ผลของระยะเวลาเก็บเกี่ยวและสภาพการนึ่งต่อคุณภาพทางโภชนาการของข้าวนึ่ง

Effects of Harvesting Period and Parboiling Condition on Nutritional Quality of Parboiled Rice

สุพรรณี สุวรรณประภา[1*], เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม[1], ศันสนีย์ จำจด[1] และ ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย[1]

Supannee Suwannaprapa[1*], Benjavan Rerkasem[1], Sansanee Jamjod[1] and Chanakan Thebault Prom-u-thai[1]

บทคัดย่อ: เหตุการณ์น้ำท่วมจากภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน ทำให้ต้องเก็บเกี่ยวข้าวก่อนกำหนด ซึ่งมีผลกระทบต่อผลผลิตและคุณภาพข้าว การแปรรูปข้าวนึ่งอาจสามารถช่วยลดการสูญเสียคุณภาพได้ การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาเก็บเกี่ยวและสภาพการนึ่งต่อคุณภาพทางโภชนาการของข้าวนึ่งและปริมาณผลผลิต โดยเก็บตัวอย่างข้าวในแปลงปลูกทั้งหมด 4 พันธุ์ คือพันธุ์ สุพรรณบุรี 1, ชัยนาท 1, สันป่าตอง 1 และ กข10 ที่ระยะ 15, 20, 25, 30 และ 45 วันหลังวันดอกบาน ทดสอบผลผลิตโดยนำข้าวเปลือก 4 พันธุ์ไปหาความชื้นที่ลดลงและน้ำหนักแห้ง พบว่าผลผลิตมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บเกี่ยวเร็วขึ้นและข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีผลผลิตสูง จากนั้นทดสอบสภาพการนึ่งโดยใช้ข้าวเปลือกพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ด้วยตำรับทดลองอีก 1 ปัจจัย คือ 1 แช่น้ำ deionized อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนาน 5 ชั่วโมง และ 2 ไม่แช่น้ำ นึ่งในหม้อนึ่งควบคุมความดัน 0.8 กก./ตร.ซม. นาน 10 นาที แล้วผึ่งแดดให้แห้ง นำข้าวไปสีเป็นข้าวสาร วัดความเข้มข้นธาตุไนโตรเจน สังกะสี และเหล็กในเมล็ด พบว่าการนึ่งข้าวโดยไม่แช่น้ำมีความเข้มข้นธาตุสังกะสีสูงกว่าแช่น้ำก่อนนึ่งในทุกระยะเวลาเก็บเกี่ยว แต่ไม่พบความแตกต่างของความเข้มข้นธาตุไนโตรเจนและธาตุเหล็กระหว่างการนึ่งทั้ง 2 แบบ เมื่อทดสอบผลของระยะเวลาเก็บเกี่ยวต่อความเข้มข้นธาตุอาหารหลังจากการนึ่งข้าวแบบไม่แช่น้ำในข้าว 4 พันธุ์พบว่าพันธุ์ข้าวและระยะเวลาเก็บเกี่ยวมีผลกระทบต่อความเข้มข้นธาตุไนโตรเจน สังกะสี และเหล็กแตกต่างกัน แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสอง (ยกเว้นธาตุสังกะสี) ข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 มีความเข้มข้นธาตุไนโตรเจน สังกะสี และเหล็กสูง การเก็บเกี่ยวก่อนกำหนดที่ระยะ 25 วันหลังวันดอกบาน มีความเข้มข้นธาตุไนโตรเจน สังกะสี และเหล็กต่ำสุด การทดลองนี้ทำให้ทราบถึงระยะเวลาเก็บเกี่ยว พันธุ์ข้าวและสภาพการนึ่งที่เหมาะสมในการผลิตข้าวนึ่งเพื่อคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้เมื่อจำเป็นต้องเก็บเกี่ยวข้าวก่อนกำหนด

คำสำคัญ: ระยะเวลาเก็บเกี่ยว, สภาพการนึ่ง, คุณภาพทางโภชนาการ, ข้าวนึ่ง, การเก็บเกี่ยวก่อนกำหนด

ABSTRACT: Pre-mature harvesting of rice is sometimes forced by flooding—a consequence of global warming—which resulted in low rice quality. Parboiled rice production may be used to reduce this quality loss. The objective of this experiment was to determine how the harvesting period and parboiling condition affected the nutritional quality of parboiled rice and yield. Four rice varieties (Suphan Buri 1, Chai Nat 1, San-pah-tong 1 and RD10) were harvested from the field at five different stages (15, 20, 25, 30 and 45 days after flowering). The four rice varieties were used

[1] ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200
Department of Plant Science and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

* Corresponding author: nee_xxy@hotmail.com

to test for yield from moisture reduction and weight. Yield tended to decrease when harvested early, and the highest yield was observed in Suphan Buri 1. After that, Suphan Buri 1 was used to test for parboiling conditions, consisting of: 1) soaking rice samples in deionized water at 60°C for 5 hours, and 2) no soaking before steaming all samples in a pressure steamer at 0.8 kg/cm^3 for 10 minutes. The samples were sun-dried and analyzed for nitrogen, zinc and iron concentrations. Rice parboiling without soaking before steaming resulted in higher zinc concentration in the rice grain than that of soaking in all harvesting periods. There was no difference in nitrogen and iron concentrations in the rice grain between the two parboiling conditions. Thereafter, rice parboiling without soaking was used to evaluate the effects of harvesting period on nutritional quality among the rice varieties. Nitrogen, zinc and iron concentrations in the parboiled rice grain were affected differently by rice variety and harvesting period, but without significant interaction between the two factors (except for zinc). San-pah-tong 1 had higher nitrogen, zinc and iron concentrations than those of other varieties. Meanwhile, harvests at 25 days after flowering had lower nitrogen, zinc and iron concentrations than those of other harvesting periods. The information in this study can be used as basic information for producing parboiled rice with high nutritional quality in areas where rice has to be prematurely harvested.
Keywords: harvesting period, parboiling condition, nutritional quality, parboiled rice, pre-mature harvesting

บทนำ

ภาวะโลกร้อน (Global warming) ในปัจจุบันส่งผลให้เกิดสภาพภูมิอากาศและฤดูกาลที่แปรปรวน ก่อให้เกิดปัญหาภัยแล้งและน้ำท่วมฉับพลันในหลายพื้นที่ของประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกข้าวที่มีพื้นที่มากถึง 65.5 ล้านไร่ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 49.7 ของพื้นที่การเพาะปลูกทั้งหมด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) การประสบปัญหา โดยเฉพาะภาวะน้ำท่วมที่ได้เกิดขึ้นในหลายปีที่ผ่านมา ทำให้เกษตรกรสูญเสียผลผลิต โดยไม่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เลย หรือในกรณีที่เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ทันเวลา แต่พบว่าข้าวที่เก็บเกี่ยวยังไม่ถึงระยะสุกแก่เต็มที่ ทำให้เกษตรกรขายข้าวได้ในราคาต่ำ ซึ่งโดยทั่วไประยะเก็บเกี่ยวข้าวที่เหมาะสม คือ ระยะพลับพลึง โดยนับจากวันดอกบานของต้นข้าวไปอีกประมาณ 28-30 วัน ในระยะนี้เมล็ดข้าวจะมีความสมบูรณ์เต็มที่ทั้งขนาด น้ำหนัก ความแข็งของเปลือก สีเปลือก เนื้อเมล็ด และรวมไปถึงคุณภาพอื่นๆ ของเมล็ด (งามชื่น, 2547; อรอนงค์, 2550) การเก็บเกี่ยวข้าวก่อนกำหนดเพื่อหลีกเลี่ยงภัยธรรมชาติต่างๆ เมล็ดข้าวจะยังไม่แก่เต็มที่ มีสีเขียว การสร้างแป้งในเมล็ดยังไม่สมบูรณ์ ทำให้น้ำหนักเมล็ดเบา นอกจากนี้ยังมีคุณภาพการขัดสีต่ำเนื่องจากข้าวมีความชื้นในเมล็ดสูง ทำให้เมล็ดข้าวแห้งยากเกิดการแตกหักง่ายเมื่อนำไปขัดสี ได้ปริมาณข้าวสารและข้าวเต็มเมล็ดน้อย ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถขายข้าวได้ในราคาท้องตลาดหรือขายได้ในราคาถูก (De Datta, 1981; Wright and Warnock, 1983) ดังนั้นการศึกษาวิธีการเพิ่มคุณภาพของข้าวที่เก็บเกี่ยวก่อนกำหนดจึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้

วิธีการหนึ่งที่อาจจะเป็นแนวทางในการเพิ่มคุณภาพข้าวที่เก็บเกี่ยวก่อนกำหนดได้ คือ กระบวนการแปรรูปข้าวสดเป็นข้าวนึ่ง (parboiled rice) เนื่องจากสามารถทำได้แม้ว่าข้าวที่เก็บเกี่ยวมานั้น มีความชื้นในเมล็ดข้าวค่อนข้างสูง ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่ทำกันมาเป็นเวลานานเป็นที่นิยมในหลายพื้นที่ในแถบเอเชียใต้ และแอฟริกา นอกจากนี้ยังแพร่หลายไปยังประเทศในทวีปยุโรปและอเมริกา (เครือวัลย์, 2536; อรอนงค์, 2550; Bhattacharya, 1985) ปัจจุบันประเทศไทยส่งออกข้าวนึ่งปีละ 3.2 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร, 2555) การนึ่งข้าวมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพข้าวเปลือกที่มีคุณภาพการขัดสีต่ำและมีความชื้นสูงให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น โดยลดปริมาณข้าวหักระหว่างการขัดสี เพิ่มปริมาณต้นข้าว และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ (เครือวัลย์, 2536) การนึ่งข้าวจะได้เปอร์เซ็นต์ข้าวหักและปริมาณอะมัยโลสน้อยกว่าข้าวทั่วไป แต่มีปริมาณวิตามินบี 1 (Thiamine) สูงกว่าข้าวดิบที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการนึ่ง (Otegbayo et al., 2001) นอกจากนี้การนึ่งข้าวยังมีผลต่อการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารภายในเมล็ดข้าว โดยเฉพาะธาตุเหล็กและสังกะสีที่มีการศึกษากันเป็นจำนวนมากและพบว่าธาตุ

เหล็ก (Fe) ในข้าวขาวมีปริมาณเพิ่มสูงกว่าข้าวดิบ แต่มีปริมาณธาตุสังกะสี (Zn) น้อยกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพการนึ่งและพันธุ์ข้าว (ขวัญชนก, 2553) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีไม่เพียงแต่จะเกิดขึ้นในกระบวนการนึ่งตามปกติเท่านั้น การเติมธาตุเหล็ก (Fe) ในระหว่างกระบวนการนึ่งข้าวก็สามารถทำให้ปริมาณธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นในข้าวกล้อง (brown rice) และข้าวขาว (milled rice) ด้วยเช่นกัน โดยสามารถทำให้ข้าวนึ่งมีปริมาณธาตุเหล็กมากกว่าข้าวนึ่งทั่วไปถึง 20-50 เท่าขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวและปริมาณความเข้มข้นของธาตุเหล็กที่เติม (Prom-u-thai et al., 2008) จะเห็นได้ว่ากระบวนการนึ่งข้าวสามารถเพิ่มคุณภาพข้าวได้ทั้งคุณภาพการขัดสีและคุณภาพทางโภชนาการ แต่ยังไม่พบว่ามีการนำกระบวนการนึ่งข้าวเข้ามาช่วยเพิ่มคุณภาพของข้าวที่เก็บเกี่ยวก่อนกำหนด วัตถุประสงค์การวิจัยนี้เพื่อศึกษาคุณภาพทางโภชนาการของข้าวนึ่งแต่ละพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวก่อนกำหนดและสภาพการนึ่งที่แตกต่างกัน

วิธีการศึกษา

ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (SPR 1), ชัยนาท 1 (CNT 1), สันป่าตอง 1 (SPT 1) และ กข10 (RD10) ปลูกในแปลงทดลองคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) มีระยะปลูกระหว่างต้นและแถว 25×25 ซม.ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0, 0-46-0 และ 0-0-60 (% N-P_2O_5-K_2O) ในอัตรา 120-45-30 กิโลกรัม/เฮกตาร์ แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครึ่งหนึ่งที่ระยะ 30 วัน และอีกครึ่งหนึ่งที่ 60 วันหลังปลูก โดยทำการทดลองทวนซ้ำ 3 ครั้ง เก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวทั้งหมด 5 ครั้ง ที่ระยะ 15, 20, 25, 30 และ 45 วันหลังวันดอกบาน วัดปริมาณผลผลิตโดยเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกทุกพันธุ์ในพื้นที่ 1 ตร.ม. นำไปอบลดความชื้นที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน ชั่งน้ำหนักแห้งและคำนวณหาผลผลิตต่อไร่ จากนั้นทดสอบสภาพการนึ่งเบื้องต้นโดยใช้ตัวอย่างข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ตัวอย่างละ 250 กรัม ล้างให้สะอาดด้วยน้ำประปา 3 ครั้ง ตามด้วยน้ำกรอง 2 ครั้ง และน้ำกลั่น 1 ครั้ง แบ่งสภาพการนึ่งเป็น 2 สภาพ ได้แก่ 1) สภาพแช่น้ำก่อนนึ่ง นำตัวอย่างใส่บีกเกอร์ปริมาตร 1 ลิตรเติมน้ำ deionized จนท่วมตัวอย่างข้าวแล้วนำไปแช่ใน water bath ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง 2) สภาพไม่แช่น้ำก่อนนึ่ง จากนั้นนำตัวอย่างทั้งสองสภาพแช่และไม่แช่น้ำมานึ่งด้วยหม้อนึ่งควบคุมความดัน (Digital pressure cooker ตราหัวม้าลาย รุ่น ZB-DER 2200) 0.8 กก./ตร.ซม. เป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำไปผึ่งแดดจนแห้งสนิท นำตัวอย่างข้าวเปลือกไปกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกขนาดเล็ก (รุ่น P-1 จัดจำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วนจำกัด เง็กเซ่งฮวด) ซึ่งจะได้เป็นข้าวกล้องและเปลือกข้าว หลังจากนั้นนำข้าวกล้อง 50 กรัม มาขัดขาวด้วยเครื่องขัดขาวขนาดเล็ก (รุ่น K-1 จัดจำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วนจำกัด เง็กเซ่งฮวด) เป็นเวลา 30 วินาที ซึ่งจะได้เป็นข้าวสาร นำตัวอย่างข้าวมาวัดความเข้มข้นธาตุไนโตรเจน (N), ธาตุสังกะสี (Zn) และธาตุเหล็ก (Fe) จากการทดสอบพบว่าตัวอย่างข้าวที่ไม่แช่น้ำก่อนนึ่งมีความเข้มข้นธาตุสังกะสีสูงกว่าแช่น้ำก่อนนึ่งในทุกระยะเก็บเกี่ยว ในขณะที่ธาตุไนโตรเจนและธาตุเหล็กไม่พบความแตกต่างระหว่างการทดสอบทั้ง 2 สภาพ ดังนั้นจึงทดสอบผลของระยะเวลาเก็บเกี่ยวต่อปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในทางโภชนาการของเมล็ดข้าวแต่ละพันธุ์ภายใต้สภาพไม่แช่น้ำก่อนนึ่ง โดยเก็บตัวอย่างข้าวจำนวน 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์สุพรรณบุรี 1, ชัยนาท 1, สันป่าตอง 1 และ กข10 ที่ปลูกในแปลงทดลองที่ได้อธิบายไปแล้วข้างต้น โดยเก็บเกี่ยวใน 5 ระยะการเจริญเติบโต ทำการนึ่ง ขัดสี และวิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุไนโตรเจน ธาตุสังกะสี และธาตุเหล็กตามขั้นตอนที่ได้อธิบายไว้ข้างบน วิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) เปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ค่า Least Significant Difference (LSD) ที่ P=0.05

ผลการศึกษา

จากการทดสอบปริมาณผลผลิตพบว่าข้าวที่เก็บเกี่ยวในแต่ละระยะและแต่ละพันธุ์มีผลผลิตแตกต่างกัน แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสอง (Table 1) โดยพบว่า การเก็บเกี่ยวข้าวที่ระยะ 30 และ 45 วันหลังดอกบาน มีผลผลิตสูงสุด มีค่าอยู่ในช่วง 679.1-728.6 กก./ไร่ ซึ่งมากกว่าระยะ 15 วันหลังดอกบานที่มีผลผลิตต่ำสุด (356 กก./ไร่) สำหรับผลผลิตในข้าวแต่ละพันธุ์พบว่า ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีผลผลิตสูงสุด (625.3 กก./ไร่) ซึ่งมากกว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1, สันป่าตอง 1 และ กข10 ที่มีผลผลิตต่ำสุด มีค่าอยู่ในช่วง 532.6-537.4 กก./ไร่ (Figure 1)

การทดสอบสภาพการนึ่งโดยการแช่และไม่แช่น้ำก่อนนึ่งของข้าวที่เก็บเกี่ยวในระยะเวลาแตกต่างกันในข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 พบว่า ระยะเวลาเก็บเกี่ยวและสภาพการนึ่งมีปฏิสัมพันธ์ร่วมต่อความเข้มข้นธาตุสังกะสีในข้าวสารนึ่ง (Table 2) โดยข้าวที่ไม่แช่น้ำก่อนนึ่งมีความเข้มข้นธาตุสังกะสีมากกว่าข้าวที่แช่น้ำก่อนนึ่งในทุกระยะเวลาเก็บเกี่ยว และข้าวที่เก็บเกี่ยวที่ระยะ 45 วันหลังวันดอกบาน สภาพไม่แช่น้ำก่อนนึ่งมีความเข้มข้นธาตุสังกะสีสูงสุด (12.03 มก./กก.) ในขณะที่ข้าวที่แช่น้ำก่อนนึ่งในทุกระยะเวลาเก็บเกี่ยวมีความเข้มข้นธาตุสังกะสีต่ำสุดมีค่าอยู่ในช่วง 7.1-8.0 มก./กก. (Figure 2) นอกจากนี้เมล็ดข้าวสารนึ่งมีปริมาณธาตุไนโตรเจนและความเข้มข้นธาตุเหล็กไม่แตกต่างกันในแต่ละสภาพการนึ่งและระยะเวลาเก็บเกี่ยว โดยปริมาณธาตุไนโตรเจนและความเข้มข้นธาตุเหล็กมีค่าอยู่ในช่วง 1.00-1.13% และ 2.84-5.04 มก./กก. ตามลำดับ

เนื่องจากสภาพการนึ่งแบบไม่แช่น้ำก่อนนึ่งมีความเข้มข้นธาตุสังกะสีมากกว่าการแช่น้ำก่อนนึ่ง จึงเลือกมาใช้เพื่อทดสอบความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้าวพันธุ์อื่นๆ ซึ่งพบว่าความเข้มข้นธาตุไนโตรเจนในข้าวสารนึ่งแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ข้าว และระหว่างข้าวที่เก็บเกี่ยวต่างระยะ แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสอง (Table 3) โดยพบว่าการเก็บเกี่ยวข้าวที่ระยะ 15, 20, 30 และ 45 วันหลังวันดอกบาน มีความเข้มข้นธาตุไนโตรเจนใกล้เคียงกัน มีค่าอยู่ในช่วง 1.22-1.27% ซึ่งมากกว่าระยะ 25 วันหลังวันดอกบานที่มีความเข้มข้นธาตุไนโตรเจนต่ำสุด (1.14%) ในระหว่างพันธุ์พบว่าข้าวสารนึ่งพันธุ์สันป่าตอง 1 มีความเข้มข้นธาตุไนโตรเจนสูงสุด (1.45%) รองลงมาคือ พันธุ์ กข10 (1.31%) และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และชัยนาท 1 มีความเข้มข้นธาตุไนโตรเจนต่ำสุดมีค่าอยู่ในช่วง 1.05-1.03% (Figure 3)

ระยะเวลาเก็บเกี่ยวและพันธุ์ข้าวมีปฏิสัมพันธ์ร่วมต่อความเข้มข้นธาตุสังกะสีในข้าวสารนึ่ง (Table 3) โดยข้าวสารนึ่งพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่เก็บเกี่ยวที่ระยะ 45 วันหลังวันดอกบาน มีความเข้มข้นธาตุสังกะสีสูงสุด (12.03 มก./กก.) ซึ่งมากกว่าระยะ 15 และ 20 วันหลังวันดอกบาน ที่มีความเข้มข้นธาตุสังกะสีต่ำสุดมีค่าอยู่ในช่วง 10.31-10.11 มก./กก. สำหรับข้าวสารนึ่งพันธุ์ชัยนาท 1 ที่เก็บเกี่ยวที่ระยะ 30 และ 45 วันหลังวันดอกบานมีความเข้มข้นธาตุสังกะสีสูงสุด มีค่าอยู่ในช่วง 10.07-10.27 มก./กก. ซึ่งมากกว่าระยะ 25 วันหลังวันดอกบาน ที่มีความเข้มข้นธาตุสังกะสีต่ำสุด (8.10 มก./กก.) สำหรับข้าวสารนึ่งพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่เก็บเกี่ยวที่ระยะ 15 และ 45 วันหลังวันดอกบาน มีความเข้มข้นธาตุสังกะสีสูงสุด มีค่าอยู่ในช่วง 16.49-16.72 มก./กก. ซึ่งมากกว่าระยะ 25 วันหลังวันดอกบาน ที่มีความเข้มข้นธาตุสังกะสีต่ำสุด (12.76 มก./กก.) สำหรับข้าวสารนึ่งพันธุ์ กข10 ที่เก็บเกี่ยวที่ระยะ 15 วันหลังวันดอกบานมีความเข้มข้นธาตุสังกะสีสูงสุด (15.13 มก./กก.) ซึ่งมากกว่าระยะ 25 วันหลังวันดอกบาน ที่มีความเข้มข้นธาตุสังกะสีต่ำสุด (10.78 มก./กก.) (Figure 4)

นอกจากนี้ข้าวที่เก็บเกี่ยวในแต่ละระยะและแต่ละพันธุ์ มีความเข้มข้นธาตุเหล็กแตกต่างกัน แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสอง (Table 3) โดยพบว่าการเก็บเกี่ยวข้าวที่ระยะ 45 วันหลังวันดอกบานมีความเข้มข้นธาตุเหล็กสูงสุด (4.49 มก./กก.) ซึ่งมากกว่าระยะ 25 และ 20 วันหลังวันดอกบาน ที่มีความเข้มข้นธาตุเหล็กต่ำสุด มีค่าอยู่ในช่วง 2.48-2.67 มก./กก. สำหรับความเข้มข้นธาตุเหล็กในข้าวแต่ละ

พันธุ์พบว่าข้าวสารนึ่งพันธุ์สันป่าตอง 1, สุพรรณบุรี 1 และ กข10 มีความเข้มข้นธาตุเหล็กสูงสุด มีค่าอยู่ในช่วง 3.10-3.81 มก./กก. ซึ่งมากกว่าข้าวสารนึ่งพันธุ์ชัยนาท 1 ที่มีความเข้มข้นของธาตุเหล็กต่ำสุด (2.72 มก./กก.) **(Figure 5)**

Table 1 Analysis of variance for the effect of four rice varieties and five harvesting periods on grain yield (kg/rai)

		Yield		
Source of variation	Degree of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value
Replication	2	12620	6310	
Variety (V)	3	1E+06	299278	72.72***
Harvesting period (H)	4	90914	30305	7.36***
V×H	12	58961	4913	1.19
Error	38	156385	4115	

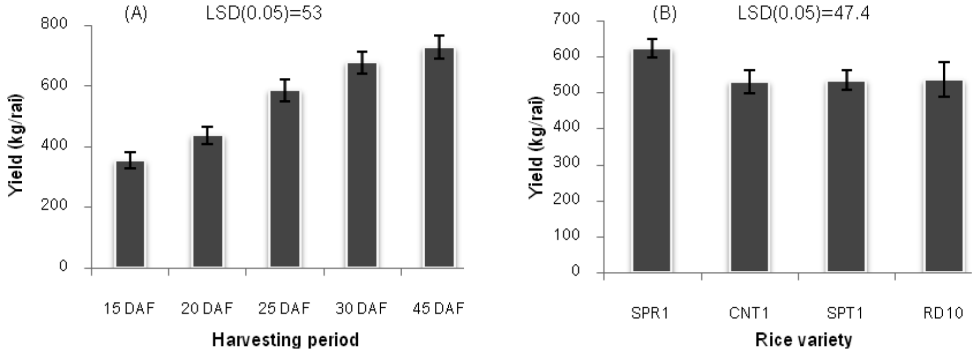

Figure 1 Effect of harvesting period (A) and rice variety (B) on grain yield (kg/rai) in parboiled rice

Table 2 Analysis of variance for the effect of two parboiling conditions and five harvesting periods on the concentration of nitrogen, zinc and iron in parboiled milled rice of Suphan Buri 1

		Nitrogen (N)			Zinc (Zn)			Iron (Fe)		
Source of variation	Degree of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Sum of Squares	Mean Square	F-value
Replication	2	0.053	0.027		4.184	2.092		1.166	0.583	
Condition (C)	1	0.016	0.016	2.88	65.979	65.979	169.42***	0.038	0.038	0.03
Harvesting period (H)	4	0.005	0.005	0.96	3.675	0.919	2.36	6.174	1.544	1.32
H×C	4	0.002	0.000	0.07	8.202	2.050	5.27**	4.665	1.166	1
Error	18	0.099	0.006		7.010	0.389		21.044	1.169	

and * = significant at P<0.01 and p<0.001, respectively.

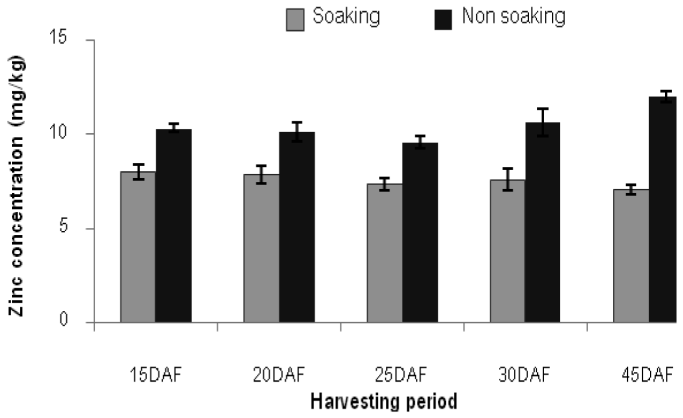

Figure 2 Effects of harvesting period and parboiling condition on zinc concentration (mg/kg) in rice variety Suphan Buri 1

Table 3 Analysis of variance for the effect of four rice varieties and five harvesting periods on the concentration of nitrogen, zinc and iron in parboiled milled rice

		Nitrogen (N)			Zinc (Zn)			Iron (Fe)		
Source of variation	Degree of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Sum of Squares	Mean Square	F-value
Replication	2	0.001	0.000		0.735	0.368		5.561	2.781	
Variety (V)	3	1.850	0.617	88.33***	239.915	79.972	90.3***	9.844	3.281	3.44*
Harvesting period (H)	4	0.089	0.022	3.18*	63.048	15.762	17.8***	31.930	7.982	8.37***
V×H	12	0.110	0.009	1.31	32.960	2.747	3.1**	5.100	0.425	0.45
Error	38	0.265	0.007		33.652	0.886		36.224	0.953	

*, **and *** = significant at P<0.05, P<0.01 and p<0.001, respectively.

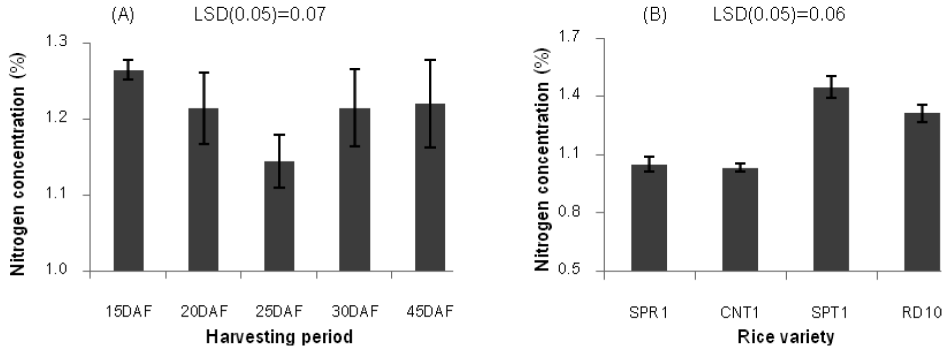

Figure 3 Effects of harvesting period (A) and rice variety (B) on nitrogen concentration (%) in parboiled rice

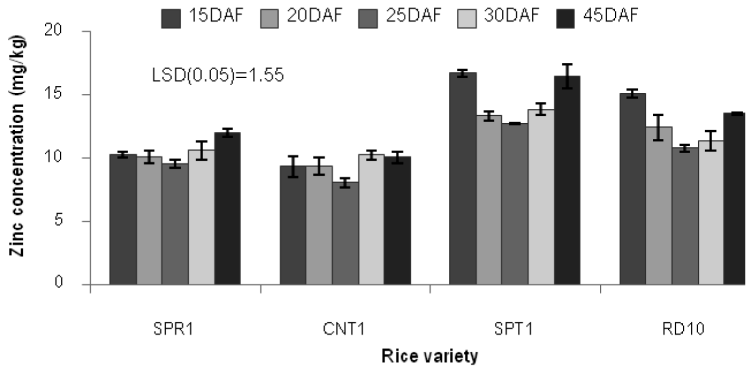

Figure 4 Effects of harvesting period and rice variety on zinc concentration (mg/kg) in parboiled rice

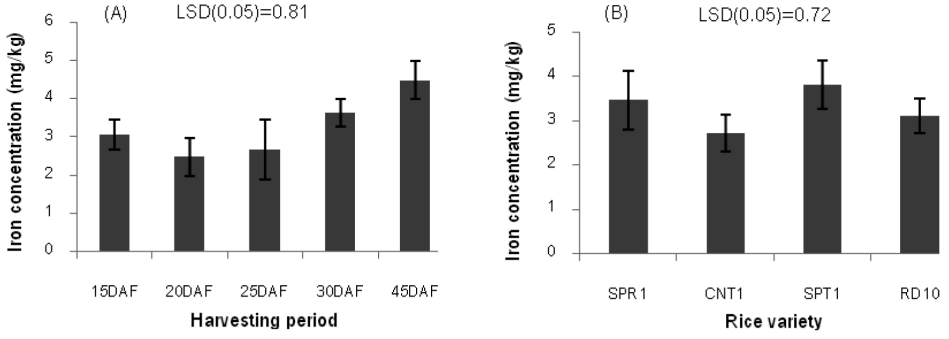

Figure 5 Effect of harvesting period (A) and rice variety (B) on iron concentration (mg/kg) in parboiled rice

วิจารณ์

การทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า เมื่อเก็บเกี่ยวข้าวเร็วขึ้น ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตมีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะการเก็บเกี่ยวก่อนกำหนดที่ระยะ 15 วันหลังวันดอกบาน ซึ่งผลผลิตลดลงจากการเก็บเกี่ยวที่ระยะ 30 วันหลังวันดอกบานถึงร้อยละ 48 เนื่องจากเมล็ดข้าวยังไม่แก่เต็มที่ การสร้างแป้งในเมล็ดยังไม่สมบูรณ์ ทำให้น้ำหนักเมล็ดเบา (Wright and Warnock, 1983) และการเก็บเกี่ยวหลังกำหนดที่ระยะ 45 วันหลังวันดอกบาน มีผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.3 สำหรับข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 พบว่า มีผลผลิตสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ อาจเป็นผลมาจากลักษณะประจำพันธุ์ เช่น อายุเก็บเกี่ยว ขนาดเมล็ด ผลผลิต เป็นต้น ซึ่งมีความแตกต่างกันไปในข้าวแต่ละพันธุ์

นอกจากนี้สภาพการนึ่งของข้าวที่เก็บเกี่ยวก่อนกำหนด มีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ทางโภชนาการในเมล็ดข้าวสารนึ่งแตกต่างกัน โดยเฉพาะธาตุสังกะสี จากการทดสอบในข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 พบความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวสารที่ไม่แช่น้ำก่อนนึ่ง มากกว่าการแช่น้ำก่อนนึ่งในทุกระยะการเก็บเกี่ยว ในขณะที่ความเข้มข้นธาตุไนโตรเจนและธาตุเหล็ก ไม่แตกต่างกันในแต่ละสภาพการนึ่งและระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของขวัญชนก (2553) ที่พบว่า สภาพการนึ่งมีผลต่อการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ดข้าวนึ่ง โดยความเข้มข้นธาตุเหล็กพบว่าเพิ่มขึ้นในการแช่บางสภาพเท่านั้น บางสภาพไม่มีผลโดยเฉพาะในข้าวขาว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของธาตุเหล็กเป็นผลมาจากระยะเวลาในการแช่ การแช่เป็นระยะเวลานาน

(10 ชั่วโมง) ทำให้มีความเข้มข้นธาตุเหล็กเพิ่มสูงขึ้น ส่วนธาตุสังกะสีพบว่า การแช่ข้าวเปลือกบางสภาพการนึ่งทำให้ความเข้มข้นธาตุสังกะสีในข้าวกล้องและข้าวขาวลดลง การเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารในข้าวนึ่งนี้ น่าจะมาจากการเคลื่อนย้ายของธาตุอาหารเข้าออกภายในเมล็ดข้าวในระหว่างกระบวนการนึ่งข้าว เช่น การเคลื่อนย้ายธาตุอาหารจากเปลือกไปสู่เมล็ด เป็นต้น (Prom-u-thai et al., 2007) ซึ่งการเคลื่อนย้ายของธาตุอาหารแต่ละชนิดในระหว่างกระบวนการนึ่งมีความแตกต่างกัน การเคลื่อนย้ายธาตุอาหารเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการนึ่งข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการแช่น้ำก่อนนึ่ง ซึ่งต้องแช่ข้าวเปลือกในน้ำอุ่นอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานถึง 5 ชั่วโมง น่าจะเป็นสภาพและช่วงเวลาที่กระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนย้ายของธาตุอาหารเป็นจำนวนมาก อย่างเช่นการสูญเสียของธาตุสังกะสีในการแช่น้ำก่อนนึ่งในการทดลองนี้ แม้ว่าจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของธาตุไนโตรเจนและธาตุเหล็ก ดังนั้นการนึ่งข้าวที่เก็บเกี่ยวก่อนกำหนด โดยไม่แช่น้ำก่อนนึ่งจึงน่าจะเป็นแนวทางในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวนึ่งที่เก็บเกี่ยวก่อนกำหนดได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เนื่องจากข้าวที่เก็บเกี่ยวก่อนกำหนดมีความชื้นในเมล็ดสูงอยู่แล้ว จึงสามารถนำมานึ่งได้เลยโดยไม่ต้องผ่านการแช่น้ำ แต่อย่างไรก็ตามการเลือกระยะเวลาเก็บเกี่ยวและพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมจะสามารถรักษาปริมาณธาตุอาหารในเมล็ดข้าวของข้าวที่จำเป็นต้องเก็บเกี่ยวก่อนกำหนดได้

การทดลองนี้พบว่า ทั้งพันธุ์ข้าวและระยะเวลาเก็บเกี่ยวมีผลต่อความเข้มข้นธาตุอาหารแต่ละชนิดในเมล็ดข้าวสารนึ่งแตกต่างกัน โดยพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมในการทำข้าวนึ่งเพื่อโภชนาการเนื่องจากมีความเข้มข้นธาตุไนโตรเจน ธาตุสังกะสีและธาตุเหล็กสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ คือ พันธุ์สันป่าตอง 1 ซึ่งจากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า ข้าวแต่ละพันธุ์มีการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารไปสะสมในส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าวในระหว่างกระบวนการนึ่งข้าวแตกต่างกัน ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีความเข้มข้นธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นหลังนึ่งในขณะที่พันธุ์ข้าวส่วนใหญ่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และธาตุสังกะสีพบว่า พันธุ์ข้าวส่วนใหญ่มีธาตุสังกะสีลดลงหลังนึ่ง ยกเว้นพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (ขวัญชนก, 2553) ความแตกต่างของความเข้มข้นธาตุอาหารในเมล็ดข้าวหลังจากผ่านกระบวนการนึ่งนี้ น่าจะเกิดจากความแตกต่างของลักษณะทางสัณฐานสรีระและเคมีของเมล็ดข้าวแต่ละพันธุ์ ที่จะต้องมีการศึกษาและวิจัยในเชิงลึกต่อไปว่ากลไกที่ทำให้เกิดความแตกต่างนั้นคืออะไร เพื่อจะได้นำมาเป็นข้อมูลในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวนึ่งเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผู้บริโภค โดยเฉพาะในกรณีของข้าวที่ต้องเก็บเกี่ยวก่อนกำหนด ซึ่งต้องพิจารณาระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวร่วมไปด้วย

เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวแล้ว พบว่าข้าวสารนึ่งมีความเข้มข้นธาตุไนโตรเจนในแต่ละระยะเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกันมากนักในข้าวแต่ละพันธุ์ เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บเกี่ยวที่ระยะ 30 วันหลังวันดอกบาน ซึ่งเป็นระยะเก็บเกี่ยวที่ได้รับคำแนะนำจากกรมการข้าวว่า เป็นระยะที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว เนื่องจากสูญเสียผลผลิตน้อยมาก พบว่า การเก็บเกี่ยวข้าวก่อนกำหนดที่ระยะ 20 วันหลังวันดอกบาน และการเก็บเกี่ยวหลังวันที่แนะนำคือ 45 วันหลังวันดอกบาน มีความเข้มข้นธาตุไนโตรเจนไม่แตกต่างจากการเก็บเกี่ยวปกติ ในขณะที่การเก็บเกี่ยวที่ระยะ 25 วันหลังวันดอกบาน มีความเข้มข้นธาตุไนโตรเจนลดลงร้อยละ 6.6 และการเก็บเกี่ยวที่ระยะ 15 วันหลังวันดอกบาน มีความเข้มข้นธาตุไนโตรเจนเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.1 ซึ่งถ้าพิจารณาแล้วจะเห็นว่าการเก็บเกี่ยวก่อนกำหนดไม่ทำให้ความเข้มข้นธาตุไนโตรเจนลดลงยกเว้นการเก็บเกี่ยวที่ระยะ 25 วันหลังการดอกบาน สำหรับธาตุสังกะสีและธาตุเหล็กจะต้องพิจารณาร่วมกันระหว่างพันธุ์ข้าวและระยะเวลาเก็บเกี่ยว เช่นเดียวกับธาตุไนโตรเจนที่พบว่า พันธุ์ข้าวส่วนมากจะมีความเข้มข้นธาตุสังกะสีและธาตุเหล็กลดลงมากเมื่อเก็บเกี่ยวที่ระยะ 25 วันหลังวันดอกบาน เปรียบเทียบกับการเก็บเกี่ยวปกติ ในขณะที่การเก็บเกี่ยวก่อนกำหนดระยะอื่นๆ ในข้าวทุกพันธุ์มีความเข้มข้นธาตุสังกะสีและธาตุเหล็ก

ลดลงน้อยมาก ซึ่งจะมากน้อยแค่ไหนก็ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวด้วย โดยพบว่า ข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 มีการลดลงของปริมาณธาตุอาหารน้อยที่สุดเมื่อมีการเก็บเกี่ยวก่อนกำหนด ดังนั้นหากมีความจำเป็นต้องเก็บเกี่ยวข้าวก่อนกำหนด และพิจารณาในเรื่องของการสูญเสียธาตุอาหารดังกล่าวเป็นสำคัญ อาจเลือกเก็บเกี่ยวข้าวที่ระยะ 15 และ 20 วันหลังดอกบาน โดยเลือกปลูกข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 แต่หากพิจารณาในเรื่องของปริมาณผลผลิตร่วมด้วยอาจเลือกปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 หรือพันธุ์สันป่าตอง 1 และเก็บเกี่ยวข้าวที่ระยะ 20 วันหลังวันดอกบาน ในพื้นที่ๆ มีความเสี่ยงจะต้องเก็บเกี่ยวข้าวก่อนกำหนด

สรุป

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว พันธุ์ข้าวและสภาพการนึ่งล้วนแต่มีผลต่อปริมาณผลผลิตและความเข้มข้นธาตุอาหารในเมล็ดข้าว การเก็บเกี่ยวข้าวก่อนกำหนดทำให้ได้ผลผลิตต่ำโดยผลผลิตมีแนวโน้มลดลง เมื่อเก็บเกี่ยวเร็วขึ้น นอกจากนี้ข้าวที่ไม่แช่น้ำก่อนนึ่งมีความเข้มข้นธาตุสังกะสีสูงกว่าแช่น้ำก่อนนึ่ง ในขณะที่ความเข้มข้นธาตุไนโตรเจน ธาตุสังกะสีและธาตุเหล็กของข้าวนึ่งที่ได้จากการเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลาต่างๆ ค่อนข้างมีความแปรปรวนและแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของธาตุอาหารในเมล็ดข้าวที่เก็บเกี่ยวก่อนกำหนดโดยวิธีการนึ่งควรคำนึงถึงพันธุ์ข้าวที่ใช้ระยะเวลาเก็บเกี่ยว และสภาพการนึ่งที่เหมาะสม เพื่อรักษาคุณค่าทางโภชนาการของข้าวให้มากที่สุด การสนับสนุนอุตสาหกรรมให้มีการแปรรูปข้าวนึ่งของข้าวที่เก็บเกี่ยวก่อนกำหนดก็จะสามารถเพิ่มมูลค่าข้าวให้กับเกษตรกรได้ นอกจากนี้ยังเป็นประโยชน์ทางโภชนาการให้แก่ผู้บริโภคด้วย และการทราบปริมาณผลผลิตจะช่วยให้เกษตรกรสามรถเลือกใช้พันธุ์ข้าวและเลือกระยะเวลาเก็บเกี่ยวได้เหมาะสมยิ่งขึ้น

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาภายใต้โครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ และทุนสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

ขวัญชนก ปฏิสนธิ์. 2553. การเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กและสังกะสีภายในเมล็ดข้าว จากกระบวนการผลิตข้าวนึ่งที่ต่างกัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2536. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด. ใน เอกสารประกอบการบรรยายฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง ฝ่ายฝึกอบรมสถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

งามชื่น คงเสรี. 2547. คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย. บริษัท จิรวัฒน์เอ็กซ์เพรส จำกัด, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2552. ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2555. สถิติการค้าสินค้าเกษตรไทยกับต่างประเทศ ปี 2554. ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Bhattacharya, K.R. 1985. Parboiling of Rice. In: B. O. Juliano. Rice: Chemistry and Technology. The American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota. P. 289-348.

De Datta, S.K. 1981. Principles and practices of rice Production. In: P. D. Schumer. A Wiley- Interscience Publication. John Wiley and son, Inc., Singapore. P. 619.

Otegbayo, B.O., F. Osamuel, and J.B. Fashakin. 2001. Effect of parboiling on physico-chemical qualities of two local rice varieties in Nigeria. Journal of Food Technology in Africa. 6(4): 130-132.

Prom-u-thai, C., S. Fukai, I.D. Godwin, and L. Huang. 2007. Genotypic variation of iron partitioning in rice grain. Journal of the Science of Food and Agriculture. 87: 2049-2054.

Prom-u-thai, C., S. Fukai, I.D. Godwin, B. Rerkasem, and L. Huang. 2008. Iron-fortified parboiled rice-A novel solution to high iron density in rice-based diets. Journal of Food Chemistry. 110: 390-398.

Wright, R.E. and K. Warnock. 1983. Effect of temperature and vapor pressure on rice milling. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan. P. 20.