หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปันส่วนธาตุเหล็ก และ ธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าว	
ผู้เขียน	นางสาวช่อเพชร แสนไชย	
ปริญญา	วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (พืชไร่)	
คณะกรรมการที่ปรึกษา	ศ. เกียรติคุณ ดร. เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
	ศ.ดร. Bernard Dell	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
	รศ.ดร. ศันสนีย์ จำจด	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
	ดร.ชนากานต์ เทโบล พรหมอุทัย	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

โรคขาดสารอาหาร ได้แก่ การขาดธาตุเหล็ก พบประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ และ การขาดธาตุสังกะสี พบประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของประชาชนกรโลก การบรรเทาอาการขาดธาตุอาหารสามารถทำได้โดยการรับประทานอาหารที่มีธาตุเหล็กและสังกะสีสูง ตัวอย่างเช่น เนื้อสัตว์ และรับประทานอาหารให้มีความหลากหลาย แต่อย่างไรก็ตาม ในประเทศที่กำลังพัฒนาซึ่งโดยปกติแล้วมักพบว่ามีประชากรเป็นโรคขาดธาตุอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในครัวเรือนที่มีรายได้ต่ำ อาหารที่มีธาตุเหล็กและสังกะสีปริมาณสูงมักมีราคาแพง ซึ่งทำให้ประชากรเหล่านี้ในแต่ละมื้อมักรับประทานข้าวในสัดส่วนที่มากกว่าเนื้อสัตว์ ทำให้ได้รับธาตุเหล็กและสังกะสีในปริมาณที่น้อยกว่าความต้องการของร่างกาย การขาดธาตุเหล็กและสังกะสีเป็นปัญหารุนแรงสำหรับคนที่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก เนื่องจากข้าวเป็นธัญพืชที่มีธาตุเหล็กและสังกะสีต่ำที่สุด ยิ่งไปกว่านั้นข้าวที่นิยมบริโภคคือข้าวขาว ซึ่งในกระบวนการขัดสีข้าวนั้นทำให้ธาตุเหล็กและสังกะสีสูญเสียไปอีกเป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้ทำให้ในแต่ละมื้ออาหารทำให้ได้รับธาตุเหล็กและสังกะสีต่ำลงไปอีก เพราะฉะนั้นการบรรเทาการขาดธาตุเหล็กและสังกะสีในประชากรควรเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในข้าวขาว ซึ่งทำได้โดยการคัดเลือก และปรับปรุงพันธุ์ นอกจากนี้ ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการแบ่งปันธาตุเหล็กและสังกะสีไปสู่ข้าวขาวน่าจะเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในข้าวขาว และทำให้กลุ่มประชากรที่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลักได้รับธาตุเหล็กและสังกะสีอย่างเพียงพอ ดังนั้นในการศึกษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการแบ่งปันธาตุเหล็กและสังกะสีระหว่างส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าว และการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารหลังจากผ่านกระบวนการขัดขาว โดยศึกษาในข้าวไทยเป็นหลักและข้าวที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ให้มีธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ดสูง และยังประเมินความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนัก และธาตุเหล็กในเมล็ดที่มีรูปร่างเมล็ดแตกต่างกัน และผลกระทบของการให้น้ำในการปลูกข้าวต่อการสะสมและแบ่งปันธาตุเหล็กและสังกะสีไปยังเมล็ดด้วย

ปลูกข้าวไทยจำนวน 15 ในสภาพนาสวน พบว่าในข้าวกล้องมีธาตุเหล็ก 6-16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีธาตุสังกะสี 17-59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในพันธุ์ที่นิยมปลูก เช่น ขาวดอกมะลิ105 กข6 สุพรรณบุรี1 ชัยนาท1 และ ปทุมธานี1 มีปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในปริมาณต่ำ แต่ กข29 พันธุ์ใหม่ที่มีปริมาณธาตุเหล็กในข้าวกล้องสูง คือ มีธาตุเหล็ก 14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ข้าวไร่มีปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีสูงที่สูงได้แก่พันธุ์ ขาวโป่งไคร้ และน้ำรู ในสภาพนาสวนนี้ ขาวโป่งไคร้มีประมาณธาตุเหล็ก 14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสังกะสี 49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนน้ำรู มีประมาณธาตุเหล็ก 16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสังกะสี 59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในเอนโนสเปิร์ม ซึ่งก็คือข้าวขาวหลังจากขัดขาวแล้วมีปริมาณต่ำกว่าข้าวกล้อง และปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในคัพภะและ อะลิวโรนมีปริมาณสูงกว่าข้าวกล้อง แต่อย่างไรก็ตามพบความแปรปรวนในปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในส่วนต่างๆของเมล็กในพันธุ์ที่แตกต่างกัน ปริมาณธาตุอาหารในข้าวขาวคิดเป็นสัดส่วนของข้าวกล้อง พบว่า ธาตุเหล็กอยู่ในช่วงตั้งแต่ 33% ในพันธุ์สกลนคร ถึง76% ในชัยนาท1 และธาตุสังกะสีอยู่ในช่วง 42% ใน กข29 ถึง 90% ในซิวแม่จัน ถ้าหากพิจารณาจากชนิดของพันธุ์ข้าว พบว่า ข้าวไร่มีปริมาณธาตุเหล็กสูงกว่าข้าวนาสวน แต่ไม่มีความแตกต่างกันใน ข้าวขาว คัพภะ และ อะลิวโรน ในทางกลับกัน ปริมาณธาตุสังกะสีในทุกส่วนของเมล็ดของข้าวไร่สูงกว่าข้าวนาสวน ซึ่งพบว่าสูงกว่าสองเท่าในข้าวกล้อง และเกือบสามเท่าในข้าวขาว ในข้าวนาสวน ธาตุเหล็กและสังกะสีในข้าวกล้องและข้าวขาวไม่มีความแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ที่เป็นข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ยิ่งไปกว่านั้นพบว่า ปริมาณธาตุเหล็กในข้าวขาวมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการแบ่งปันธาตุเหล็กเข้าสู่ข้าวขาวทั้งในข้าวไร่ ($r = 0.66^{*}$) และข้าวนาสวน ($r = 0.86^{***}$) แต่มีความสัมพันธ์ทางลบกับการแบ่งปันธาตุเหล็กไปอะลิวโรนทั้งในข้าวนาสวน ($r = -0.79^{***}$) กรณีของธาตุสังกะสี พบว่าปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวขาวมีความสัมพันธ์ทางบวกับการแบ่งปันธาตุสังกะสีไปสู่ข้าวขาวทั้งในข้าวไร่ ($r = 0.63^{*}$) และข้าวนาสวน ($r = 0.85^{***}$) แต่มีความสัมพันธ์ทางลบกับการแบ่งปันธาตุสังกะสีไปคัพภะทั้งในข้าวไร่ ($r = -0.58^{*}$) และข้าวนาสวน ($r = -0.74^{*}$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การขัดสีเป็นสาเหตุให้ธาตุเหล็กและสังกะสีสูญหายเนื่องจากส่วนของคัพภะและอะลิวโรนถูกขัดออกไป ซึ่งคัพภะและอะลิวโรนที่ถูกขัดออกไปรวมกันเรียกว่า รำ ปริมาณธาตุเหล็กที่สูญเสียในระหว่างการขัดขาวพบสูญเสียไป ตั้งแต่ 24 ถึง 67 เปอร์เซ็นต์ ส่วนธาตุสังกะสีสูญเสียตั้งแต่ 13 ถึง 58 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระดับการสูญเสียน้ำหนักในการขัดขาว หรือเรียกว่า ระดับการขัดสี พบว่าอยู่ในช่วง 2 ถึง 18 เปอร์เซ็นต์ นอกยังจากนี้ไม่พบว่าระดับการขัดสีและการสูญเสียปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีมีความสัมพันธ์กัน

ภายใต้การปลูกสภาพไร่ ในข้าวไทย 15 พันธุ์ พบว่า ปริมาณธาตุเหล็กในข้าวกล้องมี 8-15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณสังกะสีมี 13-40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมารณธาตุเหล็กที่มีอยู่ในข้าวขาวมีความแปรปรวนตั้งแต่ 27% (ขาวโป่งไคร้) ถึง 92% (ชัยนาท1) ของที่มีอยู่ในข้าวกล้อง ในขณะที่ในคัพภะและอะลิวโรนสูงกว่าข้าวกล้อง ตั้งแต่ 5-6 ถึง 11-12 เท่า ปริมาณสังกะสีในข้าวขาวมีความแปรปรวน ตั้งแต่ 49% ถึง 84% ของปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวกล้อง ปริมาณธาตุสังกะสีในอะลิวโรนมีความแปรปรวนระหว่างพันธุ์เช่นกันมีปริมาณตั้งแต่เท่ากับข้าวกล้องจนไปถึงมากกว่าข้าวกล้อง 3 เท่า แต่ปริมาณสังกะสีในคัภพะมีสูงมากกว่าข้าวกล้องมาก คือ สูงกว่า 5- 13 เท่า ปริมาณธาตุเหล็กในข้าวขาวอยู่ในช่วง 3 ถึง 8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนสังกะสีอยู่ในช่วง 9 ถึง 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อพิจารณาจากชนิดของพันธุ์ข้าวพบว่า ข้าวไร่มีปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวกล้องและข้าวขาวสูงกว่าข้าวนาสวน ในขณะที่ธาตุเหล็กไม่พบความแตกต่างระหว่างข้าวไร่และข้าวนาสวน และนอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวเจ้ามีปริมาณาธาตุสังกะสีสูงกว่าข้าวเหนียวในข้าวกล้อง แต่เมื่อขัดขาวแล้วไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนธาตุเหล็กไม่พบความแตกต่างในปริมาณธาตุเหล็กในข้าวเจ้าและข้าวเหนียว

การแบ่งปันธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ดข้าวที่ปลูกในสภาพไร่ พบว่า มีความแปรปรวนระหว่างพันธุ์ข้าวทั้ง 15 พันธุ์ โดยการแบ่งปันธาตุเหล็กในเมล็ดมี 4 รูปแบบ เรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ 1) ข้าวขาว > อะลิวโรน > คัพภะ 2) ข้าวขาว ≈ อะลิวโรน > คัพภะ 3) อะลิวโรน > ข้าวขาว > คัพภะ และ 4) อะลิวโรน > ข้าวขาว ≈ คัพภะ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว สำหรับธาตุสังกะสี พบว่ามีการแบ่งปันสังกะสีในเมล็ดข้าว 2 รูปแบบได้แก่ 1) ข้าวขาว > คัพภะ > อะลิวโรน และ 2) ข้าวขาว > คัพภะ ≈ อะลิวโรน การแบ่งปันธาตุเหล็กไปสู่ข้าวขาวพบว่าอยู่ในช่วง 24 ถึง 54 เปอร์เซ็นต์ และธาตุสังกะสีอยู่ในช่วง 54 ถึง 78 เปอร์เซ็นต์ ภายการปลูกในสภาพไร่นี้ การแบ่งปันธาตุเหล็กและธาตุสังกะสีในเมล็ดไม่พบความแตกต่างระหว่างข้าวไร่และข้าวนาสวน แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณธาตุเหล็กในข้าวขาวยังคงพบความสัมพันธ์ในทางบวกกับการแบ่งปันเหล็กเข้าสู่ข้าวขาว และมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสัมพันธ์ทางลบกับการแบ่งปันธาตุเหล็กข้าวสู่อะลิวโรว ซึ่งพบทั้งในข้าวไร่ และ ข้าวนาสวน ในขณะที่ปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวมีความสัมพันธ์ในทางบวกับการแบ่งปันสังกะสีเข้าสู่ข้าวขาว ซึ่งพบเฉพาะในข้าวนาสวน และมีความสัมพันธ์ทางลบกับการแบ่งปันสังกะสีสู่คัพภะ และ อะลิวโรน

การสูญเสียน้ำหนักเมล็ดและธาตุเหล็กในกระบวนการขัดสี ประเมินในข้าว 18 พันธุ์ ในเมล็ดที่รูปร่างต่างกัน และปริมาณธาตุเหล็กในข้าวกล้องอยู่ในช่วง 8-15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การสูญเสียน้ำหนักเมล็ดและปริมาณสังกะสีในข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ชนิดละ 3 พันธุ์ ข้าวกล้องถูกขัดด้วยเวลา 30 45 และ 60 วินาที การสูญเสียธาตุเหล็กพบว่า อยู่ในช่วง 17-73% และสังกะสีสูญเสีย 15-50% ที่การขัดสีด้วยเวลา 30 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการขัดสีโดยทั่วไป พบระดับการขัดสีอยู่ในช่วง 7-17% แต่อย่างไรก็ตามไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างระดับการขัดสีกับการสูญเสียธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ด

การสูญเสียธาตุเหล็กและสังกะสีในระหว่างการขัดขาวพบว่าการสูญเสียจะมากขึ้นถ้าใช้เวลาการขัดสีที่นานขึ้น และพบว่าการสูญเสียธาตุเหล็กและสังกะสีมีความแปรปรวนระหว่างพันธุ์ข้าวที่มีลักษณะเมล็ดต่างกัน เมล็ดที่มีรูปร่างสั้นป้อมมีความทนทานต่อการขัดสีมากกว่าข้าวเมล็ดเรียวยาว ซึ่งทำให้มีปริมาณธาตุเหล็กคงเหลือในข้าวขาวในปริมาณมากกว่า การสูญเสียธาตุเหล็กในการขัดสีของเมล็ดสั้น ป้อม พบ 23 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เมล็ดเรียว ยาว สูญเสียธาตุเหล็กมากถึง 42 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตาม การสูญเสียธาตุเหล็กในการขัดสียังคงพบความแตกต่างในข้าวที่มีเมล็ดยาวเหมือนกัน แต่เป็นต่างกันในชนิดของเมล็ด กล่าวคือ ข้าวเหนียวมีการสูญเสียธาตุเหล็กในการขัดสีมากกว่าข้าวเจ้า ข้าวเหนียวสูญเสียธาตุเหล็ก 71 เปอร์เซ็นต์ในขณะที่ข้าวเจ้าสูญเสียเพียง 54 เปอร์เซ็นต์ ส่วนธาตุสังกะสีไม่พบว่ามีความแตกต่างในการสูญเสียในข้าวเจ้าและข้าวเหนียว

เนื่องจากปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในข้าวกล้องและข้าวขาวมีความแตกต่างกันในข้าวที่ปลูกในสภาพนาสวนและสภาพไร่ ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้ประเมินผลของการให้น้ำในการปลูกต่อธาตุเหล็กและสังกะสีที่สะสมในส่วนต่างๆ ของต้นข้าว และการแบ่งปันไปสู่เมล็ด โดยทำการประเมินในข้าว 4 พันธุ์คือ ขาวโป่งไคร้ กข7 ขาวดอกมะลิ105 และ IR68144 โดยการปลูกข้าวในกระถางที่ขังน้ำ (W+) และไม่ขังน้ำ (W0) พบว่า ปริมาณธาตุเหล็กที่ปลูกใน W+ ในส่วนของต้นสูงกว่าที่ปลูกใน W0 แต่ธาตุเหล็กในเมล็ดเมื่อสุกแก่ไม่พบความแตกต่าง แต่ปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดเมื่อสุกแก่เมื่อปลูกใน W0 มีต่ำกว่าใน W+ แตกต่างกันเล็กน้อย ปริมาณธาตุเหล็กในข้าวเปลือกและข้าวกล้องไม่มีความแตกต่างกันระหว่างที่ปลูกใน W+ และ W0 แต่พบกว่า มีการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กจากที่สะสมไว้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในส่วนอื่นของข้าวไปยังเมล็ด โดยมีการลดลงของปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในระยะที่มีการเติมเมล็ด ทั้งใน W+ และ W0 การเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กจากไปสู่เมล็ดพบใน W0 (ดัชนีการเก็บเกี่ยวธาตุเหล็ก เท่ากับ 0.031) มากกว่า W+ (ดัชนีการเก็บเกี่ยวธาตุเหล็ก เท่ากับ 0.058) สำหรับสังกะสีตรงกันข้ามกับธาตุเหล็ก กล่าวคือ มีการเคลื่อนย้ายสังกะสีไปสู่เมล็ดเมื่อเปลูกใน W+ (ดัชนีการเก็บเกี่ยวสังกะสี เท่ากับ 0.058) สูงกว่าใน W0 (ดัชนีการเก็บเกี่ยวสังกะสีเท่ากับ 0.021)

จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ามีความแปรปรวนพันธุกรรมของปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ดข้าว ซึ่งรวมไปถึงความแปรปรวนระหว่างชนิดของพันธุ์ข้าวด้วย โดยในข้าวไร่บางพันธุ์มีปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ดสูงมาก ดังนั้นจึงควรทำการประเมินปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ดในข้าวไร่พันธุ์อื่นๆ ปริมาณธาตุอาหารในข้าวขาวซึ่งเป็นที่นิยมบริโภค ขึ้นอยู่กับการแบ่งปันธาตุอาหารไปในส่วนของเมล็ด โดยเฉพาะในส่วนเอนโดสเปิร์ม การสูญเสียธาตุเหล็กและสังกะสีในการขัดขาวแปรปรวนตามลักษณะรูปร่างเมล็ด และยังพบความแตกต่างในเมล็ดที่มีรูปร่างเหมือนกันคือ เมล็ดเรียวยาว ในข้าวของไทย ความพยายามในการเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ด เพื่อผู้บริโภคข้าว ควรจะให้ความสำคัญกับพันธุ์ที่ยังคงมีธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ดสูงแม้จะผ่านการขัดขาวแล้ว และ ต้องยังคงมีปริมาณธาตุอาหารสูงในเมล็ดในการปลูกในสภาพแวดล้อมใดก็ตาม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Thesis Title	Iron and Zinc Partitioning in Rice Grain	
Author	Miss Chorpet Saenchai	
Degree	Doctor of Philosophy (Agronomy)	
Advisory Committee	Prof. Emeritus Dr. Benjavan Rerkasem	Advisor
	Prof. Dr. Bernard Dell	Co-advisor
	Assoc. Prof. Dr. Sansanee Jamjod	Co-advisor
	Dr. Chanakan Thebault Prom-u-thai	Co-advisor

ABSTRACT

Malnutrition disorders, due to iron (Fe) and zinc (Zn) deficiency affect approximately 60% and 30% of human populations, respectively. A commonly suggested solution is to consume Fe and Zn rich food. However, in developing countries where the deficiencies are common, Fe and Zn rich food such as meat and vegetables are expensive, people derive most of their caloric intake from staple grains, which are generally low in Fe and Zn. The problem is especially serious for rice eaters, because rice has the lowest concentration of Fe and Zn among the cereal grains. Furthermore, considerable Fe and Zn in the rice grain is removed by the milling process to produce white rice, the form most commonly consumed by rice eaters. Selection and breeding for rice varieties with high Fe and Zn concentration has been suggested as a means to increase Fe and Zn intake in those who depend of the cereal for a major part of their Fe and Zn intake. Understanding on Fe and Zn allocation in different part of the rice grain, especially to the endosperm which constitute the white rice that people eat would be advantageous to delivery of Fe and Zn enriched rice to rice eaters. The present study evaluated the partitioning of Fe and Zn to different parts of the rice grain, changes in concentration of the nutrients after milling, of Thailand's main rice varieties and some selected varieties with high Fe and Zn concentration. Also explored were the relationship between the loss of grain mass and Fe after milling of rice with a wide range of grain shape and size and Fe concentration, and the influence of water regimes

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(wet land Vs dry land) on Fe and Zn accumulation by the rice plant and their allocation to the grain.

Fifteen Thai rice genotypes grown under wetland condition were found to contain 6-16 mg Fe kg^{-1} and 17-59 mg Zn kg^{-1} in brown rice. Popular wetland varieties such as KDML105, RD6, SPR1, CNT1 and PTT1 were all in the lower range of brown rice Fe and Zn. RD29 which was released as a high Fe variety was an exception, with 14 mg Fe kg^{-1} in brown rice. Highest in both Fe and Zn in brown rice were the upland rice varieties KPK and NR. Grown under wetland condition, brown rice of KPK had 14 mg Fe kg^{-1} and 49 mg Zn kg^{-1} and NR had 16 mg Fe kg^{-1} and 59 mg Zn kg^{-1}. On average the Fe and Zn concentration in the endosperm which becomes white rice after milling were lower and higher in the embryo and aleurone compared with brown rice. However, variation in the concentration of Fe and Zn in different parts of the rice grain was different among the rice varieties. The nutrient in white rice as percentage of that in brown rice ranged from 33% in SKN to 76% in CNT1 for Fe and 42% in RD29 and 90% in SMJ for Zn. Regarding rice ecotype, upland genotypes had higher Fe concentration in brown rice than wetland genotypes, but the difference was not detectable in white rice, embryo and aleurone. In contrast, Zn concentration in all parts of the grain was higher in upland genotypes, with twice as much in brown rice and almost three times in white rice, compared with the wetland genotypes. Within the wetland genotypes, Fe and Zn concentration in brown and white rice with waxy grain were not distinguishable from those with non-waxy grain type. Furthermore, white rice Fe concentration was positive correlation with Fe allocation to white rice in both upland ($r = 0.66^{*}$) and wetland ($r = 0.86^{***}$), but negative correlation with Fe allocation to aleurone in wetland genotype ($r = -0.79^{***}$). White rice Zn concentration was positive correlation with Zn partitioning in white rice in both upland ($r = 0.63^{*}$) and wetland ($r = 0.85^{***}$) and negative correlation with embryo partitioning in upland ($r = -0.58^{*}$) and wetland ($r = -0.74^{***}$) genotype.

Milling which removes the embryo and aleurone from brown rice to produce white rice, depressed rice grain nutrient concentration that ranged from 24 to 67% for Fe and 13 to 58% for Zn, depending on the variety. Losses in grain weight after milling

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

is termed “degree of milling”, and varied among the rice varieties from 2 to 18%. No correlation was found between the milling loss of Fe and Zn and the degree of milling.

Under dryland culture, the 15 Thai rice genotypes were found to contain 8 – 15 mg Fe kg^{-1} and 13 – 40 mg Zn kg^{-1} in brown rice. Depending on genotype, Fe concentration in the white rice varied from 27% (in KPK) to 92% (in CNT1) of that in brown rice, whereas the Fe in the embryo and aleurone were 5 – 6 to 11 – 12 times those in brown rice. The Zn concentration in white rice relative to brown rice also varied with the rice variety, ranging from 49% to 84%. The aleurone had from about the same concentration to 3 times as much Zn as brown rice, but Zn was much more concentrated in the embryo, with concentration of 5 to 13 times the concentration in brown rice. White rice Fe concentration ranged from 3 to 8 mg Fe kg^{-1} and Zn concentration ranged from 9 to 25 mg Zn kg^{-1}. Regarding rice ecotype, grain Fe concentration was not different between rice upland and wetland genotypes. By contrast, upland genotypes had higher Zn concentration than wetland genotypes in both brown and white rice. Within wetland genotypes, grain Fe concentration was not different between waxy and non-waxy grain. For Zn, waxy grain had high Zn concentration than non-waxy grain in brown rice, but after milling white rice Zn concentrations were similar.

Grain Fe and Zn partitioning in rice produced under dryland culture was dependent on genotype. The Fe allocated to different parts of grain was observed in four patterns including i) declined in the order white rice > aleurone > embryo; ii) white rice ≈ aleurone > embryo: iii) aleurone > white rice > embryo; and iv) aleurnoe > white rice ≈ embryo. For Zn, the Zn allocated to different parts of grain was observed in two patterns including i) declined in order white rice > embryo > aleurone; and ii) white rice > embryo ≈ aleurone. Fe allocated to white rice ranged from 24% to 54% of the total grain Fe content and from 54% to 78% of the total grain Zn content. Grain Fe and Zn partitioning were similar between rice ecotype and endosperm type. However, white rice Fe concentration was positively correlated with Fe partitioning in white rice but negatively correlated with aleurone partitioning in both upland and wetland genotypes.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

White rice Zn concentration was positively correlated with Zn partitioning in white rice only in wetland genotypes.

Milling loss of grain mass and Fe were evaluated in 18 rice genotypes, grain morphology of short-bold, medium-medium, medium-slender, long-medium, long-slender and extra long-slender, and with brown rice Fe ranging from 8 to 15 mg Fe kg^{-1}. Milling loss of grain mass and Zn were evaluated in 3 genotypes each of long grain rice with waxy and non-waxy endosperm. The paddy samples were milled for 30, 45 and 60 seconds. Milling depressed Fe concentration by 17% to 73% and Zn concentration by 15 % to 50%. When milled for 30 seconds, the standard time for producing white rice degree of milling ranged from 7 to 17%. Correlation between both Fe or Zn concentration depression and degree of milling were not found.

Depression of Fe and Zn concentration increased with longer milling time and the degree of depression was genotype-dependent with different grain morphology. Short-bold grain had higher resistance to milling and resulted in higher grain Fe retention when compared with long grain at the same milling time even grain was collected from different sites or grown together. Fe concentrations were depressed by 23% in short-bold and 42% in long-slender grain. However, Fe concentration depression was found in the same grain morphology with different endosperm type, but similar for Zn concentration depression. Waxy grain had higher Fe depression than non-waxy grain, being 71% and 54%, respectively.

Due to the apparent difference in Fe and Zn concentration in different parts of the rice grain produced in wetland and dryland condition that varied with rice genotype, this study evaluated the effect of water supply on Fe and Zn accumulation in the rice plant and allocation to the grain. Four rice genotypes, KPK, RD7, KDML105 and IR68144 were grown with different soil water supply; flooded (W+) and drained (W0) soil. In W+ Fe concentration in the shoot was generally higher than in W0, but Fe concentration of mature grain did not differ significantly between W0 and W+, but the difference was less obvious in the Zn concentration. There was no significant difference between W0 and W+ in the Fe concentration of whole unhusked grain and brown rice but the Zn

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

concentration was higher in W0 than W+. Evidence of nutrient remobilization was seen in decline of Fe and Zn contents between heading and maturity, in both W0 and W+. A larger proportion of Fe accumulated was distributed to the grain in W0 (harvest index for Fe = 0.031%) than in W+ (harvest index for Fe = 0.021%), but for Zn the situation was reverse, with a larger portion of the Zn accumulated distributed to the grain in W+ (harvest index for Zn = 0.058%) than W0 (harvest index for Zn 0.021%, respectively)

In conclusion, grain Fe and Zn concentration varied among rice genotypes and ecotypes. The very high concentration of Fe and Zn in some upland genotypes need to be further investigated. Concentration of the nutrients in white rice that is commonly consumed by rice eaters, however, also depends on how the nutrients are allocated to different parts of the grain, especially the endosperm. Milling loss of Fe and Zn may vary with grain morphology, but also among those with similar grain shape such as the slender grain standard Thai varieties. Biofortification efforts to increase Fe and Zn intake among rice eaters need to focus on genotypes which are able to retain the high Fe and Zn concentration after milling, as well as stability of the nutrient concentration across environment

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved