บทที่ 4

การอภิปรายและสรุปผลงานวิจัย

1. การศึกษาปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลัง

ก. ปัจจัยทางกายภาพ

1.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลัง เมื่อใช้ช่วงคลื่นแสงต่าง ๆ คือ แสงสีแดง, แสงสีเขียว, แสงสีน้ำเงินและแสงอุลตราไวโอเลต ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 700, 500, 380 และ 260 นาโนเมตร ตามลำดับ สรุปได้ดังนี้

จากผลการทดลองในกราฟที่ 1 ใช้มันสำปะหลังสด หั่นเป็นชิ้นขนาด 3x4x2 ซ.ม. นำไปเก็บไว้ในที่ ๆ ไม่มีแสงในเวลา 72 ซ.ม. จะพบว่า ปริมาณไซยาไนด์ทั้ง 3 ชนิดในมันสำปะหลังมีค่าเปลี่ยนขึ้นลงไม่คงที่ มีการลดและการเพิ่มไม่สม่ำเสมอมีการเปลี่ยนกลับไปมาของไซยาไนด์เกาะติดและไซยาไนด์อิสระ อาจเป็นเพราะขนาดชิ้นของมันที่นำมาทดลองมีขนาดใหญ่ ทำให้การสุ่มตัวอย่างไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ปริมาณของไซยาไนด์จึงไม่สม่ำเสมอดังในกราฟที่ 1 ได้มีการทดลองของ Cooke (1978) พบว่า ในมันสำปะหลังหัวเดียวกันมีปริมาณไซยาไนด์ต่างกันทั้งในแนวตามยาวและตามขวางของหัวมัน (จากตารางในภาคผนวกข้อ 1)

ผลการทดลองในกราฟที่ 3 เป็นการใช้แสงสีแดง กับชิ้นมันขนาด 3x4x2 ซ.ม พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไซยาไนด์ทั้ง 3 อย่างไม่เป็นระบบ ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไซยาไนด์อย่างไม่สม่ำเสมอนี้ ยังพบในผลการทดลองในกราฟที่ 4 ซึ่งเป็นการใช้แสงสีน้ำเงิน และในกราฟที่ 5 ซึ่งเป็นการใช้แสงอุลตราไวโอเลตด้วย ซึ่งมีขนาดของชิ้นมันที่ใช้เท่ากัน

นอกจากนี้ยังพบว่า ในการใช้แสงสีแดงซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 700 นาโนเมตร (กราฟที่ 3) และการใช้แสงอุลตราไวโอเลต ที่ความยาวคลื่นประมาณ

260 นาโนเมตร (กราฟที่ 5) มีผลทำให้ความยืนในยืนมันเพิ่มขึ้น ซึ่งยังไม่สามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากสาเหตุใด

จากการทดลองเกี่ยวกับการใช้แสงช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ กันดังกล่าวแล้วนั้น สรุปได้ว่า แสงที่ช่วงความยาวคลื่น 700, 500, 380 และ 260 นาโนเมตร ไม่มีผลต่อการลดปริมาณไซยาไนด์ในหัวมัน

1.2 การศึกษาผลของการใช้แสงแดดต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังซึ่งได้ทำการทดลองเป็น 2 ช่วงเวลา คือการผึ่งแดดในเดือนพฤษภาคม (ฤดูฝน) และการผึ่งแดดในเดือนมีนาคม (ฤดูร้อน) โดยใช้ยืนมันขนาด 3x4x2 ซ.ม. ในทั้งสองช่วงการทดลอง

พบว่า การผึ่งแดดในเดือนพฤษภาคม ซึ่งมีความยืนสัมพัทธ์เฉลี่ย 77.2% (ตารางในภาคผนวกข้อ 2) วัดอุณหภูมิเฉลี่ยที่ลานตากที่ทำการทดลองได้เท่ากับ 32^0ซ. ผลการทดลองดังแสดงในกราฟที่ 6 ส่วนการผึ่งแดดในเดือนมีนาคม ซึ่งมีความยืนสัมพัทธ์เฉลี่ย 67.0% (ตารางในภาคผนวกข้อ 3) และวัดอุณหภูมิเฉลี่ยที่ลานตากยณะทดลองได้เท่ากับ 40^0ซ. แสดงในกราฟที่ 7 เมื่อเปรียบเทียบผลของการนำมันไปผึ่งแดดในสองช่วงระยะเวลานี้ พบว่า การผึ่งแดด ทำให้ปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังลดลง Nemoto (1940) รายงานในการผลการทดลองว่า เอนไซม์ลินามาเรสจะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 62^0ซ. ดังนั้น การนำยืนมันมาผึ่งแดดบนลานคอนกรีตที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 32^0ซ. ในเดือนพฤษภาคม และ 40^0ซ. ในเดือนมีนาคม คาดว่าแอคติวิตีในการทำงานของเอนไซม์ลินามาเรสในระดับอุณหภูมิทั้ง 2 จะดีพอ ๆ กัน แต่เมื่อพิจารณากราฟที่ 6 เปรียบเทียบกับกราฟที่ 7 จะเห็นว่าปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมด และไซยาไนด์เกาะติดในยืนมันที่ผึ่งแดดในเดือนมีนาคม (กราฟที่ 7) ลดลง 67.3% และ 66.7% จากไซยาไนด์ตั้งต้น ในเวลา 3 วันตามลำดับ ซึ่งมากกว่าการลดของของไซยาไนด์เกาะติดและไซยาไนด์อิสระในยืนมันที่ผึ่งแดดในเดือนพฤษภาคม (กราฟที่ 6) ในเวลา 3 วันเท่ากัน การที่เป็นเช่นนี้อาจมีผลมาจากการทำงานของเอนไซม์ลินามาเรสในยืนมันที่ผึ่งแดดทั้ง 2 ช่วงเวลามีแอคติวิตีดีพอ ๆ กัน ตามเหตุผลที่กล่าวมาแล้วนั้น ปริมาณของไซยาไนด์อิสระที่เกิดจากปฏิกริยาไฮโดรไลซิสไซยาไนด์เกาะติดด้วยเอนไซม์ลินามาเรสน่าจะเกิดขึ้นในอัตราส่วนที่เท่า ๆ กัน แต่เนื่องจากไซยาไนด์อิสระจะระเหยออกสู่บรรยากาศในบรรยากาศที่มีความยืนสัมพัทธ์ต่ำได้ในอัตราสูง ในเดือนมีนาคมมีความสัมพัทธ์ในอากาศต่ำกว่า

ในเดือนพฤษภาคมไซยาไนด์อิสระในยั่นมันที่ทดลองในเดือนมีนาคมจึงระเหยได้เร็ว ซึ่งอาจจะสันนิษฐานได้ว่าการเปลี่ยนจากไซยาไนด์เกาะติดมาเป็นไซยาไนด์อิสระจะเร็วยิ่งตามมาเป็นปฏิกริยาลูกโซ่ จึงทำให้ไซยาไนด์ทั้งหมดและไซยาไนด์เกาะติดในยั่นมันที่ทำการผึ่งแดดในเดือนมีนาคมลดลงได้เร็วและมากกกว่า การทดลองเช่นเดียวกันในเดือนพฤษภาคม. เมื่อใช้เวลาในการผึ่งแดดเท่า ๆ กัน นอกจากนี้ ยังพบว่ายั่นมันที่ทำการทดลองในเดือนมีนาคมแห้งเร็วกว่ายั่นมันที่ทำการทดลองในเดือนพฤษภาคม ดังแสดงในกราฟที่ 6 และ 7

1.3 การใช้ความร้อน ซึ่งแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือการใช้ความร้อนที่ไม่มีไอน้ำและการใช้ความร้อนและไอน้ำ

1.3.1 ผลการอบมันสำปะหลังในถาดโลหะ ในตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่ 50^0ซ. ในช่วงเวลา 3 วัน ผลการทดลองแสดงในกราฟที่ 8 พบว่าการอบที่ 50^0ซ. ทำให้ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมด และไซยาไนด์เกาะติดลดลง 59.2% และ 70% ในเวลา 3 วัน จากผลการทดลองที่แสดงในกราฟที่ 8 การอบที่อุณหภูมิ 50^0ซ. คงที่ จะทำให้เอนไซม์สินามาเรสทำงานได้ดีสม่ำเสมอใน 48 ช.ม.แรก หลังจากนั้นดูเหมือนว่าจะมีสภาพลดลงและคงที่ในช่วง ช.ม.ที่ 48-60 แล้วมีการเพิ่มขึ้นของไซยาไนด์เกาะติดหลังจากการอบ ช.ม. ที่ 60 พบว่าปริมาณไซยาไนด์อิสระลดลงเพียง 38% คาดว่าเกิดจากการที่ความชื้นสัมพัทธ์ในตู้อบคงที่ และการอยู่ในสภาพที่ไม่มีการถ่ายเทอากาศทำให้ไซยาไนด์อิสระอิ่มตัวในสิ่งแวดล้อมจึงระเหยออกมาจากเซลได้น้อย

สรุปได้ว่าการใช้ความร้อนที่ไม่มีไอน้ำที่อุณหภูมิคงที่ที่ 50^0ซ. ทำให้ลดปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมด และไซยาไนด์เกาะติดได้ดี (60-70%) ในเวลาการอบ 3 วัน

1.3.2 การใช้ความร้อนด้วยไอน้ำที่ 100^0ซ. เพื่อลดปริมาณไซยาไนด์การนึ่งมันสำปะหลังสดทั้งเปลือกเป็นเวลา 30 นาที มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไซยาไนด์ทั้ง 3 ชนิด ดังแสดงในกราฟที่ 9 พบว่าการที่มันได้รับความร้อนที่ 100^0ซ. ไม่มีการลดปริมาณไซยาไนด์เกาะติด ตลอดเวลาการนึ่ง 30 นาที แต่ไซยาไนด์อิสระลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 5 นาทีแรกของการนึ่ง และปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรก ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Cooke และ Maduagwn (1978 b) ซึ่งพบว่าการต้มมันสำปะหลังสดในน้ำเดือดสามารถกำจัดไซยาไนด์อิสระได้ดีมาก และการ

ทดลองของ Nemoto (1940) สรุปว่าการต้มไม่สามารถทำลายสินามารินหรือไซยาไนด์เกาะติดได้ เนื่องจากเอนไซม์สินามาเรสสูญเสียความสามารถในการทำงานที่อุณหภูมิสูงกว่า 72^0ซ. จากกราฟที่ 9 จะเห็นว่า หลังจากช่วงเวลา 10 นาทีแรกของการนึ่งจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไซยาไนด์เกาะติด คาดว่าเอนไซม์สินามาเรสถูกทำให้สูญเสียแอคติวิตีหมดในเวลานึ่ง 10 นาที

สรุปว่าการนึ่งมันที่ 100^0ซ. สามารถลดไซยาไนด์อิสระได้อย่างรวดเร็ว แต่ไม่สามารถลดไซยาไนด์เกาะติดได้

1.4 การใช้กระบวนการก่อนการทดลอง (pretreatment) ลดปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังคือ นำมันที่หั่นเป็นชิ้นและนำไปผึ่งแดดจนแห้ง เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วัน แล้วนำมาแช่น้ำเป็นเวลา 90 นาที ที่อุณหภูมิห้อง 30^0ซ. ผลการทดลองดังแสดงในกราฟที่ 10 และ 11 พบว่า มันที่ผึ่งแดดเป็นเวลา 3 วัน ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 40^0ซ. มีความชื้นในมันเหลือเพียง 10% และมีปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมด, ไซยาไนด์เกาะติดและไซยาไนด์อิสระเท่ากับ 122, 113 และ 7 มก./กก. เมื่อนำมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 นาที ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมด และไซยาไนด์เกาะติดลดลง 50% แสดงว่า ไซยาไนด์เกาะติดสามารถละลายน้ำได้ ซึ่งได้มีรายงานการทดลองของ Tinay และคณะ (1984) พบว่าการนำมันสำปะหลังสดไปหมักในน้ำเป็นเวลา 8 วัน ตรวจพบไซยาไนด์เกาะติดในน้ำที่ใช้แช่มัน

ย. ปัจจัยทางชีวภาพ

เมื่อนำมันสำปะหลังสด หั่นทั้งเปลือก มาหมักแบบกึ่งไร้อากาศ (Microaerophilic fermentation) โดยใช้เชื้อธรรมชาติ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไซยาไนด์ทั้ง 3 ชนิด การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นขณะที่มีการหมัก และความเป็นกรด-ด่างที่เปลี่ยนแปลงขณะหมัก และปริมาณน้ำในมันหมัก ได้แสดงผลการทดลองไว้ในกราฟที่ 12 และ 13

จากกราฟที่ 12 จะเห็นว่าไซยาไนด์เกาะติดจะลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 6 ถึง 8 ของการหมัก เป็นการลดที่ต่างไปจากการทำงานของเอนไซม์สินามาเรสเพียงอย่างเดียว น่าจะมีบทบาทของเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญระหว่างการหมักสามารถสร้างเอนไซม์มาช่วยย่อยสลายไซยาไนด์เกาะติดให้เป็นไซยาไนด์อิสระได้ ในกราฟที่ 13 จะเห็นว่าตั้งแต่วันที่ 1 จะมี

แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกเกิดขึ้น และผลิตกรดทำให้พีเอชของมันต่ำลงจาก 6.0 ถึง 3.5 ในวันที่ 2-7 ของการหมัก อย่างไรก็ตามไซยาไนด์เกาะติดถูกย่อยสลายได้บ้างในกรดเจือจาง ตามรายงานของ Conn (1969) จึงเป็นไปได้ว่ากรดแลคติกที่เกิดขึ้นมีส่วนช่วยลดไซยาไนด์เกาะติดบางส่วนในช่วงที่ 6-8 ของการหมัก จากกราฟที่ 12 จะพบว่าปริมาณไซยาไนด์เกาะติดลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับในกราฟที่ 13 พบว่าเป็นระยะเวลาที่ยีสต์ และ Geotrichum sp. เจริญสูงสุด และคาดว่าจุลินทรีย์ 2 พวกนี้ อาจสร้างเอนไซม์ลินามาเรสได้ วีระวัฒน์ (2529) ได้ทำการแยกยีสต์ที่เจริญในมันสำปะหลังหมักนี้พบว่ามียีสต์ 8 สายพันธุ์ ที่สามารถเจริญได้ในอาหารที่มีโปแตสเซียมไซยาไนด์ 100 ส่วนในล้านส่วน และสามารถใช้โปแตสเซียม-ไซยาไนด์เป็นแหล่งไนโตรเจนได้

การหมักวิธีนี้จะทำให้ ไซยาไนด์เกาะติดถูกทำลายหมดในเวลา 8 วันของการหมัก และไซยาไนด์อิสระที่เกิดขึ้นในขณะหมัก ไม่สามารถระเหยออกไปได้ (กราฟที่ 12) เนื่องจากสภาพการหมักเป็นแบบกึ่งไร้อากาศ ในภาชนะที่ใช้หมักจะไม่มีการถ่ายเทของอากาศ ดังนั้นการทดลองของ จริญศักดิ์ และลักษณ์ (2522) ที่สรุปว่า การนำมันสำปะหลังสด หั่นทั้งเปลือกมาหมักแบบปิดเป็นเวลา 15 วัน แล้วนำไปใช้เลี้ยงสุกรได้อย่างปลอดภัยนั้นจึงไม่ถูกต้อง ผลการทดลองนี้ (กราฟที่ 12) จะเห็นว่าไซยาไนด์อิสระซึ่งเป็นพิษนั้น ยังคงอยู่ในเนื้อมันสำปะหลังประมาณ 80 มล./กก. ของมันสำปะหลังหมักซึ่งอยู่ในช่วงอันตรายปานกลาง (Bolhuis, 1954) มาตราฐานอันตรายของไซยาไนด์คือ ไม่เกิน 50 มก./กก. ถ้าปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลังก่อนหมักมีค่าสูง (เอกสารเศรษฐกิจการเกษตร เลขที่ 82) (Cooke and Coursey, 1981) ปริมาณไซยาไนด์อิสระที่เหลืออยู่หลังการหมักก็ย่อยจะมีค่าสูงกว่า 80 มก./กก. ซึ่งจะยิ่งเป็นอันตรายมากยิ่งเป็นสำคัญ

2. การเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลัง

2.1 คุณสมบัติทางสรีรวิทยาบางประการของ C.eichhorniae

จากรายงานการทดลองของ Gregory และคณะ (1975, 1976, 1977) เชื้อรา Cephalosporium eichhorniae 152 เป็นเชื้อราสายพันธุ์ที่สามารถเจริญบนแป้งมันสำปะหลังได้ดี และสร้างโปรตีนในเซลได้สูง มีอุณหภูมิและพีเอชที่เหมาะสมต่อการสร้างโปรตีนที่ 45^{0}ซ. และพีเอช 3.8 ตามลำดับ ดังได้กล่าวแล้วในบทที่ 1 และจาก

การศึกษาคุณสมบัติในการใช้แป้งดิบ และความทนไซยาไนด์ ผลการทดลองแสดงในข้อ 5.2.1 และ 5.2.2 ในบทที่ 3 พบว่า เชื้อราที่เจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแป้งดิบเป็นคาร์บอนได้ โดยมีการเจริญเป็นโคโลนี แต่ไม่ปรากฏบริเวณที่แป้งถูกย่อยรอบ ๆ โคโลนีให้เห็น การทดลองของ Gregory และคณะ (1977 b) เสนอว่า เชื้อราสายพันธุ์นี้มีเอนไซม์อะมิเลสชนิดที่เกาะติดอยู่กับผิวเซล (surface - bound amylase)

ในการทดสอบความทนต่อไซยาไนด์ พบว่า เชื้อราสายพันธุ์นี้ไม่สามารถเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีปริมาณโปแตสเซียมไซยาไนด์สูงกว่าหรือเท่ากับ 20 ส่วนในล้านส่วน แสดงว่าเชื้อรานี้ไม่มีความทนต่อไซยาไนด์ ดังนั้นการเลี้ยงรานี้ในมันสำปะหลังสดที่ไม่ผ่านขบวนการกำจัดไซยาไนด์อิสระและเอนไซม์ลินามาเรสในเนื้อเยื่อของมัน ซึ่งจะเปลี่ยนไซยาไนด์เกาะติดเป็นไซยาไนด์อิสระได้ จึงทำได้ยาก อาจทำให้เชื้อเจริญได้ช้า หรือไม่เจริญเลย ดังเช่นในการทดลองของ Mikami และคณะ (1982) ซึ่งพบว่า เมื่อเลี้ยงเชื้อ C.eichhorniae ในอาหารเหลวที่ทำด้วยมันสำปะหลังสดที่นำมาบด จะเกิดช่วงแลกเฟส (lag phase) ที่ยาวมากกว่า 10 ช.ม. แม้ว่าจะให้ความร้อนที่ 70^0ซ. กับอาหารก่อนที่จะเลี้ยงเชื้อก็ตาม และพบว่าช่วงแลกเฟสนี้จะสั้นลงเมื่อใช้มันตากแห้งบดแทนมันสด

2.2 สภาพการเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมต่อการสร้างโปรตีน

เมื่อนำเชื้อรา C.eichhorniae มาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง 4 ชนิด คือ อาหารที่มีส่วนประกอบของ มันสำปะหลังสด, มันเส้นตากแห้งอายุ 1 เดือน และ 1 ปี, และกากมัน พบว่าในอาหาร 2 ชนิดแรกคือ อาหารที่มีมันสำปะหลังสด และมันเส้นอายุ 1 เดือน เชื้อไม่สามารถเจริญได้ แม้ว่าจะนำมันเส้นอายุ 1 เดือนนั้นไปทำลายไซยาไนด์อิสระ โดยการนึ่งที่ 100^0ซ. 1 ช.ม. ก่อนเลี้ยงเชื้อก็ตาม อาจเป็นเพราะยังเหลือปริมาณไซยาไนด์อิสระในมันเส้น ซึ่งเชื้อราสายพันธุ์นี้ไม่ทนต่อไซยาไนด์ดังได้ทดสอบแล้ว โดยเฉพาะการงอกของสปอร์น่าจะมีความไวต่อไซยาไนด์สูง จากผลการทดลองในกราฟที่ 7 จะพบว่ามันที่ผึ่งแดดจนแห้งและเก็บไว้เป็นเวลา 1 เดือนนั้น จะยังคงมีไซยาไนด์อิสระเหลืออยู่ประมาณ 10 มก./กก. และผลการนึ่งมันที่ 100^0ซ. ในกราฟที่ 9 พบว่ายังคงมีไซยาไนด์อิสระเหลืออยู่ในมันหลังจากการนึ่ง 30 นาที อยู่ประมาณ 10 มก./กก. เช่นกัน

จะเห็นว่าในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ทำจากมันเส้นที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 ปี และในอาหารที่ทำจากกากมันนั้นเชื้อสามารถเจริญได้ดี อาจเป็นเพราะระยะเวลาในการเก็บมันเส้นมีผลต่อการทำให้ไซยาไนด์อิสระและไซยาไนด์อิสระสลายไปเกือบหมด สำหรับกากมันในขบวนการผลิตแป้งมันจะต้องผ่านขั้นตอนการบด, การแช่น้ำ-ตกตะกอน และความร้อน ทำให้ไซยาไนด์ในกากมันที่เหลืออยู่มีปริมาณต่ำกว่า 10 มก./กก. และบางตัวอย่างวัดค่าไซยาไนด์อิสระไม่ได้ (เอกสารเศรษฐกิจการเกษตร เลขที่ 82)

เนื่องจากการใช้มันเส้นที่ต้องเก็บไว้เป็นเวลานาน ไม่สะดวกในทางปฏิบัติ และกากมันเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานทำแห้งมัน จึงเลือกใช้กากมันเป็นวัตถุดิบในการทำอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับ C.eichhorniae ในการเพิ่มผลผลิตโปรตีนและใช้เป็นหัวเชื้อต่อไป จากการทดลองพบว่า กากมัน เป็นวัสดุที่เหมาะสมและมีคุณสมบัติที่ดีคือ มีความพรุนมากทำให้อากาศถ่ายเทได้ดี เนื่องจากเชื้อราสายพันธุ์นี้ต้องการอากาศในการเจริญ จึงพบว่าการใช้กากมันเป็นวัตถุที่เหมาะสมต่อเชื้อรานี้ (ส่วนประกอบในกากมันแสดงในตารางที่ 6 ในบทที่ 1)

Raimbault และคณะ (1979) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มโปรตีนในอาหารแข็งที่ทำจากแป้งโดยใช้เชื้อรา พบว่าความชื้นตั้งต้น, พีเอช, อุณหภูมิในการบ่มเชื้อมีส่วนสำคัญในการเพิ่มโปรตีนของเชื้อ โดยเฉพาะชนิดและปริมาณแหล่งไนโตรเจนที่เติมในอาหารจะมีส่วนสำคัญที่จะทำให้ราเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโนและโปรตีนได้สูง

จากการทดลองเลี้ยงเชื้อรา C.eichhorniae ในอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งที่ทำจากกากมัน โดยแปรผันปริมาณความชื้นตั้งต้นแสดงผลในกราฟที่ 15 พบว่า ปริมาณอาหาร : น้ำที่เหมาะสมในการสร้างโปรตีนในอาหารกากมันเท่ากับ 1:1.9 จะเห็นว่าเชื้อราสายพันธุ์นี้เป็นชนิดที่ต้องการความชื้นสูงในการเจริญ

ในการเตรียมอาหารก่อนเลี้ยงเชื้อ จะต้องนำอาหารไปนึ่งเพื่อลดเชื้อปนเปื้อน และมีผลทำให้เกิดการเจลาติไนเซชัน (gelatinization) บางส่วน ได้ทดลองนึ่งอาหารกากมันก่อนหมักในเวลาต่าง ๆ กัน พบว่า การนึ่งที่ใช้เวลาน้อยคือ 15 นาที ที่ 100^{0}ซ. จะลดเชื้อปนเปื้อนและจะทำให้เชื้อสร้างโปรตีนได้สูงกว่า เมื่อนึ่งในช่วงเวลาอื่น ดังในกราฟที่ 16 ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะการนึ่งอาหารในเวลานาน ความร้อนจะทำลายสารอาหารบางชนิดที่ราต้องการในการเจริญและต้องการใช้ในการสร้างโปรตีน

Mikami และคณะ (1982) ได้ศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อการสร้างโปรตีนของ C.eichhorniae เมื่อเจริญในแป้งมันสำปะหลังทั้งที่เป็นอาหารเหลวและในวุ้นอาหาร พบว่า เชื้อราสายพันธุ์นี้จะสร้างโปรตีนได้ดีที่สุดที่พีเอช 3.8 และอุณหภูมิ 45^0ซ. ไม่สามารถเจริญที่พีเอช 7 หรือสูงกว่า และที่ 25^0ซ. จากการทดลองเลี้ยงเชื้อราสายพันธุ์นี้ในอาหารกากมันพบว่าให้ผลเช่นเดียวกัน ดังจะเห็นได้ในกราฟที่ 17 และ 18 พบว่า อุณหภูมิและพีเอชตั้งต้นที่เหมาะสมต่อการสร้างโปรตีน เมื่อเลี้ยงเชื้อราในอาหารแข็งกากมันคือ 45^0ซ. และพีเอช 3.5 - 5 เนื่องจากความเป็นกรดในอาหารเลี้ยงเชื้อจะช่วยลดการปนเปื้อนจากแบคทีเรียได้ดี จึงเลือกใช้พีเอชตั้งต้นของอาหารเป็น 3.5

นอกจากปัจจัยของสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ, พีเอช จะมีอิทธิพลต่อการสร้างโปรตีนของเชื้อราแล้ว ปัจจัยที่สำคัญมากอีกประการหนึ่งคือ การเติมแหล่งไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยเฉพาะเมื่อวัตถุดิบที่ใช้มีปริมาณไนโตรเจนต่ำ เช่น ในมันเส้นหรือกากมัน ไนโตรเจนที่เติมลงไปจะเป็นสารตั้งต้นสำหรับเชื้อราที่จะนำไปสร้างเป็นโปรตีนต่อไป

การเลือกใช้แหล่งไนโตรเจน ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและรำข้าว โดยแบ่งทดลองเป็น 2 กลุ่มคือ อนินทรีย์ไนโตรเจนคือ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต และปุ๋ยโปแตสเซียมไนเตรต, อินทรีย์ไนโตรเจนคือ ปุ๋ยยูเรีย และรำข้าว เมื่อทดลองใส่แหล่งไนโตรเจนดังกล่าวในอาหารกากมัน ในความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า แหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมคือ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตปริมาณ 1.5% (กราฟที่ 19) พบว่า เชื้อสร้างโปรตีนแท้ (Lowry Protein) ได้สูงถึง 3.25%

สิ่งที่น่าสนใจในการทดลองนี้คือ พบว่า การใช้อินทรีย์ไนโตรเจน กลับไม่ให้ผลดีโดยเฉพาะการใช้รำข้าว ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นแหล่งไนโตรเจนที่มีสารอาหารที่อุดมอื่น ๆ อีก เช่น วิตามินน่าจะช่วยทำให้เชื้อเจริญและสร้างโปรตีนได้ดี แต่พบว่าเชื้อได้นำไปสร้างเป็นองค์ประกอบโปรตีนต่ำ แสดงในกราฟที่ 20 ผลการทดลองของ ยงยุทธ (2527) ซึ่งทดลองเลี้ยง C.eichhorniae ในอาหารเหลวที่ทำจากมันสำปะหลังในถังหมัก โดยใช้แอมโมเนียมซัลเฟต และยูเรีย เปรียบเทียบกัน พบว่า การใช้แอมโมเนียมซัลเฟตให้ผลดีกว่ายูเรียเล็กน้อย คือ การใช้แอมโมเนียมซัลเฟต 0.35% ได้ผลผลิตโปรตีน 5.57 กก./ลิตร เมื่อใช้ยูเรีย 0.16% และ 0.24% ได้ผลผลิตโปรตีน 4.65 และ 5.05 กก./ลิตร ตามลำดับ ซึ่งในการทดลองนี้การใช้ปุ๋ยยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนในอาหารกากมันเพียงชนิดเดียวเชื้อสร้างโปรตีนได้น้อย (2.75%)

จากการศึกษาชนิดและปริมาณเกลือแร่ที่มีผลต่อการสร้างโปรตีนของ C.eichhorniae ในอาหารกากมัน พบว่า เกลือแร่แต่ละชนิดที่ใช้คือ โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต, แมกนีเซียมซัลเฟต, เหล็กซัลเฟต, โปแตสเซียมคลอไรด์, แคลเซียมคลอไรด์, โซเดียมโมลิบเดต, แมงกานีสซัลเฟต, และคอปเปอร์ซัลเฟต ไม่มีผลในการเพิ่มการสร้างโปรตีนที่เด่นชัด (ผลแสดงในกราฟที่ 21-28) แต่เมื่อนำเกลือแร่ชนิดต่าง ๆ มามาใส่รวมกัน พบว่าบางความเข้มข้นและชนิดของเกลือแร่ทำให้การสร้างโปรตีนเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด (กราฟที่ 29) การที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะในกากมันมีปริมาณเกลือแร่บางชนิดสูง เมื่อเติมเกลือแร่แต่ละชนิดลงไปในปริมาณน้อยจึงไม่ปรากฏผลให้เห็น แต่เมื่อผสมเกลือแร่หลายชนิดในอาหาร จะเห็นว่า การใช้เกลือแร่หลายชนิดมากเกินไปจะยับยั้งการสร้างโปรตีนของเชื้อ การใช้เกลือแร่น้อยชนิดในปริมาณน้อยจะให้ผลดีกว่า พบว่าเมื่อใช้โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.5%, เหล็กซัลเฟต 0.004%, โปแตสเซียมคลอไรด์ 0.006% และแมกนีเซียมซัลเฟต 0.01% ของน้ำหนักแห้งในปริมาณดังกล่าวใส่ในอาหารกากมันจะให้ผลดีที่สุด

เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญและการสร้างโปรตีนของเชื้อรา C.eichhorniae พบว่าการเจริญและการสร้างโปรตีนจะตามกัน (growth associate) คือเมื่อเชื้อเจริญมากโปรตีนจะถูกสร้างมาก พบว่าเมื่อเชื้อสร้างโปรตีนสูงสุดในวันที่ 4 แล้วจะมีปริมาณคงที่จนถึงวันที่ 7 ผลการทดลองแสดงในกราฟที่ 30 ซึ่งแตกต่างจากผลการทดลองของ Smith และคณะ (1986) ซึ่งเลี้ยง Sporotrichum pulverulentum ในอาหารแข็งที่ทำจากมันสำปะหลัง พบว่าเมื่อเชื้อสร้างโปรตีนสูงสุดในวันที่ 4 แล้วปริมาณโปรตีนในอาหารหมักจะลดลงอย่างรวดเร็ว แสดงว่าเชื้อ C.eichhorniae ดีกว่าที่ไม่มีการสร้างเอนไซม์ที่จะย่อยโปรตีนของตัวเองเหมือนใน S.pulverulentum

ในการทดลองของ Raimbault และคณะ (1979) พบว่าการผสมแอมโมเนียมซัลเฟตกับยูเรียในอัตราส่วน 4:6 จะทำให้พีเอชของอาหารไม่เปลี่ยนไปมากขณะมีการเจริญ ซึ่งจะยับยั้งการเจริญของเชื้อและจากการทดลองของ Smith และคณะ (1986) พบว่าเมื่อใช้เกลือไนโตรเจนที่ความเข้มข้นสูงประมาณ 10% ในอาหารจะทำให้เชื้อที่เจริญได้ในที่ ๆ มีแรงดันออสโมติกสูง (osmotorelant) สร้างโปรตีนได้มากขึ้น จากผลการทดลองทั้ง 2 ประการข้างต้น จึงได้ทดลองเลี้ยงเชื้อ C.eichhorniae ในอาหารกากมันที่มีแอมโมเนียมซัลเฟตและยูเรียผสมกันในอัตราส่วน 8.33% : 2.03% และ 4.165% : 1.015% โดยใส่

เกลือแร่คือโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 4.27% และ 2.135% ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 7 (ก) พบว่าเชื้อราสามารถสร้างลอรี่โปรตีนได้ 5.95% ในเวลา 4 วัน ในอาหารที่มีแอมโมเนียมซัลเฟต : ยูเรีย : โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเท่ากับ 4.165% : 1.015% : 2.135%

จากผลการทดลองในหัวข้อปริมาณความชื้นที่เหมาะสมได้สรุปไว้แล้วว่า เชื้อราสายพันธุ์นี้ต้องการความชื้นสูงในการเจริญ ดังนั้น การใช้เกลือไนโตรเจนที่ความเข้มข้นสูงเกินไปอาจยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ เนื่องจากในอาหารมีเกลือเข้มข้นมาก ปริมาณน้ำที่เหลือสำหรับใช้ในการเจริญของเชื้อจึงน้อยลง และผลการทดลองในกราฟที่ 19 พบว่าเมื่อใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตมากกว่า 1.5% จะทำให้เชื้อสร้างโปรตีนลดลง แต่เมื่อนำปุ๋ยแอมโมเนียม-ซัลเฟตผสมกับปุ๋ยยูเรีย 4.165% : 1.015% ทำให้สร้างโปรตีนได้เพิ่มขึ้นจาก 3.25% เป็น 5.95% อาจเกิดจากเมื่อเลี้ยงราในสภาพที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงและผลของพีเอชของอาหารเช่นเดียวกับในการทดลองของ Raimbault และคณะ (1979), และ Smith และคณะ (1986) ดังกล่าวแล้ว

2.3 การขยายขนาดการหมัก

เมื่อนำอาหารกากมันซึ่งมีเชื้อ C.eichhorniae เจริญเต็มที่มาใช้เป็นหัวเชื้อขยายการปลูกต่อไปในการขยายขนาดการหมักในอาหารมันเส้นที่ผ่านกระบวนการลดไซยาไนด์ พบว่า เชื้อราสามารถเจริญได้ในอาหารที่ทำจากมันเส้นที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 เดือน ที่มีไซยาไนด์ประมาณ 10 มก./กก. นั้น อาจเกิดจากเชื้อที่กำลังเจริญเต็มที่ สามารถทนไซยาไนด์ปริมาณ 10-20 มก./กก. ได้ดีกว่าสปอร์คือในอาหารชนิดเดียวกันนี้ ถ้าเพาะเชื้อโดยใช้สปอร์ สปอร์จะไม่สามารถเจริญได้ แต่เมื่อเพาะเชื้อในกากมันหมักให้เจริญเต็มที่แล้วผสมกับมันเส้นที่ผ่านกระบวนการลดไซยาไนด์ โดยแปรผันอัตราส่วนของหัวเชื้อกากมันต่ออาหารมันเส้นพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 4:6 ในอัตราส่วนที่น้อยกว่านี้ เช่น 1:9 หรือ 2:8 พบว่ามีเชื้ออื่นเจริญปนเปื้อนได้ง่ายและเร็ว เนื่องจากไม่ได้ฆ่าเชื้อในอาหารมันเส้นแบบปลอดเชื้อ (sterile) การใช้อัตราส่วนหัวเชื้อต่ออาหาร 4:6 นี้ ทำให้ปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นจากการหมักสูง (4.07%) แสดงในตารางที่ 8

จากการศึกษาความสูงของการหมักโดยใส่ปริมาณอาหารต่อถุงหมักเป็น 500, 700 และ 1,000 กรัม แล้วนำถุงตั้งในแนวตั้งฉากจะได้ความสูงของอาหารเท่ากับ 7.5, 10.5 และ 15 ซ.ม. ตามลำดับ พบว่าเชื้อสามารถเจริญได้ดี และเมื่อตรวจหาปริมาณโปรตีนจะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 9 พบว่าเชื้อสร้างโปรตีนได้ดีพอ ๆ กัน แสดงว่าสามารถใส่อาหารเลี้ยงเชื้อได้สูงถึง 15 ซ.ม. ในภาชนะที่ใช้หมักที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ซ.ม.

และเมื่อขยายขนาดการทดลองจาก 10 กรัม เป็น 500 กรัม โดยใช้แอมโมเนียมซัลเฟต 4.165% และยูเรีย 1.015% (ตารางที่ 7 (ข)) พบว่าอาหารมันเส้นที่หมักเป็นเวลา 4 วัน มีลอรี่โปรตีน 6.82% แสดงว่าอัตราส่วนปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต : ปุ๋ยยูเรียเท่ากับ 4.165% : 1.015% นี้ใช้ได้ดีในอาหารมันเส้น

2.4 ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนที่มีในอาหารหมัก

ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนที่ได้จากเชื้อราจะเป็นสิ่งสำคัญที่จะบอกได้ว่าโปรตีนที่ได้มีคุณค่าทางอาหารดีหรือไม่ หรือขาดกรดอะมิโนที่สำคัญชนิดใด โปรตีนที่ได้จากพืชส่วนใหญ่จะมีปริมาณกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่น้อย เช่น เมทไธโอนีน, ซีสตีน ข้อมูลจากเอกสารเศรษฐกิจการเกษตรเลขที่ 82 และการศึกษาของ ยุพา (2521) และ Smith และคณะ (1986) (ตารางในภาคผนวกข้อ 4) ได้เปรียบเทียบปริมาณกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ ที่มีในหัวมันสำปะหลังและในเซลของเชื้อราสายพันธุ์ต่าง ๆ กับความต้องการกรดอะมิโนของสุกรใน 1 วัน พบว่าปริมาณเมทไธโอนีนในหัวมันสำปะหลัง และในเชื้อรา A.niger มีอยู่ในระดับต่ำ ส่วนใน S.pulverulentum มีปริมาณเมทไธโอนีนในเซลสูง (3.3% ของลอรี่-โปรตีน) ในรายงานของ Gregory และคณะ (1977 b) พบว่าในสายใยแห้งของ C.eichhorniae มีเมทไธโอนีน 1.9% ของลอรี่โปรตีน

จากผลการทดลองในตารางที่ 10 จะเห็นได้ว่า ปริมาณกรดอะมิโนในอาหารหมักที่ได้มีอยู่ในปริมาณน้อย โดยเฉพาะเมทไธโอนีนซึ่งมีอยู่ประมาณ 1.03 มาโนโมลต่อกรัมอาหารแห้ง เนื่องมาจากปริมาณโปรตีนในอาหารหมักที่ได้ยังไม่สูง ดังนั้นการจะนำอาหารหมักนี้ไปเลี้ยงสัตว์จะต้องเติมแหล่งโปรตีนอื่นเพิ่มเพื่อให้ได้คุณค่าทางอาหารตามต้องการ

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการหาวิธีการที่จะนำมันสำปะหลังไปใช้เลี้ยงสัตว์อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพยายามแก้ไขปัญหา 2 ประการ ของมันสำปะหลังคือ ศึกษาวิธีการลดไซยาไนด์ในมันสำปะหลังที่ได้ผลและราคาถูก และหาแนวทางในการเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังโดยใช้เชื้อรา

จากการศึกษาผลของปัจจัยทางกายภาพ และชีวภาพต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลัง สรุปได้ดังนี้

1. การใช้แล่งที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน คือ 700, 500, 380 และ 260 นาโนเมตรต่อมันสำปะหลังสดที่หั่นเป็นชิ้น โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่อยู่ในที่ ๆ ไม่มีแล่ง ผลการทดลองแล่งให้เห็นว่า แล่งที่มีความยาวคลื่นดังกล่าวไม่มีผลต่อการลดไซยาไนด์ในชิ้นมัน

2. การผึ่งแดด เป็นวิธีที่ลดไซยาไนด์ทั้ง 3 ชนิด คือ ไซยาไนด์ทั้งหมด, ไซยาไนด์เกาะติด และไซยาไนด์อิสระในมันสำปะหลังได้ดี การผึ่งแดดในฤดูร้อนในเดือนมีนาคม ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 67% และอุณหภูมิที่ลานตากประมาณ 40^0ซ. ทำให้ไซยาไนด์ทั้งหมด, ไซยาไนด์เกาะติดและไซยาไนด์อิสระลดลง 66.4, 65.9 และ 67.9% ในเวลา 72 ช.ม. ตามลำดับ และเมื่อทำการผึ่งแดดในฤดูฝนในเดือนพฤษภาคม ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 77.2% อุณหภูมิที่ลานตากประมาณ 32^0ซ. ไซยาไนด์ทั้งหมด, ไซยาไนด์เกาะติด และไซยาไนด์อิสระในมันสำปะหลังลดลง 57.7, 27.7 และ 78.3% ในเวลา 72 ช.ม. ตามลำดับ

3. การอบในตู้อบที่อุณหภูมิคงที่ที่ 50^0ซ. ทำให้ปริมาณไซยาไนด์เกาะติดลดลงได้เกือบหมดโดยลดลงประมาณ 71% ในขณะที่ไซยาไนด์อิสระลดลง 46% ในเวลา 72 ช.ม.

4. การนึ่งด้วยไอน้ำที่ 100^0ซ. ปริมาณไซยาไนด์อิสระลดลงอย่างรวดเร็ว โดยในการนึ่ง 5 นาทีแรกไซยาไนด์อิสระลดลง 81% แต่การนึ่งไม่สามารถทำลายไซยาไนด์เกาะติดได้ โดยจะเหลือไซยาไนด์เกาะติดอยู่ในปริมาณ 55 มก./กก. เมื่อนึ่งครบ 30 นาที ซึ่งเท่ากับปริมาณไซยาไนด์เกาะติดในชิ้นมันก่อนนึ่ง

5. การใช้กระบวนการก่อนการทดลอง โดยการหั่น, การผึ่งแดด, และการแช่น้ำ

ทำให้ลดปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังได้ดี เมื่อนำยั้นมันสำปะหลังสดมาผึ่งแดดเป็นเวลา 3 วัน (ความชื้นประมาณ 10%) ปริมาณไซยาไนด์จะลดลงประมาณ 60% และเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 1 เดือน ไซยาไนด์จะลดลงอีก 15% เมื่อนำมันเส้นที่ได้นี้ไปแช่น้ำที่ 30^0 ซ. 90 นาที ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดและไซยาไนด์เกาะติดลดลงประมาณ 50% ของไซยาไนด์ในมันก่อนแช่น้ำ คือ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการก่อนการทดลองแล้วจะเหลือปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมด, ไซยาไนด์เกาะติดและไซยาไนด์อิสระในยั้นมันประมาณ 64, 61 และ 4 มก./กก. ตามลำดับ

6. การหมักแบบกึ่งไร้อากาศ โดยใช้เชื้อธรรมชาติ เป็นเวลา 12 วัน ทำให้ไซยาไนด์เกาะติดถูกทำลายหมดในวันที่ 8 ของการหมัก แต่ในยั้นมันยังคงมีไซยาไนด์อิสระอยู่ประมาณ 80 มก./กก. แม้จะหมักจะถึงวันที่ 12

การเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังโดยใช้เชื้อรา

1. การเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังโดยใช้เชื้อรา C.eichhorniae ทำได้โดยเลี้ยงเชื้อในกากมันที่มีแหล่งไนโตรเจนคือแมโมเนียมซัลเฟต 1.5% และเกลือแร่ที่สำคัญบางชนิด เช่น KH_2PO_4, $MgSO_4$ จนเชื้อเจริญเต็มที่ ใช้เป็นหัวเชื้อขยายการปลูกในมันเส้นขนาด 1x1x1 ซม. ขยายการหมักได้ถึง 1,000 กรัมของอาหารในถุงขนาด 40x60 ซม. โดยนำหัวเชื้อผสมกับมันเส้นในอัตราส่วน 4:6 เมื่อหมักที่อุณหภูมิ 45^0 ซ. เป็นเวลา 4 วัน จะได้อาหารหมักที่มีโปรตีนเพิ่มขึ้นวัดค่าลอรี่โปรตีนได้เท่ากับ 4%

2. เมื่อทดลองใช้แหล่งไนโตรเจนให้มีความเข้มข้นสูงกว่าสภาพที่ทำการทดลองข้างต้น โดยใช้แอมโมเนียมซัลเฟต 4.16% และยูเรีย 1.01% ใช้กระบวนการหมักโดยวิธีเดียวกัน ผลการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มโปรตีนในอาหารหมักได้สูง วัดค่าลอรี่โปรตีนได้ 6.8%

สรุปดังนั้นการที่จะนำมันสำปะหลังไปใช้ทำอาหารสัตว์นั้น จะต้องการการลดปริมาณไซยาไนด์ลงก่อน ซึ่งควรเป็นวิธีที่ใช้ได้ผลราคาถูก สะดวก และรวดเร็ว เช่น การผึ่งแดด อีกทั้งจะต้องศึกษาคุณสมบัติของเชื้อที่จะนำมาใช้ในการเพิ่มโปรตีน ว่ามีความสามารถในการทนต่อไซยาไนด์ได้มากน้อยเพียงไร ถ้าเป็นสายพันธุ์ที่ไวต่อไซยาไนด์ เช่น C.eichhorniae จะต้องลดไซยาไนด์ในมันให้น้อยกว่า 10 มก./กก. เชื้อจึงจะเจริญได้

สิ่งที่ควรทดลองต่อไป

คัดเลือกเชื้อที่สามารถสร้างโปรตีนได้สูงกว่าสายพันธุ์นี้ โดยควรจะเป็นเชื้อที่เจริญเติบโตเร็วใช้แป้งมันสำปะหลังได้ดี, เจริญได้ในอุณหภูมิสูง ทนไซยาไนด์ได้ดี หรือสามารถใช้ไซยาไนด์เป็นแหล่งไนโตรเจนได้ ทนต่อสภาวะที่มีเกลือไนโตรเจนเข้มข้นสูงกว่าปกติได้ และมีความสามารถในการเปลี่ยนเกลือไนโตรเจนเป็นโปรตีนในเซลได้ดี