บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 ผลของสภาพการนึ่งข้าวต่อการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กและสังกะสีในเนื้อเยื่อของเมล็ดข้าวพันธุ์ชัยนาท80 (กข 29)

4.1.1 ความเข้มข้นของธาตุเหล็ก (Fe concentration)

กระบวนการแปรรูปเป็นข้าวนึ่งทำให้ธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณการเพิ่มของธาตุเหล็กในส่วนต่างๆ ของเมล็ดขึ้นอยู่กับสภาพของการนึ่งข้าว ได้แก่ สภาพ กรด-ด่าง อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าวเปลือก อย่างไรก็ตามปริมาณธาตุเหล็กจะเพิ่มขึ้นในบางสภาพของการนึ่งข้าวเท่านั้น (ตารางที่ 4. 1 และ 4.2) จากการทดลองพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสภาพกรด-ด่าง อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้า วต่อความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวขาว แต่อย่างไรก็ตามพบว่าความเข้มข้นของ ธาตุเหล็กในข้าวขาวนั้นมีผลมาจากระยะเวลาในการแช่ข้าว โดยความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวขาวจะสูง ที่สุดเมื่อแช่ข้าวเป็นระยะเวลา 2 และ 10 ชั่วโมง (7.2 และ 7. 3 มก./กก.) และจะต่ำสุดเมื่อแช่ข้าว 4 6 และ 8 ชั่วโมง (6.3 6.4 และ 6.0 มก./กก.) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบซึ่งมีความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวขาวเพียง 4.6 มก./กก. (ภาพที่ 4.1)

สภาพของการนึ่งข้าวมีผลต่อธาตุเหล็กในข้าวกล้องน้อยมาก (ภาพที่ 4.2) แม้จะพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่าง สภาพกรด-ด่าง และอุณหภูมิในขณะแช่ข้าว ($P<0.05$) ต่อความเข้มข้นของ ธาตุเหล็ก โดยเมื่อแช่ข้าวที่อุณหภูมิต่ำ (25 45 และ 55 องศาเซลเซียส) จะทำให้ข้าวที่แช่ด้วย pH 7 มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวกล้อง (11.7 11.4 และ 11.0 มก./กก.) มากกว่าแช่ที่ pH 3 (10.4 10.0 และ 10.8 มก./กก.) ในทางตรงข้ามเมื่อแช่ที่อุณหภูมิสูง (65 องศาเซลเซียส) จะทำให้ข้าวที่แช่ด้วย pH 3 มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวกล้อง (11.8 มก./กก.) มากกว่า pH 7 (11.3 มก./กก.) อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่าการนึ่งข้าวในทุกสภาพของการนึ่งไม่มีผลต่อความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวกล้องเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (11.2 มก./กก.) (ตารางที่ 4.2)

ในส่วนของรำที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กมากกว่าในข้าวกล้องถึงสิบเท่า การทำข้าวนึ่งทำให้ความเข้มข้นของธาตุเหล็กในส่วนของรำเพิ่มขึ้น ด้วยปริมาณของการเพิ่มที่สูงขึ้นตามอุณหภูมิที่แช่ข้าวจนถึง 55 องศาเซลเซียส ที่ทำให้ธาตุเหล็กในรำเพิ่มขึ้นสูงกว่าข้าวดิบถึงร้อยละ 35

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 65 องศาเซลเซียส พบว่าความเข้มข้นของธาตุเหล็ก (128.0 มก./กก.) กลับลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการแช่ข้าวที่ 55 องศาเซลเซียส (134.5 มก./กก.) (ภาพที่ 4.3)

4.1.2 ความเข้มข้นของธาตุสังกะสี (Zinc concentration)

นอกจากการนึ่งข้าวจะมีผลต่อปริมาณธาตุเหล็กในส่วนต่างๆ ของเมล็ดแล้วการนึ่งข้าวยังมีผลต่อปริมาณธาตุสังกะสีอีกด้วย แต่จากการทดลองนี้พบว่าการนึ่งข้าว ในบางสภาพ ทำให้ธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวลดลง โดยเฉพาะข้าวขาวและข้าวกล้อง แต่ กลับเพิ่มขึ้น ในส่วนของรำ โดยปริมาณของ การเปลี่ยนแปลง ธาตุสังกะสีขึ้นอยู่กับสภาพของการ นึ่งข้าว ได้แก่ สภาพ กรด-ด่าง อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าวเช่นเดียวกับธาตุเหล็ก (ตารางที่ 4.1 และ 4.3) โดยในส่วนของข้าวขาวพบว่าสภาพของการนึ่งข้าวส่วนใหญ่มีผลทำให้ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าว (10.7-16.9 มก./กก.) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (19.6 มก./กก.) (ตารางที่ 4.3) จากการทดลองพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสภาพกรด-ด่าง อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อ ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีใน ข้าวขาว อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวขาวนั้นมีผลมาจากสภาพกรด-ด่าง อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าว โดยเมื่อแช่ข้าวที่ pH 7 (15.2 มก./กก.) จะทำให้ข้าวขาวมีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีมากกว่าเมื่อแช่ที่ pH 3 (14.5 มก./กก.) (ภาพที่ 4.4) นอกจากนั้นหากแช่ข้าวที่อุณหภูมิสูง หรือใช้ระยะเวลาในการแช่ข้าว นานขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวขาวกลับลดลงยิ่งขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ การแช่ข้าวที่อุณหภูมิต่ำ (25 และ 45 องศาเซลเซียส) จะทำให้ข้าวขาวมีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีมากที่สุด (17.3 และ 16.4 มก./กก.) แต่เมื่อแช่ที่อุณหภูมิสูงขึ้น คือ 55 และ 65 องศาเซลเซียส จะ ทำให้ความเข้มข้นของธาตุสังกะสี (12.5 และ13.2 มก./กก.) กลับลดลง (ภาพที่ 4.5 และ 4.6) และเมื่อแช่ใช้ระยะเวลาในการแช่ข้าวนานขึ้นก็จะทำให้ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวขาวค่อยๆ ลดลงเช่นเดียวกัน โดยความเข้มข้นของข้าวขาวจะมากที่สุดเมื่อแช่ข้าวเป็นระยะเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง (16.3 และ 15.3 มก./กก.) และต่ำสุดเมื่อแช่ข้าว 8 และ 10 ชั่วโมง (13.8 และ 14.1 มก./กก.)

สภาพของการนึ่งข้าวมีผลต่อธาตุสังกะสีในข้าวกล้อง พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสภาพกรด-ด่าง และอุณหภูมิในขณะแช่ข้าวต่อความเข้มข้นของธาตุสังกะสี โดยสภาพกรด-ด่างของน้ำที่แช่ข้าวจะมีผลต่อความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวกล้องก็ต่อเมื่อแช่ข้าวที่อุณหภูมิสูง (45 55 และ 65 องศาเซลเซียส) เท่านั้น ซึ่งทำให้ข้าวที่แช่ด้วย pH 3 มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวกล้องเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในการแช่ที่เพิ่มขึ้น (23.0 23.1 และ 23.9 มก./กก.) ในทางตรงข้ามข้าวที่แช่ด้วย pH 7 มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (24.7 24.4 และ 23.3 มก./กก.) สำหรับการแช่ข้าวที่ อุณหภูมิต่ำ (25 องศาเซลเซียส) สภาพความเป็นกรด -ด่าง ไม่มีผล ต่อความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เข้มข้นของธาตุสังกะสี คือ ข้าวที่แช่ข้าวด้วย pH 3 (23.3 มก./กก.) และ pH 7 (23.0 มก./กก.) มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 4.7) นอกจากนั้นยังพบว่าระยะเวลาในการแช่ข้าวมีผลต่อความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวกล้องเล็กน้อย ($P<0.05$) โดยความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวกล้องสูงสุดเมื่อแช่ข้าวเป็นระยะเวลา 4 และ 8 ชั่วโมง คือ 24.0 มก./กก. และต่ำที่สุดเมื่อแช่ข้าวเป็นเวลา 2 และ 6 ชั่วโมง คือ 23.1 มก./กก. อย่างไรก็ตามการนึ่งข้าวที่สภาพการนึ่งต่างๆ ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวนึ่ง (21.6-25.6 มก./กก.) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (24.5 มก./กก.) ยกเว้นเมื่อแช่ข้าวด้วย pH 7 ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำให้ความเข้มข้นของธาตุสังกะสี (21.4 มก./กก.) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (ตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.8)

ในส่วนของรำซึ่งเป็นส่วนที่มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีมากที่สุด พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสภาพกรด-ด่าง อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าวเปลือกต่อความเข้มข้นของธาตุสังกะสี ($P<0.05$) โดยการแช่ข้าวเปลือกด้วย pH 3 ทำให้รำมีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีมากกว่าการแช่ข้าวด้วย pH 7 นอกจากนั้นหากแช่ข้าวที่อุณหภูมิสูงและใช้ระยะเวลานานขึ้นมีแนวโน้มทำให้ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในรำเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่าการนึ่งข้าวในทุกสภาพทำให้ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในรำ (95.1-213.4 มก./กก.) เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบที่มีความเข้มข้นเพียง 63.6 มก./กก. หรือมากกว่าประมาณ 2-3 เท่า (ภาพที่ 4.9)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (แสดงค่า F test) ของอิทธิพลของสภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิ และระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อความเข้มข้นของธาตุเหล็กและสังกะสีในแกลบ ข้าวกล้อง ข้าวขาวและรำ ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 80

ปัจจัย	ความเข้มข้นของธาตุเหล็ก				ความเข้มข้นของธาตุสังกะสี			
	แกลบ	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว	รำ	แกลบ	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว	รำ
สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ns	6.54*	ns	ns	ns	4.47*	4.03*	ns
อุณหภูมิ	ns	ns	ns	10.47***	ns	ns	49.01***	193.81**
ระยะเวลา	ns	ns	4.52**	ns	ns	2.71*	6.96***	26.76***
สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)*อุณหภูมิ	ns	3.68*	ns	ns	ns	5.57**	ns	ns
สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)*ระยะเวลา	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
อุณหภูมิ* ระยะเวลา	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	2.88**
สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)*อุณหภูมิ*ระยะเวลา	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1.90*

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 และ *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของธาตุเหล็ก (มก./กก.) ในเนื้อเยื่อของเมล็ดข้าวภายใต้กระบวนการนึ่งข้าวที่สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH), อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าวต่างกัน

สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของธาตุเหล็ก (มก./กก.)			
			แกลบ	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว	รำ
กรด (pH 3±0.05)	25	2	56.1ns[#]	10.9ns	7.1*	110.0ns
		4	58.9ns	10.3ns	6.3ns	103.0ns
		6	59.2ns	8.9ns	6.3ns	98.7ns
		8	55.9ns	10.0ns	5.5ns	107.1ns
		10	60.3ns	11.7ns	6.9*	106.5ns
	45	2	62.4ns	9.9ns	6.8ns	116.5ns
		4	56.7ns	10.3ns	5.6ns	124.7ns
		6	59.3ns	9.7ns	5.2ns	119.2ns
		8	55.2ns	9.2ns	5.4ns	128.3ns
		10	53.4ns	10.9ns	6.0ns	130.1*
	55	2	63.6ns	10.7ns	8.0ns	150.5**
		4	61.9ns	10.9ns	5.9ns	125.6ns
		6	61.2ns	10.8ns	6.0*	142.3***
		8	57.4ns	10.3ns	6.7ns	124.8ns
		10	57.3ns	11.1ns	7.9*	148.5**
	65	2	61.2ns	12.1ns	7.6*	122.3**
		4	60.0ns	11.4ns	7.1**	129.4ns
		6	59.4ns	11.6ns	6.8ns	115.1ns
		8	64.3ns	11.7ns	6.6*	126.8*
		10	62.6ns	12.0ns	6.7ns	133.3ns
ข้าวดิบ (Control)			57.4	11.2	4.6	102.2

[#]เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างข้าวนึ่งและข้าวดิบโดยใช้วิธี t-test

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของธาตุเหล็ก (มก./กก.) แกลบ	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว	รำ
กลาง (pH 7±0.05)	25	2	63.3ns[#]	11.0ns	8.5**	117.4ns
		4	61.4ns	12.2ns	7.5ns	104.9ns
		6	61.2ns	12.1ns	6.6ns	100.9ns
		8	60.3ns	12.1ns	7.1*	108.8ns
		10	58.7ns	11.1ns	7.1*	121.7*
	45	2	61.8ns	10.8ns	6.1ns	107.8ns
		4	61.2ns	12.0ns	5.7ns	115.9ns
		6	57.0ns	11.0ns	7.2**	107.3ns
		8	57.6ns	11.6ns	5.5ns	110.8ns
		10	60.1ns	11.6ns	8.3*	120.3ns
	55	2	59.6ns	11.3ns	6.7ns	134.1*
		4	60.6ns	10.3ns	5.8*	126.0ns
		6	61.7ns	11.2ns	5.8*	110.2ns
		8	71.0ns	10.5ns	5.3ns	153.9***
		10	57.8ns	11.6ns	7.8*	129.2**
	65	2	59.0ns	11.5ns	6.6*	125.3*
		4	61.9ns	12.2ns	6.5*	130.9*
		6	59.1ns	10.6ns	7.1*	135.3ns
		8	65.4ns	10.6ns	6.4**	128.6ns
		10	62.8ns	11.3ns	7.5ns	120.0*
ข้าวดิบ (Control)			57.4	11.2	4.6	102.2

[#]เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างข้าวนึ่งและข้าวดิบโดยใช้วิธี t-test

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของธาตุสังกะสี (มก./กก.) ในเนื้อเยื่อของเมล็ดข้าวภายใต้กระบวนการนึ่งข้าวที่สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH), อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าวต่างกัน

สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของธาตุสังกะสี (มก./กก.)			
			แกลบ	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว	รำ
กรด (pH 3±0.05)	25	2	13.8ns[#]	22.7ns	17.9ns	108.1***
		4	15.3ns	23.0ns	16.9ns	114.9**
		6	14.5ns	22.7ns	17.6ns	117.9***
		8	12.7ns	24.0ns	15.6*	117.4**
		10	12.3ns	24.1ns	16.9*	120.7**
	45	2	16.6ns	22.3ns	16.4ns	120.6**
		4	16.1ns	23.9ns	16.8ns	128.3**
		6	14.8ns	23.2ns	16.1*	137.4***
		8	14.4ns	22.7ns	15.1**	137.5**
		10	16.0ns	23.0ns	15.2 **	139.7**
	55	2	13.4ns	22.9ns	15.1**	154.9***
		4	15.6ns	24.2ns	12.1**	173.0***
		6	12.8ns	22.9ns	11.4***	190.1***
		8	11.7ns	22.8ns	11.1***	200.6***
		10	13.5ns	22.6ns	11.1***	210.9***
	65	2	14.6ns	24.2ns	15.4*	143.0***
		4	13.3ns	23.6ns	12.8**	180.7***
		6	14.8ns	23.2ns	13.1*	202.9***
		8	12.4ns	24.4ns	11.8**	198.6***
		10	13.0ns	24.0ns	12.1**	213.4***
ข้าวดิบ (Control)			13.8	24.5	19.6	63.6

[#]เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างข้าวนึ่งและข้าวดิบโดยใช้วิธี t-test

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

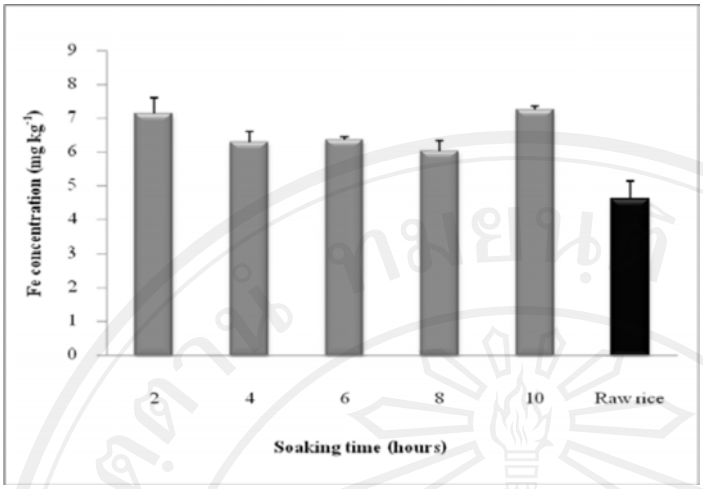
ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของธาตุสังกะสี (มก./กก.) แกลบ	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว	รำ
กลาง (pH 7±0.05)	25	2	18.8ns[#]	21.6ns	17.8ns	95.1**
		4	15.5ns	23.2ns	17.8ns	97.3*
		6	14.4ns	23.6ns	18.4ns	98.9*
		8	15.4ns	23.9ns	17.1ns	127.0**
		10	13.9ns	22.6ns	17.1ns	119.3***
	45	2	15.1ns	24.2ns	17.3ns	128.7***
		4	14.8ns	25.6ns	17.0ns	127.1***
		6	14.6ns	24.3ns	17.1ns	147.2***
		8	13.5ns	24.6ns	16.4*	139.8***
		10	14.2ns	24.6ns	16.8ns	153.0***
	55	2	14.8ns	24.3ns	16.3*	136.5**
		4	17.0ns	24.9ns	13.6*	175.4***
		6	18.2ns	23.9ns	12.0**	204.6***
		8	14.6ns	24.4ns	10.7***	208.0***
		10	14.8ns	24.5ns	11.6***	204.1**
	65	2	14.9ns	22.7ns	14.2*	163.9***
		4	14.9ns	23.7ns	15.8ns	180.7**
		6	12.3ns	21.4*	12.1**	198.3***
		8	13.8ns	25.1ns	12.8**	213.3**
		10	14.9ns	23.4ns	12.2*	169.0ns
ข้าวดิบ (Control)			13.8	24.5	19.6	63.6

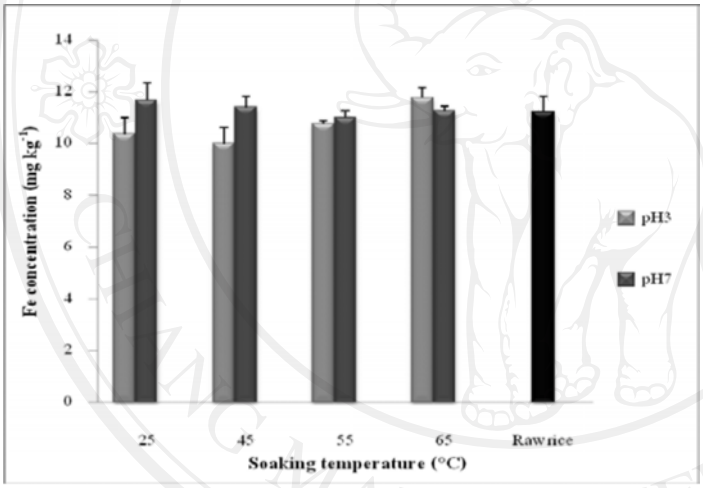
[#]เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างข้าวนึ่งและข้าวดิบโดยใช้วิธี t-test

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001

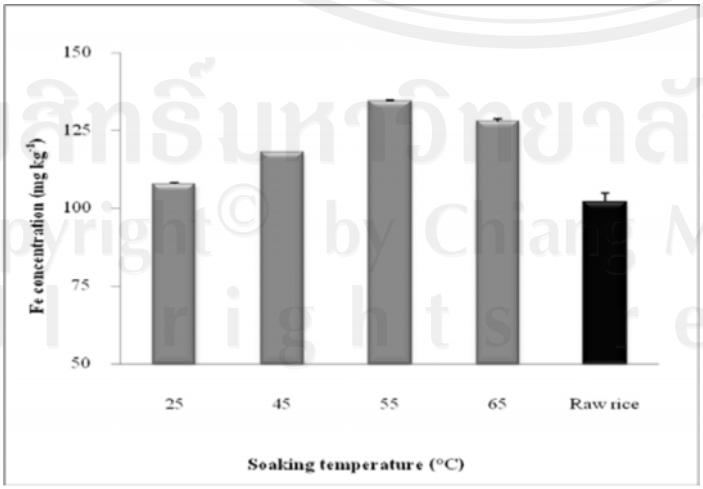
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.1 ความเข้มข้นของธาตุเหล็ก (มก./กก.) ในข้าวขาวที่มีผลมาจากระยะเวลาในการแช่ข้าวที่แตกต่างกัน (vertical bars เป็นค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากจำนวนข้อมูล 3 ซ้ำ)

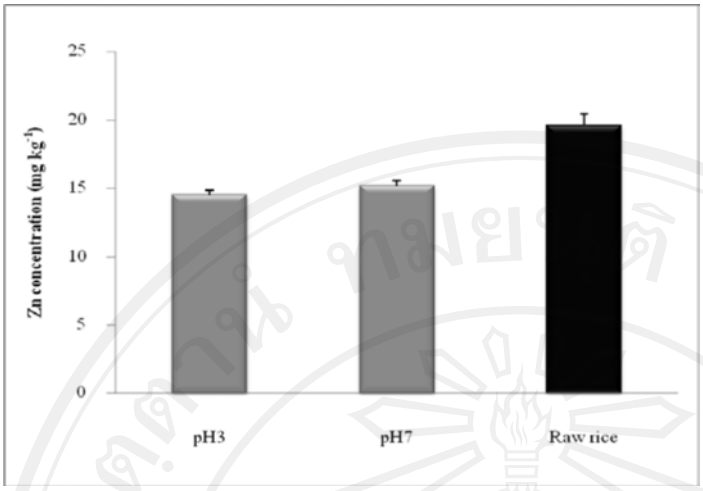


ภาพที่ 4.2 ความเข้มข้นของธาตุเหล็ก (มก./กก.) ในข้าวกล้องที่มีผลมาจากการแช่ข้าวที่สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิในการแช่ข้าวที่แตกต่างกัน (vertical bars เป็นค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากจำนวนข้อมูล 3 ซ้ำ)

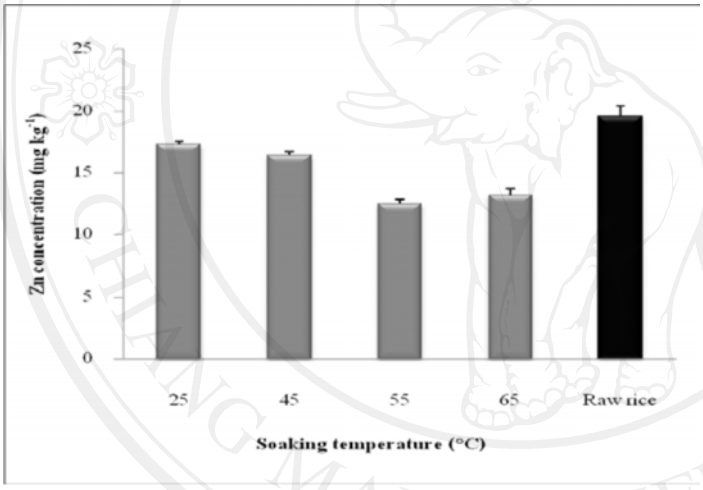


ภาพที่ 4.3 ความเข้มข้นของธาตุเหล็ก (มก./กก.)ในรำที่มีผลมาจากอุณหภูมิในการแช่ข้าวที่แตกต่างกัน (vertical bars เป็นค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากจำนวนข้อมูล 3 ซ้ำ)

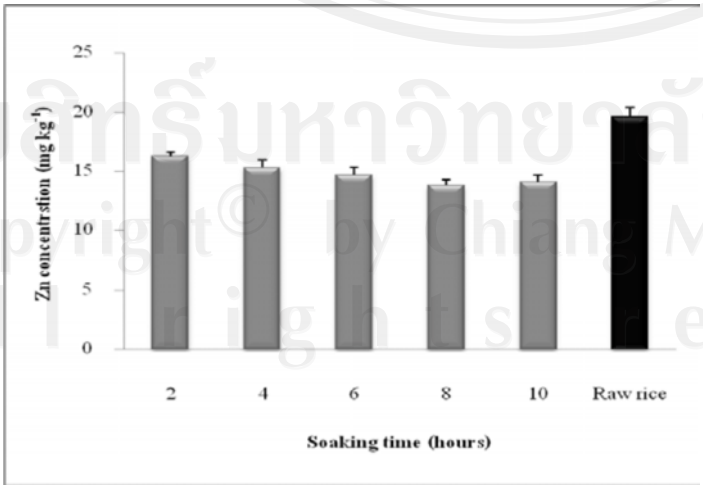
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.4 ความเข้มข้นของธาตุสังกะสี (มก./กก.) ในข้าวขาวที่มีผลมาจากสภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการแช่ข้าวที่แตกต่างกัน (vertical bars เป็นค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากจำนวนข้อมูล 3 ซ้ำ)

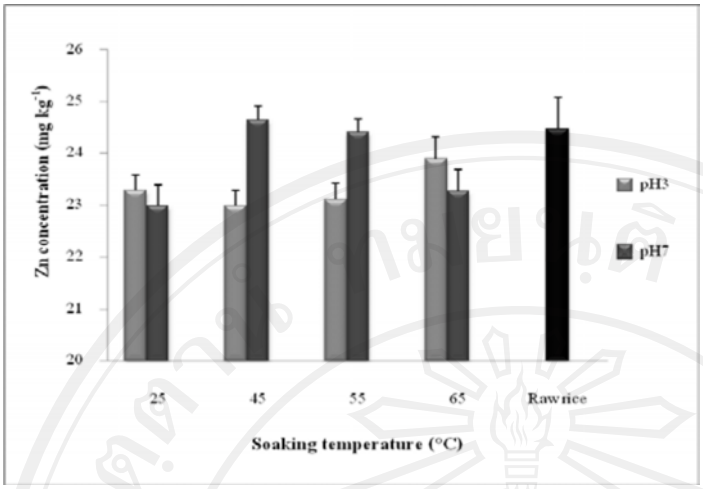


ภาพที่ 4.5 ความเข้มข้นของธาตุสังกะสี (มก./กก.) ในข้าวขาวที่มีผลมาจากอุณหภูมิในการแช่ข้าวที่แตกต่างกัน (vertical bars เป็นค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากจำนวนข้อมูล 3 ซ้ำ)

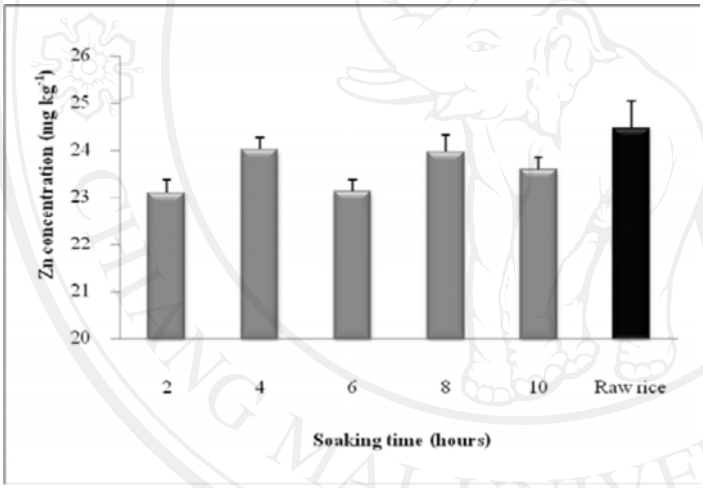


ภาพที่ 4.6 ความเข้มข้นของธาตุสังกะสี (มก./กก.) ในข้าวขาวที่มีผลมาจากระยะเวลาในการแช่ข้าวที่แตกต่างกัน (vertical bars เป็นค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากจำนวนข้อมูล 3 ซ้ำ)

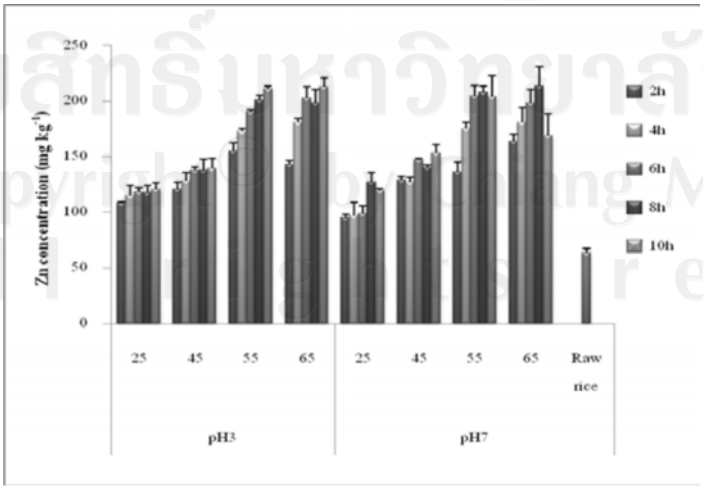
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.7 ความเข้มข้นของธาตุสังกะสี (มก./กก.) ในข้าวกล้องที่มีผลมาจากการแช่ข้าวที่สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิในการแช่ข้าวที่แตกต่างกัน (vertical bars เป็นค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากจำนวนข้อมูล 3 ซ้ำ)



ภาพที่ 4.8 ความเข้มข้นของธาตุสังกะสี (มก./กก.) ในข้าวกล้องที่มีผลมากจากระยะเวลาในการแช่ข้าวที่แตกต่างกัน (vertical bars เป็นค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากจำนวนข้อมูล 3 ซ้ำ)



ภาพที่ 4.9 ความเข้มข้นของธาตุสังกะสี (มก./กก.) ในรำที่มีผลมากจากสภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าวที่แตกต่างกัน (vertical bars เป็นค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากจำนวนข้อมูล 3 ซ้ำ)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.3 ปริมาณต้นข้าว (Head rice yield)

กระบวนการนึ่งข้าวมีผลต่อปริมาณต้นข้าวของข้าวนึ่ง โดยการนึ่งข้าวทำให้ปริมาณต้นข้าวของข้าวนึ่งเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณต้นข้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อแช่ข้าวเปลือกในสภาพที่เหมาะสมเท่านั้น ในทางตรงข้ามหากแช่ข้าวในสภาพที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้ปริมาณต้นข้าวของข้าวนึ่งกลับลดลงยิ่งขึ้น (ตารางที่ 4.4 และ 4.5) ซึ่งปริมาณต้นข้าวของข้าวนึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าว จากการทดลองพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อปริมาณต้นข้าว ($P<0.05$) โดยเมื่อแช่ข้าวที่อุณหภูมิสูงและใช้ระยะเวลาในการแช่นานขึ้นทำให้ข้าวนึ่งมีปริมาณต้นข้าวเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าปริมาณต้นข้าวจะสูงที่สุดเมื่อแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 55 และ 65 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 และ 10 ชั่วโมง (ร้อยละ 97.2 97.8 97.2 และ 98.5) เมื่อเทียบกับข้าวดิบซึ่งมีปริมาณต้นข้าวเพียงร้อยละ 56.3 ในทางตรงข้ามหากแช่ข้าวที่อุณหภูมิต่ำและใช้ระยะเวลาในการแช่น้อยเกินไป ได้แก่ การแช่ข้าวที่ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 4 และ 6 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กลับทำให้ปริมาณต้นข้าวลดลงเหลือเพียงร้อยละ 14.2 28.0 37.3 และ 38.1 เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (ภาพที่ 4.10)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (แสดงค่า F test) ของอิทธิพลของสภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิ และระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อปริมาณต้นข้าว (Head rice yield) ของข้าวพันธุ์ชัยนาท80

ปัจจัย	ปริมาณต้นข้าว (Head rice yield, %)
สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ns
อุณหภูมิ	78.68***
ระยะเวลา	47.00***
สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)*อุณหภูมิ	ns
สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)*ระยะเวลา	ns
อุณหภูมิ* ระยะเวลา	2.27*
สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)*อุณหภูมิ*ระยะเวลา	ns

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 ปริมาณต้นข้าว (ร้อยละ) ภายใต้กระบวนการนึ่งข้าวที่สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH), อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าวต่างกัน

สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณต้นข้าว (Head rice yield, %)
กรด (pH 3±0.05)	25	2	13.0**[#]
		4	25.7ns
		6	39.1ns
		8	68.1ns
		10	76.3*
	45	2	34.0ns
		4	67.5ns
		6	88.5**
		8	88.9**
		10	94.0***
	55	2	66.2ns
		4	87.0*
		6	94.0**
		8	97.2***
		10	98.7**
	65	2	66.8ns
		4	83.0*
		6	94.6**
		8	98.4**
		10	97.3***
ข้าวดิบ (Control)			56.3

[#]เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างข้าวนึ่งและข้าวดิบโดยใช้วิธี t-test

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

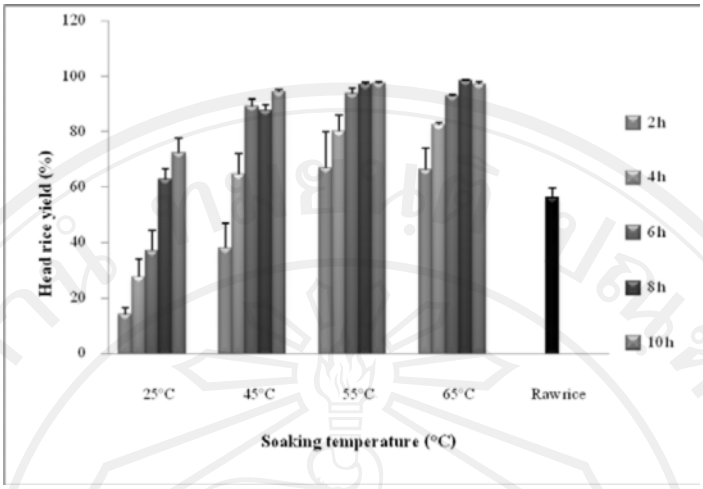
ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณต้นข้าว (Head rice yield, %)
กลาง (pH 7±0.05)	25	2	15.5**[#]
		4	30.3*
		6	35.5ns
		8	57.6ns
		10	69.0ns
	45	2	42.2ns
		4	62.1ns
		6	90.2**
		8	86.7**
		10	94.7***
	55	2	67.6ns
		4	73.5ns
		6	92.0**
		8	97.2***
		10	96.9***
	65	2	65.9ns
		4	82.0**
		6	93.2**
		8	98.7**
		10	97.2***
ข้าวดิบ (Control)			56.3

[#]เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างข้าวนึ่งและข้าวดิบโดยใช้วิธี t-test

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.10 ปริมาณต้นข้าว (ร้อยละ) ของข้าวนึ่งที่มีผลมากจากอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าวที่แตกต่างกัน (vertical bars เป็นค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จากจำนวนข้อมูล 3 ซ้ำ)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 2 ความแปรปรวนของการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ดข้าวนึ่งระหว่างข้าว 5 พันธุ์

4.2.1 ลักษณะทางกายภาพ

4.2.1.1 ขนาด (ความกว้าง ความยาว ความหนา) ของเมล็ดข้าวดิบและข้าวนึ่ง

กระบวนการนึ่งข้าวทำให้ขนาดของเมล็ดข้าว เช่น ความกว้าง ความยาวและความหนาของข้าวทั้ง 5 พันธุ์เปลี่ยนแปลงไป แต่การเปลี่ยนแปลงของขนาดเมล็ดขึ้นอยู่กับการนึ่งและพันธุ์ข้าว จากการทดลองพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวต่อความกว้าง ยาวและหนาของเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งการนึ่งข้าวทำให้เมล็ดข้าวมีความกว้าง ยาวและหนาเปลี่ยนแปลงไปทั้งเพิ่มขึ้นหรือลดลง หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของขนาดเมล็ดนั้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวด้วย โดยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นพันธุ์ที่มีการตอบสนองของขนาดเมล็ดทั้งความกว้าง ยาวและหนาต่อการนึ่งข้าวมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์อื่นๆ ซึ่งหลังจากผ่านการนึ่งแล้ว ข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท 1 มีความกว้าง (2.750 มม.) และหนา (2.092 มม.) เพิ่มขึ้น แต่มีความยาวของเมล็ด (9.783 มม.) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (2.606 2.092 และ 10.862 มม.) ในขณะที่ข้าวพันธุ์กข7 มีความยาวของเมล็ด (10.291 มม.) เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (10.011 มม.) ส่วนพันธุ์พิษณุโลก1 การนึ่งข้าวไม่มีผลทำให้ขนาดของเมล็ดข้าวมีการเปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 4.6)

ในข้าวกล้อง พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวต่อความกว้าง ยาวและหนาของเมล็ดข้าวกล้อง โดยการนึ่งข้าวทำให้เมล็ดข้าวมีความกว้าง ยาวและหนาเปลี่ยนแปลงไป อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงขนาดเมล็ดขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว การนึ่งข้าวทำให้เมล็ดข้าวกล้องของข้าวบางพันธุ์มีความยาว (7.332-7.922 มม.) และหนา (1.793-1.885 มม.) เพิ่มขึ้น แต่กว้างลดลง (2.158-1.326 มม.) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (7.199-7.538 1.804-1.899 มม. และ 2.165-2.341 มม.) ซึ่งพันธุ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงของขนาดเมล็ดมากที่สุด คือ พันธุ์ชัยนาท 80 โดยหลังจากนึ่งข้าวแล้วทำให้เมล็ดข้าวมีความยาว (7.353 มม.) และหนา (1.873 มม.) เพิ่มขึ้น แต่กว้าง (2.224 มม.) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (7.199 1.851 และ 2.287 มม.) ในขณะที่พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพิษณุโลก1 มีการเปลี่ยนแปลงเพียงความกว้างของเมล็ดเท่านั้น โดยทั้งสองพันธุ์มีความกว้างลดลง 2.197 และ 7.710 มม. ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (7.469 และ 1.779 มม.) ส่วนพันธุ์กข7 การนึ่งข้าวไม่มีผลทำให้ขนาดของเมล็ดข้าวมีการเปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 4.7)

นอกจากการนึ่งข้าวจะมีผลต่อขนาดเมล็ดของข้าวเปลือกและข้าวกล้องแล้วการนึ่งข้าวยังมีผลต่อขนาดเมล็ดของข้าวขาวอีกด้วย จากการทดลองพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวต่อความยาวของเมล็ด โดยการนึ่งข้าวทำให้ข้าวพันธุ์กข7 สุพรรณบุรี1 พิษณุโลก1 และชัยนาท1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งเมล็ดข้าวดิบมีความยาวระหว่าง 7.145-7.416 มม. มีความยาวเพิ่มขึ้นหลังจากการนึ่ง (7.258-7.797 มม.) โดยพันธุ์ที่มีความยาวของเมล็ดมากที่สุดหลังจากการนึ่งข้าว คือ พันธุ์ชัยนาท 1 (7.797 มม.) ส่วนพันธุ์ที่มีความยาวของเมล็ดน้อยที่สุด คือ พันธุ์ชัยนาท 80 (7.106 มม.) สำหรับความกว้างของเมล็ดพบว่าเป็นผลมาจากการนึ่งและพันธุ์ข้าวถึงแม้จะพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวต่อความกว้างของเมล็ดก็ตาม การนึ่งข้าวทำให้เมล็ดข้าวมีความกว้าง (2.158 มม.) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (2.186 มม.) ส่วนพันธุ์ที่มีความกว้างเฉลี่ยของเมล็ดข้าวดิบและข้าวนึ่งมากที่สุด คือ พันธุ์กข7 (2.257 มม.) และน้อยที่สุด คือ พันธุ์พิษณุโลก 1 (2.095 มม.) อย่างไรก็ตามจากการทดลองนี้พบว่าความหนาของเมล็ดเป็นผลมากจากพันธุ์ข้าว ไม่ได้มาจากการนึ่ง โดยพันธุ์ที่มีความหนามากที่สุด ได้แก่ พันธุ์กข 7 (1.818 มม.) สุพรรณบุรี1 (1.875 มม.) และชัยนาท80 (1.852 มม.) ส่วนพันธุ์ที่น้อยที่สุด คือพันธุ์พิษณุโลก 1 และชัยนาท1 (1.739 และ 1.474 มม.) (ตารางที่ 4.8)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.6 ความกว้าง ความยาว และความหนา (มม.) ของเมล็ดข้าวเปลือกของข้าว 5 พันธุ์

พันธุ์	ความกว้าง (มม.)			ความยาว (มม.)			ความหนา (มม.)		
	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	2.722Aa	2.749Aa	2.735	10.011Bd	10.291Ac	10.151	2.077Bb	2.115Aa	2.096
สุพรรณบุรี1	2.561Bd	2.629Ac	2.595	10.133Ac	10.138Ad	10.136	2.100Ba	2.129Aa	2.115
พิษณุโลก1	2.579Acd	2.576Ad	2.578	10.480Ab	10.531Ab	10.506	2.024Ac	2.033Ad	2.028
ชัยนาท1	2.606Bc	2.750Aa	2.678	10.862Aa	9.783Be	10.323	1.980Bd	2.092Ab	2.036
ชัยนาท80	2.667Bb	2.710Ab	2.688	9.726Be	10.994Aa	10.360	2.060Ab	2.057Ac	2.059
เฉลี่ย	2.627	2.683	2.655	10.242	10.347	10.295	2.048	2.085	2.067
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	***	***	***	***	***	***	***	***	***
$LSD_{0.05}$	0.026	0.016	0.036	0.081	0.051	0.115	0.016	0.010	0.022

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.7 ความกว้าง ความยาว และความหนา (มม.) ของเมล็ดข้าวกล้องของข้าว 5 พันธุ์

	ความกว้าง (มม.)			ความยาว (มม.)			ความหนา (มม.)		
พันธุ์	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	2.341Aa	2.326Aa	2.333	7.538Ab	7.587Ac	7.563	1.870Ab	1.885Aa	1.878
สุพรรณบุรี1	2.234Ac	2.197Bc	2.215	7.300Ac	7.332Ad	7.316	1.899Aa	1.884Aa	1.892
พิษณุโลก1	2.165Ad	2.158Ad	2.161	7.469Bb	7.710Ab	7.590	1.804Ad	1.793Ac	1.799
ชัยนาท1	2.230Ac	2.197Bc	2.213	7.965Aa	7.922Aa	7.944	1.779Be	1.816Ab	1.797
ชัยนาท80	2.287Ab	2.224Bb	2.256	7.199Bd	7.353Ad	7.276	1.851Bc	1.873Aa	1.862
เฉลี่ย	2.251	2.220	2.236	7.494	7.581	7.538	1.841	1.850	1.845
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	***	***	*	***	***	***	***	*	***
$LSD_{0.05}$	0.017	0.011	0.025	0.060	0.038	0.084	0.012	0.008	0.017

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.8 ความกว้าง ความยาว และความหนา (มม.) ของเมล็ดข้าวขาวของข้าว 5 พันธุ์

พันธุ์	ความกว้าง (มม.)			ความยาว (มม.)			ความหนา (มม.)		
	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	2.267	2.246	2.257a	7.298Bb	7.445Ab	7.371	1.799	1.837	1.818a
สุพรรณบุรี1	2.173	2.165	2.169bc	7.145Bc	7.258Ac	7.202	1.832	1.919	1.875a
พิษณุโลก1	2.112	2.077	2.095d	7.326Bb	7.453Ab	7.389	1.742	1.735	1.739b
ชัยนาท1	2.172	2.137	2.154c	7.416Ba	7.797Aa	7.606	1.742	1.751	1.747b
ชัยนาท80	2.204	2.164	2.184b	7.143Ac	7.106Ad	7.125	1.891	1.812	1.852a
เฉลี่ย	2.186A	2.158B	2.172	7.265	7.412	7.339	1.801	1.811	1.806
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	***	***	ns	***	***	***	***	ns	ns
$LSD_{0.05}$	0.018	0.011	0.025	0.060	0.038	0.085	0.067	0.042	0.095

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1.2 น้ำหนัก 1000 เมล็ด

กระบวนการนึ่งข้าวทำให้น้ำหนักข้าวเปลือก 1000 เมล็ดลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการนึ่งและพันธุ์ข้าว แม้จากการทดลองพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวก็ตาม โดยการนึ่งข้าวทำให้ข้าวเปลือกมีน้ำหนัก 1000 เมล็ด (28.46 กรัม) ลดลงเมื่อเทียบกับข้าวดิบ (28.69 กรัม) ซึ่งพันธุ์ที่มีน้ำหนัก 1000 เมล็ดเฉลี่ยทั้งข้าวดิบและข้าวนึ่งมากที่สุด คือ พันธุ์กข 7 (30.37 กรัม) รองลงมาได้แก่ พันธุ์ชัยนาท1 สุพรรณบุรี1 ชัยนาท80 ซึ่งมีน้ำหนักระหว่าง 27.57-29.45 กรัม ส่วนพันธุ์ที่มีน้ำหนัก 1000 เมล็ดน้อยที่สุด คือ พันธุ์พิษณุโลก1 (27.09 กรัม) (ตารางที่ 4.9)

เมื่อแบ่งเมล็ดเป็นส่วนต่างๆ ได้แก่ แกลบ ข้าวกล้อง ข้าวขาวและรำ พบว่าน้ำหนัก 1000 เมล็ดของส่วนต่างๆ เหล่านี้เป็นผลมาจากการนึ่งและพันธุ์ข้าวเช่นเดียวกับข้าวเปลือก จากการทดลองพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวต่อน้ำหนัก 1000 เมล็ดของแกลบ ข้าวขาวและรำ โดยการนึ่งข้าวทำให้ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีน้ำหนักในส่วนของแกลบ (5.17 กรัม) เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (4.82 กรัม) ในขณะที่พันธุ์อื่นๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามหลังจากการนึ่งแล้วพบว่าพันธุ์ที่มีน้ำหนักในส่วนของแกลบมากที่สุด คือ พันธุ์ชัยนาท1 (5.67 กรัม) รองลงมาได้แก่ พันธุ์กข7 สุพรรณบุรี1 และพิษณุโลก1 ซึ่งมีน้ำหนัก 5.17-5.38 กรัม และน้อยที่สุด คือ พันธุ์ชัยนาท80 (4.80 กรัม) ในส่วนของข้าวขาวพบว่าการนึ่งข้าวทำให้น้ำหนัก 1000 เมล็ดของข้าว 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์กข7 พิษณุโลก1 ชัยนาท1 และชัยนาท80 (20.40-23.33 กรัม) เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (20.13-22.61 กรัม) ยกเว้นพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักหลังจากผ่านการนึ่งข้าว สำหรับพันธุ์ที่มีน้ำหนัก 1000 เมล็ดของข้าวขาวหลังจากการนึ่งมากที่สุด คือ พันธุ์กข7 (23.33 กรัม) รองลงมาได้แก่ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 ชัยนาท1 และชัยนาท80 ซึ่งมีน้ำหนัก 21.94-22.12 กรัม และน้อยที่สุด คือ พันธุ์พิษณุโลก 1 (20.40 กรัม) อย่างไรก็ตามการนึ่งข้าวกลับทำให้น้ำหนักในส่วนของรำข้าวของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ (0.74-1.65 กรัม) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (1.66-2.43 กรัม) โดยหลังจากการนึ่งข้าวแล้วข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (1.65 กรัม) และกข7 (1.48 กรัม) มีน้ำหนักรำมากที่สุด ขณะที่พันธุ์ชัยนาท 80 มีน้ำหนักรำ (0.74 กรัม) น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่นๆ

สำหรับน้ำหนักข้าวกล้อง 1000 เมล็ดพบว่าเป็นผลมาจากการนึ่งและพันธุ์ข้าวถึงแม้จากการทดลองพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าว โดยการนึ่งข้าวทำให้น้ำหนักข้าวกล้อง 1000 เมล็ด (23.21 กรัม) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบที่มีน้ำหนัก 23.51 กรัม พันธุ์ที่มีน้ำหนัก 1000 เมล็ดเฉลี่ยทั้งข้าวดิบและข้าวนึ่งมากที่สุด คือ พันธุ์กข 7 (24.91 กรัม) และน้อยที่สุด คือ พันธุ์พิษณุโลก1 (21.92 กรัม) (ตารางที่ 4.9)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.9 น้ำหนัก 1000 เมล็ด (กรัม) ของข้าวเปลือกและส่วนต่างๆ ของเนื้อเยื่อเมล็ดข้าวดิบและข้าวนึ่งของข้าว 5 พันธุ์ ที่ความชื้น 14%

	ข้าวเปลือก (กรัม)			แกลบ (กรัม)			ข้าวกล้อง (กรัม)		
พันธุ์	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	30.57	30.17	30.37a	5.55Aa	5.38Ab	5.46	25.02	24.80	24.91a
สุพรรณบุรี1	28.46	28.38	28.42c	4.82Bc	5.17Ab	5.00	23.64	23.21	23.42c
พิษณุโลก1	27.18	27.00	27.09e	5.06Ab	5.27Ab	5.16	22.12	21.73	21.92e
ชัยนาท1	29.59	29.30	29.45b	5.79Aa	5.67Aa	5.73	23.80	23.64	23.72b
ชัยนาท80	27.67	27.48	27.57d	4.71Ac	4.80Ac	4.75	22.96	22.68	22.82d
เฉลี่ย	28.69A	28.46B	28.58	5.18	5.26	5.22	23.51A	23.21B	23.36
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	***	***	ns	***	ns	*	***	***	ns
$LSD_{0.05}$	0.18	0.11	0.25	0.17	0.11	0.24	0.15	0.10	0.22

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

พันธุ์	ข้าวขาว (กรัม)			รำ (กรัม)		
	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	22.61Ba	23.33Aa	22.97	2.41Aa	1.48Bab	1.94
สุพรรณบุรี1	21.98Ab	22.12Ab	22.05	1.66Ac	1.09Bc	1.37
พิษณุโลก1	20.13Be	20.40Ac	20.26	2.00Ab	1.33Bb	1.66
ชัยนาท1	21.38Bc	21.99Ab	21.69	2.43Aa	1.65Ba	2.04
ชัยนาท80	21.15Bd	21.94Ab	21.55	1.81Abc	0.74Bd	1.27
เฉลี่ย	21.45	21.95	21.70	2.06	1.25	1.66
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	***	***	***	***	***	*
$LSD_{0.05}$	0.16	0.10	0.22	0.17	0.10	0.23

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1.3 ปริมาณต้นข้าว (Head rice yield)

การขัดสีทำให้ข้าวหัก แต่ข้าวต่างพันธุ์ที่ปลูกในเวลาและสภาพแวดล้อมเดียวกันมีการหักต่างกันจากกระบวนขัดสี ตั้งแต่ในสภาพข้าวดิบ ทำให้ได้ปริมาณต้นข้าวต่างกัน แบ่งได้เป็นสามกลุ่มคือ สุพรรณบุรี 1 และ พิษณุโลก1 ที่ได้ปริมาณต้นข้าวสูง (ร้อยละ 82-85) ชัยนาท1 และชัยนาท80 ได้ปริมาณต้นข้าวปานกลาง (ร้อยละ 68-72) และ กข7 ที่ได้ปริมาณต้นข้าวต่ำ (ร้อยละ 59)

การแปรรูปเป็นข้าวนึ่งทำให้ปริมาณต้นข้าวเพิ่มขึ้นหลังจากผ่านการขัดสี ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณต้นข้าวขึ้นอยู่กับการนึ่งและพันธุ์ข้าว (ตารางที่ 4.10) จากการทดลองพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าว ต่อปริมาณต้นข้าว โดยการนึ่งข้าวทำให้ปริมาณต้นข้าวของข้าวทั้ง 5 พันธุ์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 91.09-94.61 เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบซึ่งมีปริมาณต้นข้าวเพียงร้อยละ 53.45-79.24 ดังนั้นพันธุ์ กข 7 ที่มีปริมาณต้นข้าวดิบต่ำสุดจึงมีการตอบสนองต่อการนึ่งข้าวมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่นๆ โดยที่มีปริมาณต้นข้าวเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 92.81 หลังจากผ่านการนึ่งแล้วเทียบกับปริมาณต้นข้าวเพียงร้อยละ 53.45 ในข้าวดิบ นับเป็นปริมาณต้นข้าวที่เพิ่มขึ้นถึงสองในสามส่วน ส่วนพันธุ์สุพรรณบุรี1 และ พิษณุโลก1 ที่มีปริมาณต้นข้าวสูงอยู่แล้วถึงร้อยละ 79.24-74.64 เมื่อเป็นข้าวดิบ การนึ่งทำให้ปริมาณต้นข้าวเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเป็นร้อยละ 94.61-92.27

4.2.1.4 ความสูญเสียจากการขัดสี (Degree of milling)

การนึ่งข้าวทำให้ข้าวนึ่งมีความสูญเสียจากการขัดสีลดลง แต่การลดลงของความสูญเสียจากการขัดสีจะขึ้นอยู่ กับการนึ่งและพันธุ์ข้าวเช่นเดียวกับปริมาณต้นข้าว (ตารางที่ 4.10) จากการทดลองพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าว การนึ่งข้าวทำให้ข้าวทั้ง 5 พันธุ์มีความสูญเสียจาการขัดสีลดลงเหลือเพียงร้อยละ 3.24-6.97 เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบซึ่งมีความสูญเสียจากการขัดสีถึงร้อยละ 7.00-10.20 อย่างไรก็ตามข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อการนึ่งข้าวแตกต่างกันไป พันธุ์ข้าวที่มีความสูญเสียจากการขัดสีน้อยที่สุด คือ พันธุ์ชัยนาท 80 ซึ่งมีความสูญเสียจากการขัดสีเพียงร้อยละ 3.24 ซึ่งนับเป็นเพียงไม่ถึงครึ่งของในข้าวดิบที่มีความสูญเสียจากการขัดสีถึงร้อยละ 7.88 ในขณะที่พันธุ์ชัยนาท 1 และพิษณุโลก 1 มีความสูญเสียจากการขัดสีมากที่สุด โดยความสูญเสียจากการขัดสีร้อยละ 10.02 และ 9.03 ในข้าวดิบ และความสูญเสียจากการขัดสีลดลงจากการทำเป็นข้าวนึ่งเป็นร้อยละ 6.97 และ 6.11 หรือสองในสามของความสูญเสียจากการขัดสีในข้าวดิบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.10 ปริมาณต้นข้าวและความสูญเสียจากการขัดสีของข้าวดิบและข้าวนึ่งของข้าว 5 พันธุ์ โดยน้ำหนัก

พันธุ์	ปริมาณต้นข้าว (ร้อยละ)			ความสูญเสียจากการขัดสี (ร้อยละ)		
	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	53.45Be	92.81Aa	73.13	9.62Ab	5.94Bb	7.78
สุพรรณบุรี1	79.24Ba	94.61Aa	86.93	7.00Ac	4.69Bc	5.85
พิษณุโลก1	74.64Bb	92.27Aa	83.46	9.03Ab	6.11Bab	7.57
ชัยนาท1	60.67Bd	91.09Aa	75.88	10.20Aa	6.97Ba	8.58
ชัยนาท80	66.34Bc	94.34Aa	80.34	7.88Ac	3.24Bd	5.56
เฉลี่ย	66.87	93.02	879.95	8.75	5.39	7.07
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	***	***	***	***	***	*
$LSD_{0.05}$	2.87	1.82	4.06	0.69	0.44	0.98

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1.5 ความขาว (Whiteness)

กระบวนการนึ่งข้าวมีผลอย่างมากต่อความขาวของเมล็ดข้าว ทั้งนี้ความขาวของเมล็ดขึ้นอยู่กับการนึ่งและพันธุ์ข้าว จากการทดลองพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวต่อความขาวของเมล็ดข้าวทั้งข้าวกล้องและข้าวขาว โดยการนึ่งข้าวทำให้เมล็ดข้าวนึ่งกล้องของข้าว 5 พันธุ์ มีค่าความขาวของเมล็ดเพียงร้อยละ 14.23-16.55 เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบที่มีค่าความขาวร้อยละ 22.88-26.18 หรือกล่าวได้ว่าการนึ่งข้าวทำให้เมล็ดข้าวขาวน้อยกว่าข้าวดิบถึงร้อยละ 39.54 โดยพันธุ์ที่มีเมล็ดข้าวกล้องขาวมากที่สุดหลังจากการนึ่ง คือ พันธุ์ชัยนาท 1 (ร้อยละ 16.55) รองลงมาได้แก่ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 (ร้อยละ 15.13) กข7 (ร้อยละ 15.13) ส่วนพันธุ์พิษณุโลก 1 และชัยนาท80 เมล็ดข้าวกล้องขาวน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 14.60 และ 14.23 ตามลำดับ

นอกจากนั้นการนึ่งข้าวยังทำให้เมล็ดของข้าวขาว 5 พันธุ์ขาวน้อยกว่าข้าวดิบ โดยหลังจากการนึ่งแล้วข้าวทั้ง 5 พันธุ์มีค่าความขาวของเมล็ดระหว่างร้อยละ 21.28-23.48 หรือลดลงถึงร้อยละ51.26 เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบที่มีค่าความขาวร้อยละ 42.0-47.80 ซึ่งพันธุ์ที่มีเมล็ดขาวมากที่สุดหลังจากการนึ่ง ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 1 (ร้อยละ 23.48) และ กข7 (ร้อยละ 23.15) รองลงมา คือ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 (ร้อยละ 22.10) ส่วนพันธุ์ที่เมล็ดขาวน้อยที่สุด ได้แก่ พันธุ์พิษณุโลก 1 และชัยนาท1 ที่มีความขาวร้อยละ 21.33 และ 21.28 ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่าความขาวของข้าวนึ่งขาวเป็นไปในทิศทางเดียวกับความขาวของข้าวนึ่งกล้อง ($r=0.75$, $p<0.001$) คือ ข้าวนึ่งกล้องที่มีความขาวของเมล็ดมากเมื่อนำมาขัดเป็นข้าวขาวจะทำให้ได้เมล็ดข้าวที่มีความขาวมาก (ภาพที่ 4.11)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.11 ความขาว (ร้อยละ) ของข้าวกล้องและข้าวขาวของข้าวดิบและข้าวนึ่งของข้าว 5 พันธุ์

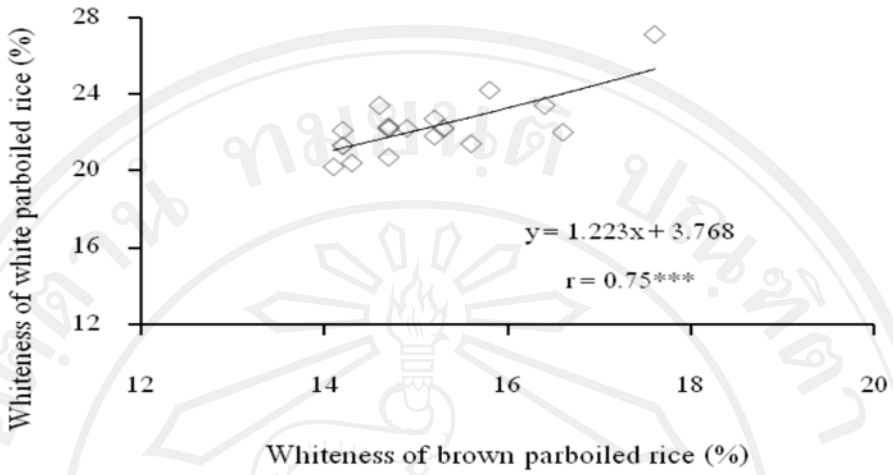
	ค่าความขาว (ร้อยละ)[#]					
	ข้าวกล้อง			ข้าวขาว		
พันธุ์	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	25.80Aa	15.08Bb	20.44	46.78Aa	23.15Ba	34.96
สุพรรณบุรี1	26.03Aa	15.13Bb	20.58	47.80Aa	22.10Bab	34.95
พิษณุโลก1	24.20Ab	14.60Bbc	19.40	44.03Ab	21.33Bb	32.68
ชัยนาท1	26.18Aa	16.55Ba	21.36	48.03Aa	23.48Ba	35.75
ชัยนาท80	22.88Ac	14.23Bc	18.55	42.00Ac	21.28Bb	31.64
เฉลี่ย	25.02	15.12	20.07	45.73	22.27	34.00
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	***	***	***	***	***	***
$LSD_{0.05}$	0.42	0.27	0.60	1.04	0.66	1.48

[#]ค่าความขาวที่ได้วัดจากเครื่อง Satake Milling Meter MM 1D มีค่าระหว่าง 5.0-70.0% ค่าที่น้อยแสดงถึงข้าวมีความขาวน้อย

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขาวของข้าวนึ่งขาว (ร้อยละ) กับค่าความขาวของข้าวนึ่งกล้อง (ร้อยละ) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ (n=20)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1.6 ความใส (Translucency)

กระบวนการนึ่งข้าวทำให้เมล็ดข้าวใสน้อยลงโดยเฉพาะในข้าวขาว ซึ่งความใสของเมล็ดขึ้นอยู่กับการนึ่งและพันธุ์ข้าว จากการทดลองพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวต่อความใสของเมล็ดทั้งในข้าวกล้องและข้าวขาว (ตารางที่ 4.12) โดยการนึ่งข้าวทำให้ความใสของเมล็ดข้าวขาว (ร้อยละ 2.650-3.075) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบที่เมล็ดมีค่าความใสร้อยละ 2.950-3.798 อย่าไรก็ตามความใสของเมล็ดข้าวหลังจากการนึ่งจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ โดยพันธุ์ชัยนาท1 (ร้อยละ 3.075) และสุพรรณบุรี 1 (ร้อยละ 2.925) เป็นพันธุ์ที่เมล็ดใสมากที่สุด ส่วนพันธุ์พิษณุโลก1 (ร้อยละ 2.650) กข7 (ร้อยละ 2.783) และชัยนาท80 (ร้อยละ 2.785) มีความใสของเมล็ดน้อยที่สุด

แต่ในข้าวกล้องการนึ่งข้าวทำให้เมล็ดใสขึ้น โดยเฉพาะพันธุ์กข 7 (ร้อยละ 0.995) สุพรรณบุรี1 (ร้อยละ 1.080) และชัยนาท1 (ร้อยละ 1.073) ยกเว้นพันธุ์ชัยนาท80 (ร้อยละ 0.838) ที่การนึ่งข้าวทำให้เมล็ดใสน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (ร้อยละ 0.845 0.928 0.923 และ0.838) ในขณะที่การนึ่งข้าวไม่มีผลต่อความใสของเมล็ดข้าวพันธุ์พิษณุโลก 1 สำหรับพันธุ์ที่มีความใสของเมล็ดมากที่สุดหลังจากผ่านการนึ่งข้าว ได้แก่ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และชัยนาท1 และพันธุ์ที่เมล็ดใสน้อยที่สุด คือ พันธุ์ชัยนาท80 นอกจากนั้นยังพบความสัมพันธ์ระหว่างความใสของข้าวนึ่งกล้องและข้าวนึ่งขาวอีกด้วย ($r=0.53$, $p<0.05$) โดยพบว่าเมื่อข้าวนึ่งกล้องมีความใสของเมล็ดมากจะทำให้ได้ข้าวนึ่งขาวที่มีความใสมากขึ้นด้วย (ภาพที่ 4.12)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.12 ความใส (ร้อยละ) ของข้าวกล้องและข้าวขาวของข้าวดิบและข้าวนึ่งของข้าว 5 พันธุ์

	ค่าความใส (ร้อยละ)[#]					
	ข้าวกล้อง			ข้าวขาว		
พันธุ์	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	0.845Bb	0.995Ab	0.920	2.950Ad	2.783Bbc	2.866
สุพรรณบุรี1	0.928Ba	1.080Aa	1.004	3.175Ac	2.925Bab	3.050
พิษณุโลก1	0.935Aa	0.930Ab	0.933	3.333Ab	2.650Bc	2.991
ชัยนาท1	0.923Ba	1.073Aa	0.998	3.458Ab	3.075Ba	3.266
ชัยนาท80	0.923Aa	0.838Bc	0.880	3.798Aa	2.785Bbc	3.291
เฉลี่ย	0.911	0.983	0.947	3.343	2.844	3.093
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	***	***	***	***	***	***
$LSD_{0.05}$	0.05	0.03	0.07	0.11	0.07	0.15

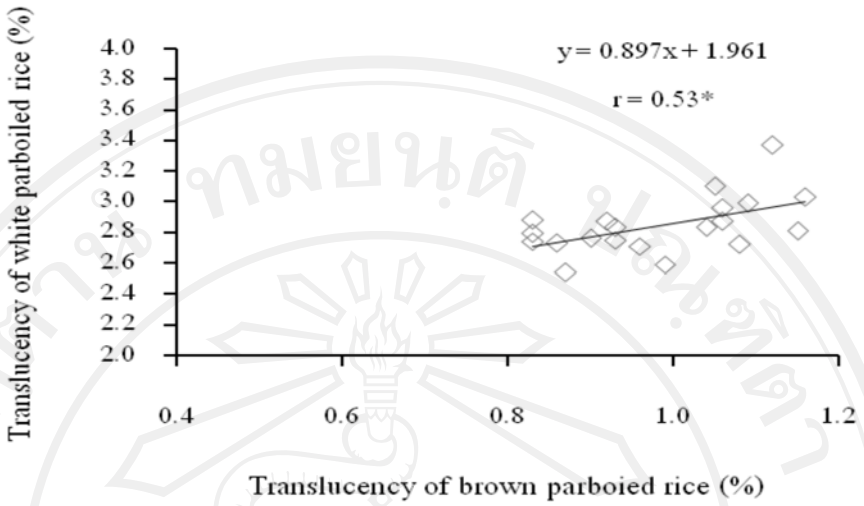
[#]ค่าความใสที่ได้วัดจากเครื่อง Satake Milling Meter MM 1D มีค่าระหว่าง 0.01-8.00 % ค่าที่น้อยแสดงถึงข้าวมีความใสน้อย

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความใสของข้าวนึ่งขาว (ร้อยละ) กับค่าความขาวของข้าวนึ่งกล้อง (ร้อยละ) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ (n=20)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2 ลักษณะทางเคมี

4.2.2.1. ความเข้มข้นของธาตุเหล็ก (Fe concentration)

การนึ่งข้าวทำให้ความเข้มข้นของธาตุเหล็กในส่วนต่างๆ ของเมล็ดเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุเหล็กขึ้นอยู่กับการนึ่งและพันธุ์ข้าว ในส่วนของข้าวเปลือกพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวต่อความเข้มข้นของธาตุเหล็ก อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวเปลือกเป็นผลมากจากการนึ่งข้าว ($P<0.05$) โดยการนึ่งข้าวทำให้ข้าวเปลือกมีความเข้มข้นของธาตุเหล็กลดลง (14.01 มก./กก.) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (14.61 มก./กก.) และพบว่าพันธุ์ข้าวมีผลต่อความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวเปลือก ($P<0.05$) โดยพันธุ์ที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กเฉลี่ยทั้งข้าวดิบและข้าวนึ่งมากที่สุด ได้แก่พันธุ์ชัยนาท 80 (16.23 มก./กก.) และสุพรรณบุรี 1 (15.68 มก./กก.) ส่วนพันธุ์ที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กน้อยที่สุด ได้แก่ พันธุ์พิษณุโลก1 (11.86 มก./กก.) (ตารางที่ 4.13)

เมื่อแบ่งเป็นส่วนต่างๆ ของเมล็ด ได้แก่ แกลบ ข้าวกล้อง ข้าวขาวและรำ พบว่าการแปรรูปเป็นข้าวนึ่งทำให้ความเข้มข้นของธาตุเหล็กเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในข้าวขาว แต่การเพิ่มของธาตุเหล็กจะขึ้นอยู่กับการนึ่งและพันธุ์ข้าว (ตารางที่ 4.13) จากการทดลองพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวต่อความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวขาว โดยพบว่าการนึ่งข้าวทำให้ข้าวมีความเข้มข้นของธาตุเหล็กเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อการนึ่งข้าวแตกต่างกันไป ซึ่งการนึ่งข้าวทำให้ความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (5.38 มก./กก.) เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (4.43 มก./กก.) แต่การนึ่งข้าวไม่ทำให้ความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวพันธุ์กข7 สุพรรณบุรี1 พิษณุโลก1 และชัยนาท80 เปลี่ยนแปลง (4.73-5.85 มก./กก.) สำหรับพันธุ์ที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กมากที่สุดหลังจากผ่านการนึ่ง ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 80 และ สุพรรณบุรี 1 ซึ่งมีความเข้มข้นของธาตุเหล็ก 5.85 และ 5.43 มก./กก. รองลงมาได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 1 (5.38 มก./กก.) และกข 7 (5.30 มก./กก.) ส่วนพันธุ์ที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กน้อยทีสุด ได้แก่ พันธุ์พิษณุโลก 1 (4.73 มก./กก.)

การนึ่งข้าวมีผลต่อความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวกล้องน้อยมาก ($P<0.05$) โดยการนึ่งข้าวทำให้ข้าวกล้องมีความเข้มข้นของธาตุเหล็ก (9.63 มก./กก.) ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (10.37 มก./กก.) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวกล้องเป็นผลมาจากพันธุ์ข้าวมากกว่าการนึ่งข้าวซึ่งความเข้มข้นของธาตุเหล็กแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ โดยพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุเหล็กระหว่างข้าวดิบและข้าวนึ่งมากที่สุด ได้แก่ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 (11.29 มก./กก.) และน้อยที่สุด ได้แก่พันธุ์พิษณุโลก1 (7.46 มก./กก.) (ตารางที่ 4.13)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในส่วนของแกลบและรำที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กมากที่สุด ซึ่งมากกว่าข้าวกล้องถึงสี่และสิบเท่า การทำข้าวนึ่งทำให้ความเข้มข้นของธาตุเหล็กทั้งในแกลบและรำเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบกว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวต่อความเข้มข้นของธาตุเหล็กทั้งในส่วนของแกลบและรำ โดยความเข้มข้นของธาตุเหล็กในแกลบเพิ่มขึ้นหลังจากนึ่งข้าว (31.70-46.83 มก./กก.) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กระหว่าง 26.63-43.53 มก./กก. โดยที่ข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อการนึ่งข้าวแตกต่างกัน โดยข้าวพันธุ์พิษณุโลก 1 ชัยนาท 1 และชัยนาท 80 มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กเพิ่มขึ้น ในขณะที่พันธุ์กข7 และสุพรรณบุรี 1 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ แต่อย่างไรก็ตามพันธุ์ที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กมากที่สุดหลังจากนึ่งข้าว ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 80 (46.83 มก./กก.) และพิษณุโลก1 (46.43 มก./กก.) ส่วนพันธุ์ที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กน้อยที่สุด ได้แก่ พันธุ์พิษณุโลก 1 (31.70 มก./กก.) และกข 7 (32.35 มก./กก.) และในส่วนของรำการนึ่งข้าวทำให้ความเข้มข้นของธาตุเหล็กของข้าวทุกพันธุ์เพิ่มขึ้นร้อยละ 24 (115.13-152.07 มก./กก.) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กเพียง 71.02-118.55 มก./กก. ยกเว้นพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (118.55 มก./กก.) ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (124.78 มก./กก.) (ตารางที่ 4.13)

นอกจากนั้นจากการทดลองยังพบความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของธาตุเหล็กในส่วนของข้าวเปลือก แกลบ และข้าวกล้อง ระหว่างข้าวดิบและข้าวนึ่ง โดยพบว่าถ้าในข้าวเปลือก แกลบ และข้าวกล้องของข้าวดิบมีความเข้มข้นของธาตุเหล็กสูง จะทำให้ความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวเปลือก แกลบ และข้าวกล้องของข้าวนึ่งเพิ่มสูงขึ้นด้วย ($r=0.43$, $p<0.001$ $r=0.72$, $p<0.001$ และ $r=0.72$, $p<0.001$) (ภาพที่ 4.13-4.15) และพบว่าเมื่อส่วนแกลบของข้าวดิบมีความเข้มข้นของธาตุเหล็กเพิ่มสูงขึ้นทำให้ข้าวนึ่งขาวมีความเข้มข้นของธาตุเหล็กเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ($r=0.50$, $p<0.05$) (ภาพที่ 4.16)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2.2. ความเข้มข้นของธาตุสังกะสี (Zn concentration)

กระบวนการนึ่งข้าวมีผลต่อความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในส่วนต่างๆ ของเนื้อเยื่อแตกต่างกันไป ซึ่งการเพิ่มขึ้นและลดลงของความเข้มข้นของธาตุสังกะสีขึ้นอยู่กับการนึ่งและพันธุ์ข้าว ในส่วนของข้าวเปลือกพบว่าความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวเปลือกขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวเพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 4.14) โดยพันธุ์ที่มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีมากที่สุด ได้แก่ พันธุ์กข 7 (34.56 มก./กก.) และชัยนาท80 (33.15 มก./กก.) ส่วนพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เป็นพันธุ์ที่มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีน้อยที่สุด คือ 31.41 มก./กก.

เมื่อแบ่งเป็นส่วนต่างๆ ของเมล็ด ได้แก่ แกลบ ข้าวกล้อง ข้าวขาวและรำ พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวต่อความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในแกลบ ข้าวขาว และรำ (ตารางที่ 4.14) โดยเฉพาะในส่วนของข้าวขาวซึ่งเป็นรูปแบบที่นิยมบริโภคมากที่สุดกลับพบว่าการนึ่งข้าวทำให้ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวขาวลดลง โดยข้าวแต่ละพันธุ์ก็มีการตอบสนองต่อการนึ่งข้าวแตกต่างกัน การนึ่งข้าวทำให้ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวพันธุ์กข 7 พิษณุโลก1 ชัยนาท1 และชัยนาท80 ลดลง (13.18-24.30 มก./กก.) ในขณะที่พันธุ์สุพรรณบุรี 1 (24.05 มก./กก.) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (26.25-30.43 มก./กก.) โดยหลังจากการนึ่งข้าวแล้วพันธุ์ที่มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีมากที่สุด ได้แก่ พันธุ์กข 7 และสุพรรณบุรี 1 (24.30 และ 24.05 มก./กก.) และน้อยที่สุด ได้แก่ พันธุ์พิษณุโลก 1 ชัยนาท1 และชัยนาท80 (17.60 13.18 และ 15.55 มก./กก.) อย่างไรก็ตามในส่วนของแกลบและรำกลับพบว่าการนึ่งข้าวทำให้ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีเพิ่มขึ้น ในส่วนของรำการนึ่งข้าวทำให้ข้าวทุกพันธุ์มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีเพิ่มขึ้นถึง 2.30 เท่า (200.68-216.27 มก./กก.) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบที่มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีเพียง 73.38-1.80 มก./กก. ในส่วนของแกลบการนึ่งข้าวทำให้ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวทุกพันธุ์เพิ่มขึ้น (62.03-67.63 มก./กก.) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (56.50-58.00 มก./กก.) ยกเว้นพันธุ์พิษณุโลก1 (64.50 มก./กก.) ที่ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (61.68 มก./กก.)

สำหรับในส่วนของข้าวกล้อง พบว่า การนึ่งข้าวไม่มีผลต่อความเข้มข้นของธาตุสังกะสีเช่นเดียวกับข้าวเปลือก แต่ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีเป็นผลมาจากพันธุ์ข้าว (ตารางที่ 4.14) โดยพันธุ์ที่มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีเฉลี่ยทั้งข้าวดิบและข้าวนึ่งมากที่สุดได้แก่ พันธุ์กข7 (36.80 มก./กก.) และชัยนาท80 (34.94 มก./กก.) และน้อยที่สุด ได้แก่ พันธุ์สุพรรณบุรี1 และพิษณุโลก1 (33.13 และ 31.68 มก./กก.) นอกจากนั้นยังพบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในส่วนของข้าวกล้องและรำ ระหว่างข้าวดิบและข้าวนึ่ง โดยพบว่าเมื่อความเข้มข้นของธาตุสังกะสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของข้าวกล้องและรำของข้าวดิบเพิ่มขึ้น จะทำให้ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีของข้าวนึ่งกล้องและรำเพิ่มสูงขึ้นด้วย ($r=0.49$, $p<0.05$ และ $r=0.50$, $p<0.05$) (ภาพที่ 4.17 และ 4.18)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.13 ความเข้มข้นของธาตุเหล็ก (มก./กก.) ในข้าวเปลือกและส่วนต่างๆ ของเนื้อเยื่อเมล็ดข้าวดิบและข้าวนึ่งของข้าว 5 พันธุ์

	ข้าวเปลือก (มก./กก.)			แกลบ (มก./กก.)			ข้าวกล้อง (มก./กก.)		
พันธุ์	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	13.95	13.23	13.59b	34.38Ab	32.35Ac	33.36	11.58	9.98	10.78ab
สุพรรณบุรี1	15.95	15.40	15.68a	43.53Aa	46.43Aa	44.98	11.53	11.05	11.29a
พิษณุโลก1	12.45	11.28	11.86c	26.63Bc	31.70Ac	29.16	7.93	7.00	7.46c
ชัยนาท1	14.35	14.05	14.20b	33.00Bb	38.05Ab	35.53	10.40	9.48	9.94b
ชัยนาท80	16.35	16.10	16.23a	39.28Ba	46.83Aa	43.05	10.43	10.63	10.53ab
เฉลี่ย	14.61A	14.01B	14.31	35.36	39.07	37.22	10.37A	9.63B	10.00
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	***	*	ns	***	***	*	***	*	ns
$LSD_{0.05}$	0.80	0.51	1.14	3.06	1.94	4.33	1.06	0.67	1.49

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

	ข้าวขาว (มก./กก.)			รำ (มก./กก.)		
พันธุ์	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	5.70Aa	5.30Aab	5.50	107.23Ba	152.07Aa	129.65
สุพรรณบุรี1	6.03Aa	5.43Aa	5.73	118.55Aa	124.78Abc	121.67
พิษณุโลก1	4.93Ab	4.73Ab	4.83	86.45Bb	115.13Ac	100.79
ชัยนาท1	4.43Bb	5.38Aab	4.90	71.20Bb	140.68Aab	105.94
ชัยนาท80	5.80Aa	5.85Aa	5.83	104.88Ba	148.72Aa	126.80
เฉลี่ย	5.38	5.34	5.36	97.66	136.28	116.97
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	***	ns	*	***	***	***
$LSD_{0.05}$	0.48	0.30	0.68	11.90	7.53	16.84

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.14 ความเข้มข้นของธาตุสังกะสี (มก./กก.) ในข้าวเปลือกและส่วนต่างๆ ของเนื้อเยื่อเมล็ดข้าวดิบและข้าวนึ่งของข้าว 5 พันธุ์

	ข้าวเปลือก (มก./กก.)			แกลบ (มก./กก.)			ข้าวกล้อง (มก./กก.)		
พันธุ์	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	34.05	35.08	34.56a	57.85Bb	62.03Abc	59.94	37.75	35.85	36.80a
สุพรรณบุรี1	31.40	31.43	31.41c	58.00Bb	62.55Ab	60.28	34.23	33.13	33.68bc
พิษณุโลก1	32.55	33.43	32.99b	61.68Aa	64.50Ab	63.09	31.68	31.68	31.68c
ชัยนาท1	32.05	33.45	32.75b	56.50Ab	59.40Ac	57.95	34.43	33.73	34.08b
ชัยนาท80	34.23	33.15	33.69ab	57.90Bb	67.63Aa	62.76	34.20	35.68	34.94ab
เฉลี่ย	32.86	33.31	33.08	58.39	63.22	60.80	34.46	34.01	34.23
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	***	ns	ns	***	***	*	**	ns	ns
$LSD_{0.05}$	1.06	0.68	1.50	2.21	1.40	3.13	2.21	1.40	3.13

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน

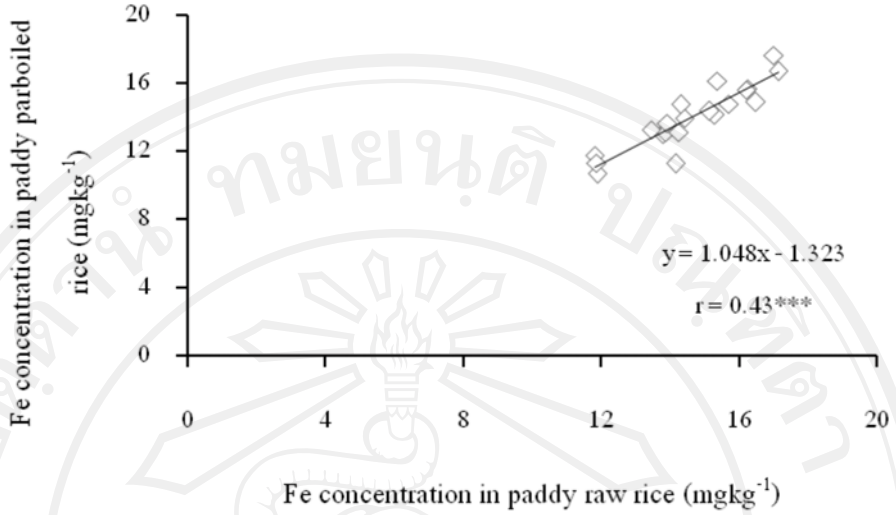
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

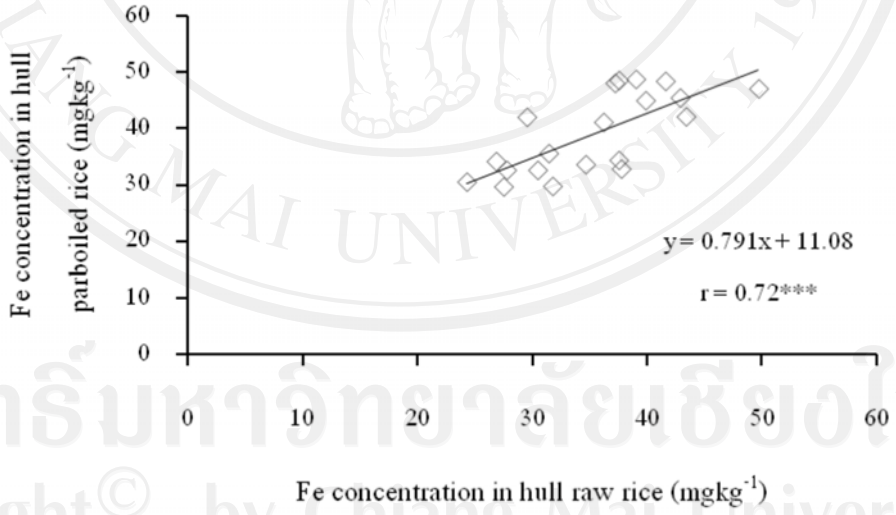
	ข้าวขาว (มก./กก.)			รำ (มก./กก.)		
พันธุ์	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	30.43Aa	24.30Ba	27.36	99.75Ba	209.38Aa	154.57
สุพรรณบุรี1	26.25Ab	24.05Aa	25.15	96.00Bab	213.60Aa	154.80
พิษณุโลก1	27.68Aab	17.60Bb	22.64	100.80Ba	216.27Aa	158.54
ชัยนาท1	26.75Ab	13.18Bb	19.96	73.38Bc	200.68Ab	137.03
ชัยนาท80	30.28Aa	15.55Bb	22.91	88.03Bb	216.23Aa	152.13
เฉลี่ย	28.28	18.94	23.61	91.59	211.23	151.41
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	***	***	***	***	***	*
$LSD_{0.05}$	2.37	1.50	3.35	5.89	3.72	8.32

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

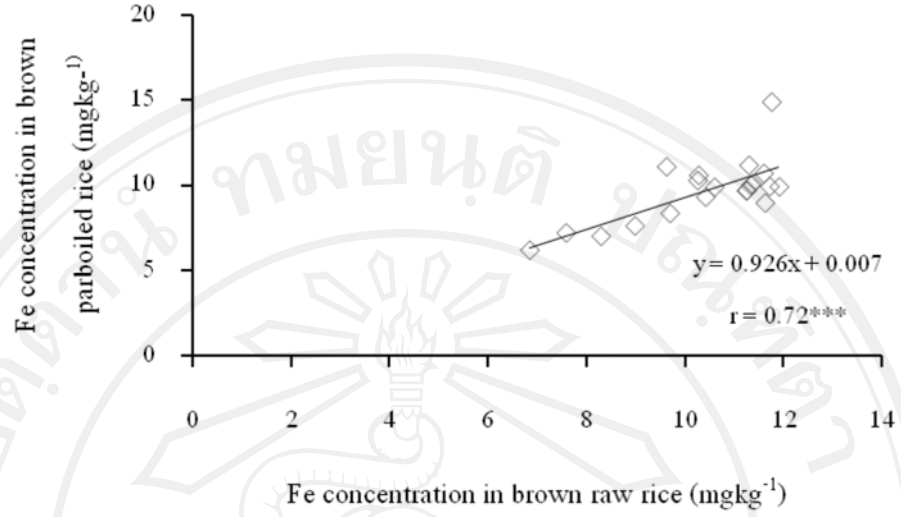


ภาพที่ 4. 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวเปลือกนึ่ง (มก./กก.) กับความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวเปลือกดิบ (มก./กก.) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ (n=20)

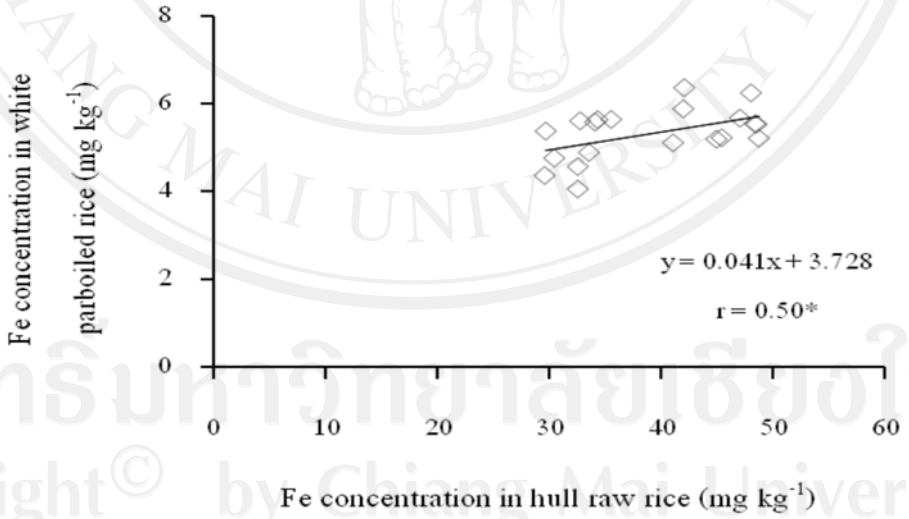


ภาพที่ 4. 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุเหล็กในแกลบของข้าวนึ่ง (มก./กก.) กับความเข้มข้นของธาตุเหล็กในแกลบของข้าวดิบ (มก./กก.) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ (n=20)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

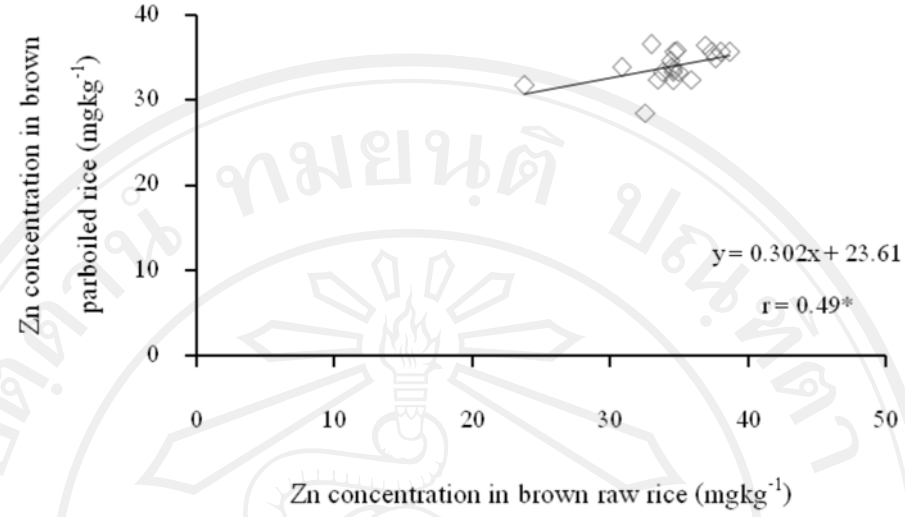


ภาพที่ 4. 15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวนึ่งกล้อง (มก./กก.) กับความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวกล้องดิบ (มก./กก.) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ (n=20)

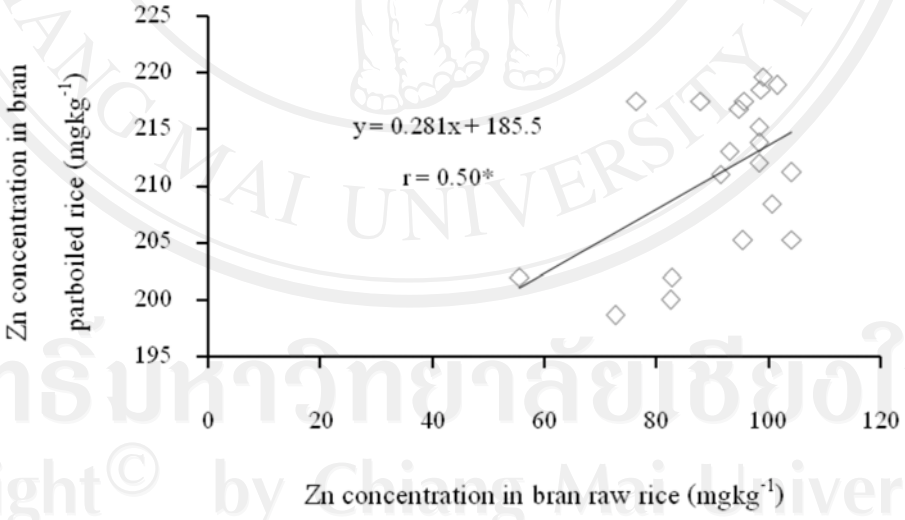


ภาพที่ 4. 16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวนึ่งขาว (มก./กก.) กับความเข้มข้นของธาตุเหล็กในแกลบของข้าวดิบ (มก./กก.) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ (n=20)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4. 17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในรำของข้าวนึ่ง (มก./กก.) กับความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในรำของข้าวดิบ (มก./กก.) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ (n=20)



ภาพที่ 4. 18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวนึ่งกล้อง (มก./กก.) กับความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวกล้องดิบ (มก./กก.) ของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ (n=20)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2.3 ความเข้มข้นของธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ดข้าวหัก (มก./กก.)

ความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวหัก (มก./กก.)

กระบวนการนึ่งข้าวทำให้ความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวกล้องหักเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณการเพิ่มขึ้นอยู่กับการนึ่งและพันธุ์ข้าว (ตารางที่ 4.15) จากการทดลองพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวต่อความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวหักของข้าวกล้องหัก โดยพบว่าการนึ่งข้าวทำให้ความเข้มข้นของธาตุเหล็กเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อการนึ่งข้าวแตกต่างกันไป โดยข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (11.60 มก./กก.) และชัยนาท1 (12.78 มก./กก.) มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นหลังจากการนึ่งข้าวเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (9.60 และ 10.10 มก./กก.) ในขณะที่ข้าวพันธุ์อื่นๆ ได้แก่ พันธุ์กข 7 พิษณุโลก1 และชัยนาท80 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยพันธุ์ที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กมากที่สุดหลังจากผ่านกระบวนการนึ่งข้าว ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 1 (12.78 มก./กก.) ชัยนาท80 (12.48 มก./กก.) และสุพรรณบุรี1 (11.60 มก./กก.) และพันธุ์ที่มีความเข้มข้นน้อยที่สุด ได้แก่ พันธุ์ พิษณุโลก1 (7.70 มก./กก.)

ในส่วนของข้าวขาวหัก ความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวขาวเป็นผลมากจากการนึ่งและพันธุ์ข้าว พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวต่อความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวขาวหัก โดยข้าวแต่ละพันธุ์ตอบสนองต่อการนึ่งข้าวแตกต่างกัน โดยแบ่งเป็น 3 แบบ ได้แก่ 1) พันธุ์ที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นหลังจากการนึ่งข้าว ได้แก่ พันธุ์พิษณุโลก 1 และชัยนาท1 2) พันธุ์ที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กลดลงหลังจากการนึ่งข้าว ได้แก่ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และ 3) พันธุ์ที่ความเข้มข้นของธาตุเหล็กไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากการนึ่งข้าว ได้แก่ พันธุ์กข 7 และชัยนาท80 สำหรับพันธุ์ที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กมากที่สุด ได้แก่ พันธุ์พิษณุโลก 1 (8.82 มก./กก.) และชัยนาท80 (7.83 มก./กก.) และน้อยที่สุด ได้แก่ พันธุ์กข7 (6.45 มก./กก.) (ตารางที่ 4.15)

ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวหัก (มก./กก.)

การแปรรูปเป็นข้าวนึ่งทำให้ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวหักลดลง โดยเฉพาะในข้าวขาว จากการทดลองพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวต่อความเข้มข้นของธาตุสังกะสี โดยพบว่าการนึ่งข้าวทำให้ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวขาวลดลง แต่อย่างไรก็ตามข้าวแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อการนึ่งข้าวแตกต่างกัน การนึ่งข้าวทำให้ข้าวทุกพันธุ์มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีลดลง (16.63-18.88 มก./กก.) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบที่มีความเข้มข้นถึง 28.08-32.75 มก./กก. ยกเว้นพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (25.30 มก./กก.) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (27.83 มก./กก.) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่นๆ แล้วพบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 ยังเป็นพันธุ์ที่มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีมากที่สุดอีกด้วย (ตารางที่ 4.16)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในส่วนของข้าวกล้องหัก พบว่า ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีขึ้นอยู่กับการนึ่งข้าวเพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 4.16) โดยการนึ่งข้าวทำให้ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวกล้อง (38.08 มก./กก.) เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบที่มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสี 33.16 มก./กก. นอกจากนั้นยังพบว่าการนึ่งข้าวทำให้ข้าวกล้องหักมีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีมากกว่าส่วนของข้าวขาวถึงสองเท่า

สัดส่วนของคัพภะและเนื้อเยื่อสะสมอาหารของข้าวหัก

ในข้าวกล้องนั้นข้าวส่วนที่หักสามารถแบ่งได้เป็นสองส่วนได้แก่ ส่วนของข้าวหักที่มีคัพภะติดอยู่และส่วนของข้าวหักที่มีแต่เนื้อเยื่อสะสมอาหาร แต่ในข้าวขาวซึ่งผ่านกระบวนการขัดสีแล้วข้าวส่วนที่หักจะพบเพียงส่วนของเนื้อเยื่อสะสมอาหารเท่านั้น เนื่องจากส่วนของคัพภะและเยื่อหุ้มเมล็ดถูกขัดออกไปเป็นส่วนของรำข้าว

ในส่วนของข้าวกล้องที่ข้าวหักประกอบด้วยส่วนของคัพภะและเนื้อเยื่อสะสมอาหาร พบว่า การนึ่งข้าวทำให้ข้าวหักมีส่วนของคัพภะที่ติดมาเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณการเพิ่มจะแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ จากการทดลองพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวต่อสัดส่วนของคัพภะและเนื้อเยื่อสะสมอาหาร ($P<0.01$) (ตาราที่ 4.17) โดยพบว่าการนึ่งข้าวทำให้ข้าวพันธุ์ชัยนาท 80 มีส่วนของคัพภะที่ติดมากับข้าวหัก (ร้อยละ 59.08 โดยน้ำหนัก) เพิ่มขึ้น แต่ส่วนของเนื้อเยื่อสะสมอาหาร (ร้อยละ 40.66 โดยน้ำหนัก) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (ร้อยละ 44.65 และ 55.35 โดยน้ำหนัก) ซึ่งทำให้ข้าวหักพันธุ์นี้มีส่วนของคัพภะที่ติดมามากที่สุดแต่มีส่วนของเนื้อเยื่อสะสมอาหารน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่นๆ (ร้อยละ 39.39-45.20 และ 54.80-60.61 โดยน้ำหนัก)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.15 ความเข้มข้นของธาตุเหล็ก (มก./กก.) ในข้าวกล้องและข้าวขาวหักของข้าวดิบและข้าวนึ่งของข้าว 5 พันธุ์

	ข้าวกล้อง (มก./กก.)			ข้าวขาว (มก./กก.)		
พันธุ์	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	11.03Aab	10.30Ab	10.66	5.93Abc	6.45Ac	6.19
สุพรรณบุรี1	9.63Bbc	11.62Aab	10.62	8.75Aa	6.93Bbc	7.84
พิษณุโลก1	8.15Ac	7.68Ac	7.91	6.68Bb	8.28Aa	7.48
ชัยนาท1	10.10Bb	12.78Aa	11.44	4.65Bc	6.85Abc	5.75
ชัยนาท80	11.43Aa	12.49Aa	11.96	8.80Aa	7.83Ab	8.31
เฉลี่ย	10.07	10.97	10.52	6.96	7.27	7.11
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	***	*	*	***	ns	***
$LSD_{0.05}$	1.17	0.74	1.66	0.94	0.59	1.33

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง

ตารางที่ 4.16 ความเข้มข้นของธาตุสังกะสี (มก./กก.) ในข้าวกล้องและข้าวขาวหักของข้าวดิบและข้าวนึ่งของข้าว 5 พันธุ์

	ข้าวกล้อง (มก./กก.)			ข้าวขาว (มก./กก.)		
พันธุ์	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	31.70	39.08	35.39	30.73Aa	18.88Bb	24.80
สุพรรณบุรี1	34.15	40.95	37.55	27.83Aa	25.30Aa	26.56
พิษณุโลก1	33.15	37.15	35.15	28.08Aa	17.43Bb	22.75
ชัยนาท1	31.63	35.43	33.53	30.63Aa	16.63Bb	23.63
ชัยนาท80	35.18	37.78	36.48	32.75Aa	17.95Bb	25.35
เฉลี่ย	33.16B	38.08A	35.62	30.00	19.24	24.62
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	ns	***	ns	ns	***	**
$LSD_{0.05}$	3.12	1.97	4.41	3.64	2.30	5.14

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.17 สัดส่วนของคัพภะและเนื้อเยื่อสะสมอาหารของข้าวกล้องหัก (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

	ข้าวกล้อง (ร้อยละ)					
	คัพภะ			เนื้อเยื่อสะสมอาหาร		
พันธุ์	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	43.48Aa	39.39Ab	41.43	56.52Aa	60.61Aa	58.57
สุพรรณบุรี1	42.99Aa	45.20Ab	44.09	57.01Aa	54.80Aa	55.91
พิษณุโลก1	38.96Aa	39.60Ab	39.28	61.04Aa	60.40Aa	60.72
ชัยนาท1	39.04Aa	43.87Ab	41.45	60.96Aa	56.13Aa	58.55
ชัยนาท80	44.65Ba	59.08Aa	51.86	55.35Aa	40.66Bb	48.01
เฉลี่ย	41.82	45.43	43.62	58.18	54.52	56.35
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	***	**	**	***	**	**
$LSD_{(0.05)}$	4.23	2.68	5.99	4.23	2.67	5.98

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2.4 ปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสี (Fe and Zn content)

ปริมาณธาตุเหล็ก (ไมโครกรัม/เมล็ด)

ในแต่ละส่วนของเนื้อเยื่อเมล็ดข้าวมีความแปรปรวนของปริมาณธาตุเหล็กแตกต่างกันไป เมื่อเรียงลำดับปริมาณธาตุเหล็กจากมากไปน้อยตามลำดับของเนื้อเยื่อเมล็ด พบว่า ในข้าวดิบสามารถเรียงลำดับได้ คือ ข้าวกล้อง (0.2 47 ไมโครกรัม/เมล็ด) แกลบ (0.2 09 ไมโครกรัม/เมล็ด) รำ (0.130 ไมโครกรัม/เมล็ด) และข้าวขาว (0.1 17 ไมโครกรัม/เมล็ด) แต่ในข้าวนึ่งลำดับของปริมาณธาตุเหล็กในเนื้อเยื่อเมล็ดข้าวจะแตกต่างจากข้าวดิบ และสามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ ข้าวกล้อง (0.2 31 ไมโครกรัม/เมล็ด) แกลบ (0.19 1 ไมโครกรัม/เมล็ด) ข้าวขาว (0.1 18 ไมโครกรัม/เมล็ด) และรำ (0.113 ไมโครกรัม/เมล็ด) (ตารางที่ 4.18)

กระบวนการนึ่งข้าวทำให้ปริมาณของธาตุเหล็กในส่วนต่างๆ ของเนื้อเยื่อเมล็ดเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งขนาดของการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับการนึ่งและพันธุ์ข้าว โดยการนึ่งข้าวมีผลต่อปริมาณธาตุเหล็กในข้าวเล็กน้อย แม้พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวต่อปริมาณธาตุเหล็กในข้าวขาว ($P<0.05$) โดยการนึ่งข้าวทำให้ปริมาณธาตุเหล็กของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (0.119 ไมโครกรัม/เมล็ด) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวดิบ (0.096 ไมโครกรัม/เมล็ด) ในขณะที่พันธุ์กข 7 สุพรรณบุรี 1 พิษณุโลก1 และชัยนาท80 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (0.098-0.126 ไมโครกรัม/เมล็ด) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (0.101-0.132 ไมโครกรัม/เมล็ด) อย่างไรก็ตามหลังจากการนึ่งข้าวแล้วพบว่าข้าวพันธุ์พิษณุโลก 1 เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณธาตุเหล็กน้อยที่สุด (0.098 ไมโครกรัม/เมล็ด) เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่นๆ (0.119-0.126 ไมโครกรัม/เมล็ด)

ในส่วนของแกลบ ข้าวกล้องและรำ พบว่า การนึ่งข้าวไม่มีผลต่อปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ด แต่เป็นผลมากจากพันธุ์ข้าว ($P<0.001$) (ตารางที่ 4.18) ในข้าวกล้องพันธุ์กข7 และสุพรรณบุรี1 (0.270-0.272 ไมโครกรัม/เมล็ด) มีปริมาณธาตุเหล็กมากที่สด เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่นๆ และพันธุ์ที่มีปริมาณธาตุเหล็กน้อยที่สุด ได้แก่ พันธุ์พิษณุโลก 1 (0.167 ไมโครกรัม/เมล็ด) ในแกลบพบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และชัยนาท80 มีปริมาณธาตุเหล็กมากที่สุด (0.233-0.234 ไมโครกรัม/เมล็ด) ในขณะที่พันธุ์กข 7 และพิษณุโลก 1 เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณธาตุเหล็กน้อยที่สุด (0.159-0.174 ไมโครกรัม/เมล็ด) ส่วนในรำ พบว่าข้าวพันธุ์พิษณุโลก 1 มีปริมาณธาตุเหล็กน้อยที่สุด (0.068 ไมโครกรัม/เมล็ด) เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์อื่นๆ ซึ่งมีปริมาณธาตุเหล็กถึง 0.118-0.145 ไมโครกรัม/เมล็ด)

สำหรับปริมาณธาตุเหล็กทั้งเมล็ดหรือข้าวเปลือก (แกลบ +ข้าวขาว +รำ) พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวต่อปริมาณธาตุเหล็กในข้าวเปลือก แต่อย่างไรก็ตามปริมาณธาตุเหล็กในข้าวเปลือกนั้นขึ้นอยู่กับการนึ่งข้าว ($P<0.001$) โดยการนึ่งข้าวทำให้ข้าวเปลือกมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณธาตุเหล็ก (0.421 ไมโครกรัม/เมล็ด) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (0.456 ไมโครกรัม/เมล็ด) นอกจากนั้นพันธุ์ข้าวยังมีผลต่อปริมาณธาตุเหล็กในข้าวเปลือกอีกด้วย โดยข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เป็นพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุเหล็กระหว่างข้าวดิบและข้าวนึ่งมากที่สุด คือ 0.505 ไมโครกรัม/เมล็ด ส่วนพันธุ์ที่มีปริมาณธาตุเหล็กน้อยที่สุด ได้แก่ พันธุ์พิษณุโลก 1 (0.341 ไมโครกรัม/เมล็ด) (ตารางที่ 4.18)

ปริมาณธาตุสังกะสี (ไมโครกรัม/เมล็ด)

ปริมาณธาตุสังกะสีในแต่ละส่วนของเนื้อเยื่อเมล็ดมีความแปรปรวนแตกต่างกันในแต่ละเนื้อเยื่อของเมล็ดข้าว เมื่อเรียงลำดับปริมาณธาตุสังกะสีจากมากไปน้อยตามลำดับของเนื้อเยื่อเมล็ด พบว่า ในข้าวดิบ สามารถเรียงลำดับได้ คือ ข้าวกล้อง (0.82 ไมโครกรัม/เมล็ด) ข้าวขาว (0.61 ไมโครกรัม/เมล็ด) แกลบ (0.21 ไมโครกรัม/เมล็ด) และรำ (0.20 ไมโครกรัม/เมล็ด) แต่ในข้าวนึ่งลำดับของปริมาณธาตุสังกะสีในเนื้อเยื่อเมล็ดข้าวแตกต่างจากข้าวดิบโดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ ข้าวกล้อง (0.82 ไมโครกรัม/เมล็ด) ข้าวขาว (0.42 ไมโครกรัม/เมล็ด) แกลบ (0.19 ไมโครกรัม/เมล็ด) และรำ (0.40 ไมโครกรัม/เมล็ด) (ตารางที่ 4.19)

การนึ่งข้าวทำให้ปริมาณธาตุสังกะสี (ไมโครกรัม/เมล็ด) ลดลง โดยเฉพาะในข้าวขาว แต่ขนาดของการลดอยู่กับการนึ่งและพันธุ์ข้าว (ตารางที่ 4.19) จากการทดลองพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าว โดยการนึ่งข้าวทำให้ปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวพันธุ์กข 7 พิษณุโลก1 ชัยนาท1 และชัยนาท80 ลดลง (0.29-0.57 ไมโครกรัม/เมล็ด) ยกเว้นพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (0.54 ไมโครกรัม/เมล็ด) ที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับข้าวดิบ (0.57-0.68 ไมโครกรัม/เมล็ด) นอกจากนั้น

ปริมาณธาตุสังกะสียังขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว โดยข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณธาตุสังกะสีมากที่สุดหลังจากนึ่งข้าว ได้แก่ พันธุ์กข 7 และสุพรรณบุรี 1 (0.54-0.57 ไมโครกรัม/เมล็ด) และพันธุ์ที่มีปริมาณธาตุเหล็กน้อยที่สุด ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 1 (0.29 ไมโครกรัม/เมล็ด) แต่ในส่วนของรำ การนึ่งข้าวกลับมีผลทำให้ปริมาณธาตุสังกะสีเพิ่มขึ้น ซึ่งขนาดของการเพิ่มขึ้นอยู่กับการนึ่งและพันธุ์ข้าวเช่นเดียวกับข้าวขาว จากการทดลองพบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าว โดยการนึ่งข้าวทำให้ปริมาณธาตุสังกะสีในรำของข้าวทุกพันธุ์เพิ่มขึ้น (0.34-0.54 ไมโครกรัม/เมล็ด) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (0.12-0.26 ไมโครกรัม/เมล็ด) ยกเว้นพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (0.25 ไมโครกรัม/เมล็ด) ที่ไม่เปลี่ยนแปลง แต่อย่างไรก็ตามพบว่าพันธุ์ที่มีปริมาณธาตุสังกะสีหลังจากการนึ่งข้าวมากที่สุด ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท1 และชัยนาท80 (0.50-0.54 ไมโครกรัม/เมล็ด) และน้อยที่สุด ได้แก่ พันธุ์สุพรรณบุรี1 (0.25 ไมโครกรัม/เมล็ด)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับปริมาณธาตุสังกะสีทั้งเมล็ดหรือข้าวเปลือก (แกลบ +ข้าวขาว +รำ) พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างการนึ่งและพันธุ์ข้าวต่อปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวเปลือก (P<0.01) (ตารางที่ 4.19) โดยการนึ่งข้าวทำให้ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวเปลือกลดลง (0.96 ไมโครกรัม/เมล็ด) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบ (1.07 ไมโครกรัม/เมล็ด) ในขณะที่พันธุ์อื่นๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุสังกะสีหลังจากการนึ่งข้าว (0.94-1.10 ไมโครกรัม/เมล็ด) อย่างไรก็ตามพันธุ์ที่มีปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวเปลือกหลังจากนึ่งข้าวมากที่สุด ได้แก่ พันธุ์กข 7 (1.10 ไมโครกรัม/เมล็ด) และน้อยที่สุด ได้แก่ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 พิษณุโลก1 และชัยนาท80 (0.94-0.96 ไมโครกรัม/เมล็ด)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4. 18 ปริมาณธาตุเหล็ก (ไมโครกรัม/เมล็ด) ในส่วนต่างๆ ของเนื้อเยื่อเมล็ดข้าวดิบและข้าวนึ่งของข้าว 5 พันธุ์

	ข้าวเปลือก (ไมโครกรัม/เมล็ด)			แกลบ (ไมโครกรัม/เมล็ด)			ข้าวกล้อง (ไมโครกรัม/เมล็ด)		
พันธุ์	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	0.444	0.415	0.430c	0.158	0.161	0.159c	0.287	0.254	0.270a
สุพรรณบุรี1	0.542	0.469	0.505a	0.262	0.206	0.234a	0.280	0.263	0.272a
พิษณุโลก1	0.366	0.316	0.341d	0.188	0.160	0.174c	0.178	0.157	0.167d
ชัยนาท1	0.445	0.435	0.440c	0.195	0.203	0.199b	0.250	0.232	0.241c
ชัยนาท80	0.483	0.472	0.477b	0.243	0.223	0.233a	0.240	0.249	0.245bc
เฉลี่ย	0.456A	0.421B	0.439	0.209	0.191	0.200	0.247	0.231	0.239
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	***	***	ns	***	ns	ns	***	ns	ns
$LSD_{0.05}$	0.027	0.017	0.038	0.024	0.038	0.053	0.026	0.016	0.037

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื้อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื้อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง

ตารางที่ 4.18 (ต่อ)

พันธุ์	ข้าวขาว (ไมโครกรัม/เมล็ด)			รำ (ไมโครกรัม/เมล็ด)		
	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	0.128Aa	0.125Aa	0.126	0.159	0.130	0.144a
สุพรรณบุรี1	0.132Aa	0.122Aa	0.127	0.148	0.142	0.145a
พิษณุโลก1	0.101Ab	0.098Ab	0.099	0.077	0.059	0.068b
ชัยนาท1	0.096Bb	0.119Aa	0.108	0.153	0.113	0.133a
ชัยนาท80	0.128Aa	0.126Aa	0.127	0.112	0.124	0.118a
เฉลี่ย	0.117	0.118	0.117	0.130	0.113	0.122
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	***	ns	*	***	ns	ns
$LSD_{0.05}$	0.011	0.007	0.016	0.030	0.019	0.042

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4. 19 ปริมาณธาตุสังกะสี (ไมโครกรัม/เมล็ด) ในส่วนต่างๆ ของเนื้อเยื่อเมล็ดข้าวดิบและข้าวนึ่งของข้าว 5 พันธุ์

	ข้าวเปลือก (ไมโครกรัม/เมล็ด)			แกลบ (ไมโครกรัม/เมล็ด)			ข้าวกล้อง (ไมโครกรัม/เมล็ด)		
พันธุ์	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	1.08Aa	1.10Aa	1.09	0.15	0.19	0.17	0.93	0.91	0.92a
สุพรรณบุรี1	1.07Aa	0.96Bc	1.01	0.24	0.17	0.20	0.83	0.79	0.81b
พิษณุโลก1	0.96Ab	0.94Ac	0.95	0.25	0.22	0.24	0.71	0.71	0.71c
ชัยนาท1	0.99Ab	1.04Ab	1.02	0.17	0.21	0.19	0.83	0.83	0.83b
ชัยนาท80	1.01Ab	0.97Ac	0.99	0.22	0.13	0.18	0.79	0.84	0.81b
เฉลี่ย	1.02	1.00	1.01	0.20	0.18	0.19	0.82	0.82	0.82
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	***	ns	**	ns	ns	ns	***	ns	ns
$LSD_{0.05}$	0.04	0.03	0.06	0.07	0.05	0.11	0.05	0.03	0.08

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื้อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื้อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง

ตารางที่ 4. 19 (ต่อ)

	ข้าวขาว (ไมโครกรัม/เมล็ด)			รำ (ไมโครกรัม/เมล็ด)		
พันธุ์	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	เฉลี่ย
กข7	0.68Aa	0.57Ba	0.63	0.25Ba	0.34Ab	0.30
สุพรรณบุรี1	0.57Ab	0.54Aa	0.56	0.26Aa	0.25Ac	0.25
พิษณุโลก1	0.57Ab	0.37Bb	0.47	0.14Bb	0.35Ab	0.25
ชัยนาท1	0.58Ab	0.29Bc	0.44	0.24Ba	0.54Aa	0.39
ชัยนาท80	0.67Aa	0.33Bbc	0.50	0.12Bb	0.50Aa	0.31
เฉลี่ย	0.61	0.42	0.52	0.20	0.40	0.30
F-test	Var	Trt	Var*Trt	Var	Trt	Var*Trt
	***	***	***	***	***	***
$LSD_{0.05}$	0.05	0.03	0.07	0.06	0.04	0.09

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05, ** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.01 , *** มีความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.001
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวนอน
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการเปรียบเทียบในแนวตั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 3 การแสดงตำแหน่งของการสะสมธาตุเหล็กและสังกะสีในข้าวกล้องโดยวิธีการย้อมสี

จากการตรวจหาตำแหน่งของการสะสมธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวโดยวิธีการย้อมสี Perls' Prussian blue พบว่า ตำแหน่งที่มีการติดสีย้อม (สีฟ้า) มากที่สุดและชัดเจนที่สุด คือ คัพภะ (Embryo) โดยคัพภะของข้าวนึ่งจะมีการติดสีฟ้าเข้มมากกว่าข้าวดิบ แต่ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด (Aleurone layer) และเนื้อเยื่อสะสมอาหาร (Endosperm) จะมีการติดสีน้อยมากหรือแทบไม่ติดสีย้อมเลย ซึ่งข้าวดิบและข้าวนึ่งของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ จะมีลักษณะการติดสีเหมือนกัน (ตารางที่ 4.20) (ภาพที่ 4.19) นอกจากนั้นการ ตรวจหาตำแหน่งของการสะสมธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวโดยวิธีการย้อมสี Diphenylthiocarbazone (DTZ) staining พบว่า ตำแหน่งที่มีการติดสีย้อม (สีแดง) มากที่สุดและชัดเจนที่สุด คือ คัพภะ รองลงมา คือ เยื่อหุ้มเมล็ด และเนื้อเยื่อสะสมอาหารจะมีการติดสีน้อยที่สุด โดยข้าวนึ่งจะมีการติดสีย้อมทั้งส่วนของคัพภะ เยื่อหุ้มเมล็ดและเนื้อเยื่อสะสมอาหารน้อยกว่าข้าวดิบ (ตารางที่ 4.20) (ภาพที่ 4.20)

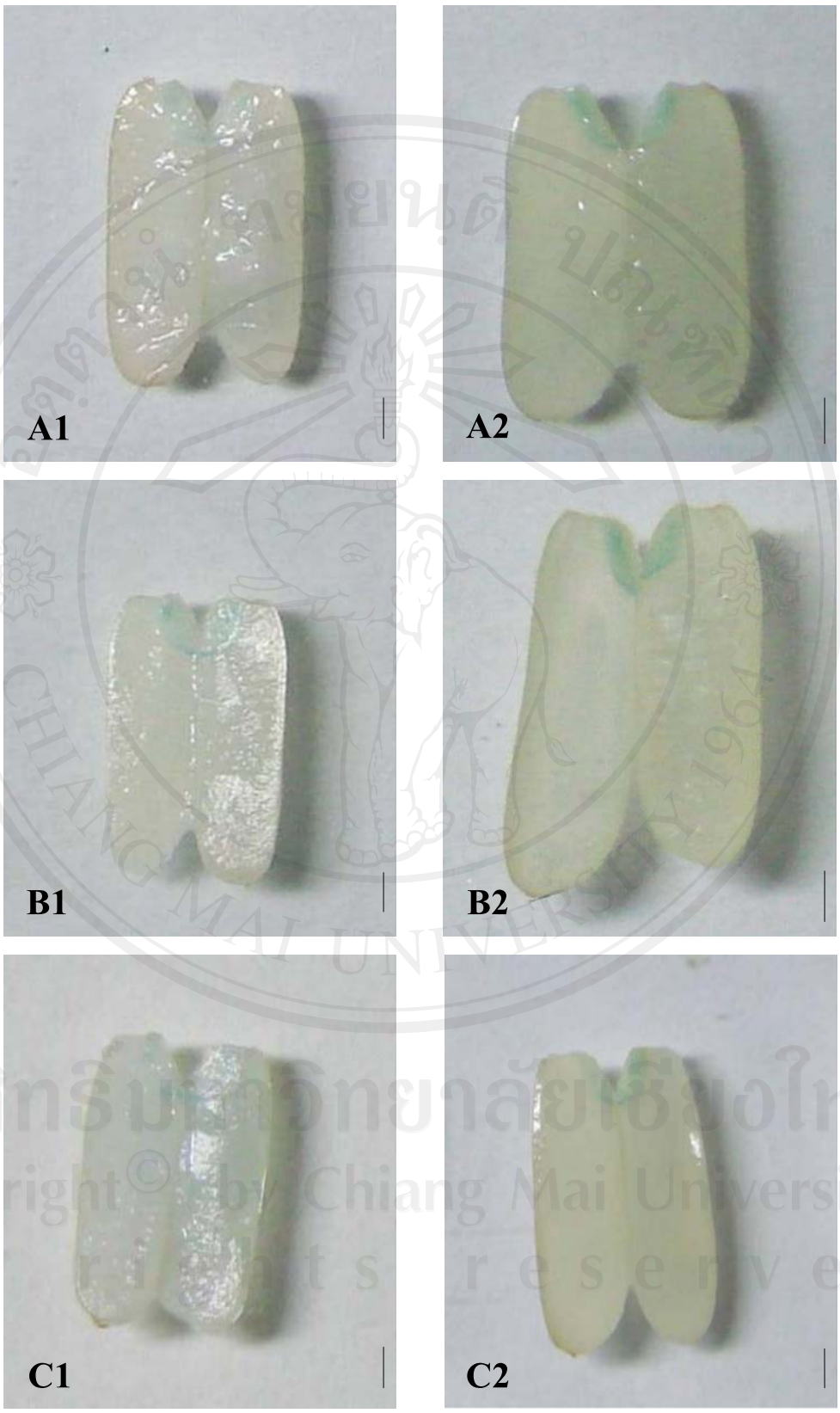
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.20 ตำแหน่งของการสะสมธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องดิบและข้าวนึ่งกล้อง

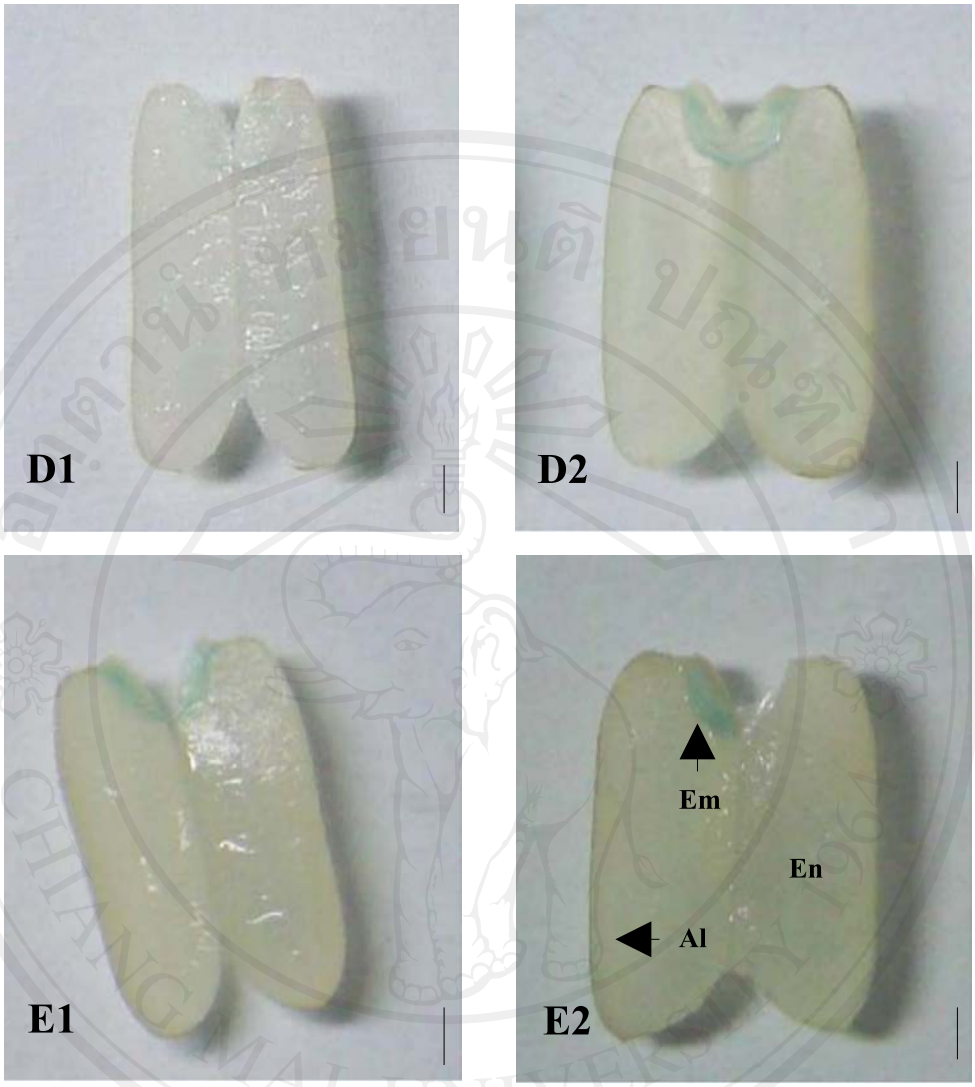
พันธุ์	ระดับความเข้มจากการย้อมสี Perls' Prussian blue					
	คัพภะ		เยื่อหุ้มเมล็ด		เนื้อเยื่อสะสมอาหาร	
	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง
กข7	+[$]	++	0	0	0	0
สุพรรณบุรี1	+	++	0	0	0	0
พิษณุโลก1	+	++	0	0	0	0
ชัยนาท1	+	++	0	0	0	0
ชัยนาท80	+	++	0	0	0	0
พันธุ์	ระดับความเข้มจากการย้อมสี Diphenylthiocarbazone (DTZ) staining					
	คัพภะ		เยื่อหุ้มเมล็ด		เนื้อเยื่อสะสมอาหาร	
	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง	ข้าวดิบ	ข้าวนึ่ง
กข7	+++	++	+++	++	++	+
สุพรรณบุรี1	++	++	+	++	+	+
พิษณุโลก1	+++	++	++	+	+	0
ชัยนาท1	+++	++	++	++	++	+
ชัยนาท80	+++	++	++	++	++	+

[$] 0 = ไม่ติดสี, + = ติดสีน้อย, ++ = ติดสีปานกลาง, +++ = ติดสีเข้ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

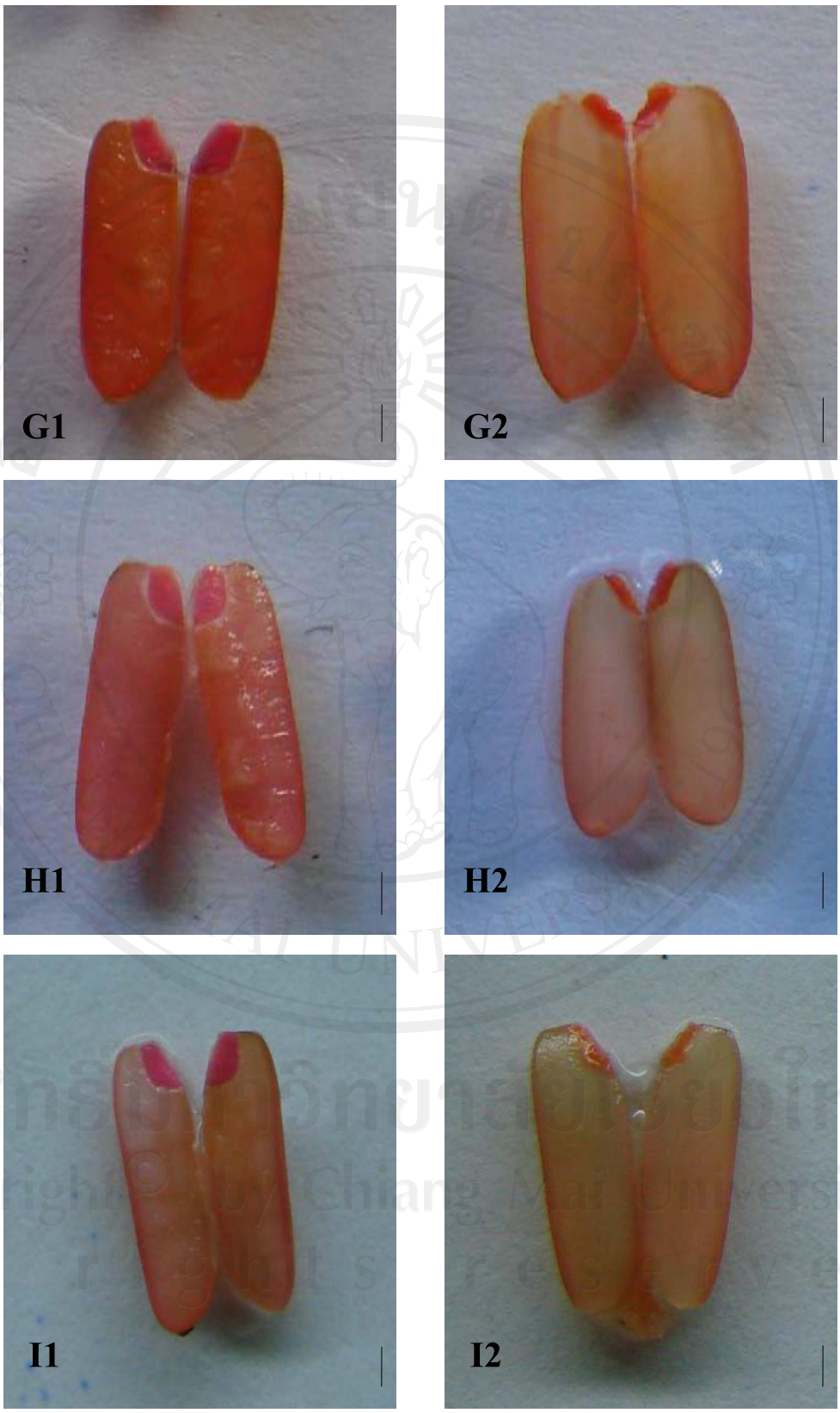


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

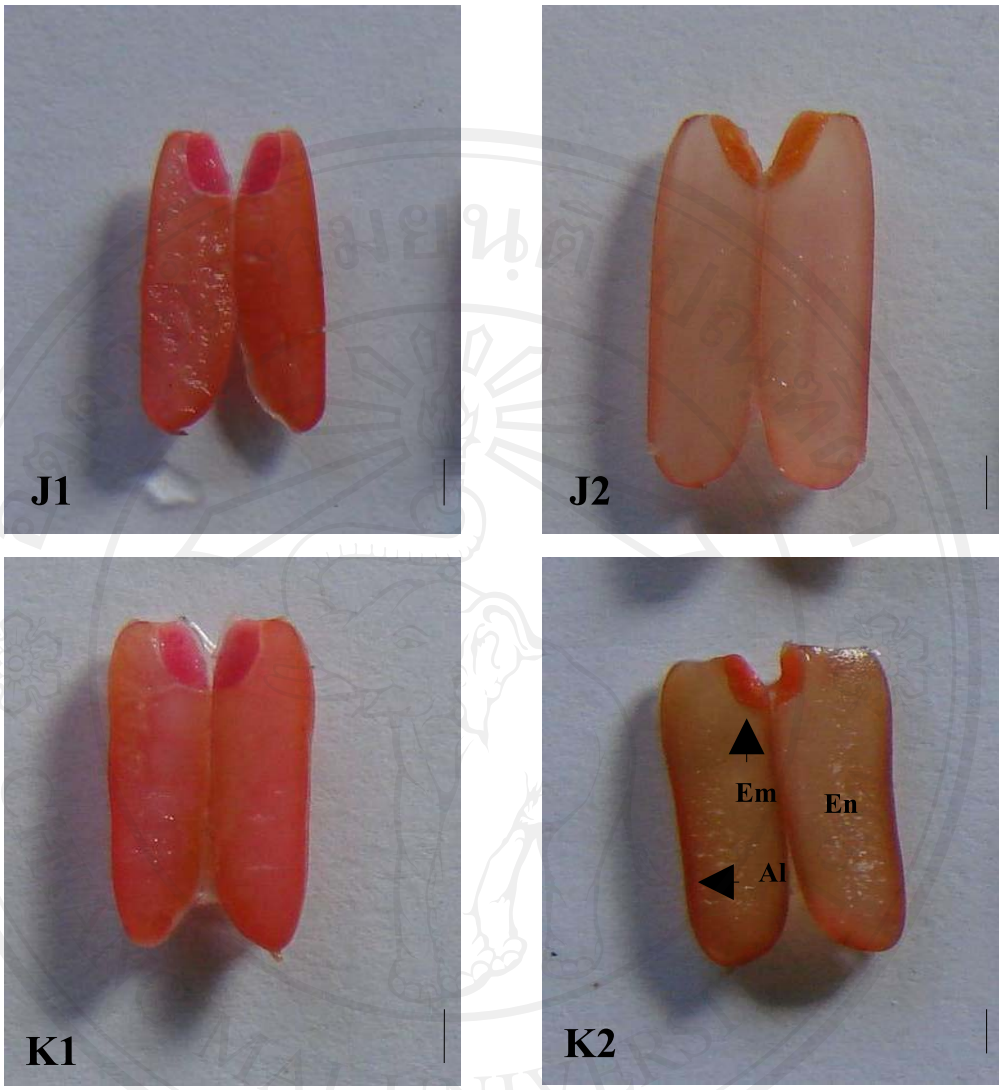


ภาพที่ 4.19 ตำแหน่งของการสะสมธาตุเหล็กโดยการย้อมสี Perls' Prussian blue (En = Endosperm หรือเนื้อเยื่อสะสมอาหาร, Al = Aleurone layer หรือเยื่อหุ้มเมล็ด, Em = Embryo หรือคัพภะ) ในเมล็ดข้าวขาว (พันธุ์ข้าวดิบ A1 = พันธุ์กข7 B1 = พันธุ์สุพรรณบุรี1 C1 = พันธุ์พิษณุโลก1 D1 = พันธุ์ชัยนาท1 E1 = พันธุ์ชัยนาท80, พันธุ์ข้าวนึ่ง A2 = พันธุ์กข7 B2 = พันธุ์สุพรรณบุรี1 C2 = พันธุ์พิษณุโลก1 D2 = พันธุ์ชัยนาท1 E2 = พันธุ์ชัยนาท80) (Scale bar = 1 มม.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

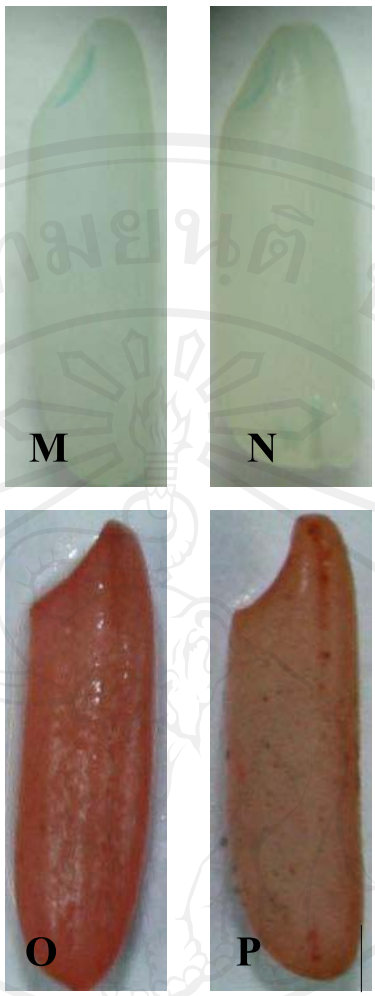


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.20 ตำแหน่งของการสะสมธาตุสังกะสีโดยการย้อมสี Diphenylthiocarbazone (DTZ) staining ในเมล็ดข้าวกล้อง (En = Endosperm หรือเนื้อเยื่อสะสมอาหาร, Al = Aleurone layer หรือเยื่อหุ้มเมล็ด, Em = Embryo หรือคัพภะ) (พันธุ์ข้าวดิบ G1 = พันธุ์กข7 H1 = พันธุ์สุพรรณบุรี1 I1 = พันธุ์พิษณุโลก1 J1 = พันธุ์ชัยนาท1 K1 = พันธุ์ชัยนาท80, พันธุ์ข้าวนึ่ง G2 = พันธุ์กข7 H2 = พันธุ์สุพรรณบุรี1 I2 = พันธุ์พิษณุโลก1 J2 = พันธุ์ชัยนาท1 K2 = พันธุ์ชัยนาท80) (Scale bar = 1 มม.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.21 ตำแหน่งของการสะสมธาตุเหล็กโดยการย้อมสี Perls' Prussian blue (บน- M, N) และการสะสมธาตุสังกะสีโดยการย้อมสี Diphenylthiocarbazone (DTZ) staining (ล่าง - O, P) ในเมล็ดข้าวขาว (ซ้าย – M, O) และข้าวนึ่งขาว (ขวา – N, P) (Scale bar = 1 มม.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved