หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ การเมือง และสังคมของประชาชนไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นพืชที่นำรายได้เข้าประเทศเป็นอันดับสองรองจากข้าว เสนอในรายงานการสัมมนา การใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลัง (2526) การผลิตมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะอยู่ในภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ มันสำปะหลังที่ผลิตได้ในประเทศเกือบทั้งหมดส่งเป็นสินค้าออก โดยมีตลาดต่างประเทศที่สำคัญคือ กลุ่มประเทศประชาคมเศรษฐกิจยุโรป (European Economic Council, EEC) เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้น เมื่อปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังจากประเทศไทยถูกจำกัดให้ลดลงโดยข้อตกลงระหว่างรัฐบาลไทยกับประเทศประชาคมเศรษฐกิจยุโรป จึงมีผลกระทบต่อประเทศและเกษตรกรไทยมาก

รัฐบาลพยายามแก้ปัญหาโดยการพยายามหาตลาดใหม่ ๆ ลดพื้นที่การปลูกมันสำปะหลังและส่งเสริมให้มีการนำมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังไปใช้ประโยชน์ในประเทศให้มากขึ้น

มันสำปะหลัง (cassava) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Manihot esculenta Crantz เป็นพืชในวงศ์ Euphorbiaceae เก็บสะสมอาหารไว้ที่ราก มีลักษณะเป็นหัว ประกอบด้วยแป้งประมาณ 15.40% เป็นส่วนที่นำไปใช้ประโยชน์มากที่สุด นอกนั้นเป็นเส้นใย (fiber) และเซลลูโลส (cellulose) ดังอยู่ในรายงานของ Cooke และ Coursey (1981)

มันสำปะหลังที่ปลูกกันมากในประเทศไทยเป็นมันสำปะหลังชนิดขม (bitter variety) หรือเรียกว่ามันโรงงาน หัวจะมีปริมาณแป้งสูง เนื้อหยาบ ส่วนใหญ่จะมีกรดไฮโดรไซยานิกในปริมาณสูงกว่ามันสำปะหลังชนิดหวาน (sweet variety) หรือเรียกว่ามันฝ้านาที ที่ใช้รับประทานโดยทั่วไป (เอกสารเศรษฐกิจการเกษตร เลขที่ 82)

อัตราส่วนของสารอาหารในหัวมันสำปะหลัง จะเปลี่ยนแปลงตามสายพันธุ์, อายุ, และสิ่งแวดล้อม เช่น ปริมาณแร่ธาตุในดินที่ปลูก มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทย มีคุณค่าทางอาหารต่างกันตามฤดูกาล พบว่าคุณค่าทางอาหารจะลดลง เมื่อมีปริมาณน้ำฝนมากขึ้น (Cassava/Nutrition project, 1979)

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนของสารต่าง ๆ ในหัวมันสำปะหลังสด

ส่วนประกอบ	หน่วย	ส่วนประกอบในหัวมันสดต่อ 1,000 กรัมของส่วนที่กินได้			
		พันธุ์ที่ 1	พันธุ์ที่ 2	พันธุ์ที่ 3	พันธุ์ที่ 4
น้ำ	ก.	600	625	647	620
คาร์โบไฮเดรต	ก.	320	347	327	350
โปรตีน	ก.	7	12	11	7
ไขมัน	ก.	trace	3	3	0
แคลเซียม	มก.	250	330	330	250
ฟอสฟอรัส	มก.	-	-	530	500
เหล็ก	มก.	10	7	8	5

(Jones, 1959)

จะเห็นว่า ปริมาณน้ำหนักแห้งของหัวมันสดแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ และในหัวมันสำปะหลังมีคาร์โบไฮเดรตสูง 32-35% มีโปรตีน 0.7-1.1% ไม่สูงพอที่จะมีคุณค่าทางอาหาร โปรตีนที่มีอยู่เป็นส่วนน้อยนี้ยังสูญเสียไปในระหว่างกระบวนการแปรรูปมันสำปะหลังอีกด้วย (Cooke และ Coursey, 1981)

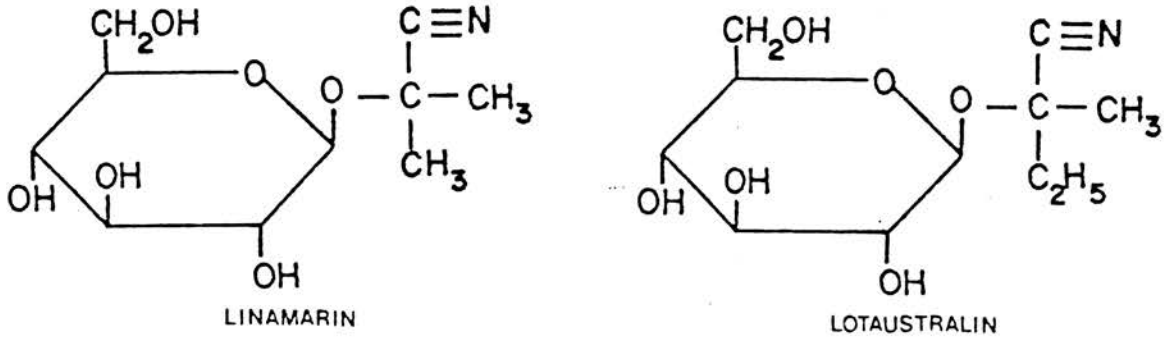
นอกจากมันสำปะหลังจะมีโปรตีนต่ำแล้ว ยังมีสารที่เป็นพิษคือกรดไฮโดรไซยานิกในปริมาณสูงด้วย จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าในหัวมันสำปะหลังสด มีกรดไฮโดรไซยานิกสูงถึง 0.02% หรือ 200 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ซึ่งความเป็นพิษในมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไฮโดรไซยานิก

ตารางที่ 2 แสดงส่วนประกอบของหัวมันสำปะหลังสด

ส่วนประกอบของหัวมัน	เปอร์เซ็นต์
ความชื้น	63.80
เถ้า	1.44
โปรตีน	0.96
ไขมัน	0.26
กรดไฮโดรไซยานิก (HCN)	0.02
กาก	0.85
แป้ง	27.65
อื่น ๆ	5.04
แคลอรี่ต่อ 1 ก.ก.	1,403.00

(กรมส่งเสริมการเกษตร, 2519)

กรดไฮโดรไซยานิกในมันสำปะหลัง อยู่ในรูปของสารประกอบ ไซยาโนจินิก ไกลโคซาย (Cyanogenic glycoside) ที่เรียกว่า ลินามาริน (linamarin) และโลทอสตราลิน (lotaustralin) ลินามารินและโลทอสตราลินมีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงสูตรโครงสร้างของลินามาริน (linamarin) และโลทอสตราลิน (lotaustralin)

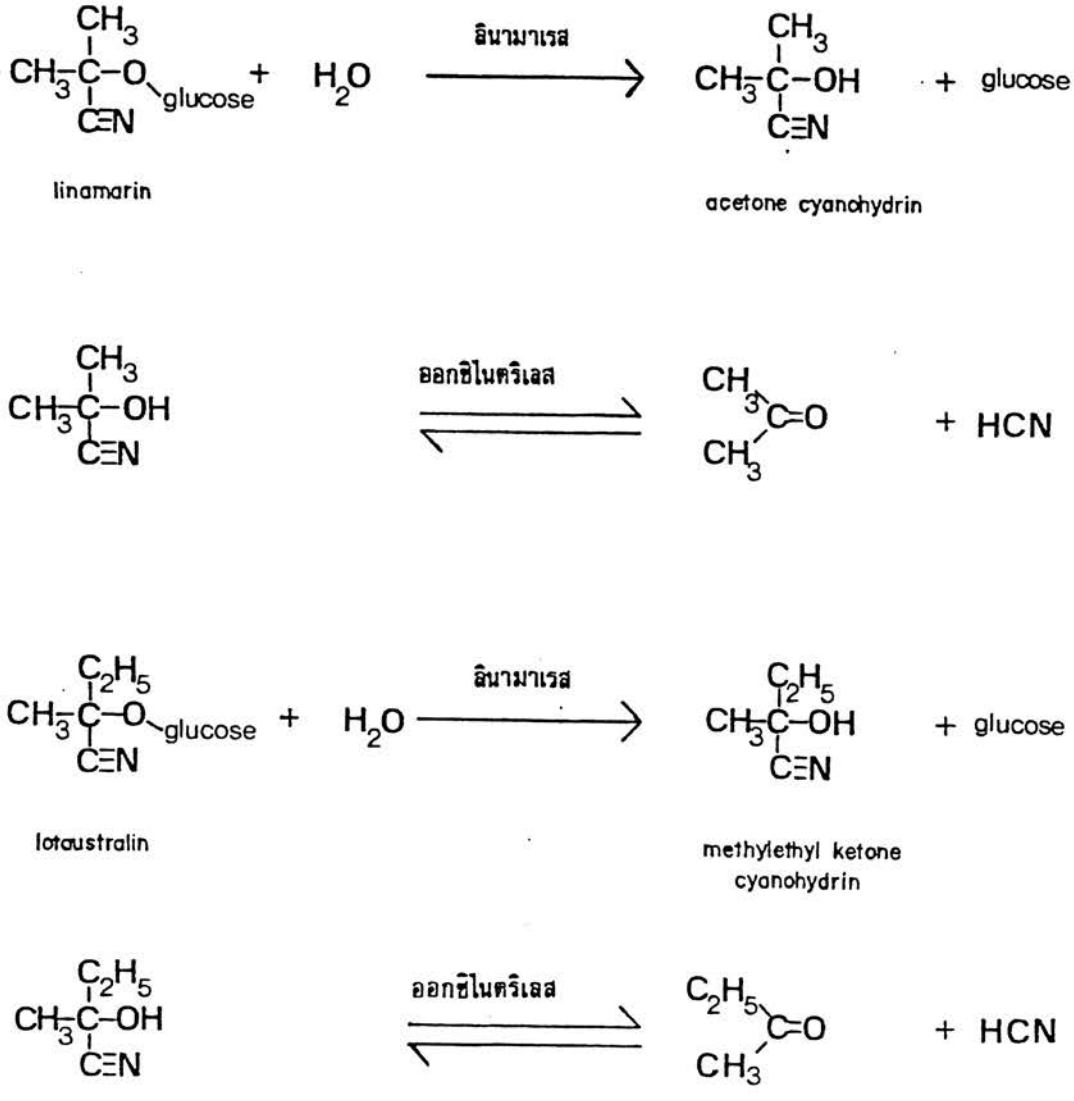
สารทั้งสองชนิดเป็นสารประกอบระหว่างน้ำตาลกลูโคสกับกรุ๊ปที่มีไซยาไนด์ สารไซยาโนจินิก ไกลโคซายในมันสำปะหลังจะเป็นลินามารินเป็นส่วนใหญ่คือ 90% ที่เหลืออีก 10% จะเป็นโลทอสตราลิน (Conn, 1969)

ไซยาโนจินิก ไกลโคซาย มีอยู่ในพืชหลายชนิด เช่น มันสำปะหลัง, ต้นแฟลกซ์ ต้นกระเบา (ชัยโย, 2529) เป็นสารที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ที่เหมาะสมจะให้กรดไฮโดรไซยานิก, น้ำตาล 1-2 โมเลกุล และอัลดีไฮด์ (aldehyde) หรือคีโตน (ketone) ตามชนิดของสารที่เกาะกันอยู่ พืชที่มีไซยาโนเจน (Cyanogen) หรือสารประกอบที่มีไซยาไนด์ในรูปต่าง ๆ อยู่นี้จะมีระบบเอนไซม์ที่สามารถเปลี่ยนไซยาโนจินิก ไกลโคซาย เป็นน้ำตาลกับกรดไฮโดรไซยานิก และอัลดีไฮด์ หรือคีโตนได้

ในการย่อยสลายลินามาริน และโลทอสตราลินนั้น ขบวนการย่อยสลายจะมี 2 ขั้นตอน ตามรูปที่ 2 คือขั้นแรกจะเกิดการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) โดยเอนไซม์ลินามาเรส (linamarase) ได้ไซยาโนไฮดริน (cyanohydrin) และน้ำตาล ขั้นที่ 2 จะเกิดการแตกตัวของไซยาโนไฮดรินได้คีโตนและกรดไฮโดรไซยานิก โดยใช้เอนไซม์ออกซินไนตริเลส (oxynitrilase) (Conn, 1969)

ปฏิกริยาข้างบนนี้จะเกิดขึ้นเมื่อเนื้อเยื่อหรือเซลของมันสำปะหลังถูกทำลายไซยาโนจินิก ไกลโคซายหรือเรียกว่า ไซยาไนด์เกาะติด (bound cyanide) จะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วโดยเอนไซม์ลินามาเรสซึ่งมีอยู่มากในเซลของพืชเอง แล้วจะให้ไซยาไนด์อิสระ (free cyanide) โดยทั่วไปความเป็นพิษของมันสำปะหลังจะถือว่าขึ้นอยู่กับปริมาณไซยาไนด์อิสระตามรายงานของ Coursey (1973)

Bolhuis (1954) ทำการศึกษาเกี่ยวกับพิษของไซยาไนด์ในมันสำปะหลัง สรุปไว้ถือเป็นมาตราฐานว่าไซยาไนด์ในมันสำปะหลังถ้ามีปริมาณน้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 มก./กก. ถือว่ามีความปลอดภัย ถ้ามีปริมาณอยู่ระหว่าง 50-100 มก./กก. ถือว่าอันตรายปานกลาง และถ้ามากกว่า 100 มก./กก. ถือว่าเป็นอันตราย



รูปที่ 2 แสดงการไฮโดรไลซิสของลินามาริน และโลทอสตราลิน (Hydrolysis of linamarin and lotaustralin)

Gomez และ Valdivieso (1983) พบว่าปริมาณไซยาไนด์จะเปลี่ยนแปลงตามสายพันธุ์ อายุ, และส่วนของต้นมันสำปะหลัง รวมทั้งสภาพแวดล้อม เช่น ดิน, อุณหภูมิ ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ

สายพันธุ์	น้ำหนักแห้ง (%)	ไซยาไนด์ทั้งหมด (มก./กก.น.น.แห้ง)
M Col 1684	30.2	884
CM-323-375	37.3	573
CM-326-407	37.4	403
CM-342-55	31.7	381
CM-321-188	36.1	306
M Ven 218	35.8	281
M Col 22	36.8	267
CM-305-38	34.1	227
Llanera	31.4	173
Valluna	23.9	137

(Gomez et al, 1984 a)

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณไซยาไนด์ของมันสำปะหลังสด 2 พันธุ์ อายุ 9 - 12 เดือน

สายพันธุ์	อายุของพืช (เดือน)	น้ำหนักแห้ง (%)	ไซยาไนด์ทั้งหมด (มก./กก.น.น.แห้ง)	ไซยาไนด์เกาะติด (มก./กก.น.น.แห้ง)
CMC-40	9	41.3	584	397
	10	41.8	459	351
	11	33.7	379	247
	12	34.7	355	208
CMC-84	9	43.8	980	802
	10	41.8	750	578
	11	32.2	723	551
	12	39.3	646	515

(Gomez et al., 1984 c)

นอกจากนี้ในมันหัวเดียวกันปริมาณไซยาไนด์จะมีความเข้มข้นต่างกันทั้งในแนวตามยาวและตามแนวขวางของหัวด้วย (Cooke, 1978) (ภาคผนวกข้อ 1) ปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังพันธุ์ต่าง ๆ แตกต่างกันมากตั้งแต่มีอยู่ในปริมาณเล็กน้อยไปจนถึง 1,000 มก./กก. น.น.แห้ง (Cooke, Coursey, 1981)

Coursey ได้ทำการทดลองในปี 1973 พบว่าการลดพิษของไซยาไนด์ในมันสำปะหลังทำได้โดยกำจัดกรดไฮโดรไซยานิกที่เกิดขึ้น อาจโดยการให้ละลายไปกับน้ำ หรือทำให้ระเหย เช่น การแช่น้ำ การต้ม การอบให้แห้ง การผึ่งแดด การหมักหรือรวมหลาย ๆ ขั้นตอนเข้าด้วยกัน ปริมาณส่วนใหญ่ของไซยาไนด์จะถูกขจัดไป แต่บางกระบวนการก็ยังคงมีไซยาไนด์เหลือในปริมาณมากพอที่จะทำให้เกิดพิษเรื้อรังได้เมื่อบริโภคในเวลานาน ๆ หรืออาจเกิดพิษเฉียบพลันถ้าบริโภคจำนวนมาก การขจัดปริมาณไซยาไนด์ได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกระบวนการและวิธีการที่ใช้ ในรายงานการทดลองของเขายังไม่สามารถสรุปได้ว่า ลินามาริน หรือไซยาโนจินิกไกลโคซายนั้นจะทำให้เกิดพิษในคนหรือสัตว์ที่กินเข้าไปโดยตรงหรือเป็นความเป็นพิษที่เกิดจาก

ไซยาไนด์อิสระที่เกิดจากการไฮโดรไลซิสของสารประกอบนี้

Barret และคณะ (1977) ได้ทำการทดลองศึกษาเกี่ยวกับพิษของลินามาริน พบว่า ในหนูทดลองน้ำหนักตัว 100 กรัม ที่กินลินามาริน 30 มก. ตรวจไม่พบลินามารินในอุจจาระหรือเลือด แต่พบลินามาริน 5.65 มก. และไทโอไซยาเนต 0.823 มก. ในปัสสาวะ และหนูที่ได้รับลินามารินปริมาณ 50 มก.ต่อตัว จะตายไป 7 ใน 10 ตัว

รายงานการทดลองเกี่ยวกับการลดไซยาไนด์ในมันสำปะหลังโดยวิธีทางกายภาพได้มีผู้ทำการศึกษาและทดลองไว้ดังนี้

1. <u>การผึ่งแดดหรืออบแห้งโดยใช้ตู้อบ</u>

Cooke และ Maduagwu (1978) ทำการทดลองนำมันสำปะหลังสดสับเป็นฝอยมาผึ่งแดดและอบในตู้อบที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า การทำให้แห้งสามารถกำจัดไซยาไนด์อิสระได้อย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากมีปริมาณไซยาไนด์อิสระอยู่เป็นส่วนน้อยคือ 8 - 12% ของไซยาไนด์ทั้งหมด ดังนั้นไซยาไนด์เกาะติดจึงยังคงเหลืออยู่ พบว่า 29% ของไซยาไนด์เกาะติดจะลดลงเมื่ออบมันที่ 46.5°c และเมื่อใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้ไซยาไนด์เกาะติดจะลดลงน้อยกว่า 29% การนำมันสับเป็นฝอยไปผึ่งแดดพบว่า ทำให้ไซยาไนด์ลดลงได้มากกว่าการอบ อาจเนื่องจากระยะเวลาในการแห้งช้า มีช่วงเวลาที่มีปริมาณความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเอนไซม์ลินามาเรสจะทำงานได้ดีนานกว่าการนำมันไปอบแห้ง

Gomez และคณะ (1984 a) ทำการทดลองโดยนำมันสำปะหลัง 10 สายพันธุ์ ที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่าง ๆ กัน มาตากให้แห้งด้วยแสงแดดและการอบ พบว่าสามารถลดไซยาไนด์ 15 - 30% ของไซยาไนด์ตั้งต้น และในไซยาไนด์ทั้งหมดที่เหลืออยู่นั้นส่วนใหญ่เป็นไซยาไนด์อิสระคือมีอยู่ 60 - 80% เมื่อเปรียบเทียบการผึ่งแดดและการอบโดยวิธีต่าง ๆ กันแล้วพบว่าการผึ่งแดดบนพื้นคอนกรีตทำให้ลดไซยาไนด์ได้ดีกว่าการตากในถาดและการอบ

Gomez และคณะ(1984 b) ทำการทดลองโดยใช้มันสำปะหลังสดสับทั้งเปลือก 4 สายพันธุ์ที่มีอายุต่าง ๆ กันคือ 6, 8, 10 และ 12 เดือน ผึ่งแดดบนพื้นคอนกรีตเปรียบเทียบกับการอบในถาดที่ 60°ซ พบว่า 20 - 38% ของไซยาไนด์ทั้งหมดในฝอยมันสดเป็นไซยาไนด์อิสระ การผึ่งแดดทำให้ไซยาไนด์ทั้งหมดลดลง 86 - 94% และไซยาไนด์เกาะติดลดลง 93 - 98%

ไซยาไนด์ที่เหลือส่วนใหญ่เป็นไซยาไนด์อิสระ (59 - 76% ของไซยาไนด์ทั้งหมดที่เหลือ) เมื่อเปรียบเทียบกับการอบพบว่าปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดลดลงเพียง 77 - 80% โดยที่ไซยาไนด์เกาะติดลดลง 81 - 85% และมีไซยาไนด์อิสระเพียง 31 - 41% ของไซยาไนด์ทั้งหมดที่เหลือ สรุปได้ว่าการผึ่งแดดทำให้ลดไซยาไนด์เกาะติดได้ดีกว่า

Gomez และคณะ (1984 c) ทำการศึกษาปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลังสดสองพันธุ์ ที่มีอายุตั้งแต่ 9 - 12 เดือน เมื่อนำมาผึ่งแดดบนพื้นคอนกรีตไม่ทาสี พื้นคอนกรีตทาสีดำ และตากในถาดโลหะ พบว่าตามธรรมชาติปริมาณไซยาไนด์ลดลงในหัวมันที่มีอายุมากขึ้น (ตารางที่ 4) และส่วนใหญ่ของไซยาไนด์ทั้งหมดในหัวมันสดทั้ง 2 พันธุ์เป็นไซยาไนด์เกาะติด เมื่อนำมันมาตากแห้งพบว่า การผึ่งแดดในถาดแห้งเร็วกว่าการผึ่งแดดบนพื้นคอนกรีต สำหรับการผึ่งแดดบนพื้นคอนกรีตที่ไม่ทาสีกับทาสีดำนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้งเวลาในการแห้งและปริมาณไซยาไนด์ที่ลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับการตากในถาดแล้ว พบว่าการตากมันบนพื้นคอนกรีตโดยตรงกำจัดไซยาไนด์ได้มากกว่า คือการผึ่งแดดบนพื้นไซยาไนด์ลดลง 86 - 93% ของไซยาไนด์ตั้งต้น และไซยาไนด์ที่เหลือส่วนใหญ่เป็นไซยาไนด์อิสระ ส่วนการตากมันในถาดโลหะไซยาไนด์ลดลง 61 - 87% ของไซยาไนด์ตั้งต้น โดยไซยาไนด์ที่เหลือส่วนใหญ่เป็นไซยาไนด์เกาะติด ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองที่กล่าวมาแล้ว พบว่าถ้าเวลาในกระบวนการทำให้แห้งนานกว่าจะทำให้ลดไซยาไนด์ในมันได้มากกว่า การตากมันบนพื้นคอนกรีตจะทำให้มีการหมุนเวียนของอากาศน้อยประกอบกับสภาวะที่มีความชื้น และอุณหภูมิเหมาะสมทำให้แอคติวิตี (activity) ของเอนไซม์ลินามาเรสคงอยู่ได้นาน และพบว่าถ้าตากมันในปริมาณต่อพื้นที่มากจะทำให้ลดไซยาไนด์ได้น้อยลง โดยทั่วไปจะตากมันสดประมาณ 10 กก.ต่อตารางเมตร

2. <u>การต้มและการแช่มันสำปะหลังในน้ำเพื่อลดไซยาไนด์</u>

Nemoto (1940) พบว่าการทำหัวมันให้แตกเป็นชิ้นขนาดเล็กมาก ๆ เอนไซม์ลินามาเรสจะสามารถทำงานได้ดีและเร็วขึ้นทำให้เกิดกรดไฮโดรไซยานิก และเมื่อนำมันสับนี้ไปต้มพบว่า การต้มไม่สามารถทำลายลินามารินหรือไซยาไนด์เกาะติดได้ เอนไซม์ลินามาเรส — ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 62° ซ และสูญเสียความสามารถในการทำงานที่อุณหภูมิสูงกว่า 72° ซ. โดยเอนไซม์นี้จะทำงานเมื่อมีน้ำอยู่ด้วย

Cooke (1978 b) ได้ทำการทดลองนำมันสำปะหลังสดสับเป็นชิ้นไปต้มและแช่น้ำ พบว่าทั้ง 2 วิธีสามารถกำจัดไซยาไนด์อิสระได้ดีมาก เมื่อต้มมันสำปะหลังเป็นเวลา 25 นาที ไซยาไนด์เกาะติดลดลง 55% ส่วนการแช่มันและกวนเป็นครั้งคราวในน้ำเย็นที่อุณหภูมิห้อง พบว่าไซยาไนด์ลดลงน้อยกว่า 5% เมื่อแช่น้ำได้ 4 ชั่วโมง และไซยาไนด์ลดลง 50% เมื่อแช่น้ำครบ 18 ชั่วโมง.

นอกจากจะใช้วิธีการทางกายภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังแล้ว ยังอาจใช้วิธีการทางชีวภาพในการลดไซยาไนด์ในมันได้ด้วย ซึ่งการลดไซยาไนด์โดยวิธีนี้นั้น นอกจากจะเป็นการลดไซยาไนด์แล้วยังเป็นการถนอมอาหารหรือแปรรูปมันสำปะหลังให้รับประทานได้ดีขึ้น รายงานการทดลองเกี่ยวกับการลดไซยาไนด์ในมันสำปะหลังโดยวิธีทางชีวภาพได้มีผู้ทำการศึกษาและทดลองไว้ดังนี้

Okafor (1977) ได้ศึกษาการหมักมันสำปะหลังในการทำการี (garri) เป็นอาหารพื้นเมืองของชาวอาฟริกันทำจากมันสำปะหลัง พบว่าแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในกระบวนการหมักคือแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกรดแลคติค เช่น พวก Leuconostoc sp. เป็นส่วนใหญ่ และการแตกตัวของลินามารินส่วนใหญ่เกิดจากเอนไซม์ของมันสำปะหลังมากกว่าที่จะเกิดจากกิจกรรมของแบคทีเรีย

Ketiku และคณะ (1978) พบว่าเมื่อนำมันสำปะหลังมาหมัก จะลดความเป็นพิษลงได้ เนื่องจากการระเหยของกรดไฮโดรไซยานิกในสภาวะที่เป็นกรด นอกจากนั้นยังทำให้เกิดกลิ่นที่ดีขึ้น

Tinay และคณะ (1984) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการลดปริมาณไซยาไนด์ระหว่างการหมักมันสำปะหลังทั้งหัวโดยไม่ปอกเปลือกในน้ำ ซึ่งเป็นวิธีการหมักแบบดั้งเดิม (Traditional fermentation) กับการหมักมันปอกเปลือกทั้งหัวและมันปอกเปลือกสับละเอียดในที่ ๆ เติมและไม่เติมน้ำเป็นเวลา 8 วัน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5 พบว่าในการแบบดั้งเดิมซึ่งปกติจะหมักประมาณ 4 วัน ไซยาไนด์ทั้งหมดลดลงจากเดิม 51 - 53% และเมื่อหมักถึงวันที่ 8 ไซยาไนด์ลดลง 80 - 87% สำหรับมันสดปอกเปลือกหมักทั้งหัวพบว่า ไซยาไนด์อิสระลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 1 ของการหมัก ส่วนในมันสดปอกเปลือกสับหมักโดยไม่เติมน้ำพบว่า ไซยาไนด์ที่ลดลงในวันที่หนึ่งเกิดจากการทำงานของลินามาเรสมากกว่าที่เกิดจาก -

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณไขยาไนด์ในมันสำปะหลังหมักตามวิธีต่าง ๆ

วิธีการหมัก	เวลา	ความเป็นกรด	ปริมาณไขยาไนด์ (ม.ก/ก.ก.น.น.เปียก)		
			ไขยาไนด์ทั้งหมด	ไขยาไนด์เกาะรูป	ไขยาไนด์อิสระ
มันสดทั้งหัวไม่ปอกเปลือก	0	6.0	69.9	34.9	35.0
หมักในน้ำ	1	5.9	65.9	34.0	31.9
	4	5.35	33.7	12.3	21.4
	8	3.95	14.7	5.2	9.5
มันสดทั้งหัวปอกเปลือก	0	6.0	70.0	34.9	35.0
หมักในน้ำ	1	5.8	55.6	30.9	24.7
	4	4.8	26.8	12.6	14.2
	8	3.9	12.7	5.3	7.4
มันสดปอกเปลือก	0	6.0	69.9	34.9	35.0
สับเป็นชิ้น	1	5.6	39.4	16.4	23.0
	4	4.75	27.4	7.7	19.7
	8	3.8	21.1	8.7	12.4
มันสดปอกเปลือก	0	6.0	69.9	34.9	35.0
สับเป็นชิ้นเติมน้ำ	1	5.0	22.6	7.7	14.9
อัตราส่วน 4:1	4	4.3	13.8	3.9	9.9
	8	3.8	5.8	2.0	3.8

(Tinay et al, 1984)

การไฮโดรไลซิสจากการหมัก การหมักมันสดสับกับน้ำอัตราส่วน 4:1 พบว่าไขยาไนด์เกาะติดลดลง 83 - 91% ในวันที่ 1 ของการหมักการย่อยสลายตัวเอง (autohydrolysis) เพิ่มขึ้นเมื่อมีน้ำอยู่ด้วย

Padmaja และ Balagopal (1985) พบว่า Rhizopus oryzae ซึ่งเป็นเชื้อราที่พบมากในของเหลือทิ้ง (waste) จากมันสำปะหลัง สามารถย่อยสลายไซยาไนด์ได้ดี R.oryzae ที่ผ่านการปรับตัวโดยเลี้ยงในอาหารที่มีไซยาไนด์แล้วสามารถเจริญในอาหารที่มีลินามารินและไซยาไนด์ได้ โดยสามารถสร้างเอนไซม์ลินามาเรสได้ทั้งในอาหารที่มีและไม่มีลินามาริน

ความเป็นพิษของไซยาไนด์ต่อคนและสัตว์

ไซยาไนด์เป็นสารที่มีพิษมาก ในบรรยากาศที่มีกรดไฮโดรไซยานิก 200 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ผู้ใหญ่จะตายใน 2-3 นาที ปริมาณไซยาไนด์ที่ทำให้ตาย (lethal dose) ในผู้ใหญ่อยู่ในปริมาณ 50 - 60 ม.ก (Cooke and Coursey, 1981) เนื่องจากไซยาไนด์จะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ส่งผ่านอิเลคตรอนในกระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะเอนไซม์ไซโตโครม ออกซิเดส (cytochrom oxidase) (Conn, 1969)

Conn (1969) สรุปไว้ในรายงานการทดลองว่าในกรณีที่บริโภคไซยาไนด์ในปริมาณน้อย ๆ เป็นเวลานานจะเกิดพิษเรื้อรังในร่างกายของคน และสัตว์จะมีระบบกำจัดสารพิษนี้โดยอาศัยหลายปฏิกริยาคือ

ก. ผ่านเอนไซม์โรดาเนส (rhodanase) และเมอร์แคปโตไพรูเวท ซัลเฟอร์ทรานส์เฟอเรส (mercaptopyruvate sulfurtransferase) โดยสารประกอบที่มีกำมะถันจะรวมตัวกับไซยาไนด์ โดยอาศัยเอนไซม์ทั้ง 2 ในปฏิกริยาได้เป็นไทโอไซยาเนต (Thiocyanate) ดังรูปที่ 3

$$S_2O_3^{2-} + CN^- \xrightarrow[\text{หรือ mercaptopyruvate sulfurtransferase}]{\text{Organic S. rhodanase}} SO_3^{2-} + SCN^-$$

รูปที่ 3 แสดงปฏิกริยาการเกิดไทโอไซยาเนตจากสารที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ

ไทโอไซยาเนตที่เกิดขึ้นจะถูกขับออกทางปัสสาวะอย่างรวดเร็ว สารตัวนี้ไม่มีพิษเท่าไซยาไนด์แต่จะรบกวนการใช้ไอโอดีนในการผลิตไทรอกซิน (thyroxin) ทำให้การทำงานของต่อมไทรอยด์ผิดปกติ เอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้มีอยู่ทั่วไปในร่างกายคนและสัตว์ โดยเฉพาะมีมากในเซลของตับ (Oke, 1973)

ข. ผ่านสารไฮโดรโซโคบาลามิน (hydroxocobalamin) ซึ่งมีมากในตับสามารถทำปฏิกริยากับไซยาไนด์ได้ไซยาโนโคบาลามิน (cyanocobalamin) หรือวิตามินบี 12 (Lehninger, 1979)

ค. ซิสตีนจะทำปฏิกริยากับไซยาไนด์ได้ ซิสเตอีน และบีตา-ไทโอไซยาโนอะลานีน (B-thiocyanoatanine) ซึ่งจะ tautomerize ได้กรดคาร์บอกซิลิก 2 ชนิด แล้วถูกขับออกจากร่างกายได้อย่างรวดเร็ว (Oke, 1973)

<u>คุณสมบัติของเอนไซม์ลินามาเรสที่ได้จากมันสำปะหลัง</u>

Cook และคณะ (1977) พบว่าเอนไซม์ลินามาเรสมีช่วงการทำงานที่ค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสมเท่ากับ 6 ในโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Sodium phosphate buffer) โดยที่แอคติวิตีที่ค่าพีเอช 5 และ 7 จะเท่ากับ 79% และ 86% ของแอคติวิตีที่พีเอช 6 ตามลำดับ นอกจากนี้แอคติวิตีของเอนไซม์ที่บริสุทธิ์ยังเกือบไม่ขึ้นกับโมลาริตีของบัฟเฟอร์พีเอช 6 เลย โดยสามารถทำงานได้ดีในความเข้มข้นของบัฟเฟอร์ 5 - 500 มิลลิโมลาร์ พบว่าเอนไซม์ลินามาเรสมีมากในเปลือกของหัวมัน

<u>การเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลัง</u>

ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการใช้มันสำปะหลังสำหรับเลี้ยงสัตว์คือ การที่มันสำปะหลังเป็นพืชหัวที่มีแป้งสูงแต่มีโปรตีนน้อย มันสำปะหลังสดโดยทั่วไปจะมีโปรตีนในราว 1% ต่อ น.น สด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตผลจากการเกษตรชนิดอื่นแล้วจะเห็นว่ามันสำปะหลังมีโปรตีนอยู่ในปริมาณน้อยกว่ามากดังแสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงคุณค่าทางอาหารของมันสำปะหลังและผลิตผลที่เปรียบเทียบกับข้าวโพด และข้าวฟ่าง

ชนิดของผลิตผล	ความชื้น (%)[a]	โปรตีน (%)[a]	เยื่อใย (fiber) (%)[a]	เถ้า (%)[a]	แป้ง (%)[a]
หัวมันสำปะหลังสด	62.5	1.2	2.1	1.4	35.0
มันอัดเม็ด	13.45	2.25	3.94	5.09	74.81
มันเส้น	14.02	1.83	3.24	2.85	80.5
กากมัน	10.0	1.80	5.0	18.4	69.8
ข้าวโพดบด	13.4	9.4	1.9	1.62	70.1
ข้าวฟ่าง	11.9	7.5	2.0	1.65	74.6

(เอกสารเศรษฐกิจการเกษตร เลขที่ 82)

a : % ต่อน้ำหนักเปียก

การเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังทำได้หลายวิธี เช่น การเติมแหล่งอาหารโปรตีนต่าง ๆ เช่น ปลาป่น, กากถั่วเหลือง หรือรำข้าวลงไปเป็นการเพิ่มโปรตีนโดยตรงซึ่งทำกันทั่วไป แต่เนื่องจากอาหารเสริมเหล่านี้มีราคาสูงขึ้น จึงทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการเลี้ยงสัตว์ อีกวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังได้โดยการนำแป้งจากมันสำปะหลังมาใช้เลี้ยงจุลินทรีย์ชนิดที่มีโปรตีนในเซลสูง ทำให้เพิ่มโปรตีนในอาหารได้ หรือที่เรียกว่าการผลิตจุลยีวโปรตีน

การผลิตจุลยีวโปรตีน ทำได้ทั้งในอาหารหมักเป็นของแข็ง และของเหลว การหมักอาหารแข็งโดยใช้มันสำปะหลัง ทำโดยบดมันให้เป็นแป้งหยาบ ๆ เติมกลือแร่และแหล่งไนโตรเจนให้เพียงพอ เพาะเชื้อราหรือแบคทีเรียอื่นที่มีโปรตีนในเซลสูงให้ความชื้นที่พอเหมาะจุลินทรีย์จะสร้างโปรตีนเพิ่มขึ้น การหมักจะได้ผลดีและมีการสร้างโปรตีนได้สูงหรือไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ที่ใช้, ปริมาณของเชื้อตั้งต้น, การควบคุมปริมาณสารอาหารและสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิในการหมัก, ความชื้น, การให้อากาศเป็นต้น (Brook et al, 1969)

Raimbault และคณะ (1979) เสนอว่าในการเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังโดยการหมักแบบอาหารแข็งนั้นมีสิ่งที่สำคัญ นอกจากการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างโปรตีนได้สูงคือ การควบคุมสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการให้อากาศ, ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิในขณะหมัก เพื่อไม่ให้การเจริญของเชื้อหยุดชะงักในการทดลองได้เลือกใช้เชื้อรา Aspergillus niger ซึ่งเป็นเชื้อราที่สามารถเจริญได้ดีบนแป้งมันนำมาเลี้ยงบนแป้งมันสำปะหลังในลักษณะที่ควบคุมความชื้น, อากาศและอุณหภูมิได้ โดยใช้แอมโมเนียมผสมกับยูเรียในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อทำให้พีเอชของอาหารไม่เปลี่ยนไปมากเมื่อเกิดการเจริญของเชื้อ พบว่าในการหมักเป็นเวลา 42 ชม โดยใช้แอมโมเนียมผสมกับยูเรีย 4:6 เป็นแหล่งไนโตรเจนในอาหาร ทำให้พีเอชของอาหารเท่ากับ 4 ในขณะที่การใช้แอมโมเนียมเพียงอย่างเดียวทำให้สภาพอาหารเป็นกรดมากคือมีค่าพีเอชเท่ากับ 2 ซึ่งจะมีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อ

Smith และคณะ (1986) ได้ทำการทดลองหมักมันสำปะหลังกับเชื้อรา Sporotrichum pulverulentum ในอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งที่ทำจากมันสำปะหลังบด และมีปริมาณแหล่งไนโตรเจนและเกลือแร่ในความเข้มข้นสูง พบว่าในการใช้แหล่งไนโตรเจนคือแอมโมเนียมซัลเฟต 8.33% ยูเรีย 2.03% และโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 4.27% ของน้ำหนักอาหาร พีเอชของอาหารเท่ากับ 6 ความชื้นตั้งต้น 54% เมื่อหมักในถาดบ่มไว้ในตู้ควบคุมการหมัก (Labolatory scale solid state fermenter) ที่อุณหภูมิ 45° ซ จะได้อาหารหมักที่มีโปรตีน (หาโดยวิธี Lowry) 14.9% ในเวลา 4-3 วัน และเมื่อเพิ่มอัตราการให้อากาศ (aeration rate) โดยการหมักในคอลัมน์ (small column fermenter) เป็น 9 ลิตรต่อ ชม จะทำให้ได้อาหารหมักที่มีโปรตีน 30.4% ในเวลา 2 วัน

การผลิตโปรตีนจากมันสำปะหลังโดยใช้จุลินทรีย์นี้ การทดลองและศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การใช้ยีสต์หรือจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ มักจะต้องมีการลงทุนสูงในขั้นตอนการทำให้วัตถุดิบปราศจากเชื้อก่อนการหมัก การควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับต่ำเพื่อให้เหมาะสมกับการเจริญและการสร้างโปรตีนของเชื้อ จึงได้มีผู้พยายามคัดเลือกเชื้อราที่สร้างโปรตีนในเซลได้สูง เจริญบนแป้งมันได้ดี และทนความร้อนได้เพื่อนำสายพันธุ์ที่คัดเลือกได้นี้มาใช้ในการหมักในอุตสาหกรรมเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในขบวนการหมักลง

012126

Reade และ Gregory (1975) ได้คัดเลือกเชื้อรา Aspergillus fumigatus I-21 ซึ่งเจริญในแป้งมันได้ดีที่อุณหภูมิ 45°ซ ความเป็นกรด 3.5 พบว่าเมื่อเลี้ยงในอาหารที่มีแป้งมัน 4% ได้ผลผลิตแห้ง 24 กรัมต่อลิตร เมื่อหมักครบ 20 ช.ม ผลผลิตที่ได้มีโปรตีนรวม 39.9% และโปรตีนแท้ 27.1% แต่เชื้อ A.fumigatus I - 21 สร้างสปอร์ซึ่งผลของการหายใจเอาสปอร์เข้าไปในปอดจะทำให้เกิดโรคแอสเปอร์จิลโลซิส (Aspergillosis) จึงสร้างสายพันธุ์ I - 21 A ซึ่งไม่สร้างสปอร์มาใช้แทน สายพันธุ์ I - 21 A ให้ผลผลิตโปรตีนสูงเช่นเดียวกับสายพันธุ์ I - 21

Gregory และคณะ (1976, 1977) ได้พยายามคัดเลือกราสายพันธุ์ที่ดีกว่า A.fumigatus I - 21 A เพื่อหาเชื้อราที่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 50 - 55° ซ และสร้างโปรตีนได้มากกว่า 44% พบว่า Cephalosporium eichhorniae 152 และ Rhizopus chinensis 180 มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ เมื่อนำโปรตีนจากราที่ได้ไปเลี้ยงหนูเทียบกับโปรตีนที่ทำจากเคซีน (casein) โดยให้อาหารที่มีโปรตีน 10% อาหารที่มีเคซีนเติมเมทไธโอนีน 0.3% และทริปโตเฟน 0.1% ส่วนอาหารที่ใช้โปรตีนจากเชื้อราเติมเมทไธโอนีน 0.5% พบว่า อาหารที่มีโปรตีนจาก C.eichhorniae 152 ให้ผลดีกว่าอาหารที่มีเคซีน ในขณะที่อาหารที่มีโปรตีนจาก R.chinensis ให้ผลดีพอกับเคซีน โดยผลผลิตโปรตีนของ C.eichhorniae มีโปรตีนรวม (crude protein) 49.5% และโปรตีนแท้ (true protein) 37.8% และมีเมทไธโอนีน 1.9% ของโปรตีนแท้

จากการศึกษาคุณสมบัติของ C.eichhorniae 152 ต่อการสร้างโปรตีนจากแป้งมันและการนำโปรตีนที่ได้ไปเลี้ยงสัตว์โดย Mikami และคณะในปี 1982 พบว่าราชนิดนี้เจริญได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 45 - 47°ซ สร้างโปรตีนสูงสุดที่อุณหภูมิ 45°ซ ที่ 25°ซ ไม่มีการเจริญ พีเอชของอาหารที่เหมาะสมเท่ากับ 3.8 มีการเจริญน้อยมากที่พีเอช 6 หรือสูงกว่าในอาหารเหลวและที่พีเอช 7 หรือสูงกว่าในอาหารแข็ง การที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 45°ซ และความเป็นกรด 3.8 นี้ มีผลดีทางอ้อมคือทำให้ยับยั้งการปนเปื้อนจากแบคทีเรีย, ยีสต์ และเชื้อราอื่น ๆ ได้ดีมาก นอกจากนี้ยังพบว่าอาหารหมักที่ทำจากการนำมันสำปะหลังสดมาบดจะทำให้เกิดช่วงแลค (lag phase) นานมากกว่า 10 ช.ม ไม่ว่าจะให้ความร้อนกับมันเมื่อบดเสร็จทันทีหรือไม่ ช่วงแลคนี้จะสั้นลงเมื่อใช้มันตากแห้งแทนมันสด Mikami (1982) ยังทดสอบการทำให้เกิดโรคจากสปอร์ของ C.eichhorniae 152 นี้ โดยฉีดสปอร์ในระยะพัก (resting

spore) และสปอร์ที่เริ่มงอก (germinating spore) ปริมาณ 10^6 - 10^8 สปอร์ เข้าในสัตว์ทดลองคือ หนู และลูกไก่ โดยฉีดเข้าทางเส้นเลือด ผลการทดลองพบว่า ไม่พบความผิดปกติ การเจ็บป่วยหรือการตายในสัตว์ทดลองทั้งหมด และไม่พบว่าราสายพันธุ์นี้สร้างสารปฏิชีวนะ

สรุปได้ว่าเชื้อรา C.eichhorniae 152 มีคุณสมบัติที่เหมาะสมมากในการนำไปใช้เพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลัง เนื่องจากเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 45°ซ และที่ ๆ มีกรดสูง ทำให้ไม่ต้องทำให้วัตถุดิบปราศจากเชื้อและไม่จำเป็นต้องระบายความร้อนในขบวนการหมักโดยใช้ระบบทำความเย็น (refrigerated cooling) นอกจากนี้เชื้อราสายพันธุ์นี้ยังสร้างเอนไซม์อะมิเลส (amylases) ทำให้เจริญในแป้งมันได้ดี สร้างโปรตีนในเซลสูง และมีความสมดุลย์ของกรดอะมิโนที่ดี ไม่สร้างสารที่เป็นพิษ ไม่ทำให้เกิดโรค เจริญเติบโตเร็ว สร้างเซลได้สูงและมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นโปรตีนได้ดี และมีกลิ่นรสดี (Gregory et al, 1977)

ลักษณะอีกประการหนึ่งของโปรตีนที่ได้จากราคือจะมีกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่น้อยโดยเฉพาะเมทไธโอนีน (Khor, 1976) และ (ยุพา กอเกียรติพันท์, 2521) ดังนั้นในการใช้โปรตีนจากราเป็นอาหารสัตว์จะต้องเติมเมทไธโอนีนลงไปเพื่อให้ครบคุณค่าทางอาหารดียิ่งขึ้น

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความร้อน, แสง, การหมักที่มีต่อการลดปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลัง โดยพยายามหาวิธีการลดปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังอย่างมีประสิทธิภาพและราคาถูก และศึกษาการเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังโดยใช้เชื้อรา C.eichhorniae 152 โดยการศึกษาสภาพที่เหมาะสมต่อการสร้างโปรตีนในการหมักแบบแห้ง (solid state fermentation) เป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารของมันสำปะหลังโดยใช้โปรตีนจากรา เพื่อเป็นแนวทางในการนำมันสำปะหลังไปใช้เลี้ยงสัตว์ให้ได้ผลดีต่อไป

วัตถุประสงค์การทดลอง

เนื่องจากการนำมันสำปะหลังสดไปหมัก แล้วนำไปเลี้ยงลูกร พบว่าทำให้เปอร์เซ็นต์การตายของลูกรเพิ่มขึ้น และจากเอกสารข้อมูลที่ศึกษายังไม่ทราบแน่ชัดว่าเกิดจากสาเหตุใด จึงได้เกิดความสนใจพยายามหาวิธีที่จะนำมันสำปะหลังไปใช้เลี้ยงสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้ทำการทดลองโดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อหาวิธีการลดปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลัง

2. เพื่อเป็นการเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังโดยใช้เชื้อรา เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังสดในสภาพต่าง ๆ ดังนี้

   ก. การใช้แสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ

   ข. การใช้แสงแดด

   ค. การใช้ความร้อนแห้งและการนึ่งด้วยไอน้ำ

   ง. การใช้กระบวนการ

เพื่อให้ทราบว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังอย่างไร

2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังสด เมื่อหมักแบบกึ่งไร้อากาศและหมักแบบมีอากาศ โดยใช้เชื้อธรรมชาติ

3. ศึกษาความสามารถในการใช้แป้งมันสำปะหลังดิบเป็นแหล่งคาร์บอนและความทนต่อไซยาไนด์ของ C.eichhorniae

4. ศึกษาสภาพที่เหมาะสมในการเลี้ยงเชื้อรา C.eichhorniae ในมันสำปะหลังหมักเพื่อใช้เป็นหัวเชื้อโดยทดลองตัวแปรดังนี้

   ก. วัตถุดิบ และการเตรียมวัตถุดิบ

   ข. ความชื้นของอาหาร

   ค. องค์ประกอบของอาหาร

ง. อุณหภูมิในการหมัก

จ. ความเป็นกรด-ด่างของอาหาร

5. ศึกษาสภาพที่เหมาะสมต่อการสร้างโปรตีนในการเลี้ยงเชื้อรา C.eichhorniae ในมันสำปะหลังหมักแบบแห้งโดยทดลองตัวแปรดังนี้

ก. องค์ประกอบและการเตรียมอาหาร

ข. ปริมาณหัวเชื้อ

ค. ปริมาณอาหารต่อภาชนะที่ใช้หมัก

6. วิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่มีในอาหารหมัก วิเคราะห์ด้วยเครื่องอะมิโน แอซิด แอนนาไลเซอร์ (Amino acid analyzer)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รู้ถึงวิธีการลดปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังที่สะดวกและประหยัด

2. เป็นแนวทางในการเพิ่มโปรตีนในมันสำปะหลังเพื่อนำไปใช้เลี้ยงสัตว์