

**ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์**

การเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กและสังกะสีภายในเมล็ดข้าวจาก  
กระบวนการผลิตข้าวหนึ่งที่ต่างกัน

**ผู้เขียน**

นางสาวขวัญชนก ปฎิสนธิ์

**ปริญญา**

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) พืชไร่

**คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์**

ศ. ดร. เบญจวรรณ อุทัยเกษม อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก  
รศ. ดร. ศันสนีย์ จำจด อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

**บทคัดย่อ**

การขาดธาตุเหล็กและสังกะสีเป็นปัญหาการขาดสารอาหารที่มีความรุนแรงมากในประชากรโลก โดยเฉพาะในทวีปเอเชียและแอฟริกา ซึ่งประชากรส่วนใหญ่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก เพราะข้าวเป็นธัญพืชที่มีปริมาณของสารอาหารเหล่านี้ในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับข้าวสาลีและข้าวโพด กระบวนการนึ่งข้าวเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งช่วยปรับปรุงคุณภาพของข้าวโดยทำให้เมล็ดมีการแตกหักลดลงระหว่างการขัดสีเป็นข้าวขาว และยังช่วยในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของข้าวได้ เนื่องจากการเคลื่อนย้ายของวิตามินและแร่ธาตุเข้าสู่เนื้อเยื่อส่วนในของเมล็ดข้าวระหว่างการนึ่ง แต่สำหรับธาตุเหล็กและสังกะสียังไม่มีการศึกษาที่บ่งชี้ว่ากระบวนการนึ่งข้าวมีผลทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายภายในเมล็ดข้าวอย่างไร การศึกษานี้จะได้บ่งชี้ว่ากระบวนการนึ่งข้าวมีผลกระทบอย่างไรต่อปริมาณธาตุอาหารสำคัญ และอาจชี้นำสภาพการนึ่งที่จะช่วยเพิ่มคุณภาพทางโภชนาการของข้าวทั้งที่เป็นข้าวกล้องและสีเป็นข้าวสารได้

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กและสังกะสีภายในเมล็ดข้าวจากกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งที่ต่างกัน และในข้าวพันธุ์หลักหลายพันธุ์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของปัจจัยในขั้นตอนการผลิตข้าวหนึ่ง (pH อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าวก่อนที่จะนำไปนึ่ง) เพื่อคัดเลือกสภาพปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการนึ่งข้าวเพื่อเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในข้าวขาว โดยทดสอบการแช่ข้าวที่ระดับสภาพกรดต่าง (pH) อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่ข้าวเปลือกต่าง ๆ กันก่อนนำไปนึ่งและตากแห้ง

ตามลำดับ โดยการทดลองครั้งนี้ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท80 (กข29) ที่ทำความสะอาดด้วยน้ำกรองและน้ำกลั่นก่อนที่จะนำมาแช่ในน้ำ deionized ที่ pH (pH  $3\pm 0.05$  และ pH  $7\pm 0.05$ ) อุณหภูมิ (อุณหภูมิห้อง, 45, 55, 65 องศาเซลเซียส) และระยะเวลา (2, 4, 6, 8 และ 10 ชั่วโมง) ก่อนนำไปนึ่งและทำให้แห้ง พบว่า สภาพของการนึ่งข้าวที่แตกต่างกันมีผลต่อความเข้มข้นของธาตุเหล็กและสังกะสีในส่วนของข้าวกล้อง ข้าวขาว และรำ แต่ไม่มีผลต่อแคลบ โดยเฉพาะในส่วน of ข้าวขาว 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.) นอกจากนี้กระบวนการนึ่งข้าวยังมีผลต่อปริมาณต้นข้าว (ข้าวเมล็ดเต็ม ความยาว >3/4 ของเมล็ดปกติ) โดยปริมาณต้นข้าวลดลงเมื่อแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเมื่อแช่ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 4 และ 6 ชั่วโมง การสีข้าวดิบได้ต้นข้าว เพียงร้อยละ 56.3 แต่การทำเป็นข้าวหนึ่งทำให้ได้ต้นข้าวเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 55 และ 65 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 และ 10 ชั่วโมง การสีได้ต้นข้าวถึงร้อยละ 97.2 97.8 97.2 และ 98.5 ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของกระบวนการนึ่งข้าวต่อความแปรปรวนของปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ดของข้าวต่างพันธุ์ โดยใช้พันธุ์ข้าว 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์กข7 พิษณุโลก1 สุพรรณบุรี1 ชัยนาท1 และชัยนาท80 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมในกระบวนการผลิตข้าวหนึ่งเพื่อการส่งออกของประเทศไทย นำไปผ่านกระบวนการนึ่งด้วยขั้นตอนการแช่ที่เลือกจากการทดลองที่ 1 โดยนำข้าวเปลือกแต่ละพันธุ์มาทำความสะอาดด้วยน้ำกรองและน้ำกลั่นก่อนที่จะนำมาแช่ในน้ำ deionized ที่ pH 7 อุณหภูมิ  $55^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ก่อนนำไปนึ่งและทำให้แห้ง จากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของธาตุเหล็กและสังกะสีมีความแตกต่างกันไปในส่วนต่างๆ ของเนื้อเยื่อเมล็ดและพันธุ์ข้าว โดยเฉพาะข้าวขาวซึ่งเป็นรูปแบบของข้าวที่นิยมบริโภคมากที่สุดในกลุ่มผู้บริโภคข้าว ซึ่งพบว่าพันธุ์ข้าวมีการตอบสนองต่อกระบวนการนึ่งข้าวเป็นสองแบบ ได้แก่ 1) พันธุ์ข้าวที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นหลังจากการนึ่งข้าว คือ พันธุ์ชัยนาท1 และ 2) พันธุ์ข้าวที่ความเข้มข้นของธาตุเหล็กไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากการนึ่งข้าว ได้แก่ พันธุ์กข7 พิษณุโลก1 สุพรรณบุรี1 และชัยนาท80 ความแตกต่างของปริมาณธาตุเหล็กในแคลบ น่าจะเป็นสาเหตุสำคัญของความแตกต่างในการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กในข้าวพันธุ์ชัยนาท 80 ระหว่างการทดลองที่ 1 ที่ข้าวพันธุ์นี้มีธาตุเหล็กในแคลบถึง 55-64 มก./กก. ในขณะที่ในการทดลองที่ 2 ข้าวพันธุ์ชัยนาท 80 ธาตุเหล็กในแคลบเพียง 39 มก./กก. ในทางตรงข้ามสำหรับความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวขาวพบว่าข้าวทุกพันธุ์มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสี (13.2-24.3 มก./กก.)

น้อยกว่าข้าวดิบ (26.2-30.4 มก./กก.) ยกเว้นพันธุ์สุพรรณบุรี1 ที่ไม่มีความแตกต่างระหว่างข้าวหนึ่ง และข้าวดิบ นอกจากนั้นยังพบว่าปริมาณต้นข้าวของข้าวหนึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 20-70 ขณะที่การสูญเสีย จากการขัดสีลดลงเล็กน้อย (ร้อยละ 2-5) จากการศึกษาพบว่าความแปรปรวนของการเคลื่อนย้าย ธาตุเหล็กเข้าสู่เนื้อเยื่อภายในของเมล็ดข้าวหลังจากกระบวนการนึ่งข้าวเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งช่วยเพิ่ม ปริมาณความเข้มข้นของธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวได้เล็กน้อยในข้าวบางพันธุ์ แต่กระบวนการนึ่งข้าวมี แนวโน้มที่ทำให้ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวขาวลดลง

การทดลองที่ 3 เพื่อตรวจหาตำแหน่งของการสะสมธาตุเหล็กและสังกะสีในข้าวหนึ่งกล้อง และข้าวกล้องดิบของ 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์กข7 พิษณุโลก1 สุพรรณบุรี1 ชัยนาท1 และชัยนาท80 โดยใช้วิธีย้อมสีด้วยสีย้อม Perls' Prussian blue สำหรับธาตุเหล็กและด้วยสีย้อม Diphenylthiocarbazone (DTZ) staining สำหรับธาตุสังกะสี พบว่า ตำแหน่งของการสะสมธาตุเหล็กและสังกะสีในแต่ละ ส่วนของเมล็ดข้าว (คัพภะ เยื่อหุ้มเมล็ดและเนื้อเยื่อสะสมอาหาร) มีความแตกต่างกันไป และสามารถหาตำแหน่งของการสะสมธาตุเหล็กและสังกะสีได้จากการติดสีย้อมในส่วนเนื้อเยื่อเมล็ด (สี ฟ้ำและแดง) โดยตำแหน่งที่มีการสะสมธาตุเหล็กจะย้อมติดสีฟ้า ซึ่งตำแหน่งที่มีการติดสีเข้มและ ชัดเจนมากที่สุด คือ คัพภะ (Embryo) ในขณะส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat) และเนื้อเยื่อสะสม อาหาร (Endosperm) ไม่พบการติดสีย้อม ซึ่งทั้งข้าวหนึ่งและข้าวดิบจะมีลักษณะการติดสีเหมือนกัน อย่างไรก็ตามการแสดงตำแหน่งของการติดสีย้อมของธาตุสังกะสีซึ่งเป็นสีแดงนั้น พบว่า ตำแหน่งที่ มีการติดสีเข้มและชัดเจนมากที่สุดคือ คัพภะ รองลงมา คือ เยื่อหุ้มเมล็ด และน้อยที่สุดในส่วนของ เนื้อเยื่อสะสมอาหาร โดยข้าวหนึ่งมีการติดสีย้อมทั้งในส่วนของคัพภะ เยื่อหุ้มเมล็ดและเนื้อเยื่อสะสม อาหารน้อยกว่าข้าวดิบ ความเข้มของการติดสีย้อมทั้ง Perls' Prussian blue และ DTZ staining ขึ้นอยู่กับธาตุเหล็ก (สีฟ้า) และสังกะสี (สีแดง) ซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละส่วนของเมล็ดและ แตกต่างกันไปตามพันธุ์ และมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของธาตุเหล็กและสังกะสีในข้าวกล้อง เพราะฉะนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการย้อมสี Perls' Prussian blue และ DTZ staining เพื่อตรวจหา ตำแหน่งของการสะสมธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ดนั้นเป็นวิธีการที่สามารถทำได้ง่าย รวดเร็ว และสามารถตรวจสอบได้ที่ละเมล็ด

การศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการนึ่งข้าวทำให้ธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นแต่ธาตุสังกะสี ลดลง โดยการนึ่งข้าวทำให้ธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นบ้างในข้าวบางพันธุ์ และบางโอกาส เช่นเมื่อมีธาตุ เหล็กในแกลบสูง ดังนั้นการคัดเลือกพันธุ์ข้าวเพื่อให้สามารถเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กในข้าวสาร หลังจากกระบวนการนึ่งข้าวจึงต้องพิจารณาพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณธาตุเหล็กในแกลบสูงเป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังได้ยืนยันว่าการทำข้าวหนึ่งทำให้การสูญเสียจากการสีลดลงได้ต้นข้าวเพิ่มขึ้น วิธีการ ย้อมสีด้วยสีย้อม Perls' Prussian blue สำหรับธาตุเหล็กและด้วยสีย้อม Diphenylthiocarbazone (DTZ) staining สำหรับธาตุสังกะสี ทำให้มองเห็นตำแหน่งของการสะสมธาตุเหล็กและสังกะสีใน แต่ละส่วนของเมล็ดข้าวอย่างชัดเจน โดยมีทั้งเหล็กและสังกะสีเข้มข้นที่สุดใน คัพภะ ตามด้วยเยื่อ หุ้มเมล็ด (ที่ถูกขัดออกเป็นรำ) และน้อยที่สุดในเอนโดสเปิร์มที่เหลือเป็นข้าวขาว

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>Thesis Title</b>              | Mobilization of Iron and Zinc in Rice Grain by<br>Different Parboiling Conditions         |
| <b>Author</b>                    | Miss Khwanchanok Patison  |
| <b>Degree</b>                    | Master of Science (Agriculture) Agronomy  |
| <b>Thesis Advisory Committee</b> | Prof.Dr. Benjavan Rerkasem      Advisor<br>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 °C and time (2, 4, 6, 8 and 10 h) before steaming and sun drying. Parboiling conditions significantly affected on Fe and Zn

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<sup>-1</sup>) and 10 h (7.3 mg kg<sup>-1</sup>). In contrast, Zn concentration in milled rice was decreased when increased pH soaking temperature and soaking time (14.9 mg kg<sup>-1</sup>), compared with raw rice (19.6 mg kg<sup>-1</sup>). 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<sup>-1</sup> in experiment 1 and only 39 mg kg<sup>-1</sup> in experiment 2.

In contrast, Zn concentration of parboiled rice in all varieties (13.2-24.3 mg kg<sup>-1</sup>) was lower than in raw white rice (26.2-30.4 mg kg<sup>-1</sup>), 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

Diphenylthiocarbazon (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 Diphenylthiocarbazon (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.