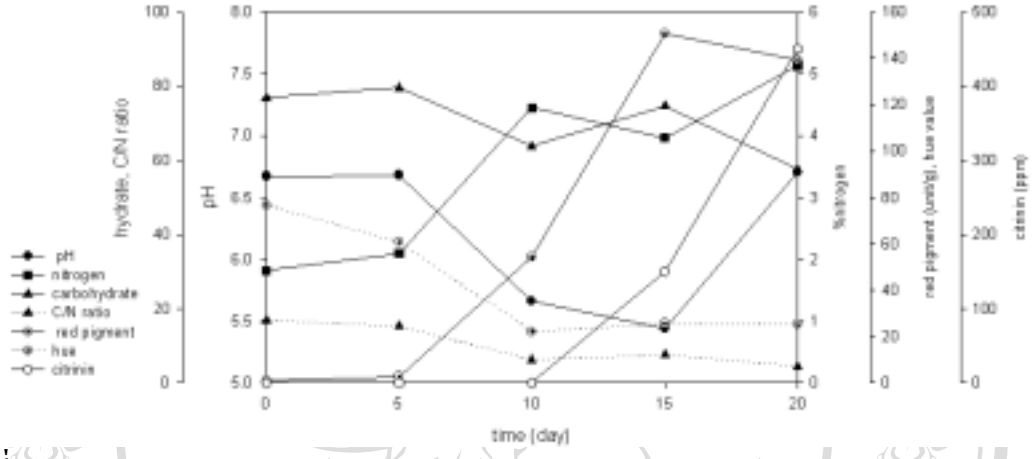
2. ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.2.2 ข้าวสูตร 2 คือข้าวที่เติมฮีสติดีน 12.5 กรัม/กิโลกรัม หมักโดย *M. purpureus* FTCMU จากรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.11 พบว่าค่าพีเอชของข้าวมีการเปลี่ยนแปลงโดยลดลง จากเริ่มต้น 6.67 เหลือ 5.44 ในวันที่ 15 และจากนั้นเพิ่มขึ้นในวันสุดท้ายของการหมัก มีค่าเท่ากับ 6.70 สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรต (เทียบเท่ากลูโคส) มีการเปลี่ยนแปลง โดยลดลงจาก 76.79% เหลือ 57.60% ในวันสุดท้ายของการหมัก ส่วนปริมาณไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 1.98% จนถึง 5.13% ในวันสุดท้ายของการหมัก สำหรับสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน มีค่าอยู่ในช่วง 14.10-15.27 และลดอย่างรวดเร็วในวันที่ 10 เหลือ 6.29 และลดลงต่ำสุดเท่ากับ 4.50 ในวันสุดท้าย สำหรับรงควัตถุสีแดง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 15 ของการหมักและมีปริมาณสูงสุด เท่ากับ 150.45 ยูนิต/กรัม เมื่อสิ้นสุดการหมักลดลงเล็กน้อยเหลือ 139.33 ยูนิต/กรัม ค่า hue ลดลงจาก 76.69 องศา เป็น 60.71 องศา ในวันที่ 5 แสดงว่าข้าวเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม จากนั้นค่า hue ลดลงเรื่อยๆ เท่ากับ 25.17 องศา สำหรับซิตรินินตรวจพบในวันที่ 15 มีปริมาณ 150 ส่วนในล้านส่วน และสูงสุดเท่ากับ 450 ส่วนในล้านส่วน ในวันสุดท้ายของการหมัก

ผลจากการหมักข้าวสูตรนี้คล้ายกับข้าวที่เติมโมโนโซเดียมกลูตาเมท โดยค่าพีเอชของข้าวต่ำลง เมื่อปริมาณแหล่งคาร์บอนใกล้หมด เมื่อเชื้อราเริ่มมีการใช้แหล่งไนโตรเจน ทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอัตราการใช้แหล่งคาร์บอนสูงกว่าอัตราการใช้แหล่งไนโตรเจน สำหรับปริมาณรงควัตถุสีแดงมีมากที่สุด ในวันที่ 15 ซึ่งเร็วกว่าข้าวที่เติมโมโนโซเดียมกลูตาเมท ค่า hue ของข้าวสูตรนี้ค่อยๆ ลดลงตลอดการหมัก โดยเปลี่ยน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นสีเหลืองส้มในวันที่ 5 และแดงขึ้นจนวันสุดท้ายของการหมัก สำหรับปริมาณซิตรินินตรวจพบในวันที่ 15 ของการหมักและเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อสิ้นสุดการหมัก ดังนั้นข้าวที่เติมฮีสติดีน 12.5 กรัม/กิโลกรัม หมักโดย *M. purpureus* FTCMU มีการผลิตซิตรินินและรงควัตถุสีแดงมากกว่าข้าวสูตร 1 ซึ่งเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมท



รูปที่ 4.10 แสดงค่าพีเอช ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง ค่าสี hue และปริมาณซิตรินิน ของข้าวที่เติมฮีสติดีน 12.5 กรัม/กิโลกรัม หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ตารางที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง ค่าสี hue และปริมาณซิตรินิน ของข้าวที่เติมฮีสติดีน 12.5 กรัม/กิโลกรัม หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ระยะเวลา (วัน)	pH	%carbohydrate (as glucose)	%nitrogen	C/N ratio	Red Pigment (unit/g)	ค่า hue (องศา)	Citrinin (ppm)
0	$6.67^{a}\pm0.00$	$76.79^{a}\pm0.16$	$1.98^{b}\pm0.11$	$14.10^{a}\pm1.05$	$1.18^{c}\pm3.46$	$76.69^{a}\pm0.33$	ไม่พบ
5	$6.68^{a}\pm0.01$	$79.53^{a}\pm3.92$	$2.09^{b}\pm0.16$	$15.27^{a}\pm0.39$	$2.74^{c}\pm0.88$	$60.71^{b}\pm3.97$	ไม่พบ
10	$5.66^{b}\pm0.01$	$63.72^{b}\pm1.49$	$4.45^{a}\pm1.92$	$6.29^{b}\pm2.58$	$54.05^{b}\pm1.19$	$22.11^{c}\pm0.33$	ไม่พบ
15	$5.44^{c}\pm0.01$	$74.55^{a}\pm4.30$	$3.96^{ab}\pm0.19$	$7.56^{b}\pm0.80$	$150.45^{a}\pm6.70$	$25.51^{c}\pm0.07$	150
20	$6.70^{a}\pm0.01$	$57.60^{b}\pm0.10$	$5.13^{a}\pm0.28$	$4.50^{b}\pm0.25$	$139.33^{a}\pm11.26$	$25.17^{c}\pm2.65$	450

หมายเหตุ 1. ตัวเลขที่แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

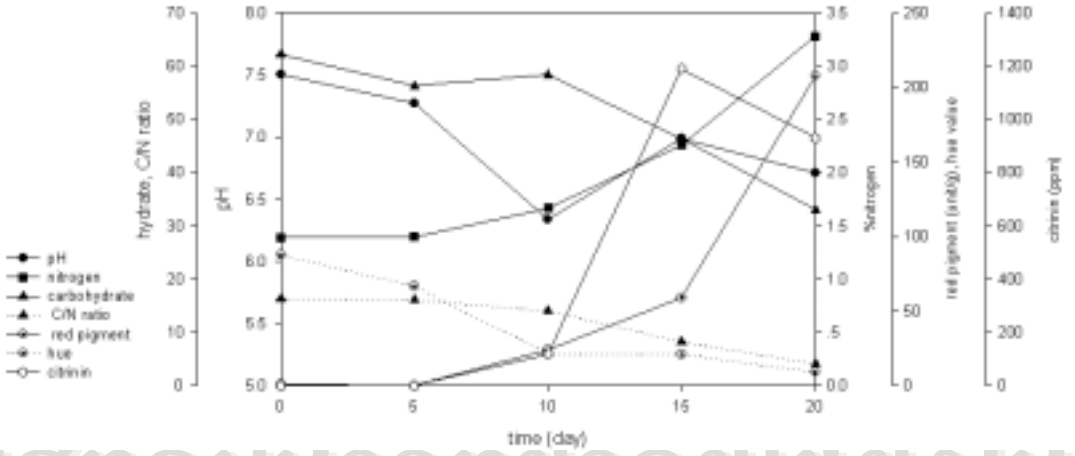
2. ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.3 ข้าวสูตร 3 คือข้าวที่ไม่มีการเติมแหล่งไนโตรเจน หมักโดย *M. purpureus* FTCMU จากรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.12 พบว่าค่าพีเอชของข้าวมีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการหมัก อยู่ในช่วง 6.34-7.50 สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรต (เทียบเท่ากลูโคส) มีปริมาณลดลง

จาก 62.23% เหลือ 33.05% ในวันสุดท้ายของการหมัก ส่วนปริมาณไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จาก 1.34% จนถึง 3.28% ในวันสุดท้ายของการหมัก สำหรับสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงตลอดการทดลอง ปริมาณรงควัตถุสีแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และมีค่าสูงสุดในวันสุดท้าย เท่ากับ 207.85 ยูนิต/กรัม ค่า hue ลดลงจาก 87.52 องศา เป็น 66.59 องศา ในวันที่ 5 แสดงว่าข้าวเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม จากนั้นลดลงเรื่อยๆ จนเท่ากับ 9.06 องศา ในวันสุดท้าย สำหรับซิตรินินตรวจพบในวันที่ 10, 15 และ 20 เท่ากับ 120, 1190 และ 930 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ

ผลของการหมักข้าวซึ่งไม่มีการเติมแหล่งไนโตรเจนเพิ่ม เมื่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดต่ำลงและปริมาณไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนลดลงอย่างรวดเร็ว ปริมาณรงควัตถุสีแดงมีค่ามากกว่าข้าวที่เติมแหล่งไนโตรเจน (ข้าวสูตร 1 และ 2) ค่า hue ของข้าวสูตรนี้ค่อยๆ ลดลงตลอดการหมัก โดยเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม ในวันที่ 5 และแดงมากขึ้นจนวันสุดท้ายของการหมัก เริ่มตรวจพบซิตรินินตั้งแต่วันที่ 10 ของการหมัก จากนั้นเพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการหมัก ข้าวสูตร 3 เชื้อรา *M. purpureus* FTCMU ผลิตรงควัตถุสีแดงและซิตรินินมากกว่าข้าวสูตรอื่น



รูปที่ 4.11 แสดงค่าพีเอช ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง ค่าสี hue และปริมาณซิตรินิน ของข้าว หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ค่าสี hue ปริมาณรงควัตถุสีแดง และปริมาณซิตรินิน ของข้าว หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ระยะเวลา (วัน)	pH	%carbohydrate (as glucose)	%nitrogen	C/N ratio	Red Pigment (unit/g)	ค่า hue (องศา)	Citrinin (ppm)
0	7.50±0.01	62.23^{a}±0.04	1.39^{d}±0.01	16.28^{a}±0.01	1.17^{d}±3.38	87.52^{a}±0.36	ไม่พบ
5	7.27±0.04	56.26^{a}±4.18	1.40^{d}±0.01	16.06^{a}±1.34	0.33^{d}±2.02	66.59^{b}±0.71	ไม่พบ
10	6.34±0.39	58.36^{a}±5.07	1.67^{c}±0.11	14.03^{b}±2.14	23.91^{c}±5.42	21.36^{c}±1.90	120
15	6.99±0.55	46.31^{b}±0.64	2.26^{b}±0.07	8.20^{c}±0.14	58.95^{b}±0.59	20.98^{c}±0.01	1190
20	6.71±0.01	33.05^{c}±0.07	3.28^{a}±0.00	4.03^{d}±0.01	207.85^{a}±1.41	9.06^{d}±0.78	930

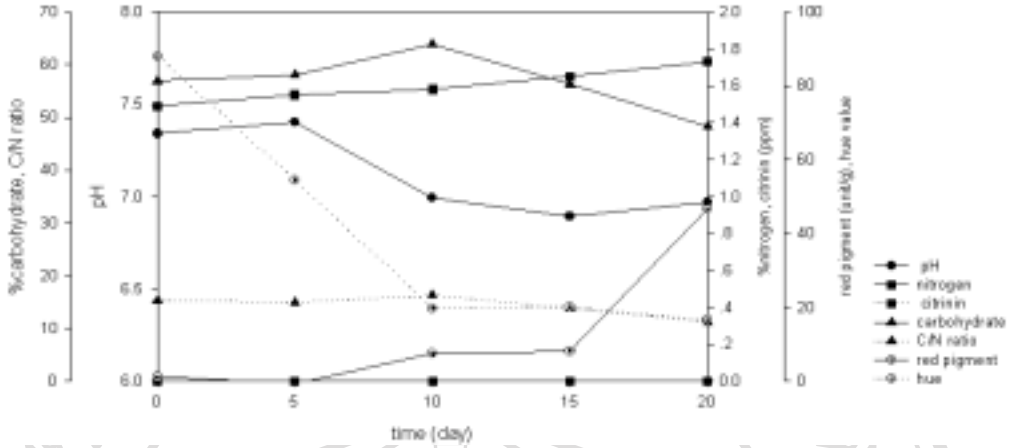
หมายเหตุ 1. ตัวเลขที่แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.2.4 ข้าวสูตร 4 คือข้าวที่เติมโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/กิโลกรัม หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 จากรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.13 พบว่าค่าพีเอชของข้าวมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 6.89-7.40 สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรต (เทียบเท่ากลูโคส) ลดลงจาก 56.89% เหลือ 48.26% ปริมาณไนโตรเจนค่อยๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 1.49% เป็น 1.73% และสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการหมัก อยู่ในช่วง 11.18-16.25 ปริมาณรงควัตถุสีแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และมีค่าสูงสุดในวันสุดท้าย เท่ากับ 46.71 ยูนิต/กรัม ส่วนค่า hue ลดลงจาก 87.92 องศา เป็น 54.44 องศา ในวันที่ 5 แสดงว่าข้าวเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม จากนั้นลดลงเรื่อยๆ จนเท่ากับ 16.55 องศา สำหรับซิตรินินมีน้อยกว่า 50 ส่วนต่อล้านส่วน ทุกช่วงระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง

จากการหมัก พบว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลงพร้อมกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลงอย่างช้าๆ ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนค่อยๆ เพิ่มขึ้น รวมทั้งสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ปริมาณรงควัตถุสีแดงที่ได้จากข้าวสูตรนี้มีค่าที่วัดได้จากเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์น้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสูตร 1-3 ที่หมักโดย *M. purpureus* FTCMU สำหรับค่า hue คล้ายกับข้าวสูตรอื่น ได้บ่งบอกว่าผลิตสีแดงภายในวันที่ 10 ของการหมัก สำหรับปริมาณซิตรินินตรวจไม่พบในข้าวสูตรนี้ อาจเพราะว่ามีน้อยกว่า 50 ส่วนในล้านส่วน เนื่องจากการวิเคราะห์มี %recovery น้อยกว่า 80% เพราะใช้ *M. ruber* TISTR 3006 เป็นเชื้อสายพันธุ์เปรียบเทียบการสร้างซิตรินิน โดย Blanc และคณะ (1995a) ได้ศึกษาการสร้างซิตรินิน โดยเชื้อ *M. ruber* (wild)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.12 แสดงค่าพีเอช ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง ค่าสี hue และปริมาณซิตรินิน ของข้าวที่เติมโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/กิโลกรัม หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ตารางที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง ค่าสี hue และปริมาณซิตรินิน ของข้าวที่เติมโมโนโซเดียมกลูตาเมท 12.5 กรัม/กิโลกรัม หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ระยะเวลา (วัน)	pH	%carbohydrate (as glucose)	%nitrogen	C/N ratio	Red Pigment (unit/g)	ค่า hue (องศา)	Citrinin (ppm)
0	$7.34^{b}\pm0.07$	56.89±1.99	1.49±0.01	13.89±0.56	$1.15^{c}\pm3.37$	$87.92^{a}\pm0.21$	ไม่พบ
5	$7.40^{b}\pm0.07$	58.01±5.54	1.55±0.04	14.97±1.05	$-0.82^{c}\pm0.28$	$54.44^{b}\pm4.41$	ไม่พบ
10	$6.99^{a}\pm0.01$	63.83±4.83	1.58±0.02	16.25±1.43	$4.99^{cb}\pm3.06$	$19.77^{c}\pm2.31$	ไม่พบ
15	$6.89^{a}\pm0.05$	56.25±11.26	1.65±0.12	13.83±3.75	$10.60^{b}\pm1.97$	$20.14^{c}\pm0.93$	ไม่พบ
20	$6.97^{a}\pm0.04$	48.26±0.68	1.73±0.04	11.18±0.39	$46.71^{a}\pm3.99$	$16.55^{d}\pm0.45$	ไม่พบ

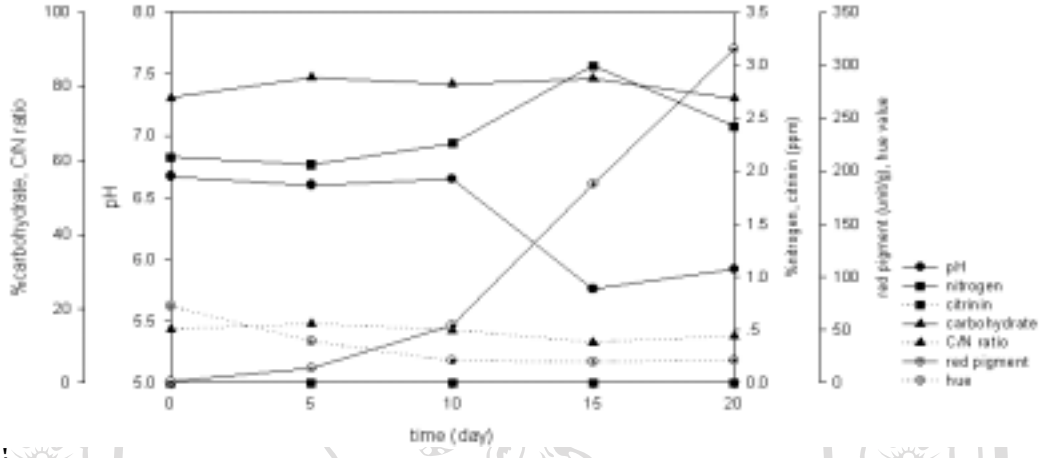
หมายเหตุ 1. ตัวเลขที่แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.5 ข้าวสูตร 5 คือข้าวที่เติมฮีสติดีน 12.5 กรัม/กิโลกรัม หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 จากรูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.14 พบว่าค่าพีเอชของข้าวมีค่าเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อย จาก 6.67 เหลือ 5.92 ในวันสิ้นสุดการหมัก ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (เทียบเท่ากลูโคส) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการหมัก อยู่ในช่วง 76.68-82.36% สำหรับปริมาณไนโตรเจนมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย มีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากสุดในวันสุดท้าย จากเริ่มต้น 1.98% เป็น 2.42% สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนไม่เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 10.99-16.01 ตลอดการหมัก สำหรับรงควัตถุสีแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและให้ค่าสูงสุดในวันสุดท้าย เท่ากับ 314.76 ยูนิต/กรัม ค่า hue ลดลงจาก 72.48

องศา เป็น 39.25 องศา ในวันที่ 5 แสดงว่าข้าวเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม จากนั้นค่า hue ลดลงเท่ากับ 21.11 องศา ในวันที่ 10 และไม่เปลี่ยนแปลงจนสิ้นสุดการหมัก สำหรับซิตรินินตรวจไม่พบทุกช่วงระยะเวลาการเก็บตัวอย่างเช่นเดียวกับข้าวสูตร 4



รูปที่ 4.13 แสดงค่าพีเอช ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง ค่าสี hue และปริมาณซิตรินิน ของข้าวที่เติมฮีสติดีน 12.5 กรัม/กิโลกรัม หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ตารางที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง ค่าสี hue และปริมาณซิตรินิน ของข้าวที่เติมฮีสติดีน 12.5 กรัม/กิโลกรัม หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ระยะเวลา (วัน)	pH	%carbohydrate (as glucose)	%nitrogen	C/N ratio	Red Pigment (unit/g)	ค่า hue (องศา)	Citrinin (ppm)
0	$6.67^{a}\pm0.00$	76.79±0.16	$1.98^{c}\pm0.13$	$14.10^{ab}\pm1.05$	$1.38^{d}\pm4.04$	$72.48^{a}\pm0.10$	ไม่พบ
5	$6.60^{b}\pm0.01$	82.36±0.97	$2.06^{c}\pm0.06$	$16.01^{a}\pm0.25$	$13.84^{d}\pm0.63$	$39.25^{b}\pm0.36$	ไม่พบ
10	$6.65^{a}\pm0.01$	80.62±1.49	$2.26^{bc}\pm0.06$	$14.28^{ab}\pm0.11$	$54.05^{c}\pm1.19$	$21.00^{c}\pm0.82$	ไม่พบ
15	$5.76^{d}\pm0.01$	82.04±3.51	$2.99^{a}\pm0.11$	$10.99^{c}\pm0.88$	$187.65^{b}\pm10.43$	$20.03^{c}\pm0.19$	ไม่พบ
20	$5.92^{c}\pm0.02$	76.68±0.42	$2.42^{b}\pm0.16$	$12.74^{b}\pm0.77$	$314.76^{a}\pm5.22$	$21.42^{c}\pm1.23$	ไม่พบ

หมายเหตุ 1. ตัวเลขที่แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

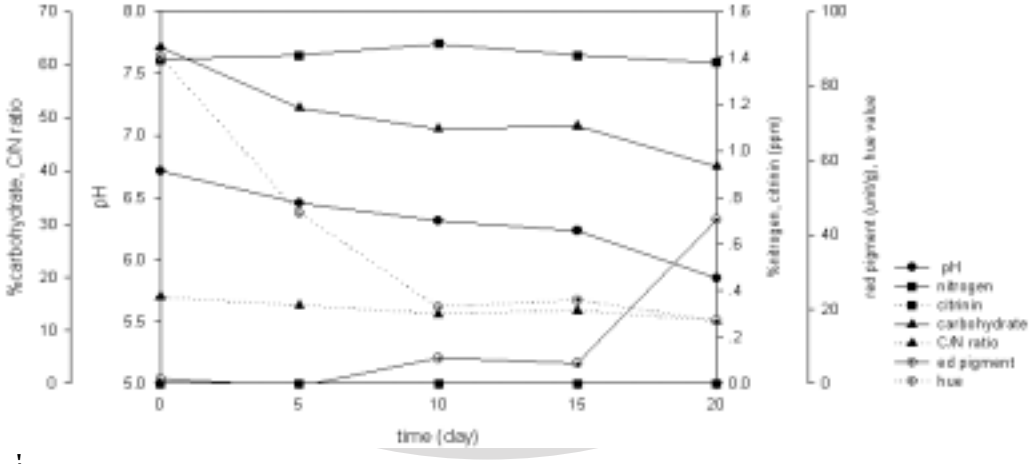
2. ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลของการหมักพบว่า ค่าพีเอชลดลง แสดงว่ามีการใช้คาร์โบไฮเดรต ถึงแม้ว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเชื้อราไม่สามารถย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลได้ดีนัก ซึ่งข้าวแดงที่ได้จากสูตรนี้ มีลักษณะข้าวแข็ง สีแดงเข้ม ดังรูปที่ ก-4 (ภาคผนวก ก) ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย รวมทั้งสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงไม่มากนักเช่นเดียวกับ

การทดลองที่ 4.2.4 ปริมาณรงควัตถุสีแดงที่ได้จากข้าวสูตรนี้มีค่าสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ ข้าวสูตร 1-3 ที่หมักโดย *M. purpureus* FTCMU สำหรับค่า hue ของข้าวค่อยๆ ลดลงตลอดการหมัก คล้ายกับผลการหมักข้าวสูตรอื่น โดยแดงมากที่สุดในวันที่ 10 จากนั้นไม่เปลี่ยนแปลงจนวันสุดท้ายของการหมัก ตรวจไม่พบซิตรินินในข้าวสูตรนี้ ให้ผลเช่นเดียวกับข้าวสูตร 4

4.2.6 ข้าวสูตร 6 คือข้าวที่ไม่มีการเติมแหล่งไนโตรเจน หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 จากรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.15 พบว่าค่าพีเอชของข้าวมีแนวโน้มลดลง จาก 6.71 เป็น 5.85 สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรต (เทียบเท่ากลูโคส) อยู่ในช่วง 40.78-62.23% ปริมาณไนโตรเจน อยู่ในช่วง 1.38-1.46% สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน อยู่ในช่วง 11.25-14.75 สำหรับปริมาณรงควัตถุสีแดงมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและให้ค่าสูงสุดในวันสุดท้าย เท่ากับ 43.98 ยูนิต/กรัม พบว่าค่า hue ลดลงจาก 87.90 องศา เป็น 45.77 องศา ในวันที่ 5 แสดงว่าข้าวเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม จากนั้นลดลงเท่ากับ 16.93 องศา เมื่อสิ้นสุดการหมัก สำหรับซิตรินินตรวจไม่พบทุกช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างเช่นเดียวกับข้าวสูตร 4 และ 5



รูปที่ 4.14 แสดงค่าพีเอช ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง ค่าสี hue และปริมาณซิตรินิน ของข้าว หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

จากการทดลอง พบว่า ค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงต่ำลง ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณไนโตรเจน และสัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ผลิตรงควัตถุสีแดงในวันที่ 10 ผลการหมักของข้าวสูตรนี้ซึ่งไม่เติมแหล่งไนโตรเจนได้ผลสอดคล้องกับสูตรที่ 4 และ 5 ซึ่งเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมทและฮีสติดีน ตามลำดับ ดังนั้นการหมักข้าวเพื่อให้สีแดง โดยเชื้อรา *M. ruber* TISTR 3006 ไม่จำเป็นต้องเติมแหล่งของไนโตรเจน เนื่องจากให้ผลต่อสีแดงและซิตรินินเช่นเดียวกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน ปริมาณรงควัตถุสีแดง ค่าสี hue และปริมาณซิตรินิน ของข้าว หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 วัน

ระยะเวลา (วัน)	pH	%carbohydrate (as glucose)	%nitrogen	C/N ratio	Red Pigment (unit/g)	ค่า hue (องศา)	Citrinin (ppm)
0	$6.71^{a}\pm0.02$	62.23±0.04	1.39±0.01	16.28±0.01	1.18±3.39	$87.90^{a}\pm0.34$	ไม่พบ
5	$6.45^{b}\pm0.02$	51.76±8.15	1.41±0.01	14.75±2.41	-0.86±0.94	$45.77^{b}\pm0.42$	ไม่พบ
10	$6.31^{c}\pm0.04$	47.81±4.29	1.46±0.02	13.13±0.96	6.79±1.55	$20.60^{c}\pm0.12$	ไม่พบ
15	$6.23^{c}\pm0.08$	48.40±10.07	1.41±0.00	13.76±2.85	5.33±0.59	$22.43^{c}\pm0.01$	ไม่พบ
20	$5.85^{d}\pm0.06$	40.78±2.08	1.38±0.07	11.84±1.16	$43.98^{a}\pm9.94$	$16.93^{d}\pm0.40$	ไม่พบ

หมายเหตุ 1. ตัวเลขที่แสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

อภิปรายผลการหมักข้าว โดยเชื้อรา *M. purpureus* FTCMU และ *M. ruber* TISTR 3006

ค่าสีแดงที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (ยูนิต/กรัม) พบว่าปริมาณรงควัตถุสีแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาหมัก สำหรับข้าวสูตร 1-3 หมักโดยเชื้อรา *M. purpureus* FTCMU ให้ปริมาณรงควัตถุสีแดงสูงสุด เท่ากับ 126.5, 139.33 และ 207.846 ยูนิต/กรัม ตามลำดับ ส่วนข้าวสูตร 4-6 หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 ให้ปริมาณรงควัตถุสีแดงสูงที่สุด เท่ากับ 46.71, 314.76 และ 43.98 ยูนิต/กรัม ตามลำดับ ปริมาณรงควัตถุสีแดงของข้าวชุดแรก (สูตร 1-3) พบว่าข้าวสูตร 3 ให้รงควัตถุสีแดงสูงที่สุด ซึ่งเป็นข้าวที่ไม่มีการเติมไนโตรเจนลงไป เปรียบเทียบกับสูตร 1 และ 2 ให้ปริมาณรงควัตถุสีแดงน้อยกว่า ดังนั้นการเติมแหล่งไนโตรเจนเพิ่มลงในข้าวไม่มีอิทธิพลต่อการสร้างรงควัตถุสีแดงโดยเชื้อรา *M. purpureus* FTCMU ส่วนปริมาณรงควัตถุสีแดงของข้าวชุดที่สอง (สูตร 4-6) พบว่าข้าวสูตร 5 (ข้าวที่เติมฮีสติดีน) ให้รงควัตถุสีแดงสูงสุด เปรียบเทียบกับสูตร 4 และ 6 ให้ปริมาณรงควัตถุสีแดงน้อยกว่า ดังนั้นการเติมฮีสติดีนมีอิทธิพลต่อการสร้างรงควัตถุสีแดงโดยเชื้อ *M. ruber* TISTR 3006

การเตรียมข้าวก่อนการหมัก พบว่าการเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมททำให้ค่าพีเอชของข้าวแดงเพิ่มขึ้น (ค่าพีเอชของโมโนโซเดียมกลูตาเมท 6.7-7.2) แต่เมื่อเติมฮีสติดีนซึ่งเป็นกรดอะมิโน ทำให้ค่าพีเอชของข้าวลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่มีการเติมไนโตรเจน ผลจากการหมักพบว่าค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวที่หมักโดยเชื้อรา *M. purpureus* FTCMU กับ *M. ruber* TISTR 3006 พบว่าสายพันธุ์มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของข้าวตลอดการหมัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยเชื้อรา โดยข้าวที่หมักโดย *M. purpureus* FTCMU มีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชลดลงและเพิ่มขึ้น ส่วนข้าวที่หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 มีการเปลี่ยนแปลงพีเอชลดลงตลอดการหมัก เนื่องจากกระบวนการเมตาโบลิซึมของเชื้อรา และโมแนสคัสมีเอนไซม์ที่สามารถย่อยแป้งในข้าวเป็นน้ำตาลและย่อยต่อได้ผลผลิตเป็นกรดอินทรีย์ (Teng และ Feldheim, 2001) ทำให้ค่าพีเอชของข้าวในกระบวนการหมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากมีการใช้ไนโตรเจนได้ช้ากว่า *M. purpureus* FTCMU

ปริมาณไนโตรเจนที่เปลี่ยนแปลง โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในข้าวมาจากไนโตรเจนที่เหลืออยู่ในข้าวกับเซลล์ของเชื้อรา ผลการหมักข้าวโดยเชื้อรา *M. purpureus* FTCMU และ *M. ruber* TISTR 3006 พบว่าข้าวทุกสูตรที่หมักโดย *M. purpureus* FTCMU มีอัตราการเพิ่มไนโตรเจนหรือโปรตีนมากกว่าข้าวทุกสูตรที่หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 ดังนั้นเชื้อรา *M. purpureus* FTCMU สามารถเจริญในข้าวได้ดีกว่า *M. ruber* TISTR 3006 แต่เชื้อราทั้ง 2 ชนิดจะให้สีแดงภายในวันที่ 10 ของการหมัก เนื่องจากมีค่า hue น้อยกว่า 30 องศา

ปริมาณซิตรินินในข้าวแดง 6 สูตร ที่หมักโดยเชื้อรา *M. purpureus* FTCMU และเชื้อรา *M. ruber* TISTR 3006 ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 20 วัน จากการวิเคราะห์ปริมาณซิตรินินในข้าวทั้ง 6 สูตร คือ สูตร 1-3 หมักโดยเชื้อรา *M. purpureus* FTCMU และ สูตร 4-6 หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 ผลการหมักพบซิตรินินในข้าวสูตร 1-3 โดยข้าวสูตร 1 ตรวจพบซิตรินินในวันที่ 5 เท่ากับ 50 ส่วนในล้านส่วน และมีปริมาณคงที่จนสูงสุดวันสุดท้ายของการหมัก เท่ากับ 90 ส่วนในล้านส่วน สำหรับข้าวสูตร 2 ตรวจพบซิตรินินในวันที่ 15 ของการหมัก เท่ากับ 150 ส่วนในล้านส่วน และสูงสุดในวันสุดท้ายคือ 450 ส่วนในล้านส่วน ส่วนข้าวสูตร 3 ตรวจพบซิตรินินในวันที่ 10 เท่ากับ 120 ส่วนในล้านส่วน ต่อมาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 15 เท่ากับ 1190 ส่วนในล้านส่วน และในวันสุดท้ายมีปริมาณเท่ากับ 930 ส่วนในล้านส่วน ดังนั้นการเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมทและฮีสติดีนในข้าวจะช่วยลดการสร้างซิตรินิน สำหรับข้าวสูตร 4-6 ที่หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 (สายพันธุ์เปรียบเทียบ) โดย Blanc และคณะ (1995a) ได้ศึกษาการสร้างซิตรินิน โดยเชื้อรา *M. ruber* (wild) จากการทดลองตรวจไม่พบซิตรินินในทุกตัวอย่างตลอดการหมัก สัญนิษฐานวิธีวิเคราะห์มีเปอร์เซนต์ recovery น้อย คือน้อยกว่า 80%

สำหรับขั้นตอนและวิธีการสกัดซิตรินิน อ้างอิงจาก Blanc และคณะ (1995b) อาจมีส่วนทำให้ซิตรินินที่มีในข้าวสลายไปได้ ทำให้ปริมาณซิตรินินที่วัดได้ในตัวอย่างค่อนข้างน้อย เนื่องจากซิตรินินสลายตัวได้ง่ายเมื่อสัมผัสแสง หรือความร้อน สูญหายไปในระหว่างกระบวนการสกัด เพราะเมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณซิตรินินแบบ recovery ที่ทดลองโดยการเติมซิตรินินมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนลงในตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ปริมาณซิตรินิน (ก่อนการสกัด) จาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นั้นการเตรียมตัวอย่างและการสกัดทำเช่นเดียวกับวิธีวิเคราะห์ซิตรินิน เมื่อวิเคราะห์ปริมาณซิตรินินควรตรวจพบในปริมาณที่ใกล้เคียงกับที่เติมลงในตัวอย่าง ซึ่งวิธีนี้เป็นการยืนยันว่าไม่มีการสลายของซิตรินินระหว่างขั้นตอนการเตรียมและสกัดตัวอย่าง การทดลองครั้งนี้พบ %recovery ของซิตรินินน้อยมากเช่นเดียวกัน ดังนั้นวิธีการสกัดอาจไม่เหมาะสม ทั้งขั้นตอน ชนิดและปริมาณของตัวทำละลาย รวมทั้งปริมาณตัวอย่างข้าวที่นำมาสกัด จึงควรมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมทั้งการสกัด สัดส่วนตัวทำลายที่เหมาะสมต่อไป

เนื่องจากผลของรูปแบบกระบวนการหมักของเชื้อรา *M. purpureus* FTCMU และเชื้อรา *M. ruber* TISTR 3006 แตกต่างกันดังได้อธิบายไว้ข้างต้น อาจทำให้ *M. ruber* TISTR 3006 ไม่สร้างซิตรินินจริงก็ได้

4.2.7 ผลการวิเคราะห์ค่ารงควัตถุสีแดง สีส้ม และสีเหลือง ของข้าวแดงทั้ง 6 สูตร

เชื้อราโมแนสคัสนอกจากสามารถผลิตรงควัตถุสีแดงแล้ว ยังสามารถผลิตรงควัตถุสีส้มและรงควัตถุสีเหลืองได้ การทดลองนี้ได้วัดปริมาณสีแดง สีส้ม และสีเหลือง ที่ 500, 470 และ 400 นาโนเมตร ตามลำดับ ตารางที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนการสร้างรงควัตถุสีทั้ง 3 ชนิด พบว่าข้าวสูตร 1 มีสัดส่วนสีเหลืองมากกว่าสีอื่นในช่วงแรกของการหมัก จนถึงวันสุดท้ายของการหมัก มีสัดส่วนสีเหลืองและสีแดงใกล้เคียงกัน และมากกว่าสีส้ม คือ สีเหลือง:สีส้ม:แดง 36:30:35% ส่วนข้าวสูตร 2 มีปริมาณสีแดงมากกว่าสีอื่นตลอดช่วงระยะเวลาการหมัก โดยสร้างสีเหลือง:สีส้ม:แดง 32:30:38% ในวันสุดท้ายของการหมัก สำหรับข้าวสูตร 3 พบว่ามีปริมาณสีเหลืองมากกว่าสีอื่นตลอดช่วงระยะเวลาการหมัก โดยสร้างสีเหลือง:สีส้ม:แดง 43:24:32% เมื่อเปรียบเทียบปริมาณรงควัตถุ 3 ชนิดของข้าวสูตร 1-3 ที่ได้จาก *M. purpureus* FTCMU พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ข้าวสูตร 1 ให้สีเหลืองใกล้เคียงกับสีแดง ข้าวสูตร 2 ให้สีแดงมากกว่าสีอื่น และข้าวที่ไม่มีการเติมไนโตรเจนลงไป (สูตร 3) ให้มีปริมาณสีเหลืองมากกว่าอีก 2 สูตร และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณรงควัตถุ 3 ชนิดของข้าวสูตร 4-6 ที่ได้จาก *M. ruber* TISTR 3006 พบว่าข้าวสูตร 4 และ 6 มีปริมาณสีเหลืองมากกว่าสีอื่นตลอดช่วงระยะเวลาการหมัก โดยสร้างรงควัตถุในวันสุดท้าย สีเหลือง:สีส้ม:แดง เท่ากับ 47:23:30 และ 65:17:19 % ตามลำดับ ส่วนข้าวสูตร 5 มีปริมาณสีแดงมากกว่าสีอื่นตลอดช่วงระยะเวลาการหมัก โดยสร้างสีเหลือง:สีส้ม:สีแดง เท่ากับ 32:33:36 % เมื่อเปรียบเทียบข้าวสูตร 2 และ 5 ที่เติมฮิสติดีนเพื่อเพิ่มแหล่งไนโตรเจน ให้ผลการทดลองคล้ายกันคือมีการสังเคราะห์รงควัตถุสีแดงมากกว่าสีอื่นๆ ส่วนการเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมทในข้าวสูตร 1 และ 4 มีผลช่วยลดสัดส่วนการสังเคราะห์สีเหลืองให้น้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสูตรที่ไม่มีการเติมแหล่งไนโตรเจน ดังนั้นการเติมฮีสติดีนช่วยปรับปรุงสัดส่วนการผลิตรงควัตถุสีแดงให้มากขึ้น ขณะที่การเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมทช่วยลดสัดส่วนการผลิตรงควัตถุสีเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบการสร้างสีแดง ส้ม และเหลืองของข้าวแดง 6 สูตร ที่หมักโดยเชื้อรา *M. purpureus* FTCMU และ *M. ruber* TISTR 3006 ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลา 20 วัน

ข้าว	ระยะเวลา (วัน)	ค่าสี (ยูนิต/กรัม)			อัตราส่วนการสร้างสี		
		สีเหลือง (400 นาโนเมตร)	สีส้ม (470 นาโนเมตร)	สีแดง (500 นาโนเมตร)	เหลือง : ส้ม : แดง		
สูตร 1	5	-0.76	-0.10	1.29	0.49	0.29	0.22
ข้าวเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมท	10	26.75	18.43	22.52	0.40	0.27	0.33
M. purpureus FTCMU	15	32.01	21.20	28.51	0.39	0.26	0.35
	20	128.52	106.24	125.00	0.36	0.30	0.35
สูตร 2	5	2.16	2.11	2.74	0.30	0.30	0.40
ข้าวเติมฮีสติดีน	10	51.33	41.48	54.05	0.35	0.28	0.37
M. purpureus FTCMU	15	140.00	114.19	150.45	0.35	0.28	0.37
	20	119.29	109.92	139.33	0.32	0.30	0.38
สูตร 3	5	-2.51	-0.91	0.33	-0.09	0.22	0.87
ข้าว	10	34.47	17.58	23.91	0.46	0.23	0.31
M. purpureus FTCMU	15	69.15	42.15	58.95	0.41	0.25	0.35
	20	276.73	156.64	207.85	0.43	0.24	0.32
สูตร 4	5	-2.98	-1.49	-0.82	0.54	0.29	0.16
ข้าวเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมท	10	10.36	9.03	8.18	0.38	0.33	0.30
M. ruber TISTR 3006	15	11.20	10.85	12.41	0.33	0.31	0.36
	20	74.31	35.53	46.71	0.47	0.23	0.30
สูตร 5	5	8.93	12.41	13.84	0.25	0.35	0.39
ข้าวเติมฮีสติดีน	10	88.84	96.70	107.66	0.30	0.33	0.37
M. ruber TISTR 3006	15	159.80	168.59	187.65	0.31	0.33	0.36
	20	279.18	287.88	314.76	0.32	0.33	0.36
สูตร 6	5	-3.82	-1.89	-0.86	0.60	0.29	0.11
ข้าว	10	10.35	3.65	6.79	0.49	0.18	0.33
M. ruber TISTR 3006	15	18.02	4.92	5.33	0.63	0.17	0.19
	20	151.16	38.69	43.98	0.65	0.17	0.19

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าสีแดงที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดสีระบบ Hunter Lab การเปลี่ยนแปลงค่าสี L (ความสว่าง) ของข้าวแดง ตลอดระยะเวลาการหมัก แสดงดังตารางที่ ค-21 (ภาคผนวก ค) ในวันเริ่มต้นการหมักข้าวสูตร 2 และ 4 ที่มีการเติมฮีสติดีนทำให้ค่าสี L ต่ำลง แสดงว่าข้าวมีความสว่างน้อย เมื่อวัดค่าสี L ตลอดการหมัก สำหรับข้าวทุกสูตร พบว่าค่าสี L มีแนวโน้มลดลงหมายความว่าข้าวมีสีเข้มขึ้น โดยในวันสุดท้ายของการหมักได้ค่าสี L อยู่ในช่วง 31.14-36.45 ค่าสี L ที่ได้จากข้าวสูตร 1, 3, 4 และ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนข้าวสูตร 5 ให้ค่าสี L ต่ำสุด (ให้สีแดงสูงสุด) สำหรับข้าวสูตร 2 ให้ค่าสี L สูงสุด ให้สีแดงที่มีความสว่างมากกว่าข้าวแดงสูตรอื่น

การเปลี่ยนแปลงค่าสี a (สีแดง-เขียว) ของข้าวแดงทั้ง 6 สูตร ตลอดระยะเวลาการหมัก 20 วัน แสดงดังตารางที่ ค-22 (ภาคผนวก ค) ในวันแรกของการหมักข้าวทุกสูตรให้ค่าสี a น้อย แต่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นตลอดเวลาการหมัก ค่าสี a ของข้าวสูตร 1-6 ภายหลังการหมัก 20 วัน เท่ากับ 13.06, 11.42, 11.88, 6.72, 6.69 และ 6.52 ตามลำดับ ค่าสี a ของข้าวสูตร 1-3 ที่หมักโดย *M. purpureus* FTCMU ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ให้ค่า a สูงกว่าข้าวสูตร 4-6 ที่หมักโดย *M. ruber* TISTR 3006 ดังนั้นสายพันธุ์โมแนสคัส จึงมีอิทธิพลต่อค่าสี a ของข้าวแดง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนการเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมทหรือฮีสติดีน ไม่มีผลต่อการค่าสี a ของข้าวแดงเลย

การเปลี่ยนแปลงค่าสี b (เหลือง-น้ำเงิน) ของข้าว ดังตารางที่ ค-23 (ภาคผนวก ค) ในวันแรกของการหมักข้าวสูตร 1-6 มีค่าสี b อยู่ในช่วง 10.75-14.86 เมื่อวัดการเปลี่ยนแปลงค่าสี b ค่อยๆ ลดลงตลอดช่วงการหมัก วันสุดท้ายของการหมักข้าวสูตร 1-6 มีค่าสี b ดังนี้ 3.57, 5.36, 1.90, 2.00, 2.63, และ 1.99 ตามลำดับ ซึ่งข้าวสูตร 2 ให้ค่า b สูงที่สุดแสดงว่าให้สีเหลืองที่สุด ส่วนข้าวสูตรอื่นๆ ให้ค่าสี b ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ค่าสี Hue เป็นค่าที่บอกถึงสีของตัวอย่างนั้นๆ โดยมีค่าตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา โดยในช่วง 0 ถึง 30 องศา (สีแดง-สีแดงส้ม) ช่วง 30 ถึง 60 องศา (สีแดงส้ม-สีเหลืองส้ม) และช่วง 60-90 องศา (สีเหลืองส้ม-สีเหลือง) แสดงดังรูปที่ ก-5 (ภาคผนวก ก) และตารางที่ ค-24 (ภาคผนวก ค) ในวันแรกของการหมักค่าสี Hue อยู่ในช่วง 72.48 – 270.52 องศา เป็นช่วงที่ข้าวมีสีเหลืองส้ม-เหลือง จากนั้นข้าวจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีแดงส้ม-เหลืองในวันที่ 5 (ค่าสี hue ระหว่าง 39.25-66.59 องศา) และจะเปลี่ยนเป็นสีแดงส้ม-แดง ตั้งแต่วันที่ 10 (ค่าสี hue ระหว่าง 19.77-29.49 องศา) จากนั้นลดลงเรื่อยๆ ในวันสุดท้ายของการหมักได้ค่าสี hue ต่ำสุด เท่ากับ 9.06 องศา (ข้าวสูตร 3) ซึ่งหมายความว่ามีสีแดงมากที่สุด เมื่อเติมโมโนโซเดียมกลูตาเมทหรือฮีสติดีนลงในข้าว พบว่าทำให้รงควัตถุสีแดงแตกต่างกัน สอดคล้องกับ งานวิจัยของ Hee Young Jung และคณะ (2003) ศึกษาผลของการผลิตรงควัตถุโดยโมแนสคัส ในอาหารเหลวที่เติมกรดอะมิโน 20 ชนิด พบว่าการเติมกรด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อะมิโนที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดอนุพันธุ์ของรงควัตถุสีแดงทำให้รงควัตถุสีแดงจากโมแนสคัสมีเฉดสีแตกต่างกัน

ค่าสี Chroma แสดงค่าความสดของสี ถ้าตัวอย่างมีค่านี้ต่ำแสดงว่าความสว่างของสีลดลง แสดงดังตารางที่ ค-25 (ภาคผนวก ค) เปรียบเทียบค่าสี Chroma ของข้าว ในวันแรกของการหมักมีค่าสี Chroma อยู่ในช่วง 10.75-15.27 และการเปลี่ยนแปลงของค่าสี Chroma ตลอดช่วงระยะเวลาการหมักข้าวแดงมีค่าลดลงในวันที่ 5 สำหรับข้าวสูตรที่ 1, 2 และ 4 ส่วนข้าวสูตรที่เหลือมีค่า Chroma เพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จนถึงวันที่ 15 และลดลงอย่างรวดเร็วจนวันสุดท้ายของการหมัก (สูตร 1-4) ส่วนข้าวสูตร 5 มีค่าสี Chroma ลดลงเรื่อยๆ จนวันสุดท้ายของการหมัก และสำหรับสูตร 6 ค่าสี Chroma ลดลงในวันที่ 10 และสูงขึ้นในวันที่ 15 และลดลงอย่างรวดเร็วในวันสุดท้ายของการหมัก ค่าสี Chroma ของข้าวแดงทั้ง 6 สูตร ในวันที่ 20 ของการหมักเท่ากับ 6.40, 12.63, 12.03, 7.00, 7.13 และ 6.81 ผลการเปรียบเทียบค่าสี Chroma ของข้าวแต่ละสูตรทางสถิติ พบว่าข้าวสูตร 2 และ 3 มีค่าสี Chroma สูงสุดและไม่แตกต่างกัน แสดงว่ามีสีโทนสว่างกว่า ข้าวสูตรที่เหลืออีก 4 สูตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved