ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กและสังกะสีภายในเมล็ดข้าวจากกระบวนการผลิตข้าวนึ่งที่ต่างกัน

ผู้เขียน นางสาวขวัญชนก ปฏิสนธิ์

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) พืชไร่

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศ. ดร. เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
รศ. ดร. ศันสนีย์ จำจด อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

การขาดธาตุเหล็กและสังกะสีเป็นปัญหาการขาดสารอาหารที่มีความรุนแรงมาก ในประชากรโลก โดยเฉพาะในทวีปเอเชียและอาฟริกา ซึ่งประชากรส่วนใหญ่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก เพราะข้าวเป็นธัญพืชที่มีปริมาณของสารอาหารเหล่านี้ใ นปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับข้าวสาลีและข้าวโพด กระบวนการนึ่งข้าวเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วย ปรับปรุงคุณภาพของข้าวโดยทำให้เมล็ดมีการแตกหักลดลงระหว่างการขัดสีเป็นข้าวขาว และยังช่วยในการปรับปรุง คุณค่า ทางโภชนาการของข้าวได้ เนื่องจากการเคลื่อนย้ายของวิตามินและแร่ธาตุเข้าสู่เนื้อเยื่อส่วนในของเมล็ดข้าวระหว่างการนึ่ง แต่สำหรับธาตุเหล็กและสังกะสียังไม่มีการศึกษาที่บ่งชี้ว่ากระบวนการนึ่งข้าวมีผลทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายภายในเมล็ดข้าวอย่างไร การศึกษานี้ จะได้บ่งชี้ว่ากระบวนการนึ่งข้าว มีผลกระทบอย่างไรต่อปริมาณธาตุอาหารสำคัญ และอาจชี้นำสภาพการนึ่งที่จะช่วยเพิ่มคุณภาพทางโภชนาการของข้าวทั้งที่เป็นข้าวกล้องและสีเป็นข้าวสารได้

วิทยานิพนธ์นี้ ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กและสังกะสีภายในเมล็ดข้าวจากกระบวนการผลิตข้าวนึ่งที่ต่างกัน และในข้าวพันธุ์หลักหลายพันธุ์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของปัจจัย ในขั้นตอนการผลิตข้าวนึ่ง (pH อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าว ก่อนที่จะนำไปนึ่ง) เพื่อคัดเลือกสภาพปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการนึ่งข้าวเพื่อเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในข้าวขาว โดยทดสอบการแช่ข้าวที่ระดับสภาพกรดด่าง (pH) อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าวเปลือกต่าง ๆ กันก่อนนำไปนึ่งและตากแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตามลำดับ โดยการทดลองครั้งนี้ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท80 (กข29) ที่ทำความสะอาดด้วยน้ำกรองและน้ำกลั่นก่อนที่จะนำมาแช่ในน้ำ deionized ที่ pH (pH 3±0.05 และ pH 7±0.05) อุณหภูมิ (อุณหภูมิห้อง, 45, 55, 65 องศาเซลเซียส) และระยะเวลา (2, 4, 6, 8 และ 10 ชั่วโมง) ก่อนนำไปนึ่งและทำให้แห้ง พบว่า สภาพของการนึ่งข้าวที่แตกต่างกันมีผลต่อ ความเข้มข้นของ ธาตุเหล็กและสังกะสีในส่วน ของข้าวกล้อง ข้าวขาว และรำ แต่ไม่มีผลต่อแกลบ โดยเฉพาะในส่วนของข้าวขาว การนึ่งข้าวทำให้ข้าวขาวมีความเข้มข้นของธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวดิบ โดยความเข้มข้นของธาตุเหล็กสูงที่สุดเมื่อแช่ข้าวเป็นเวลา 2 (7.2 มก./กก.) และ 10 ชั่วโมง (7.3 มก./กก.) ในทางตรงข้ามความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวขาวกลับลดลงเมื่อ pH อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าวเพิ่มขึ้น (14.9 มก./กก.) เมื่อเทียบกับข้าวดิบ (19.6 มก./กก.) นอกจากนั้นกระบวนการนึ่งข้าวยังมีผลต่อปริมาณต้นข้าว (ข้าวเมล็ดเต็ม ความยาว >3/4 ของเมล็ดปกติ) โดยปริมาณต้นข้าวลดลงเมื่อแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเมื่อแช่ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 4 และ 6 ชั่วโมง การสีข้าวดิบได้ต้นข้าว เพียงร้อยละ 56.3 แต่การทำเป็นข้าวนึ่งทำให้ได้ต้นข้าวเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อแช่ข้าวที่ อุณหภูมิ 55 และ 65 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 และ 10 ชั่วโมง การสีได้ต้นข้าวถึงร้อยละ 97.2 97.8 97.2 และ 98.5 ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของ กระบวน การนึ่งข้าวต่อความแปรปรวนของปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ดของข้าวต่างพันธุ์ โดยใช้พันธุ์ข้าว 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์กข7 พิษณุโลก1 สุพรรณบุรี1 ชัยนาท1 และชัยนาท80 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมในกระบวนการผลิตข้าวนึ่งเพื่อการส่งออกของประเทศไทย นำไปผ่านกระบวนการนึ่งด้วยขั้นตอนการแช่ที่เลือกจากการทดลองที่ 1 โดยนำข้าวเปลือกแต่ละพันธุ์มาทำความสะอาดด้วยน้ำกรองและน้ำกลั่นก่อนที่จะนำมาแช่ในน้ำ deionized ที่ pH 7 อุณหภูมิ 55 $^{\circ}$C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ก่อนนำไปนึ่งและทำให้แห้ง จากการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นของธาตุเหล็กและสังกะสีมีความแตกต่างกันไปในส่วนต่างๆ ของเนื้อเยื่อเมล็ดและพันธุ์ข้าว โดยเฉพาะข้าวขาวซึ่งเป็นรูปแบบของข้าวที่นิยมบริโภคมากที่สุดในกลุ่มผู้บริโภคข้าว ซึ่งพบว่าพันธุ์ข้าวมีการตอบสนองต่อกระบวนการนึ่งข้าวเป็นสองแบบ ได้แก่ 1) พันธุ์ข้าวที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นหลังจากการนึ่งข้าว คือ พันธุ์ชัยนาท1 และ 2) พันธุ์ข้าวที่ความเข้มข้นของธาตุเหล็กไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากการนึ่งข้าว ได้แก่พันธุ์กข7 พิษณุโลก1 สุพรรณบุรี1 และชัยนาท8 0 ความแตกต่างของปริมาณธาตุเหล็กในแกลบน่าจะเป็นสาเหตุสำคัญของความแตกต่างในการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กในข้าวพันธุ์ชัยนาท 80 ระหว่างการทดลองที่ 1 ที่ข้าวพันธุ์นี้มีธาตุเหล็กในแกลบถึง 55-64 มก./กก. ในขณะที่ในการทดลองที่ 2 ข้าวพันธุ์ชัยนาท 80 ธาตุเหล็กในแกลบเพียง 39 มก./กก. ในทางตรงข้ามสำหรับความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวขาวพบว่าข้าวทุกพันธุ์มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสี (13.2-24.3 มก./กก.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้อยกว่าข้าวดิบ (26.2-30.4 มก./กก.) ยกเว้นพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ไม่มีความแตกต่างระหว่างข้าวนึ่งและข้าวดิบ นอกจากนั้นยังพบว่าปริมาณต้นข้าวของข้าวนึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 20-70 ขณะที่การสูญเสียจากการขัดสีลดลงเล็กน้อย (ร้อยละ 2-5) จากการศึกษานี้พบว่าความแปรปรวนของการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กเข้าสู่เนื้อเยื่อภายในของเมล็ดข้าวหลังจากกระบวนการนึ่งข้าวเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวได้เล็กน้อยในข้าวบางพันธุ์ แต่กระบวนการนึ่งข้าวมีแนวโน้มที่ทำให้ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวขาวลดลง

การทดลองที่ 3 เพื่อตรวจหาตำแหน่งของการสะสมธาตุเหล็กและสังกะสีในข้าวนึ่งกล้องและข้าวกล้องดิบของ 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์กข7 พิษณุโลก1 สุพรรณบุรี1 ชัยนาท1 และชัยนาท80 โดยใช้วิธีย้อมสีด้วยสีย้อม Perls' Prussian blue สำหรับธาตุเหล็กและด้วยสีย้อม Diphenylthiocarbazone (DTZ) staining สำหรับธาตุสังกะสี พบว่า ตำแหน่งของการสะสมธาตุเหล็กและสังกะสีในแต่ละส่วนของเมล็ดข้าว (คัพภะ เยื่อหุ้มเมล็ดและเนื้อเยื่อสะสมอาหาร) มีความแตกต่างกันไป และสามารถหาตำแหน่งของการสะสมธาตุเหล็กและสังกะสีได้จากการติดสีย้อมในส่วนเนื้อเยื่อเมล็ด (สีฟ้าและแดง) โดยตำแหน่งที่มีการสะสมธาตุเหล็กจะย้อมติดสีฟ้า ซึ่งตำแหน่งที่มีการติดสีเข้มและชัดเจนมากที่สุด คือ คัพภะ (Embryo) ในขณะส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat) และเนื้อเยื่อสะสมอาหาร (Endosperm) ไม่พบการติดสีย้อม ซึ่งทั้งข้าวนึ่งและข้าวดิบจะมีลักษณะการติดสี เหมือนกัน อย่างไรก็ตามการแสดงตำแหน่งของการติดสีย้อมของธาตุสังกะสีซึ่งเป็นสีแดงนั้น พบว่า ตำแหน่งที่มีการติดสีเข้มและชัดเจนมากที่สุดคือ คัพภะ รองลงมา คือ เยื่อหุ้มเมล็ด และ น้อยที่สุดในส่วนของเนื้อเยื่อสะสมอาหาร โดยข้าวนึ่งมีการติดสีย้อมทั้งในส่วนของคัพภะ เยื่อหุ้มเมล็ดและเนื้อเยื่อสะสมอาหารน้อยกว่าข้าวดิบ ความเข้มของการติดสีย้อมทั้ง Perls' Prussian blue และ DTZ staining ขึ้นอยู่กับธาตุเหล็ก (สีฟ้า) และสังกะสี (สีแดง) ซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละส่วนของเมล็ดและแตกต่างกันไปตามพันธุ์ และมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของธาตุเหล็กและสังกะสีในข้าวกล้อง เพราะฉะนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการย้อมสี Perls' Prussian blue และ DTZ staining เพื่อตรวจหาตำแหน่งของการสะสมธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ดนั้นเป็นวิธีการที่สามารถทำได้ง่าย รวดเร็ว และสามารถตรวจสอบได้ทีละเมล็ด

การศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นว่ากระบวน การนึ่งข้าวทำให้ธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นแต่ธาตุสังกะสีลดลง โดยการนึ่งข้าวทำให้ธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นบ้างในข้าวบางพันธุ์ และบางโอกาส เช่นเมื่อมีธาตุเหล็กในแกลบสูง ดังนั้นการคัดเลือกพันธุ์ข้าวเพื่อให้สารมารถเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กในข้าวสารหลังจากกระบวนการนึ่งข้าวจึงต้องพิจารณาพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณธาตุเหล็กในแกลบสูงเป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังได้ยืนยันว่าการทำข้าวนึ่งทำให้การสูญเสียจากการสีลดลงได้ต้นข้าวเพิ่มขึ้น วิธีการย้อมสีด้วยสีย้อม Perls' Prussian blue สำหรับธาตุเหล็กและด้วยสีย้อม Diphenylthiocarbazone

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(DTZ) staining สำหรับธาตุสังกะสี ทำให้มองเห็นตำแหน่งของการสะสมธาตุเหล็กและสังกะสีในแต่ละส่วนของเมล็ดข้าวอย่างชัดเจน โดยมีทั้งเหล็กและสังกะสีเข้มข้นที่สุดใน คัพภะ ตามด้วยเยื่อหุ้มเมล็ด (ที่ถูกขัดออกเป็นรำ) และน้อยที่สุดในเอนโดสเปิร์มที่เหลือเป็นข้าวขาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Thesis Title	Mobilization of Iron and Zinc in Rice Grain by Different Parboiling Conditions
Author	Miss Khwanchanok Patison
Degree	Master of Science (Agriculture) Agronomy
Thesis Advisory Committee	Prof.Dr. Benjavan Rerkasem Advisor
	Assoc.Prof.Dr. Sansanee Jamjod Co-advisor

ABSTRACT

Iron (Fe) and zinc (Zn) are the most serious malnutrition among the world population, particularly in Asia and Africa where rice is consumed as staple food. This is because rice is especially low in these nutrients compared with wheat and corn. Parboiling process is well-known as a method to improve rice quality by lowering grain breakage during milling. It has also been suggested as a way to improve nutritional value of milled rice grain due to the inward movement of vitamins and minerals into the inner tissues of rice grain. However, it is still unclear how parboiling process effects Fe and Zn concentration in milled rice. This study shows how the parboiling process affects Fe and Zn concentration in rice grain and how the nutrient concentrations are influenced by the condition of parboiling process. Thus, this thesis examined the movement Fe and Zn concentration in rice grain when subjected to different conditions in part of the parboiling process, and in different rice varieties, in three experiments.

The first experiment aimed to evaluate the effect of parboiling conditions (time, temperature and pH of soaking before steaming) on distribution and movement of Fe and Zn in the tissues of rice grain. Paddy rice grains were soaked in deionized water adjusted to different pH (acid and neutral), temperature (room temperature, 45, 55 and 65 ^{o}C and time (2, 4, 6, 8 and 10 h) before steaming and sun drying. Parboiling conditions significantly affected on Fe and Zn

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

concentration in brown rice, milled rice and bran fraction differently, but not in the husk, thus showing how the Fe and Zn in rice were remobilized during parboiling. In milled rice, Fe concentration in parboiled rice was higher than raw rice. The highest Fe concentration was found when soaking for 2 (7.2 mg kg^{-1}) and 10 h (7.3 mg kg^{-1}). In contrast, Zn concentration in milled rice was decreased when increased pH soaking temperature and soaking time (14.9 mg kg^{-1}), compared with raw rice (19.6 mg kg^{-1}). Parboiling conditions also affected head rice yield. Head rice yield of parboiled rice decreased when soaked at 45°C for 2 h and at room temperature for 2, 4 and 6 h, but it was increased when increased soaking time and temperature compared with control raw rice (56.3%).

The second experiment evaluated the movement of Fe and Zn after parboiling process of rice grain among different grain tissues and varieties. The unhusked paddy rice of 5 varieties cv. RD7, PSL1, SPR1, CNT1 and CNT80 (the popular rice varieties for parboiling in Thailand's export market) were parboiled by soaking in deionized water adjusted to pH 7 at 55 °C for 8 hours before steaming and sun drying (condition chosen from the first experiment). The concentration of Fe and Zn was found to vary among different grain fractions and varieties, especially in white rice which is a common form of rice consumed among rice consumers. The concentration of Fe in white rice in the different rice varieties responded into 2 types. First in CNT1, this had higher Fe concentration in parboiled rice than raw rice. Second, no difference between parboiled and raw rice was found in RD7, SPR1 PSL1 and CNT80. The difference between experiments 1 and 2 in the change of Fe after parboiling in CNT80 may be associated with the husk Fe, which was 55-64 mg kg^{-1} in experiment 1 and only 39 mg kg^{-1} in experiment 2.

In contrast, Zn concentration of parboiled rice in all varieties (13.2-24.3 mg kg^{-1}) was lower than in raw white rice (26.2-30.4 mg kg^{-1}), except for cv. PSL1, in which there was no difference between parboiled and raw rice. Head rice yield of parboiled rice was increased by 20-70%, while degree of milling was slightly lower (by 2-5%) than that in raw rice. The variation of Fe movement into the inner layer of rice grain after parboiling process offers a mean to improve Fe concentration in white rice and also human nutrition. However, parboiling tended to depress Zn concentration of white rice.

The third experiment to detect the localization of Fe and Zn in brown parboiled and raw rice in cv. RD7, CNT1, CNT80, PSL1 and SPR1. Perls' Prussian blue and

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Diphenylthiocarbazone (DTZ) staining technique, were used to locate Fe and Zn in rice grain tissue, respectively. Differential localization of Fe and Zn in each parts of the grain (embryo, aleurone layers and endosperm) could be indicated by intensity of blue (Fe by Perls' Prussian blue) and red colour (by DTZ) reaction of tissues. Iron localization, the blue colour reaction was most intense in the embryo, while it invisible in the aleurone layers and endosperm. Parboiled and raw rice of five rice variety were similar in colour reaction. However, for Zn localization, red colour reaction was most intense in the embryo, weak in the aleurone layer and weakest in the endosperm. In all parts of rice grain tissue, parboiled rice was less intense of red colour than raw rice. Variation in the reaction to Perls' Prussian blue and DTZ staining were also observed genotypes differing in grain Fe and Zn content. The intensity of the blue and red colour reaction in the rice grain tissue was different among genotypes which closely correlated to their Fe and Zn concentrations in brown rice. Therefore Perls' Prussian blue and DTZ staining can be used as a method which sample and rapid indication of Fe and Zn content in individual rice grain.

These results have shown that parboiling consistently depressed Zn concentration in milled rice, whereas Fe concentration in milled rice may be slightly increased by parboiling in some rice varieties, which may depend on Fe in the husk and some parboiling conditions, Therefore, increasing of Fe concentration in the inner tissues of rice grain may have to select the variety which contains high Fe concentration in the husk. In addition, it has been confirmed that parboiling process decreased milling loss and so increased head rice yield. This study has also illustrated how localization of these nutrients in different parts of the rice grain can be easily and rapidly detected by staining with Diphenylthiocarbazone (Dithizone or DTZ) for Zn and Perls' Prussian blue for Fe. In all rice varieties examined, the highest concentration of both Fe and Zn in the rice grain, indicated by the most intense staining, was in the embryo, followed by the seed coat, with the lowest concentration in the endosperm.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved