ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การสำรวจความต้องการของผู้ใช้ฟลาวในผลิตภัณฑ์อาหารต่อฟลาวมันสำปะหลังไซยาไนด์ต่ำ

จากการสำรวจข้อมูลทั่วไป ทัศนคติ และความต้องการของผู้ใช้ฟลาวในผลิตภัณฑ์อาหารต่อฟลาวมันสำปะหลังไซยาไนด์ต่ำ โดยใช้แบบสอบถามจำนวน 400 คน กลุ่มเป้าหมายคือกลุ่มผู้บริโภคที่มีการใช้แป้งหรือฟลาวปริมาณมากในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร โดยกลุ่มตัวอย่างจะประกอบด้วย 1) พนักงานหรือผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมอาหารที่มีการใช้แป้งหรือฟลาวในกระบวนการผลิตจำนวน 52 ราย 2) พนักงานหรือผู้ประกอบการร้านค้าที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์ออกจำหน่ายโดยใช้แป้งหรือฟลาวในผลิตภัณฑ์อาหาร จำนวน 132 ราย 3) กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรที่มีการรวมกลุ่มสร้างอาชีพหรือผู้ผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบลในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารออกจำหน่ายโดยมีการใช้แป้งหรือฟลาวเป็นวัตถุดิบหลัก จำนวน 136 ราย และ 4) กลุ่มแม่บ้านและพ่อบ้าน จำนวน 80 ราย ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้การกระจายจำนวนความถี่ในแต่ละกลุ่มและร้อยละ ผลการสำรวจแสดงดังตารางที่ 13 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามประกอบด้วยเพศชายร้อยละ 29 เพศหญิงร้อยละ 71 มีอายุอยู่ในช่วง 15-25 ปี, 26-35 ปี, 36-45 ปี และ 45 ปี ขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 20, 22, 33 และ 24 ตามลำดับ มีการศึกษาจบระดับปริญญาตรีมากที่สุด รองลงมาคือต่ำกว่าปริญญาตรี และสูงกว่าปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 53, 33 และ 14 ตามลำดับ โดยผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีรายได้มากกว่า 15,000 บาทต่อเดือน ร้อยละ 39 มีรายได้ในช่วง 5,001-10,000 บาทต่อเดือน ร้อยละ 27 มีรายได้น้อยกว่า 5,000 บาทต่อเดือน ร้อยละ 20 และมีรายได้ต่อเดือน 10,001-15,000 บาทต่อเดือน ร้อยละ 14

ตารางที่ 13 ข้อมูลทางประชากรศาสตร์จากการสำรวจผู้ใช้แป้งหรือฟลาวในผลิตภัณฑ์อาหาร

(n=400)

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ความถี่				
	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4	รวม
เพศ					
ชาย	16 (4.0)	40 (10.0)	41 (10.3)	19 (4.8)	116 (29.0)
หญิง	36 (9.0)	92 (23.0)	95 (23.8)	61 (15.3)	284 (71.0)
อายุ					
15-25 ปี	12 (3.0)	10 (2.5)	8 (2.0)	50 (12.5)	80 (20.0)
26-35 ปี	19 (4.8)	32 (8.0)	32 (8.0)	9 (2.3)	88 (22.0)
36-45 ปี	17 (4.3)	65 (16.3)	41 (10.3)	9 (2.3)	132 (33.0)
มากกว่า 45 ปี ขึ้นไป	4 (1.0)	25 (6.3)	55 (13.8)	12 (3.0)	96 (24.0)
การศึกษา					
ไม่ได้ศึกษา	0 (0.0)	2 (0.5)	24 (6.0)	2 (0.5)	28 (7.0)
ประถมศึกษา	0 (0.0)	14 (3.5)	19 (4.8)	3 (0.8)	36 (9.0)
มัธยมศึกษา- อนุปริญญา	5 (1.3)	41 (10.3)	7 (1.8)	15 (3.8)	68 (17.0)
ปริญญาตรี	40 (10.0)	68 (17.0)	57 (14.3)	47 (11.8)	212 (53.0)
สูงกว่าปริญญาตรี	7 (1.8)	7 (1.8)	29 (7.3)	13 (3.3)	56 (14.0)

ตารางที่ 13 (ต่อ)

(n=400)

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ความถี่				
	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4	รวม
รายได้ต่อเดือน					
น้อยกว่า 5,000 บาท	1 (0.3)	10 (2.5)	17 (4.3)	52 (13.0)	80 (20.0)
5,001-10,000 บาท	3 (0.8)	35 (8.8)	57 (14.3)	13 (3.3)	108 (27.0)
10,001-15,000 บาท	13 (3.3)	27 (6.8)	12 (3.0)	4 (1.0)	56 (14.0)
มากกว่า 15,000 บาท	35 (8.8)	60 (15.0)	50 (12.5)	11 (2.8)	156 (39.0)

หมายเหตุ

กลุ่ม 1 คือ พนักงาน / ผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร

กลุ่ม 2 คือ พนักงาน / ผู้ประกอบการร้านค้าผลิตภัณฑ์อาหาร

กลุ่ม 3 คือ กลุ่มแม่บ้านเกษตรกร / กลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ตำบล

กลุ่ม 4 คือ แม่บ้าน / พ่อบ้าน

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ร้อยละ

การสำรวจปริมาณการใช้แป้งโดยใช้การถ่วงน้ำหนัก (Better Product Design, 2006) ในกลุ่มพนักงาน/ผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร กลุ่มพนักงาน/ผู้ประกอบการร้านค้าผลิตภัณฑ์อาหาร กลุ่มแม่บ้านเกษตรกร/กลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ตำบล และกลุ่มแม่บ้าน/พ่อบ้าน ผลการสำรวจแสดงดังตารางที่ 14 จากผลการสำรวจพบว่ากลุ่มพนักงาน/ผู้ประกอบการโรงงานอุต-สาหกรรมอาหาร กลุ่มแม่บ้านเกษตรกร/กลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ตำบล และกลุ่มแม่บ้าน/พ่อบ้าน ปริมาณการใช้แป้งมากที่สุด 4 อันดับแรกของ 3 กลุ่มนี้ คือ แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียว ตามลำดับ ส่วนปริมาณการใช้แป้งมากที่สุด 4 อันดับแรกของกลุ่มพนักงาน/ผู้ประกอบการร้านค้าผลิตภัณฑ์อาหาร คือ แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียว ตามลำดับ จากการสำรวจทำให้ทราบว่าแป้งข้าวเจ้า และแป้งสาลี เป็นแป้งที่

มีปริมาณการใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมอาหาร รองลงมาคือ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียว ส่วนแป้งถั่วเขียว แป้งข้าวโพด และแป้งเท้ายายม่อมเป็นแป้งที่มีปริมาณการใช้น้อยที่สุด

ตารางที่ 14 การสำรวจปริมาณการใช้แป้ง

กลุ่ม	ชนิด	ความถี่ที่แต่ละอันดับคะแนน*			ผลรวมคะแนนปริมาณการใช้แป้ง**
		1	2	3	
พนักงาน / ผู้ประกอบการโรงงานอุตสาห-กรรมอาหาร	แป้งข้าวเจ้า	37	0	1	112
	แป้งข้าวโพด	3	7	2	25
	แป้งข้าวเหนียว	0	15	11	41
	แป้งถั่วเขียว	1	0	1	4
	แป้งมันสำปะหลัง	0	13	17	43
	แป้งสาลี	11	17	0	67
	แป้งเท้ายายม่อม	0	0	1	1
พนักงาน / ผู้ประกอบการร้านค้าผลิตภัณฑ์อาหาร	แป้งข้าวเจ้า	41	52	13	240
	แป้งข้าวโพด	0	1	1	3
	แป้งข้าวเหนียว	9	22	22	93
	แป้งถั่วเขียว	3	3	7	22
	แป้งมันสำปะหลัง	12	26	32	120
	แป้งสาลี	67	26	18	271
	แป้งเท้ายายม่อม	0	2	4	8
กลุ่มแม่บ้านเกษตรกร / กลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ตำบล	แป้งข้าวเจ้า	38	60	22	256
	แป้งข้าวโพด	2	1	1	9
	แป้งข้าวเหนียว	5	11	39	76
	แป้งถั่วเขียว	3	14	12	49
	แป้งมันสำปะหลัง	31	15	25	148
	แป้งสาลี	57	28	18	245
	แป้งเท้ายายม่อม	0	7	2	16

ตารางที่ 14 (ต่อ)

กลุ่ม	ชนิด	ความถี่ที่แต่ละอันดับคะแนน*			ผลรวมคะแนนปริมาณการใช้แป้ง**
		1	2	3	
แม่บ้าน / พ่อบ้าน	แป้งข้าวเจ้า	38	16	14	160
	แป้งข้าวโพด	0	1	0	2
	แป้งข้าวเหนียว	2	16	30	68
	แป้งถั่วเขียว	2	0	5	11
	แป้งมันสำปะหลัง	10	14	15	73
	แป้งสาลี	28	31	9	155
	แป้งเท้ายายม่อม	0	2	6	10

หมายเหตุ * อันดับคะแนน 1, 2, 3 คือ ปริมาณการใช้จากมากไปหาน้อย

** ผลรวมของปริมาณการใช้แป้งคำนวณโดยการถ่วงน้ำหนักดังภาคผนวก ก

การสำรวจความคิดเห็นของผู้ใช้แป้งหรือฟลาวในผลิตภัณฑ์อาหาร แสดงดังตารางที่ 15 จากผลการสำรวจที่ได้ เมื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอาชีพของกลุ่มผู้ใช้ฟลาวกับความคิดเห็นของผู้ใช้ โดยการวิเคราะห์ค่า χ^2 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมดรู้จักฟลาวมันสำปะหลังมาก่อนร้อยละ 25 โดยกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร/กลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ตำบล เป็นกลุ่มที่มีสัดส่วนผู้รู้จักฟลาวมันสำปะหลังมาก่อนสูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมดมีความสนใจที่จะทดลองใช้ฟลาวมันสำปะหลังร้อยละ 98 ราคาของฟลาวมันสำปะหลังเมื่อเปรียบเทียบกับราคาของแป้งมันสำปะหลังควรมีราคาถูกกว่า ราคาเท่ากัน และราคาสูงกว่า เท่ากับร้อยละ 49 46 และ 5 ตามลำดับ โดยพบว่ากลุ่มพนักงาน/ผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร, กลุ่มแม่บ้านเกษตรกร/กลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ตำบล และกลุ่มแม่บ้าน/พ่อบ้าน ต้องการให้ฟลาวมันสำปะหลังมีราคาเท่ากับแป้งมันสำปะหลัง ส่วนกลุ่มพนักงาน/ผู้ประกอบการร้านค้าผลิตภัณฑ์อาหารมีความต้องการให้ฟลาวมันสำปะหลังมีราคาถูกกว่าราคาแป้งมันสำปะหลัง ผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมดร้อยละ 95 เห็นว่า ฟลาวมันสำปะหลังควรมีอายุการเก็บได้มากกว่า 6 เดือน โดยพบว่ากลุ่มพนักงาน/ผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร, กลุ่มแม่บ้านเกษตรกร/กลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ตำบล ต้องการให้ฟลาวมันสำปะหลังมีอายุการเก็บรักษามากกว่า 9 เดือนแต่ไม่เกิน 12 เดือน และกลุ่มพนักงาน/ผู้ประกอบการร้านค้าผลิตภัณฑ์อาหาร และกลุ่มแม่บ้าน/พ่อบ้าน ต้องการให้ฟลาวมันสำปะหลังมีอายุการเก็บรักษามากกว่า 6 เดือนแต่ไม่เกิน 9 เดือน และผู้ตอบแบบสอบถามทั้ง

หมดร้อยละ 99 เห็นด้วยที่ควรมีการผลิตฟลาวมันสำปะหลังออกจำหน่ายในระดับอุตสาหกรรม ส่วนผู้ตอบแบบสอบถามที่ไม่เห็นด้วยว่าควรผลิตในระดับอุตสาหกรรมเนื่องจากผู้ใช้แป้งและฟลาวยังมีความกังวลเกี่ยวกับเรื่องความปลอดภัยของสารไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ในมันสำปะหลังต่อการนำมาบริโภค

ตารางที่ 15 ความคิดเห็นของผู้ใช้ฟลาวในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีต่อฟลาวมันสำปะหลังไซยาไนด์ต่ำ

(n=400)

ความคิดเห็น	ความถี่					*p-value*
	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4	รวม	
การรู้จักฟลาวมันสำปะหลัง						0.004**
รู้จัก	13	19	45	23	100	
	(3.3)	(4.8)	(11.3)	(5.8)	(25.0)	
ไม่รู้จัก	39	113	91	57	300	
	(9.8)	(28.3)	(22.8)	(14.3)	(75.0)	
ความสนใจที่จะนำฟลาวมันสำปะหลังไซยาไนด์ต่ำไปทดลองใช้						0.962
สนใจ	51	130	133	78	392	
	(12.8)	(32.5)	(33.3)	(19.5)	(98.0)	
ไม่สนใจ	1	2	3	2	8	
	(0.3)	(0.5)	(0.8)	(0.5)	(2.0)	

ตารางที่ 15 (ต่อ)

(n=400)

ความคิดเห็น	ความถี่					*p-value*
	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4	รวม	
ราคาของฟลาวมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับราคาของแป้งมันสำปะหลัง						0.001**
ราคาถูกกว่า	8 (2.0)	104 (26.0)	55 (13.8)	29 (7.3)	196 (49.0)	
ราคาเท่ากัน	43 (10.8)	26 (6.5)	75 (18.8)	40 (10.0)	184 (46.0)	
ราคาสูงกว่า	1 (0.3)	2 (0.5)	6 (1.5)	11 (2.8)	20 (5.0)	
อายุการเก็บฟลาวมันสำปะหลัง						0.001**
น้อยกว่า 6 เดือน	1 (0.3)	3 (0.8)	3 (0.8)	13 (3.3)	20 (5.0)	
มากกว่า 6 เดือนแต่ไม่เกิน 9 เดือน	23 (5.8)	83 (20.8)	62 (15.5)	36 (9.0)	204 (51.0)	
มากกว่า 9 เดือนแต่ไม่เกิน 12 เดือน	27 (6.8)	39 (9.8)	69 (17.3)	21 (5.3)	156 (39.0)	
มากกว่า 12 เดือน	1 (0.3)	7 (1.8)	2 (0.5)	10 (2.5)	20 (5.0)	

ตารางที่ 15 (ต่อ)

(n=400)

ความคิดเห็น	ความถี่					*p-value*
	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4	รวม	
ควรมีการส่งเสริมสนับสนุนให้มีการผลิตฟลาวมันสำปะหลังในระดับอุตสาหกรรม						0.574
เห็นด้วย	52 (13.0)	130 (32.5)	134 (33.5)	80 (20.0)	396 (99.0)	
ไม่เห็นด้วย	0 (0.0)	2 (0.5)	2 (0.5)	0 (0.0)	4 (1.0)	

หมายเหตุ

กลุ่ม 1 คือ พนักงาน / ผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร

กลุ่ม 2 คือ พนักงาน / ผู้ประกอบการร้านค้าผลิตภัณฑ์อาหาร

กลุ่ม 3 คือ กลุ่มแม่บ้านเกษตรกร / กลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ตำบล

กลุ่ม 4 คือ แม่บ้าน / พ่อบ้าน

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ร้อยละ

** หมายถึง ข้อมูลมีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ $p \leq 0.01$

จากผลการสำรวจที่ได้ เมื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับปัจจัยของความคิดเห็นของผู้ใช้ โดยการวิเคราะห์ค่า χ^2 ผลความสัมพันธ์แสดงดังตารางที่ 16 ถึง 19

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างเพศกับการรู้จักฟลาวมันสำปะหลัง พบว่าสัดส่วนการรู้จักฟลาวมันสำปะหลังมาก่อนในเพศชายสูงกว่าเพศหญิง ผลดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างเพศกับการรู้จักฟลาวมันสำปะหลัง

การรู้จักฟลาวมันสำปะหลัง	ความถี่ในแต่ละเพศ		*p-value*
	ชาย	หญิง	
รู้จัก	41 (10.3)	59 (14.7)	
ไม่รู้จัก	75 (18.8)	225 (56.2)	
รวม	116 (29.0)	284 (71.0)	0.002**

หมายเหตุ ** หมายถึง ข้อมูลมีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ $p \leq 0.01$

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับการรู้จักฟลาวมันสำปะหลัง พบว่าสัดส่วนการรู้จักต่อการไม่รู้จักฟลาวมันสำปะหลังในกลุ่มอายุ 26-35 ปี มีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มที่มีอายุ 15-25 ปี, 36-45 ปี และมากกว่า 45 ปี ตามลำดับ ผลดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับการรู้จักฟลาวมันสำปะหลัง

การรู้จักฟลาวมันสำปะหลัง	ความถี่ในแต่ละอายุ				*p-value*
	15-25 ปี	26-35 ปี	36-45 ปี	มากกว่า 45 ปี	
รู้จัก	18 (4.5)	39 (9.7)	27 (6.8)	16 (4.0)	
ไม่รู้จัก	62 (15.5)	53 (13.3)	105 (26.2)	80 (20.0)	
รวม	80 (20.0)	92 (23.0)	132 (33.0)	96 (24.0)	0.002**

หมายเหตุ ** หมายถึง ข้อมูลมีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ $p \leq 0.01$

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการศึกษากับการรู้จักฟลาวมันสำปะหลัง พบว่ากลุ่มการศึกษาต่ำกว่าระดับปริญญาตรี และการศึกษาระดับปริญญาตรี มีสัดส่วนการไม่รู้จักฟลาวมันสำปะหลังสูงกว่าการรู้จัก ส่วนกลุ่มที่มีการศึกษาสูงกว่าปริญญาตรีพบว่ามีสัดส่วนการรู้จักฟลาวมันสำปะหลังสูงกว่า ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างการศึกษากับการรู้จักฟลาวมันสำปะหลัง

การรู้จักฟลาวมันสำปะหลัง	ความถี่ในแต่ละระดับการศึกษา			*p-value*
	ต่ำกว่าปริญญาตรี	ปริญญาตรี	สูงกว่าปริญญาตรี	
รู้จัก	11 (2.7)	54 (13.5)	35 (8.7)	
ไม่รู้จัก	121 (30.3)	158 (39.5)	21 (5.3)	
รวม	132 (33.0)	212 (53.0)	56 (14.0)	0.001**

หมายเหตุ ** หมายถึง ข้อมูลมีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ $p \leq 0.01$

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการศึกษากับความคิดเห็นในการผลิตฟลาวมันสำปะหลังในระดับอุตสาหกรรม พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เห็นด้วยว่าควรผลิตฟลาวมันสำปะหลังในระดับอุตสาหกรรม แต่ส่วนที่ไม่เห็นด้วยว่าควรผลิตในระดับอุตสาหกรรม คือกลุ่มผู้มีการศึกษาต่ำกว่าปริญญาตรี ซึ่งมีความกังวลและยังไม่มั่นใจในความปลอดภัยของสารไซยาไนด์ที่หลงเหลืออยู่ว่าปลอดภัยจริงหรือไม่ ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างการศึกษากับความคิดเห็นในการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

ความคิดเห็นในการผลิตในระดับอุตสาหกรรม	ความถี่ในแต่ละระดับการศึกษา			*p-value*
	ต่ำกว่าปริญญาตรี	ปริญญาตรี	สูงกว่าปริญญาตรี	
เห็นด้วย	128 (32.0)	212 (53.0)	56 (14.0)	
ไม่เห็นด้วย	4 (1.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	
รวม	132 (33.0)	212 (53.0)	56 (14.0)	0.003**

หมายเหตุ ** หมายถึง ข้อมูลมีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ $p \leq 0.01$

ดังนั้นในการพัฒนาการผลิตฟลาวมันสำปะหลังไซยาไนด์ต่ำเพื่อการใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารจะมุ่งเน้นไปในผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียว เป็นส่วนผสมหลัก เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่มีการใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารในปริมาณที่มาก และฟลาวมันสำปะหลังที่ทำการพัฒนาต้องมีอายุการเก็บรักษาได้สูงกว่า 6 เดือน ซึ่งจากการสำรวจความต้องการของผู้ใช้ฟลาวส่วนใหญ่พบว่ามีความต้องการให้ฟลาวมันสำปะหลังมีอายุการเก็บรักษามากกว่า 6 เดือน โดยราคาของฟลาวมันสำปะหลังที่ผลิตได้ควรมีราคาถูกว่าหรือเท่ากับราคาของแป้งมันสำปะหลัง เพื่อการพัฒนาไปสู่การผลิตฟลาวมันสำปะหลังไซยาไนด์ในระดับอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต ควรมีการประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนทั่วไปทราบว่าฟลาวมันสำปะหลังคืออะไร สามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อะไร เนื่องจากประชาชนทั่วไปยังรู้จักฟลาวมันสำปะหลังในสัดส่วนที่น้อยมาก ซึ่งจะเป็นการช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังให้มากยิ่งขึ้น และช่วยลดการใช้แป้งทางการค้าโดยเฉพาะแป้งสาลีที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศได้ทางหนึ่ง นอกจากนี้ควรต้องให้ความรู้กับประชาชนทั่วไปว่าไซยาไนด์ที่มีในมันสำปะหลังคืออะไร มีพิษภัยอย่างไร การมีกรรมวิธีในการกำจัดไซยาไนด์อย่างถูกต้อง และมีวิธีการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ที่ถูกต้องและแม่นยำ จะเป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้ผู้บริโภคมีความมั่นใจในการที่จะนำฟลาวมันสำปะหลังไปใช้ในการบริโภคต่อไป

2. <u>การสำรวจปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูก</u>

จากการสำรวจพื้นที่การเพาะปลูกมันสำปะหลัง (ตารางที่ 6) พบว่าพันธุ์มันสำปะหลังที่เกษตรกรนิยมปลูก 4 อันดับแรกของประเทศเรียงตามลำดับ คือ มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (KU 50), ระยอง 5 (R 5), ระยอง 90 (R 90), และระยอง 72 (R 72) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการสำรวจปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังที่เกษตรกรนิยมปลูกทั้ง 4 พันธุ์ และมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 (HB 60) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่โดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 นี้เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตและปริมาณแป้งสูง รวมทั้งแป้งที่ผลิตได้จากมันสำปะหลังพันธุ์นี้จะมีความหนืดสูง ในงานวิจัยนี้จึงทำการสำรวจมันสำปะหลังทั้ง 5 พันธุ์ ในการสำรวจได้ทำการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังที่อายุการเก็บเกี่ยว 10.5 เดือน ที่ทำการปลูกในช่วงก่อนและหลังฤดูฝน จำนวน 92 และ 62 ตัวอย่าง ตามลำดับ จากผลการสำรวจพบว่าส่วนประกอบของหัวมันสำปะหลังประกอบด้วยส่วนของเปลือกและส่วนเนื้อ โดยมีผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 20 โดยพบว่าหัวมันสำปะหลังประกอบด้วยส่วนเปลือกและเนื้อ ร้อยละ 16–18 และ 82-84 โดยน้ำหนักสดตามลำดับ หรือร้อยละ 12–13 และ 87-88 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่ามันสำปะหลังที่ทำการปลูกก่อนฤดูฝนจะมีเปลือกเป็นส่วนประกอบสูงกว่าการปลูกหลังฤดูฝน และมีเนื้อเป็นส่วนประกอบต่ำกว่าการปลูกหลังฤดูฝน เมื่อทำการเปรียบเทียบเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

<u>ตารางที่ 20</u> ส่วนประกอบของเปลือกและเนื้อในหัวมันสำปะหลังที่ปลูกก่อนและหลังฤดูฝน

ตัวอย่าง	ค่า	โดยน้ำหนักสด (%)		โดยน้ำหนักแห้ง (%)	
		เปลือก	เนื้อ	เปลือก	เนื้อ
ปลูกก่อนฤดูฝน	ค่าเฉลี่ย	18 ± 3^{a}	82 ± 3^{b}	13 ± 3^{a}	87 ± 3^{b}
(n=92)	ค่าต่ำสุด	14	74	8	78
	ค่าสูงสุด	26	86	22	92
ปลูกหลังฤดูฝน	ค่าเฉลี่ย	16 ± 3^{b}	84 ± 3^{a}	12 ± 3^{b}	88 ± 3^{a}
(n=62)	ค่าต่ำสุด	9	76	7	81
	ค่าสูงสุด	24	91	19	93

<u>หมายเหตุ</u> n คือ จำนวนตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์

a, b, c…ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังที่ทำการปลูกก่อนช่วงฤดูฝน และหลังฤดูฝน ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 21 พบว่าปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดโดยน้ำหนักแห้งในมันสำปะหลังที่ปลูกก่อนฤดูฝน จะตรวจพบปริมาณไซยาไนด์ในส่วนเปลือก ในเนื้อ และในหัวมันสำปะหลัง ในช่วง 1,271–6,923 106–1,922 และ 231–2,510 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยของปริมาณไซยาไนด์ในส่วนเปลือก ในเนื้อ และในหัวมันสำปะหลัง เท่ากับ 2,739±937, 492±309 และ 790±371 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดโดยน้ำหนักแห้งในมันสำปะหลังที่ปลูกหลังฤดูฝน จะตรวจพบปริมาณไซยาไนด์ในส่วนเปลือก ในเนื้อ และในหัวมันสำปะหลัง ในช่วง 1,185–5,766, 154–1,733 และ 314– 2,237 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยของปริมาณไซยาไนด์ในส่วนเปลือก ในเนื้อ และในหัวมันสำปะหลัง เท่ากับ 2,958±1,012, 563±300 และ 854±374 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดโดยน้ำหนักแห้งในส่วนเปลือก ส่วนเนื้อ และหัวมันสำปะหลังที่ทำการปลูกก่อนและหลังฤดูฝน มีปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดเปรียบเทียบในส่วนเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 21 ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในมันสำปะหลังที่ปลูกก่อนและหลังฤดูฝน

ตัวอย่าง		ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมด โดยน้ำหนักแห้ง (mg/kg)		
		ในเปลือก	ในเนื้อ	ในหัว
ปลูกก่อนฤดูฝน	ค่าเฉลี่ย	2,739 ± 937 [a]	492 ± 309 [a]	790 ± 371 [a]
(n=92)	ค่าต่ำสุด	1,271	106	231
	ค่าสูงสุด	6,923	1,922	2,510
ปลูกหลังฤดูฝน	ค่าเฉลี่ย	2,958 ± 1,012 [a]	563 ± 300 [a]	854 ± 374 [a]
(n=62)	ค่าต่ำสุด	1,185	154	314
	ค่าสูงสุด	5,766	1,733	2,237

หมายเหตุ n คือ จำนวนตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์

a, b, c…ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 22 สัดส่วนของปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในมันสำปะหลังที่ปลูกก่อนและหลังฤดูฝน

ตัวอย่าง		สัดส่วนของปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมด โดยน้ำหนักแห้ง (mg/kg)	
		ในเปลือก	ในเนื้อ
ปลูกก่อนฤดูฝน	ค่าเฉลี่ย	49 ± 10 [a]	51 ± 10 [b]
(n=92)	ค่าต่ำสุด	29	31
	ค่าสูงสุด	69	71
ปลูกหลังฤดูฝน	ค่าเฉลี่ย	44 ± 10 [b]	56 ± 10 [a]
(n=62)	ค่าต่ำสุด	23	28
	ค่าสูงสุด	72	77

หมายเหตุ n คือ จำนวนตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์

a, b, c…ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อคำนวณเป็นร้อยละของปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดโดยน้ำหนักแห้งพบว่าไซยาไนด์ทั้งหมดอยู่ในส่วนของเปลือกและเนื้อ ร้อยละ 44-49 และ 51–56 ตามลำดับ ผลแสดงดังตารางที่ 22 ดังนั้นการเอาส่วนเปลือกออกก่อนการนำไปบริโภคสามารถลดปริมาณไซยาไนด์ที่มีอยู่ในหัวมันสำปะหลังได้มากกว่าร้อยละ 40 เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าสัดส่วนร้อยละปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในส่วนเปลือกของมันที่ปลูกก่อนฤดูฝนมีร้อยละปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดสูงกว่าในเปลือกของมันสำปะหลังที่ปลูกหลังฤดูฝน และพบว่าปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในส่วนเนื้อของมันที่ปลูกก่อนฤดูฝนจะมีสัดส่วนร้อยละปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดต่ำกว่ามันที่ปลูกหลังฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการปลูกก่อนฤดูฝนหัวมันสำปะหลังจะมีเปลือกเป็นส่วนประกอบที่สูงกว่าและมีเนื้อเป็นส่วนประกอบที่ต่ำกว่าการปลูกหลังฤดูฝน (ผลแสดงดังตารางที่ 20)

โดยปกติในหัวมันสำปะหลังแต่ละพันธุ์จะมีปริมาณของไซยาไนด์แตกต่างกันมาก โดยอาจพบหัวมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จนถึงหัวมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์มากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักหัวสด (O'Brien และคณะ, 1994) มันสำปะหลังสามารถแบ่งออกได้อย่างกว้าง ๆ เป็น 2 ชนิด ได้แก่ ชนิดขมและชนิดหวาน โดยขึ้นอยู่กับปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลัง ปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลังสามารถพบในปริมาณที่สูงได้ ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยแวดล้อมของการเพาะปลูก เช่น สภาวะแล้ง โรคและแมลง ทั้งนี้การแบ่งกลุ่มมันสำปะหลังสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามระดับความเป็นพิษ ได้แก่

กลุ่มที่ 1ไม่เป็นพิษ (innocuous) มีปริมาณไซยาไนด์น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเนื้อมันสำปะหลังสด กลุ่มที่ 2 มีพิษปานกลาง (moderately poisonous) มีปริมาณไซยาไนด์ 50-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเนื้อมันสำปะหลังสด และกลุ่มที่ 3 มีพิษระดับที่รุนแรง (dangerous poisonous) มีปริมาณไซยาไนด์มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเนื้อมันสำปะหลังสด (Coursey, 1973) ซึ่งถ้านำมาคำนวณคิดต่อกิโลกรัมเนื้อมันสำปะหลังแห้ง โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองพบว่าปกติเนื้อมันสำปะหลังจะมีความชื้นอยู่ที่ประมาณร้อยละ 60.81±4.96 (n=154) ดังนั้นเมื่อคำนวณปริมาณไซยาไนด์เป็นต่อน้ำหนักเนื้อมันสำปะหลังแห้ง กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 จะมีปริมาณไซยาไนด์คิดต่อกิโลกรัมน้ำหนักเนื้อมันสำปะหลังแห้งอยู่ที่ น้อยกว่า 128 ระหว่าง 128 – 255 และมากกว่า 255 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเนื้อมันสำปะหลังแห้ง ตามลำดับ ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 การแบ่งกลุ่มมันสำปะหลังตามระดับความเป็นพิษจากปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดที่มีอยู่ในเนื้อมันสำปะหลัง เมื่อคำนวณต่อน้ำหนักแห้ง

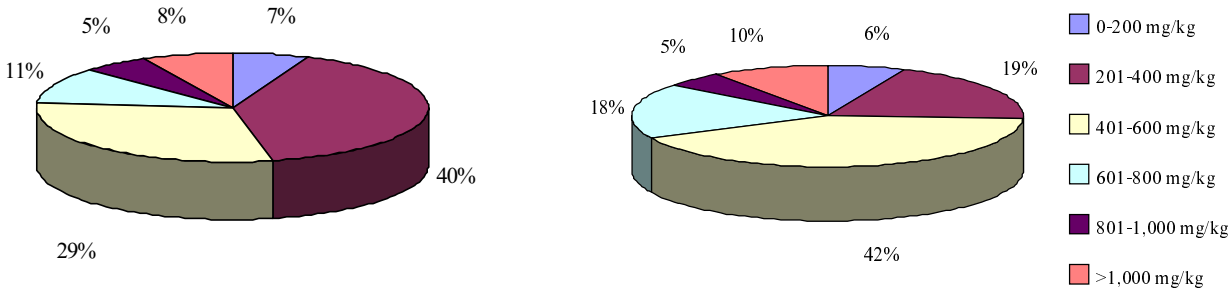
ระดับความเป็นพิษ	ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในเนื้อมันสำปะหลัง โดยน้ำหนักแห้ง (mg / kg)
กลุ่มที่ 1 ไม่เป็นพิษ (innocuous)	< 128
กลุ่มที่ 2 เป็นพิษปานกลาง (moderately poisonous)	128 - 255
กลุ่มที่ 3 เป็นพิษรุนแรง (dangerous poisonous)	> 255

หมายเหตุ ความชื้นเนื้อมันสำปะหลังเฉลี่ยร้อยละ 60.81 ± 4.96 (n=154)

ปริมาณไซยาไนด์ที่เป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์นั้น อยู่ในระดับ 0.5-3.5 มิลลิกรัมของสมมูลไฮโดรเจนไซยาไนด์ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว (mg HCN_{eq}/kg) (Bradbury และคณะ, 1991) จะเห็นว่าไซยาไนด์นั้นเป็นอันตรายอย่างมากสำหรับเด็กเนื่องจากเด็กมีน้ำหนักตัวที่ต่ำ ส่วนปริมาณไซยาไนด์ในผลิตภัณฑ์อาหารจากมันสำปะหลังในระดับที่ปลอดภัยนั้น มีกำหนดไว้ใน Codex Alimentarius Commission (1989) โดย FAO/WHO ให้อยู่ในระดับไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีรายงานว่าพบมันสำปะหลังชนิดที่ไม่มีไซยาไนด์

พบแต่มันสำปะหลังชนิดที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ คือ มันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที และมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 2 มันสำปะหลังส่วนใหญ่ที่นิยมปลูกในประเทศไทยจะเป็นชนิดขมซึ่งมีปริมาณไซยาไนด์สูง เช่น ระยอง 5, ระยอง 72, ระยอง 90 เกษตรศาสตร์ 50 และห้วยบง 60 เนื่องจากในอดีตยังไม่ได้ให้ความสำคัญกับเรื่องปริมาณไซยาไนด์มากนัก นักปรับปรุงพันธุ์จึงมุ่งเน้นแต่การคัดเลือกพันธุ์และปรับปรุงเพื่อให้ได้สายพันธุ์ที่มีปริมาณแป้งสูง ในปัจจุบันทั่วโลกได้คำนึงถึงความปลอดภัยของผู้บริโภค การสำรวจปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังพันธุ์ที่นิยมปลูกของเกษตรกรในงานวิจัยนี้ จะนำมาใช้เป็นข้อมูลในการที่จะนำมันสำปะหลังไปใช้ประโยชน์ในการบริโภคต่อไป

มันสำปะหลังที่เก็บมาวิเคราะห์ทั้งหมดปลูกในสภาพไร่ ปริมาณไซยาไนด์ที่มีอยู่ในหัวมันสำปะหลังจึงมีค่าค่อนข้างสูงถึงสูงมาก โดยพบว่ามันสำปะหลังชนิดขมทั้งหมดที่ทำการสำรวจเกือบทั้งหมดมีปริมาณไซยาไนด์ในเนื้อมันสำปะหลังในระดับที่เป็นพิษรุนแรง ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ถ้านำมันสำปะหลังชนิดขมนี้มาบริโภคโดยตรง โดยร้อยละ 90 ของมันสำปะหลังที่ทำการเก็บเกี่ยวจะมีปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในเนื้อมันสำปะหลังมากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 10) การปลูกมันสำปะหลังในช่วงก่อนฤดูฝนพบว่าการกระจายตัวของปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในเนื้อมันสำปะหลังจะอยู่ในช่วง 200–400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง ถึงร้อยละ 40 ส่วนมันสำปะหลังที่ทำการปลูกในช่วงหลังฤดูฝนพบว่าการกระจายตัวของปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในเนื้อมันสำปะหลังจะอยู่ในช่วงที่สูงขึ้น คืออยู่ในช่วง 401–600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง ถึงร้อยละ 42 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Santisopasri *et al*. (2001) ซึ่งรายงานว่าหัวมันสำปะหลังที่เก็บเกี่ยวที่อายุ 10 เดือน จากมันสำปะหลังชุดที่ทำการปลูกก่อนฤดูฝนจะตรวจพบปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในเนื้อมันสำปะหลังต่ำกว่าในชุดที่ทำการเก็บเกี่ยวจากแปลงที่ปลูกหลังฤดูฝน

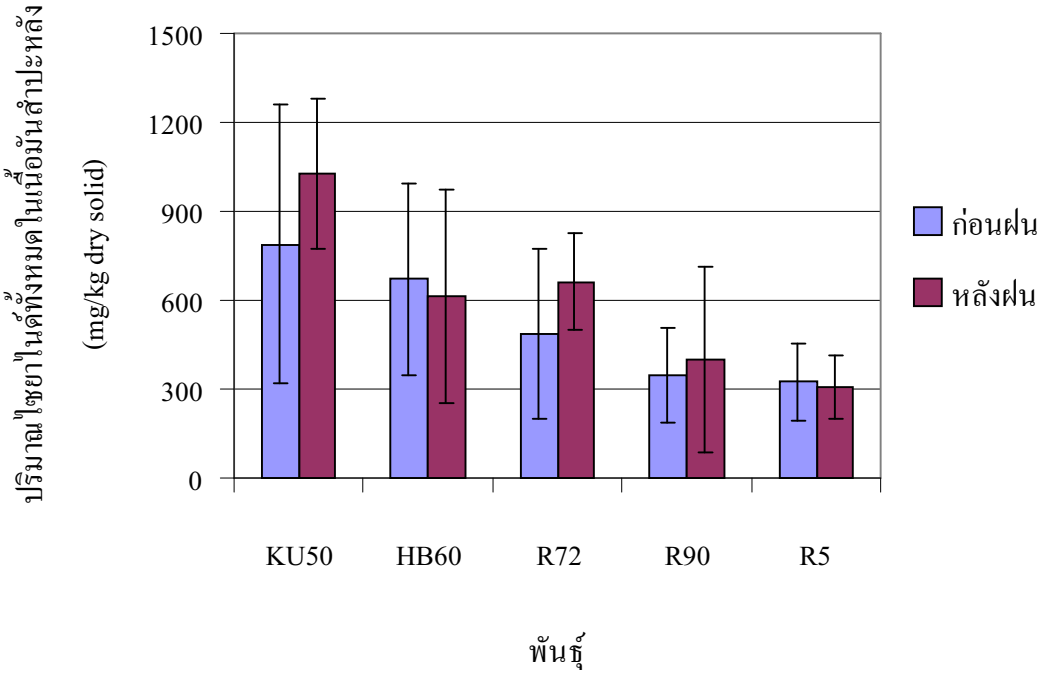


(ก) (ข)

ภาพที่ 10 สัดส่วนของปริมาณไซยาไนด์ในเนื้อมันสำปะหลังที่

(ก) ปลูกก่อนฤดูฝน

(ข) ปลูกหลังฤดูฝน



ภาพที่ 11 ปริมาณไซยาไนด์ในเนื้อมันสำปะหลังพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกที่ปลูกก่อนและหลังฤดูฝน

หมายเหตุ KU50 คือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50, HB60 คือ พันธุ์ห้วยบง 60, R72 คือ พันธุ์ระยอง 72, R90 คือ พันธุ์ระยอง 90 และ R5 คือ พันธุ์ระยอง 5

จากตัวอย่างมันสำปะหลังทั้งหมดที่ทำการสำรวจ ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดที่มีอยู่ในเนื้อมันสำปะหลังที่ปลูกในช่วงก่อนและหลังฤดูฝน โดยวิเคราะห์แยกตามพันธุ์ที่เป็นที่นิยมของเกษตรกรทั้งหมด 5 พันธุ์ ได้แก่ ห้วยบง 60 (HB60), เกษตรศาสตร์ 50 (KU50), ระยอง 5 (R5), ระยอง 72 (R72) และระยอง 90 (R90) ผลการตรวจวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 11 โดยพบว่ามันสำปะหลังที่ทำการปลูกในช่วงก่อนฤดูฝนบางพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ห้วยบง 60 และพันธุ์ระยอง 5 จะมีแนวโน้วปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในเนื้อมันสำปะหลังสูงกว่าการปลูกในช่วงหลังฤดูฝน แต่มีมันสำปะหลังบางพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ระยอง 72 และระยอง 90 กลับพบว่าการปลูกมันสำปะหลังในช่วงหลังฤดูฝนกลับทำให้เนื้อมันสำปะหลังในพันธุ์ดังกล่าวมีแนวโน้มของปริมาณไซยาไนด์ในเนื้อมันสำปะหลังสูงกว่าการปลูกในช่วงก่อนฤดูฝน และจากการวิเคราะห์ดูการกระจายตัวของปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดที่มีอยู่ในเนื้อมันสำปะหลัง พบว่ามันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นพันธุ์ที่มีการกระจายตัวของปริมาณไซยาไนด์ในระดับที่สูงกว่าพันธุ์ที่นิยมอื่นๆ เนื่องจากพันธุ์ห้วยบง 60 เป็นพันธุ์ใหม่ซึ่งยังไม่มีการปลูกอย่างแพร่หลาย ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงทำการคัดเลือกมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นต้นแบบสำหรับการศึกษาและพัฒนากระบวนการลดปริมาณไซยาไนด์ในขั้นตอนการผลิตเพื่อผลิตฟลาวมันสำปะหลังที่มีระดับไซยาไนด์ที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค (ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง) และคาดว่ากระบวนการลดปริมาณไซยาไนด์ที่ได้จากงานวิจัย จะสามารถนำไปใช้กับมันสำปะหลังพันธุ์อื่นๆ ได้ต่อไป

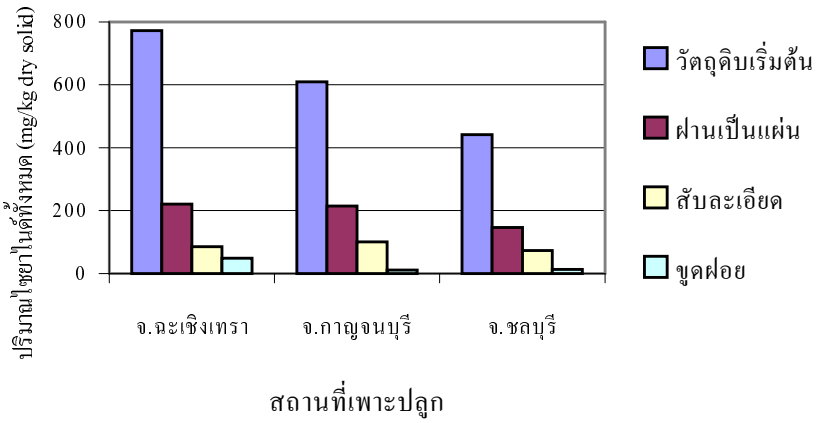
3. <u>การพัฒนากระบวนการผลิตฟลาวมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ให้มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง</u>

การพัฒนากระบวนการผลิตฟลาวมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นข้อกำหนดความปลอดภัยที่ FAO/WHO กำหนดไว้นั้น ในการพัฒนากระบวนการผลิตจะใช้มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นต้นแบบ เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่มีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุดในประเทศ และเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณไซยาไนด์อยู่ในระดับที่สูงมาก โดยคาดว่าต้นแบบที่ได้จะสามารถนำไปใช้กับมันสำปะหลังพันธุ์ต่างๆ ได้ โดยในงานวิจัยได้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ของกระบวนการผลิตต่อการลดปริมาณไซยาไนด์ ได้แก่ 1) การลดขนาดของหัวมันสำปะหลังต่อการลดปริมาณไซยาไนด์ (การฝานเป็นแผ่น การสับละเอียด และการขูดฝอย) 2) การใช้แรงกดคั้นน้ำขมออกต่อการลดปริมาณไซยาไนด์ (0-15 MPa) และ 3) ระยะเวลาในการบ่มต่อการลดปริมาณไซยาไนด์ (0 ถึง 4 ชั่วโมง) ทำการศึกษาผลของแต่ละปัจจัยต่อการลดปริมาณไซยาไนด์และการใช้ปัจจัยต่างๆ ร่วมกันต่อการลดปริมาณไซยาไนด์ เพื่อให้ได้กระบวนการผลิตที่

มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์และได้ผลิตภัณฑ์ คือ ฟลาวมันสำปะหลังอบแห้งที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง โดยผลการทดลองที่ได้แสดงดังต่อไปนี้

3.1 ผลของการลดขนาดต่อการลดปริมาณไซยาไนด์

การศึกษาผลของการลดขนาดต่อการลดปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมด โดยการฝานเป็นแผ่นบาง การสับละเอียด และการขูดฝอย ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 12 พบว่าในเนื้อมันสำปะหลังเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองจาก 3 สถานที่ปลูก คือ จากจังหวัดฉะเชิงเทรา กาญจนบุรี และชลบุรี มีปริมาณไซยาไนด์เริ่มต้นในเนื้อมันสำปะหลังเท่ากับ 772, 609 และ 442 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง (มิลลิกรัมเทียบเท่าไฮโดรเจนไซยาไนด์ต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักแห้ง (mg HCN equivalent kg^{-1}), mg/kg หรือ ppm) คิดเป็นปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดโดยเฉลี่ยประมาณ 608$\pm$165 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง จากการทดลองพบว่ากรรมวิธีในการลดขนาดของตัวอย่างโดยวิธีการฝาน การสับละเอียด และการขูดฝอย สามารถลดปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในฟลาวมันสำปะหลังลงได้ และทำให้เหลือไซยาไนด์ทั้งหมดอยู่ในฟลาวมันสำปะหลังเท่ากับ 32 $\pm$ 3, 15 $\pm$ 3, และ 4 $\pm$ 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ



ภาพที่ 12 ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดโดยน้ำหนักแห้ง เมื่อทำการเตรียมเนื้อมันสำปะหลังด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ภายหลังการอบแห้ง

ตารางที่ 24 ผลจากการเตรียมตัวอย่างโดยวิธีการที่แตกต่างกันต่อร้อยละการลดลงของปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดภายหลังการอบแห้ง

วิธีการเตรียมตัวอย่าง	การลดลงของปริมาณไซยาไนด์ (%) ในตัวอย่าง			
	จ.ฉะเชิงเทรา	จ.กาญจนบุรี	จ.ชลบุรี	เฉลี่ย
ฝานเป็นแผ่น	71	65	67	68 ± 3^{c}
สับละเอียด	89	83	84	85 ± 3^{b}
ขูดฝอย	94	98	97	96 ± 2^{a}

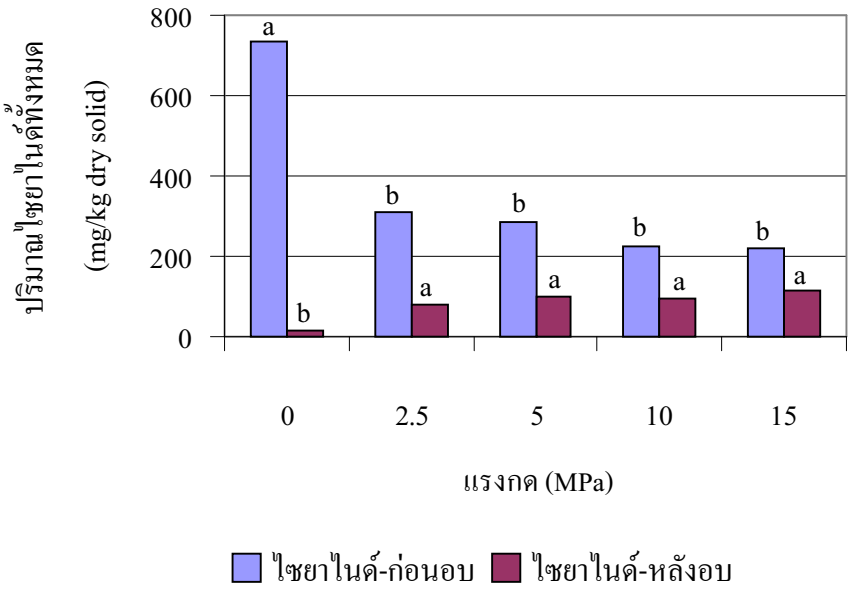
หมายเหตุ a,b,c...ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลองศึกษารูปแบบในการลดขนาด เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าการเตรียมฟลาวมันสำปะหลังแบบขูดฝอยสามารถลดปริมาณไซยาไนด์ในตัวอย่างได้ดีที่สุด รองลงมาคือการเตรียมตัวอย่างแบบสับละเอียด ส่วนการเตรียมตัวอย่างแบบฝานเป็นแผ่นสามารถลดปริมาณไซยาไนด์ได้น้อยที่สุด (ตารางที่ 24) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการลดขนาดโดยการขูดฝอยมีผลทำให้ผนังเซลเกิดการฉีกขาดมากที่สุด เอนไซม์ลินามาเรสที่มีอยู่แล้วในมันสำปะหลังตามธรรมชาติ (Haque and Bradbury, 2004) เกิดกิจกรรมเปลี่ยน bound cyanide เป็น cyanohydrin ได้มากขึ้น และสามารถเปลี่ยนเป็น free cyanide ระเหยออกไปในระหว่างการอบแห้งได้ การเตรียมตัวอย่างแบบขูดฝอยจึงทำให้ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดเหลืออยู่น้อยกว่าการเตรียมตัวอย่างแบบวิธีอื่น สอดคล้องกับผลการทดลองของ Jones และคณะ (1994) ที่พบว่าการลดขนาดโดยทำให้เซลล์ฉีกขาดมีผลต่อการลดปริมาณ bound cyanide โดยพบว่าการบดหัวมันสำปะหลังทั้งหัวโดยไม่ปอกเปลือกแบบบดละเอียดสามารถทำลาย bound cyanide ที่มีอยู่ในหัวมันสำปะหลังได้ ในขณะที่การลดขนาดโดยการขูดและการฝานเป็นแผ่นสามารถลดปริมาณ bound cyanide ลงได้ร้อยละ 70-80 และ 30 ตามลำดับ กล่าวคือการทำให้เซลล์พืชมีการฉีกขาดมากที่สุดจะมีผลทำให้เอนไซม์ลินามาเรสทำงานได้มากที่สุด แต่ในการทดลองนี้ไม่ได้เลือกการเตรียมตัวอย่างแบบบดละเอียด เนื่องจากจากการทดลองเบื้องต้น พบว่าการเตรียมตัวอย่างแบบบดละเอียดจะมีผลทำให้แป้งถูกแยกออกจากเส้นใยในปริมาณที่สูงและจะสูญเสียออกไปกับน้ำที่ถูกแยกออกจากเนื้อมัน ดังนั้นในการศึกษาขั้นต่อไปจึงคัดเลือกการเตรียมเนื้อมันสำปะหลังแบบขูดฝอย ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดได้สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ ที่ใช้ในงานทดลอง

3.2 ผลของแรงกดคั้นน้ำต่อการลดปริมาณไซยาไนด์

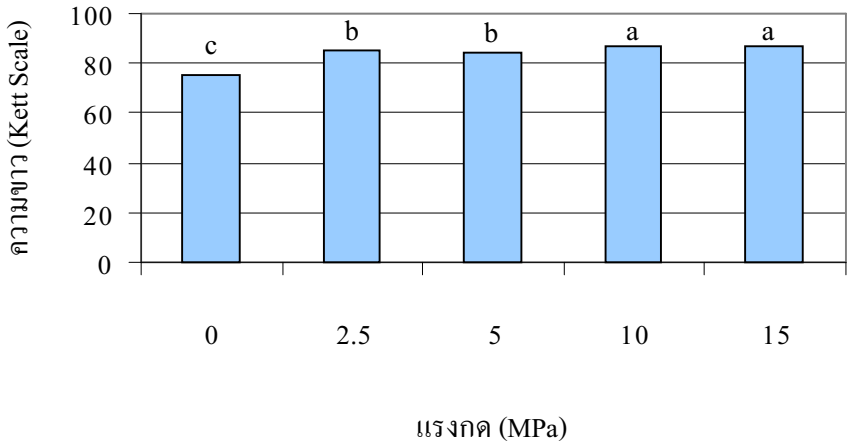
จากผลการทดลองเรื่องการลดขนาดต่อการลดปริมาณไซยาไนด์และพบว่าการลดขนาดแบบขูดฝอยสามารถลดปริมาณไซยาไนด์จากเนื้อมันสำปะหลังได้สูงสุด แต่ในขั้นตอนการอบแห้งพบว่าการทำแห้งมันสำปะหลังขูดฝอยจะทำได้ยากขึ้น เนื่องจากตัวอย่างมีขนาดที่เล็กลงทำให้ช่องว่างระหว่างตัวอย่างมีน้อย ดังนั้นจึงต้องทำการเพิ่มขั้นตอนการคั้นน้ำออกบางส่วนก่อนการทำแห้ง เพื่อให้การทำแห้งสามารถทำได้ง่ายยิ่งขึ้น ในงานวิจัยจึงทำการศึกษาผลของแรงกดคั้นน้ำในระดับต่างๆ ก่อนนำฟลาวมันสำปะหลังไปอบแห้ง ซึ่งคาดว่าจะมีผลทำให้การทำแห้งสามารถทำได้ง่ายขึ้น ผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

เมื่อศึกษาผลของการคั้นน้ำโดยแปรแรงในการกด โดยนำตัวอย่างมันสำปะหลังขูดฝอย 500 กรัม มาทำการคั้นน้ำออกด้วยแรงกดคั้นที่แตกต่างกัน คือ 0, 2.5, 5, 10 และ 15 MPa เป็นเวลา 1 นาที โดยใช้เครื่อง Mini Test Press –10 พบว่าเนื้อมันสำปะหลังสดขูดฝอยที่ผ่านการคั้นน้ำด้วยแรงกดที่มากขึ้นจะสามารถลดปริมาณไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ได้มากขึ้น แต่ตัวอย่างหลังการอบแห้งกลับพบว่าตัวอย่างที่ไม่คั้นน้ำออกเลยจะมีปริมาณไซยาไนด์เหลืออยู่น้อยกว่าตัวอย่างที่ผ่านการคั้นน้ำ (ภาพที่ 13) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการคั้นน้ำมีผลทำให้เอนไซม์ที่มีอยู่ในเนื้อมันสำปะหลังถูกกำจัดออกไปบางส่วนกับน้ำคั้น ในขณะที่ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการคั้นน้ำหรือคั้นด้วยแรงเพียงเล็กน้อยจะยังคงมีเอนไซม์ลินามาเรสอยู่ในปริมาณที่สูงกว่า เอนไซม์นี้โดยทั่วไปสามารถเกิดกิจกรรมได้ดีที่อุณหูมิ 40-55 $^{\circ}$C (Yeoh, 1989) ดังนั้นเมื่อนำเนื้อมันสำปะหลังไปอบที่อุณหภูมิ 50 $^{\circ}$C เอนไซม์ลินามาเรสยังคงมีกิจกรรมได้ (Cock, 1985) แต่การคั้นน้ำจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการอบแห้ง คือประหยัดเวลาและพลังงาน รวมทั้งช่วยเพิ่มความขาวของฟลาวที่ได้ โดยในตัวอย่างที่คั้นน้ำจะมีค่าความขาว (Kett scale) มากกกว่าตัวอย่างที่ไม่คั้นน้ำ ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 14



ภาพที่ 13 ผลของแรงกดในการคั้นน้ำต่อการลดปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในตัวอย่างฟลาวมันสำปะหลังก่อนและหลังอบแห้ง

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในกราฟสีเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 14 ผลของแรงกดในการคั้นน้ำที่มีผลต่อค่าความขาวของฟลาวมันสำปะหลังหลังการอบแห้ง

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ข้อดีของการคั้นน้ำออกก่อนการนำไปอบแห้ง คือช่วยประหยัดเวลาในการทำแห้ง ทำให้การทำแห้งทำได้เร็วขึ้น มีงานวิจัยรายงานว่าการคั้นน้ำออกจากเนื้อมันสำปะหลังจะช่วยให้ลดเวลาในการอบแห้งลงได้ โดยจะใช้เวลาในการอบเพียง 14 ถึง 16 ชั่วโมง แต่ถ้าไม่ทำการคั้นน้ำออกจะใช้เวลาในการอบถึง 30 ถึง 40 ชั่วโมง (Widowati and Hartojo, 2000) ซึ่งเป็นข้อดีที่ทำให้มีการใช้พลังงานในการอบแห้งน้อยลงและผลพลอยได้คือฟลาวที่ได้จะมีค่าความขาวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งลักษณะของฟลาวมันสำปะหลังที่ไม่คั้นน้ำและคั้นน้ำออกแสดงดังภาพที่ 15 การคั้นน้ำออกมีผลทำให้ความขาวของฟลาวมันสำปะหลังมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากตามธรรมชาติในเนื้อมันสำปะหลังจะมีสารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds) เป็นส่วนประกอบ สารประกอบฟีนอลส่วนใหญ่ที่พบในเนื้อมันสำปะหลัง คือ Scopoletin, Scopolin, Esculin, Proanthocyanidins, Catechin และ Gallocatechin (Wenham, 1995) เมื่อเนื้อเยื่อของพืชถูกทำลายสารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ถูกออกซิ-ไดซ์ด้วยออกซิเจนในอากาศ โดยมีเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น การคั้นน้ำออกจึงมีผลช่วยกำจัดสารประกอบสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกไปได้บางส่วน จึงมีผลทำให้ความขาวของฟลาวมันสำปะหลังที่คั้นน้ำมีค่าความขาวสูงกว่าฟลาวมันสำปะหลังที่ไม่คั้นน้ำออก

(ก) (ข)

ภาพที่ 15 ลักษณะของฟลาวมันสำปะหลังหลังการอบแห้ง

(ก) ไม่คั้นน้ำ

(ข) คั้นน้ำ

จากการศึกษาเรื่องแรงกดคั้นที่ใช้ในการทดลอง พบว่าเมื่อใช้แรงในการคั้นเพิ่มมากขึ้น การคั้นน้ำออกจากตัวอย่างจะแปรผันตามแรงที่ใช้คั้น โดยความชื้นที่เหลืออยู่ในตัวอย่างจะมีค่าลดลงเมื่อทำการคั้นด้วยแรงที่สูงขึ้น สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพในการแยกน้ำออกจากตัวอย่างได้ดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 การเปลี่ยนแปลงความชื้น ประสิทธิภาพการแยกน้ำ และปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดที่เหลือ เมื่อคั้นน้ำออกจากเนื้อมันสำปะหลังขูดฝอยด้วยแรงคั้นระดับต่างๆ

แรงคั้น (MPa)	ความชื้นที่เหลือ (%)	ประสิทธิภาพการแยกน้ำ (%)
0	64.53 ± 0.39 ^{a}	0.00 ± 0.00 ^{e}
2.5	47.15 ± 0.78 ^{b}	50.94 ± 1.54 ^{d}
5	45.84 ± 0.07 ^{c}	53.47 ± 0.13 ^{c}
10	42.19 ± 0.18 ^{d}	59.87 ± 0.29 ^{b}
15	40.70 ± 0.39 ^{e}	62.26 ± 0.61 ^{a}

หมายเหตุ

a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ประสิทธิภาพการแยกน้ำ (%) คำนวณจาก $\frac{\text{ปริมาณน้ำที่ถูกคั้นออกไป}}{\text{ปริมาณน้ำเริ่มต้นที่มีอยู่ในเนื้อมันสำปะหลัง}} \times 100$

เมื่อมีการให้แรงในการคั้นน้ำออกจากตัวอย่าง พบว่าอัตราในการคั้นน้ำออกจากตัวอย่างจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้นที่ให้แรงกระทำในการคั้นน้ำ โดยประสิทธิภาพในการแยกน้ำจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มแรงในการคั้นในช่วงของการให้แรงคั้นในช่วงต้นๆ (0 – 2.5 MPa) หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการคั้นจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ (2.5–15 MPa) การที่ให้แรงคั้นในช่วงต้นและพบว่าประสิทธิภาพในการคั้นน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากลักษณะโครงสร้างของเนื้อมันสำปะหลังที่มีผนังเซลล์เป็นส่วนประกอบ ซึ่งลักษณะของผนังเซลล์มีลักษณะคล้ายกับฟองน้ำ ทำหน้าที่ในการอุ้มน้ำ เมื่อให้แรงกระทำต่อผนังเซลล์ผนังเซลล์จะถูกบีบอัด น้ำที่อุ้มอยู่ภายในผนังเซลล์จะถูกแยกออกมาได้อย่างรวดเร็วในช่วงต้นที่ให้แรงกระทำ หลังจากนั้นเมื่อให้แรงเพิ่มมากขึ้นลักษณะของผนังเซลล์ซึ่งถูกบีบอัดจะมีโครงสร้างที่ยุบตัวและอัดกันแน่นมากขึ้น ความสามารถในการบีบแยกน้ำเมื่อได้รับแรงกระทำที่มากขึ้นจึงเกิดขึ้นได้ในระดับที่ช้าลง

การใช้แรงในการคั้นน้ำที่แตกต่างกันมีผลทำให้มีประสิทธิภาพในการแยกน้ำออกจากตัวอย่างแตกต่างกัน และพบว่าประสิทธิภาพในการแยกน้ำที่แตกต่างกันจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดที่เกิดจากการคั้นน้ำ และการคั้นน้ำร่วมกับการอบแห้ง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 ผลของประสิทธิภาพในการแยกน้ำต่อปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดที่เหลือและประสิทธิภาพในการลดไซยาไนด์

ประสิทธิภาพการแยกน้ำ (%)	ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดที่เหลือ (mg/kg) โดยน้ำหนักแห้ง		ประสิทธิภาพการลดปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมด (%)	
	หลังคั้นน้ำ	หลังคั้นน้ำและอบแห้ง	จากการคั้นน้ำ	จากการคั้นน้ำร่วมกับการอบแห้ง
0	737.00 ± 126.28 [a]	14.82 ± 6.83 [b]	0.00 ± 0.00 [b]	97.99 ± 0.93 [a]
50.94	311.20 ± 89.83 [b]	81.14 ± 31.28 [a]	57.78 ± 12.19 [a]	88.99 ± 4.24 [b]
53.47	282.55 ± 24.38 [b]	100.32 ± 2.18 [a]	61.66 ± 3.31 [a]	86.39 ± 0.30 [b]
59.87	224.75 ± 33.59 [b]	96.64 ± 13.71 [a]	69.50 ± 4.56 [a]	86.89 ± 1.86 [b]
62.26	221.29 ± 46.72 [b]	115.49 ± 5.90 [a]	69.97 ± 6.34 [a]	84.33 ± 0.80 [b]

หมายเหตุ

a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ประสิทธิภาพการลดไซยาไนด์ คำนวณจาก $\frac{\text{ปริมาณไซยาไนด์ที่หายไป}}{\text{ปริมาณไซยาไนด์เริ่มต้นที่มีอยู่ในเนื้อมันสำปะหลัง}} \times 100$

ปริมาณไซยาไนด์เริ่มต้นในเนื้อมันสำปะหลัง = 737 mg/kg โดยน้ำหนักแห้ง

จากผลการทดลองพบว่าการคั้นน้ำออกจากเนื้อมันสำปะหลังนั้น เมื่อประสิทธิภาพในการคั้นเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพในการลดไซยาไนด์ทั้งหมดออกจากเนื้อมันสำปะหลังก็จะสูงขึ้น ไซยาไนด์เป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ เมื่อทำการแยกน้ำออกจากเนื้อมันสำปะหลังไซยาไนด์ที่มีอยู่ในมันสำปะหลังจึงถูกกำจัดออกจากเนื้อมันสำปะหลังไปกับน้ำที่คั้นได้ ดังนั้นการคั้นน้ำออกได้มาก การลดปริมาณไซยาไนด์ก็จะมากตาม แต่อย่างไรก็ตามการคั้นน้ำออกจากเนื้อมันสำปะหลังนั้นไม่สามารถคั้นน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในเนื้อมันสำปะหลังได้ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในเบื้องต้นว่าลักษณะโครงสร้างของเนื้อมันสำปะหลังประกอบด้วยผนังเซลล์ที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ได้ แต่เมื่อถูกแรงบีบอัดลักษณะโครงสร้างของผนังเซลล์จะยุบตัวแน่นขึ้น การคั้นน้ำออกจากเนื้อมันสำปะหลังจึงสามารถทำได้ถึงระดับหนึ่ง ไม่สามารถทำการคั้นน้ำที่มีในเนื้อมันสำปะหลังออกทั้ง

หมดได้ การคั้นน้ำเพียงอย่างเดียวจึงไม่เพียงพอในการกำจัดไซยาไนด์ที่มีอยู่ในเนื้อมันสำปะหลังลงให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้

หลังการคั้นน้ำออกจากเนื้อมันสำปะหลังและนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อศึกษาผลของการคั้นน้ำร่วมกับการอบแห้งต่อประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์ที่ระดับการคั้นที่มีประสิทธิภาพในการคั้นน้ำแตกต่างกัน พบว่าผลของคั้นน้ำร่วมกับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในตัวอย่างที่ผ่านการคั้นน้ำที่มีประสิทธิภาพในการคั้นน้ำแตกต่างกัน จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการลดไซยาไนด์ในเนื้อมันสำปะหลังที่ต่างกัน โดยเนื้อมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการคั้นน้ำเมื่อนำมาอบแห้งจะมีประสิทธิภาพในการลดไซยาไนด์ได้สูงที่สุด (สามารถลดไซยาไนด์ลงได้ถึงร้อยละ 97.99) และพบว่าในตัวอย่างที่ผ่านการคั้นน้ำที่มีประสิทธิภาพสูง (คือมีความชื้นเหลืออยู่ในเนื้อมันสำปะหลังต่ำ) เมื่อนำไปอบแห้งพบว่าจะมีประสิทธิภาพในการลดไซยาไนด์จะต่ำกว่าตัวอย่างที่ผ่านการคั้นน้ำที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่า (คือมีความชื้นเหลืออยู่ในเนื้อมันสำปะหลังสูงกว่า) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในขณะที่ทำการอบที่ 50 °C เอนไซม์ลินามาเรสที่มีอยู่ในเนื้อมันสำปะหลังยังคงสามารถทำงานและลดปริมาณไซยาไนด์ลงได้ (Yeoh, 1989) การแยกน้ำบางส่วนออกไปจึงมีผลทำให้เอนไซม์ที่มีอยู่ในเนื้อมันสำปะหลังถูกกำจัดออกไปด้วย จากผลการทดลองสรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการแยกน้ำมีความสัมพันธ์แบบทิศทางตรงกันข้ามกับประสิทธิภาพในการลดไซยาไนด์ภายหลังการอบแห้ง

เมื่อพิจารณาคุณภาพของฟลาวทั้งในเรื่องปริมาณไซยาไนด์และความขาวของฟลาวที่ได้ พบว่ากระบวนการขูดฝอยและคั้นน้ำทันทีไม่สามารถตอบสนองกระบวนการผลิตฟลาวที่ต้องการให้มีปริมาณไซยาไนด์เหลืออยู่ในฟลาวในระดับที่ปลอดภัยตามที่ FAO/WHO กำหนดไว้ คือ ต้องมีปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดหลงเหลืออยู่ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งถ้าทำการประเมินอย่างคร่าวๆ ในตัวอย่างเนื้อมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดประมาณ 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง การที่จะทำการพัฒนากระบวนการผลิตให้ได้ฟลาวมันสำปะหลังที่ปลอดภัยต่อการบริโภคจำเป็นต้องมีกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพในการลดไซยาไนด์ลงได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 99 จึงจะสามารถผลิตฟลาวมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้งได้

ดังนั้นจากผลการทดลองที่ได้จึงจำเป็นต้องมีการปรับกระบวนการผลิตอีกต่อไป เพื่อให้ได้ฟลาวมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เป็นที่ทราบกันว่าเอนไซม์ลินามาเรสที่มีอยู่ในมันสำปะหลังสามารถเปลี่ยนรูปของสารประกอบไซยาไนด์ที่กำจัดได้ยาก (bound

cyanide) ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่กำจัดได้ง่ายขึ้น (cyanohydrin และ free cyanide) ซึ่งเป็นรูปที่สามารถระเหยออกไปได้เมื่อได้รับความร้อน ดังนั้นในงานวิจัยขั้นต่อไปจึงศึกษาผลของระยะเวลาในการบ่มก่อนทำการกดคั้นน้ำ เพื่อให้เอนไซม์ลินามาเรสที่มีอยู่แล้วในเนื้อมันสำปะหลังสามารถทำการย่อยและเปลี่ยนรูปของไซยาไนด์ที่มีอยู่ในเนื้อมันสำปะหลังให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่สามารถทำการกำจัดได้ง่ายขึ้นก่อน แล้วจึงทำการคั้นน้ำออกและนำไปอบแห้ง ซึ่งคาดว่าจะทำให้ปริมาณไซยาไนด์ที่มีอยู่ลดลงได้ และทำให้การทำแห้งทำได้อย่างรวดเร็วขึ้น

3.3 ผลของระยะเวลาในการบ่มต่อการลดปริมาณและการเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบไซยาไนด์ในฟลาวมันสำปะหลัง

3.3.1 ผลของการบ่มต่อการเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบไซยาไนด์และประสิทธิภาพ ในการลดปริมาณไซยาไนด์

การบ่มเนื้อมันสำปะหลังที่ผ่านการขูดด้วยเครื่องขูดมะพร้าว โดยทำการบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาต่างๆ ก่อนทำการคั้นน้ำ พบว่าเมื่อเวลาในการบ่มเพิ่มมากขึ้นปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดจะมีปริมาณลดลง โดยไซยาไนด์ในรูปของ bound cyanide จะลดลง โดยเปลี่ยนเป็น non cyanogenic glucoside เพิ่มขึ้นในช่วงการบ่ม 0-2 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้น non cyanogenic glucoside จะเริ่มลดลง การที่รูปของไซยาไนด์เปลี่ยนเป็น non cyanogenic glucoside เพิ่มมากขึ้นจะเป็นผลดีต่อการทำ ฟลาวมันสำปะหลัง เนื่องจาก non cyanogenic glucoside คือไซยาไนด์ที่ประกอบด้วย cyanohydrin และ free cyanide ทั้งนี้ cyanohydrin และ free cyanide เป็นไซยาไนด์ที่สามารถสลายได้ง่ายกว่า bound cyanide โดย cyanohydrin เป็นรูปของไซยาไนด์ที่ไม่เสถียรสามารถสลายได้ที่สภาวะความเป็นกรดด่างมากกว่า 5 และ/หรือถูกย่อยด้วยเอนไซม์ alpha-hydroxynitrile lyase และให้ acetone และ free cyanide ซึ่งเป็นรูปที่ระเหยได้ง่าย (Bokanga, 1994; Conn, 1994; Essers *et al*, 1995) ทั้ง cyanohydrin และ free cyanide เป็นรูปของสารประกอบไซยาไนด์ที่กำจัดได้ง่าย โดยพบว่าการบ่มสามารถกำจัดไซยาไนด์ออกไปได้ร้อยละ 0, 6.14, 20.83, 47.89 และ 59.08 เมื่อทำการบ่มเป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 27 โดยพบว่าเมื่อเวลาในการบ่มเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์ก็จะสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 27 ชนิดและปริมาณของสารประกอบไซยาไนด์ในเนื้อมันสำปะหลังขูดฝอย หลังการบ่ม

เวลาในการบ่ม (ชั่วโมง)	ปริมาณไซยาไนด์ (mg/kg) โดยน้ำหนักแห้ง			ประสิทธิภาพการลดลงของไซยาไนด์ทั้งหมด (%) *
	Total cyanide	Non cyanogenic glucoside	Bound cyanide	
0	864.94 ± 63.30 a	397.97 ± 5.61 ab	466.97 ± 68.91 a	0.00 ± 0.00 c
1	811.82 ± 15.84 ab	459.52 ± 9.06 a	352.31 ± 24.90 b	6.14 ± 1.83 bc
2	684.74 ± 74.84 b	500.53 ± 51.46 a	184.22 ± 23.38 c	20.83 ± 8.65 b
3	450.70 ± 45.01 c	370.32 ± 80.09 ab	80.38 ± 35.07 d	47.89 ± 5.20 a
4	353.93 ± 68.00 c	300.38 ± 51.57 b	53.56 ± 16.43 d	59.08 ± 7.86 a

หมายเหตุ

a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

Bound cyanide = Total cyanide - Non cyanogenic glucoside

* คิดเทียบกับไซยาไนด์ทั้งหมดในวัตถุดิบเริ่มต้น = 864.94 mg/kg โดยน้ำหนักแห้ง

3.3.2 ผลของการบ่มร่วมกับการคั้นน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบไซยาไนด์และประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์

ในการทดลองได้ศึกษาผลของการบ่มร่วมกับการคั้นน้ำ การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบไซยาไนด์ในตัวอย่างเนื้อมันสำปะหลังขูดฝอยที่ทำการบ่มเป็นเวลาต่างๆ และทำการคั้นน้ำออกด้วยแรง 2.5 MPa เป็นเวลา 1 นาที พบว่าเมื่อใช้เวลาในการบ่มเพิ่มมากขึ้นและทำการคั้นน้ำ ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดจะมีปริมาณลดลง โดยไซยาไนด์ในรูปของ bound cyanide จะลดลง โดยเปลี่ยนเป็น non cyanogenic glucoside เพิ่มขึ้นในช่วงการบ่ม 0-1 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้น non cyanogenic glucoside จะเริ่มลดลง การคั้นน้ำออกจากเนื้อมันสำปะหลังทันทีโดยไม่ผ่านการบ่ม พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์ออกจากระบบได้ร้อยละ 62.68 เมื่อใช้เวลาในการบ่มเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์ที่เกิดขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากการบ่ม ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์ในการเปลี่ยนรูปจาก bound cyanide เป็นรูปที่สลายได้ง่ายขึ้น คือ non cyanogenic glucoside กล่าวคือเมื่อเวลาในการบ่มเพิ่มมากขึ้นการกำจัดไซยาไนด์ออกไปโดยการระเหยออกไปจากระบบจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าการบ่มร่วมกับการคั้นน้ำสามารถกำจัดไซยาไนด์ออกไปได้ร้อยละ 62.68, 71.29, 80.56, 85.38 และ 86.86 เมื่อทำการ

บ่มเป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมงและทำการคั้นน้ำ ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 28 โดยพบว่าเมื่อเวลาในการบ่มเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์ที่เกิดจากการบ่มร่วมกับการคั้นน้ำจะสูงขึ้น

ตารางที่ 28 ชนิดและปริมาณของสารประกอบไซยาไนด์ในเนื้อมันสำปะหลังขูดฝอย หลังการบ่มและคั้นน้ำออก

เวลาในการบ่ม (ชั่วโมง)	ปริมาณไซยาไนด์ที่เหลือ (mg/kg) โดยน้ำหนักแห้ง			ประสิทธิภาพการลดลงของไซยาไนด์ (%)*
	Total cyanide	Non cyanogenic glucoside	Bound cyanide	
0	322.79 ± 11.24 [a]	95.41 ± 4.39 [d]	227.38 ± 6.85 [a]	62.68 ± 1.30 [d]
1	248.33 ± 12.04 [b]	132.73 ± 17.29 [a]	115.60 ± 5.25 [b]	71.29 ± 1.39 [c]
2	168.15 ± 1.17 [c]	125.46 ± 3.04 [ab]	42.69 ± 1.87 [c]	80.56 ± 0.14 [b]
3	126.47 ± 1.83 [d]	105.88 ± 4.02 [bc]	20.59 ± 2.19 [d]	85.38 ± 0.21 [a]
4	113.61 ± 0.20 [d]	90.84 ± 1.16 [d]	22.77 ± 0.96 [d]	86.86 ± 0.02 [a]

หมายเหตุ

a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

Bound cyanide = Total cyanide - Non cyanogenic glucoside

* คิดเทียบกับไซยาไนด์ทั้งหมดในวัตถุดิบเริ่มต้น = 864.94 mg/kg โดยน้ำหนักแห้ง

3.3.3 ผลของการบ่มร่วมกับการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบไซยาไนด์และประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์

ในการทดลองได้ศึกษาผลของการบ่มร่วมกับการอบแห้ง การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบไซยาไนด์ในตัวอย่างเนื้อมันสำปะหลังขูดฝอยที่ทำการบ่มเป็นเวลาต่างๆ และทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าเมื่อใช้เวลาในการบ่มเพิ่มมากขึ้นและทำการอบแห้ง ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดที่เวลาการบ่มต่างๆ ให้ผลไม่แตกต่างกัน การบ่มร่วมกับการอบแห้งสามารถกำจัดไซยาไนด์ออกไปได้ร้อยละ 99.42, 99.48, 99.61, 99.49 และ 99.42 เมื่อทำการบ่ม 0, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมงและทำการอบแห้ง ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 29 โดยพบว่าการเพิ่มเวลาในการบ่มร่วมกับการอบแห้งโดยไม่ทำการคั้นน้ำให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์ที่ไม่แตกต่างกัน และสามารถลดปริมาณไซยาไนด์ทั้ง

หมดลงได้มากกว่าร้อยละ 99 ของไซยาไนด์เริ่มต้นที่มีอยู่ในเนื้อมันสำปะหลัง แสดงให้เห็นว่าการกำจัดไซยาไนด์ให้ได้มากที่สุดวิธีหนึ่ง คือ การอบแห้งเนื้อมันสำปะหลังขูดฝอยโดยไม่ต้องทำการคั้นน้ำขมออก จะสามารถผลิตฟลาวมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำมากๆ ได้ ในทางปฏิบัติการไม่คั้นน้ำขมออกจะเป็นอุปสรรคต่อการทำแห้งได้ โดยต้องใช้พื้นที่ในการอบแห้งมากขึ้น เนื่องจากไม่สามารถทำการอบแห้งมันสำปะหลังในปริมาณที่มากได้ ต้องเกลี่ยเป็นชั้นบางๆ ซึ่งต้องใช้พื้นที่ในการอบมากและใช้พลังงานในการอบสูง

ตารางที่ 29 ชนิดและปริมาณของสารประกอบไซยาไนด์ในเนื้อมันสำปะหลังขูดฝอย หลังการบ่มและอบแห้ง

เวลาในการบ่ม (ชั่วโมง)	ปริมาณไซยาไนด์ที่เหลือ (mg/kg) โดยน้ำหนักแห้ง			ประสิทธิภาพการลดลงของไซยาไนด์ทั้งหมด (%)*
	Total cyanide	Non cyanogenic glucoside	Bound cyanide	
0	5.02 ± 1.00 [a]	4.40 ± 0.03 [a]	1.30 ± 0.00 [a]	99.42 ± 0.12 [a]
1	4.47 ± 0.08 [a]	4.04 ± 0.28 [a]	0.44 ± 0.20 [a]	99.48 ± 0.01 [a]
2	3.37 ± 0.35 [a]	2.31 ± 0.34 [b]	1.07 ± 0.68 [a]	99.61 ± 0.04 [a]
3	4.43 ± 0.01 [a]	2.67 ± 0.22 [b]	1.76 ± 0.23 [a]	99.49 ± 0.00 [a]
4	5.01 ± 0.00 [a]	4.43 ± 0.00 [a]	0.58 ± 0.00 [a]	99.42 ± 0.00 [a]

หมายเหตุ

a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

Bound cyanide = Total cyanide - Non cyanogenic glucoside

* คิดเทียบกับไซยาไนด์ทั้งหมดในวัตถุดิบเริ่มต้น = 864.94 mg/kg โดยน้ำหนักแห้ง

3.3.4 ผลของการบ่มร่วมกับการคั้นน้ำและอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงชนิดสารประกอบไซยาไนด์และประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์

ในการทดลองได้ศึกษาผลของการบ่มร่วมกับการคั้นน้ำและอบแห้ง การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบไซยาไนด์ในตัวอย่างเนื้อมันสำปะหลังขูดฝอยที่ทำการบ่มเป็นเวลาต่างๆ และทำการคั้นน้ำด้วยแรง 2.5 MPa เป็นเวลา 1 นาที และทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าเมื่อใช้เวลาในการบ่มเพิ่มมากขึ้นและทำคั้นน้ำและอบ

แห้ง ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดที่เหลืออยู่มีค่าลดลง โดยไซยาไนด์ในรูปของ bound cyanide จะลดลง เมื่อเวลาในการบ่มเพิ่มมากขึ้น โดย bound cyanide จะเปลี่ยนเป็น non cyanogenic glucoside การบ่มร่วมกับการคั้นน้ำและการอบแห้ง สามารถกำจัดไซยาไนด์ออกไปได้ร้อยละ 98.34, 98.72, 99.27, 99.27 และ 99.19 เมื่อทำการบ่ม 0, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมงและทำการคั้นน้ำและอบแห้ง ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 30 โดยพบว่าการเพิ่มเวลาในการบ่มร่วมกับการคั้นน้ำและอบแห้ง เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์จะเพิ่มขึ้น โดยเมื่อบ่มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดลงได้มากกว่าร้อยละ 99 ดังนั้นถ้าเนื้อมันสำปะหลังเริ่มต้นมีปริมาณไซยาไนด์ไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักแห้ง กระบวนการผลิตที่ได้จากการทดลองนี้ ซึ่งประกอบด้วยการบ่มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงทำการคั้นน้ำและนำไปอบแห้ง จะสามารถผลิตฟลาวมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักแห้งได้

ตารางที่ 30 ชนิดและปริมาณของสารประกอบไซยาไนด์ในเนื้อมันสำปะหลังขูดฝอย หลังการบ่ม การคั้นน้ำและอบแห้ง

เวลาในการบ่ม (ชั่วโมง)	ปริมาณไซยาไนด์ (mg/kg) โดยน้ำหนักแห้ง			ประสิทธิภาพการลดลงของไซยาไนด์ (%)*
	Total cyanide	Non cyanogenic glucoside	Bound cyanide	
0	14.35 ± 1.88 ^{a}	3.59 ± 0.27 ^{a}	10.77 ± 2.15 ^{a}	98.34 ± 0.22 ^{c}
1	10.95 ± 0.03 ^{b}	2.91 ± 0.93 ^{ab}	8.04 ± 0.96 ^{a}	98.73 ± 0.00 ^{b}
2	6.28 ± 0.01 ^{c}	1.74 ± 0.24 ^{b}	4.53 ± 0.22 ^{b}	99.27 ± 0.00 ^{a}
3	6.31 ± 0.39 ^{c}	4.04 ± 0.27 ^{a}	2.27 ± 0.12 ^{b}	99.27 ± 0.05 ^{a}
4	7.30 ± 0.02 ^{c}	3.45 ± 0.12 ^{a}	3.85 ± 0.14 ^{b}	99.16 ± 0.00 ^{a}

หมายเหตุ

a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

Bound cyanide = Total cyanide - Non cyanogenic glucoside

* คิดเทียบกับไซยาไนด์ทั้งหมดในวัตถุดิบเริ่มต้น = 864.94 mg/kg โดยน้ำหนักแห้ง

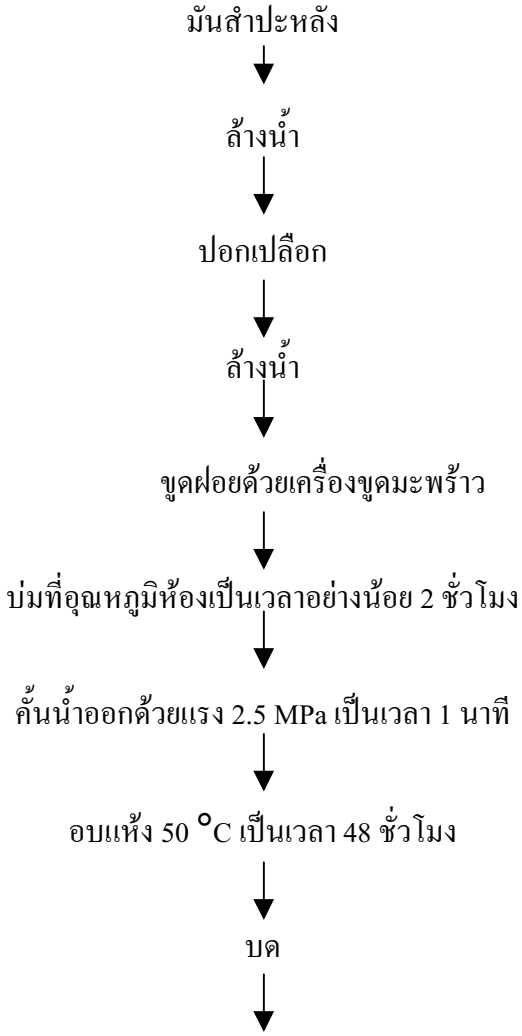
การลดปริมาณไซยาไนด์ในฟลาวมันสำปะหลังต้องอาศัยวิธีการหลาย ๆ อย่างร่วมกัน คือ การบ่มเพื่อให้ไซยาไนด์เปลี่ยนรูปและสลายออกไปได้ การคั้นน้ำเพื่อเอาไซยาไนด์ที่ละลายอยู่ในเนื้อมันสำปะหลังออก และการอบเพื่อไล่ไซยาไนด์ที่ระเหยได้ออกไป จากผลการทดลองแสดงให้

เห็นว่าการบ่มตัวอย่างเนื้อมันสำปะหลังขูดฝอยไว้เป็นเวลาตั้งแต่ 2 ชั่วโมงขึ้นไปก่อนทำการคั้นน้ำและนำไปอบแห้ง จะทำให้ได้ฟลาวที่มีปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดน้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง กล่าวคือกระบวนการผลิตที่ได้มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดได้มากกว่าร้อยละ 99

ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในฟลาวมันสำปะหลังสามารถทำการลดลงได้ โดยต้องทำการบ่มเนื้อมันสำปะหลังที่ผ่านการขูดฝอยก่อนนำไปคั้นน้ำออก จากการรวบรวมข้อมูลพบว่าปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดที่พบในเนื้อมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะมีปริมาณไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง (700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักสด) ดังนั้นในการผลิตฟลาวมันสำปะหลัง ถ้ากำหนดให้หัวมันสำปะหลังเริ่มต้น ในเนื้อมันสำปะหลังมีปริมาณไซยาไนด์ 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง การบ่มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพียงพอที่จะลดปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในฟลาวมันสำปะหลังลงต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง

ดังนั้นวิธีการลดปริมาณไซยาไนด์ในขั้นตอนการเตรียมฟลาวมันสำปะหลังที่คัดเลือกแล้วจากผลการทดลอง เพื่อให้ได้ฟลาวมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักแห้ง โดยหัวมันสำปะหลังเริ่มต้นที่ใช้ต้องมีปริมาณไซยาไนด์ในเนื้อมันสำปะหลัง โดยน้ำหนักแห้ง ไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีขั้นตอนแสดงดังภาพที่ 16

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณไซยาไนด์ที่หลงเหลืออยู่ในฟลาวมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการขูดฝอย บ่มเป็นเวลา 2 ถึง 4 ชั่วโมง ทำการคั้นน้ำ และอบแห้ง เปรียบเทียบกับกรรมวิธีการผลิตฟลาวหรือผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงฟลาวในต่างประเทศที่รวบรวมโดย Cardoso *et al*. (2005) ผลการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 31



ภาพที่ 16 ขั้นตอนการผลิตฟลาวมันสำปะหลังไซยาไนด์ต่ำ

ตารางที่ 31 การเปรียบเทียบการคำนวณระดับปริมาณไซยาไนด์สูงสุดที่มีได้ในเนื้อมันสำปะหลังเพื่อผลิตฟลาวมันที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักแห้งของกระบวนการผลิตแบบต่าง ๆ

กระบวนการผลิต	วิธีการ	ชนิดของผลิตภัณฑ์	ประสิทธิภาพการกำจัดไซยาไนด์ (%)	ปริมาณไซยาไนด์สูงสุดที่มีได้ในเนื้อมันสำปะหลัง (mg/kg) โดยน้ำหนักแห้ง
ในต่างประเทศ *	ตากแดด	ฟลาวมันสำปะหลัง	67.0 - 75.0	30 - 40
	หมัก	ฟลาวมันสำปะหลัง	83.5 - 87.5	61 - 80
	แช่น้ำ+ตากแดด	ลาฟัน/ฟูฟุ	97.8 - 98.7	455 - 769
	แช่น้ำ+หมัก+คั่ว	ฟารินฮา/การิ	97.6 - 98.2	417 - 556
	บดละเอียด+ตากแดด	ฟลาวมันสำปะหลัง	96.8 - 98.5	313 - 667
จากงานวิจัยนี้	ขูดฝอย+บ่ม 2-4 ชั่วโมง + คั้นน้ำ + อบแห้ง	ฟลาวมันสำปะหลัง	99.1 - 99.3	1,124 - 1,429

หมายเหตุ

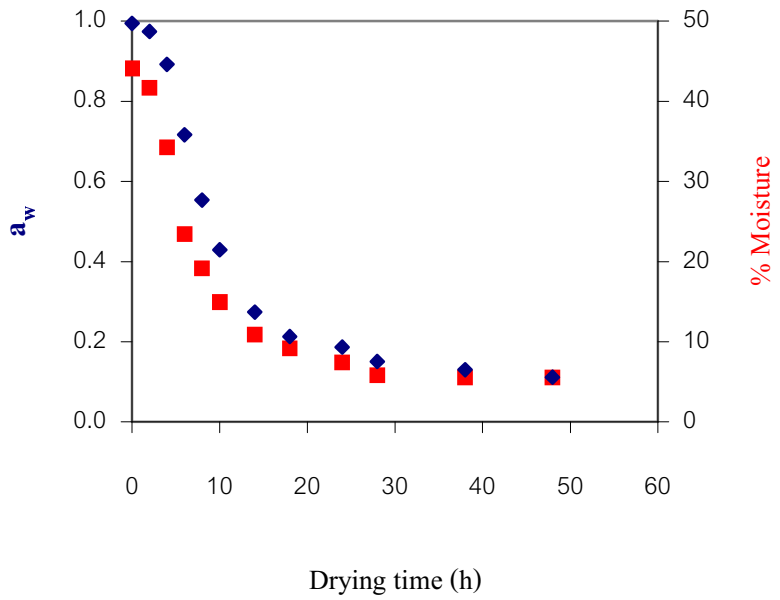
* ที่มา : Cardoso *et al*. (2005)

จากการคำนวณและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตในการลดปริมาณไซยาไนด์ในฟลาวมันสำปะหลัง พบว่ากระบวนการผลิตที่ได้จากงานวิจัยโดยมีขั้นตอนดังนี้ คือ การลดขนาดโดยการขูดฝอย บ่มเป็นเวลา 2- 4 ชั่วโมง และทำการอบแห้ง มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์ได้ดีกว่ากระบวนการผลิตที่ได้รวบรวมไว้ของ Cardoso *et al*. (2005) โดยงานวิจัยนี้มีค่าร้อยละประสิทธิภาพการลดปริมาณไซยาไนด์ เท่ากับ 99.1 – 99.3 โดยฟลาวมันสำปะหลังที่ผลิตได้มีปริมาณไซยาไนด์เหลืออยู่ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักแห้ง โดยเนื้อมันสำปะหลังที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นฟลาวมันสำปะหลังถ้ามีปริมาณไซยาไนด์ในเนื้อมันสำปะหลังไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักแห้ง จะสามารถผลิต

เป็นฟลาวมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำกว่าที่เกณฑ์มาตรฐานของ FAO/WHO ที่กำหนดไว้ได้

3.4 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้ง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้น และค่า a_w ระหว่างการทำแห้งฟลาวมันสำปะหลัง เพื่อเป็นแนวทางในการลดระยะเวลาในการอบ โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้น และค่า a_w กับเวลาในการอบแห้ง โดยทำการอบเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงความชื้นและค่า a_w เมื่ออบแห้งฟลาวมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

จากผลการทดลองพบว่า การอบเนื้อมันสำปะหลังขูดฝอยที่ผ่านการคั้นน้ำแล้วเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 °C สามารถลดปริมาณความชื้นลงเหลือประมาณร้อยละ 10 และมีค่า a_w ประมาณ 0.2 ซึ่งการอบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก็เพียงพอต่อการอบแห้ง ไม่จำเป็นต้องใช้เวลาในการอบถึง 48 ชั่วโมง เนื่องจากในการทดลองก่อนหน้านี้เป็นการศึกษาที่สภาวะเดียวกัน ที่ต้อง

ทำการเปรียบเทียบ จึงใช้เวลาที่สามารถทำให้ทุกตัวอย่างแห้งได้เหมือนกัน การอบเพียง 24 ชั่วโมง จะช่วยประหยัดพลังงานที่ต้องใช้ในขั้นตอนการอบแห้งลงได้

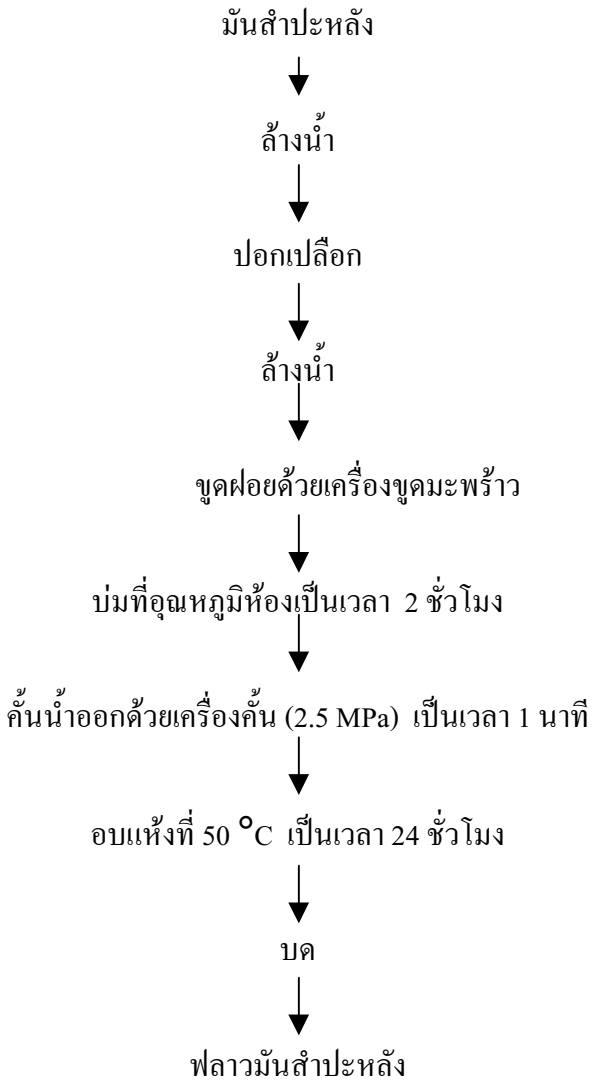
การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งเนื้อมันสำปะหลังขูดฝอยที่ผ่านการคั้นน้ำด้วยแรง 2.5 MPa เป็นเวลา 1 นาที การคั้นน้ำสามารถลดปริมาณความชื้นออกไปได้บางส่วน โดยความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 60 เมื่อผ่านการคั้นน้ำความชื้นจะเหลือประมาณร้อยละ 40 และเป็นข้อดีที่สามารถช่วยทำให้การอบแห้งสามารถทำได้ง่ายขึ้น จากการศึกษาระยะเวลาในการอบแห้งพบว่าจะใช้เวลาในการอบเพียง 24 ชั่วโมง ก็เพียงพอต่อการอบแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Widowati *and* Hartojo (2000) ที่รายงานการคั้นน้ำจะช่วยลดเวลาในการอบแห้ง โดยพบว่าจะลดเวลาในการอบเหลือเพียง 14 – 16 ชั่วโมง ส่วนการไม่คั้นน้ำออกจะใช้เวลาในการอบแห้งถึง 30 – 40 ชั่วโมง ทั้งนี้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งขึ้นอยู่กับความหนาของตัวอย่างที่ทำการอบด้วย

ตารางที่ 32 ปริมาณไซยาไนด์ในฟลาวมันสำปะหลังที่ทำการอบแห้งที่ 50 °C เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง

เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	ปริมาณไซยาไนด์ที่เหลือ โดยน้ำหนักแห้ง (mg/kg)
24	4.05 ± 1.22^{a}
48	2.08 ± 0.98^{b}

หมายเหตุ a,b... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษาเวลาในการอบแห้ง พบว่าการอบแห้งฟลาวมันสำปะหลังที่ 50 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในฟลาวมันสำปะหลังเหลือต่ำกว่าการอบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ตารางที่ 32) แต่ทั้งนี้ในงานวิจัยขั้นต่อไปจะใช้เวลาในการอบแห้งเพียง 24 ชั่วโมง เนื่องจากการอบแห้งเป็นเวลาดังกล่าวปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดที่เหลืออยู่มีปริมาณต่ำกว่าที่มาตรฐาน FAO/WHO กำหนดไว้ว่าต้องไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นกระบวนการผลิตฟลาวมันสำปะหลังไซยาไนด์ต่ำที่จะใช้ในการศึกษาขั้นต่อไปจะใช้ขั้นตอนที่มีการปรับใหม่ มีขั้นตอนแสดงดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 กระบวนการผลิตฟลาวมันสำปะหลังที่ใช้เวลาในการอบแห้ง 24 ชั่วโมง

4. <u>การศึกษาคุณภาพของฟลาวมันสำปะหลังที่ผลิตจากมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 6, 8, 10 และ 12 เดือน</u>

4.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลัง และฟลาวมันสำปะหลัง จากมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ปลูกที่ อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา เก็บเกี่ยวที่อายุ 6, 8, 10 และ 12 เดือน ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 33 และ 34

<u>ตารางที่ 33</u> องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	องค์ประกอบทางเคมี (%) โดยน้ำหนักแห้ง					ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมด (mg/kg) โดยน้ำหนักแห้ง
	ไขมัน	โปรตีน	เส้นใยหยาบ	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต	
6	0.14 ± 0.07^{a}	2.81 ± 0.02^{a}	2.54 ± 0.05^{a}	2.72 ± 0.07^{a}	91.77 ± 0.04^{c}	$1,427.16 \pm 481.57^{a}$
8	0.21 ± 0.03^{a}	2.30 ± 0.02^{b}	1.93 ± 0.02^{b}	1.98 ± 0.01^{c}	93.58 ± 0.01^{b}	$1,259.47 \pm 186.84^{a}$
10	0.14 ± 0.07^{a}	1.83 ± 0.02^{c}	1.79 ± 0.02^{c}	2.41 ± 0.04^{b}	93.83 ± 0.11^{a}	799.90 ± 94.38^{ab}
12	0.08 ± 0.01^{a}	1.41 ± 0.01^{d}	2.59 ± 0.04^{b}	2.52 ± 0.08^{b}	93.42 ± 0.12^{b}	533.72 ± 49.07^{b}

<u>หมายเหตุ</u> คาร์โบไฮเดรต = 100 – องค์ประกอบทางเคมีทั้งหมด

a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

<u>ตารางที่ 34</u> องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณไซยาไนด์ในฟลาวมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

อายุการเก็บเกี่ยว (เดือน)	องค์ประกอบทางเคมี (%) โดยน้ำหนักแห้ง					ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมด (mg/kg) โดยน้ำหนักแห้ง
	ไขมัน	โปรตีน	เส้นใยหยาบ	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต	
6	0.17 ± 0.04^{b}	0.77 ± 0.01^{b}	2.08 ± 0.16^{a}	0.91 ± 0.08^{b}	96.07 ± 0.04^{b}	18.82 ± 4.07^{a}
8	0.25 ± 0.02^{a}	0.80 ± 0.02^{b}	2.04 ± 0.10^{a}	1.10 ± 0.06^{a}	95.82 ± 0.20^{b}	15.51 ± 0.90^{a}
10	0.16 ± 0.02^{b}	1.10 ± 0.01^{a}	1.52 ± 0.05^{b}	1.12 ± 0.02^{a}	96.09 ± 0.08^{b}	0.71 ± 0.00^{b}
12	0.06 ± 0.00^{c}	0.54 ± 0.05^{c}	1.49 ± 0.03^{b}	1.24 ± 0.02^{a}	96.67 ± 0.04^{a}	1.31 ± 0.06^{b}

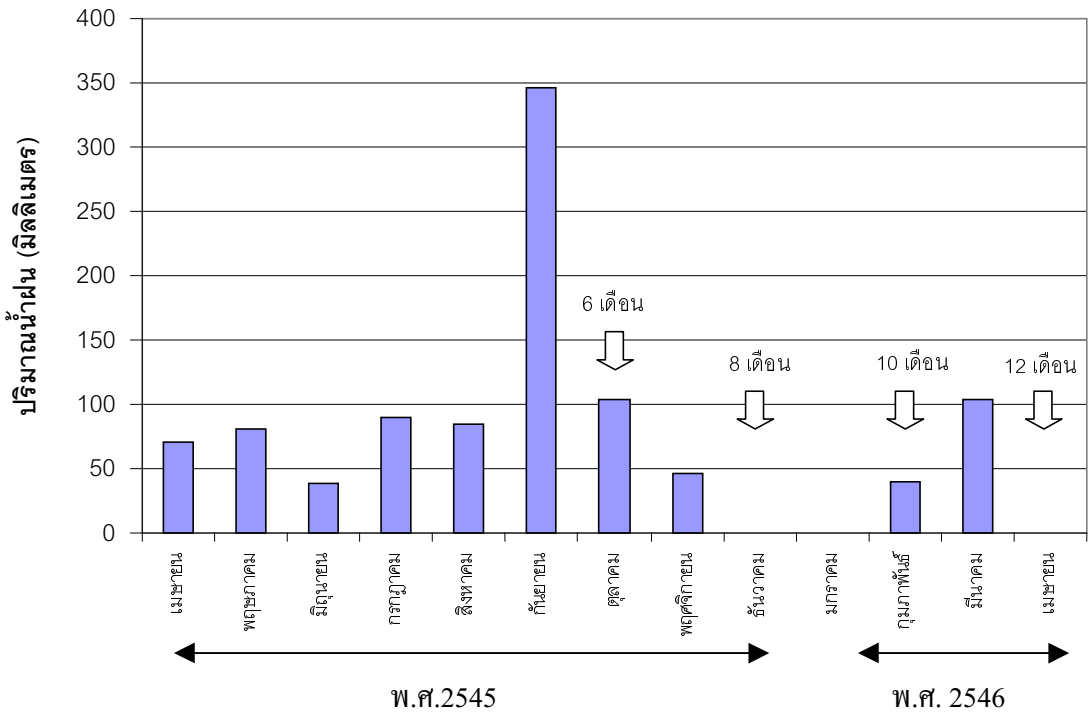
<u>หมายเหตุ</u> คาร์โบไฮเดรต = 100 – องค์ประกอบทางเคมีทั้งหมด

a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 35 ปริมาณแป้งในหัวและฟลาวมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

อายุการเก็บเกี่ยว	ปริมาณแป้ง (%) โดยน้ำหนักแห้ง	
(เดือน)	หัวมันสำปะหลัง	ฟลาวมันสำปะหลัง
6	80.21 ± 0.35 [b]	89.84 ± 0.09 [b]
8	84.51 ± 0.14 [a]	91.10 ± 1.10 [ab]
10	83.87 ± 0.12 [a]	91.47 ± 0.10 [a]
12	80.73 ± 0.28 [b]	90.90 ± 0.12 [ab]

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 19 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนามันสำปะหลัง ต.ห้วยบง อ.ด่านขุนทด จ.นครราชสีมา ในช่วงตั้งแต่ 4 เมษายน 2545 ถึง 31 มีนาคม 2546

จากผลการวิเคราะห์ตารางที่ 33 - 35 และปริมาณน้ำฝนรายเดือน (ภาพที่ 19) พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ที่พบในหัวมันสำปะหลัง คือ คาร์โบไฮเดรต โดยคาร์โบไฮเดรตหลักที่มีในหัวมันสำปะหลัง คือ แป้ง โดยมีแป้งเป็นองค์ประกอบในหัวมันสำปะหลังมากกว่าร้อยละ 80 จาก

การตรวจวิเคราะห์ พบว่าเมื่ออายุของหัวมันสำปะหลังเพิ่มจาก 6 เดือน เป็น 8 เดือน ปริมาณแป้งที่สะสมในหัวมันสำปะหลังจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น จากร้อยละ 80.21 เป็น 84.51 และที่อายุ 10 เดือนปริมาณแป้งที่สะสมในหัวมันสำปะหลังมีปริมาณค่อนข้างคงที่ มีปริมาณร้อยละ 83.87 แต่ที่อายุ 12 เดือนพบว่าปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังที่มีอายุมากขึ้นกลับมีปริมาณแป้งที่สะสมในหัวมันสำปะหลังลดลงเหลือร้อยละ 80.73 ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากในช่วงการเก็บเกี่ยวที่อายุ 6 เดือน เป็นช่วงที่พืชเริ่มสะสมแป้ง การเก็บเกี่ยวที่อายุ 8 และ 10 เดือน เป็นช่วงแล้งไม่มีฝนตกในเดือนธันวาคม 2545 – มกราคม 2546 การเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในช่วงนี้มีน้อยมาก จึงทำให้มีแป้งสะสมในหัวสูง และที่อายุการเก็บเกี่ยว 12 เดือน เป็นช่วงที่ฝนเริ่มตก (เดือนกุมภาพันธ์ จนถึงมีนาคม 2546) มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตอีก จึงดึงเอาแป้งที่สะสมไว้ในหัวไปใช้ ปริมาณแป้งในหัวจึงลดลง ส่วนการสร้างสารประกอบไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลัง พบว่าเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้นปริมาณไซยาไนด์ที่สะสมในหัวมันสำปะหลังจะมีปริมาณลดลง จาก 1,427.16 เหลือ 1,259.47, 799.90 และ 533.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่อายุ 6, 8, 10 และ 12 เดือน ตามลำดับ

องค์ประกอบทางเคมีในฟลาวมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่เตรียมจากหัวมันสำปะหลังที่อายุการเก็บเกี่ยวต่าง ๆ กัน พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ในฟลาวมันสำปะหลัง คือ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งคาร์โบไฮเดรตหลักที่มีก็ คือ แป้ง โดยปริมาณแป้งที่มีในฟลาวมันสำปะหลังจะมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 89 โดยที่อายุ 6 และ 12 เดือนมีปริมาณแป้งในฟลาวมันสำปะหลังต่ำกว่าที่อายุ 8 และ 10 เดือน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากวัตถุดิบหัวมันสำปะหลังเริ่มต้นมีปริมาณแป้งต่ำ ส่วนปริมาณไซยาไนด์ในฟลาวมันสำปะหลังที่ผลิตจากหัวมันสำปะหลังอายุ 6 และ 8 เดือน มีปริมาณไซยาไนด์สูงกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง โดยมีปริมาณไซยาไนด์หลงเหลืออยู่ในฟลาว 18.82 และ 15.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนวัตถุดิบหัวมันสำปะหลังอายุ 10 และ 12 เดือน เมื่อนำมาผลิตเป็นฟลาวมันสำปะหลัง พบว่ามีปริมาณไซยาไนด์เหลืออยู่ในฟลาวน้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง คือ หลงเหลืออยู่ 0.71 และ 1.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ การที่ไม่สามารถผลิตฟลาวมันสำปะหลังจากหัวมันที่อายุการเก็บเกี่ยว 6 และ 8 เดือนให้มีปริมาณไซยาไนด์หลงเหลืออยู่ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้งได้นั้น ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบหัวมันสำปะหลังเริ่มต้นที่อายุ 6 และ 8 เดือน มีปริมาณไซยาไนด์เริ่มต้นในส่วนของเนื้อมันอยู่สูงกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งกระบวนการผลิตไม่สามารถลดไซยาไนด์ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ FAO/WHO แนะนำไว้ คือ น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้งได้ แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าในวัตถุดิบเริ่มต้นจะมีปริมาณไซยาไนด์อยู่สูงกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้ง กระบวนการลดไซยาไนด์เพื่อให้ได้ฟลาวมันสำปะหลังที่ปลอดภัยต่อการบริโภคคาดว่าสามารถทำ