

การคัดกรองความหนาแน่นของธาตุเหล็กในเมล็ดโดยวิธีเพิร์ล พรัสเซียนบลู
ในประชากรข้าวกลายพันธุ์ขนาดใหญ่
Screening of Grain Iron Density Using Perl's Prussian blue Method
in a Large Mutate Rice Population

สุภาพร พรหมพันธุ์¹ และอภิชาติ วรรณวิจิตร²
Supaporn Phromphan¹ and Apichart Vanavichit²

บทคัดย่อ

โรคโลหิตจางเนื่องจากการขาดธาตุเหล็กเป็นปัญหาทั่วโลกโดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชีย โรคนี้ส่งผลกระทบต่อเด็กก่อนวัยเรียน และหญิงมีครรภ์ ซึ่งสาเหตุมาจากอาหารหลักที่ประชากรบริโภคมีธาตุเหล็กไม่เพียงพอโดยเฉพาะในข้าว และธัญพืช ซึ่งเป็นอาหารหลักของประชากรมากกว่าครึ่งหนึ่งของโลก ข้าวเป็นธัญพืชที่จัดว่ามีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดต่ำกว่าธัญพืชชนิดอื่น ๆ ดังนั้นการเพิ่มความหนาแน่นของธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวน่าจะช่วยแก้ปัญหาของโรคนี้ได้ ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดกรองข้าวที่มีธาตุเหล็กสูง และมีความเป็นประโยชน์สูง ร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้ได้มาก จากประชากรข้าวเจ้าหอมชนิดที่ถูกเหนียวมาด้วยรังสี fast neutron จำนวน 12,000 สายพันธุ์ ด้วยวิธีการใช้สีย้อม Perl's Prussian blue และหลังจากพบสายพันธุ์ที่มีความหนาแน่นของปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดสูง วิเคราะห์ยืนยันผลด้วย การวิเคราะห์ ICP ที่สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล และวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ในเมล็ดด้วยวิธี High Inorganic P method (HIP) ผลการทดลองพบข้าวที่มีธาตุเหล็กสูงจำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ 4643, 11716 และ 10595 มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดสูงกว่าข้าวเจ้าหอมชนิดที่ความเข้มข้น 29.2, 16.5 และ 15.8 mg/kg Fe ตามลำดับ และค้นพบสายพันธุ์ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์สูงประมาณ 4.6 – 13.9 mg/L P จำนวน 10 สายพันธุ์

คำสำคัญ : ข้าวกลายพันธุ์ ธาตุเหล็ก เพิร์ล พรัสเซียนบลู

ABSTRACT

Iron (Fe) deficiency anemia (IDA) is a worldwide problem particularly in Asia. It most affect on the pre-school children and pregnant woman. IDA has been caused from staple food that the people consume. It has not enough nutrients especially in rice and cereal. Rice is the most staple food for people in a half of the world and has the lowest Fe concentration in grain among the cereal.

¹ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

Faculty of Agriculture Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

² ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

Increased iron in a grain should have done to solve the symptom. The objective of this study was to screen high iron density and bioavailability on rice from 12,000 varieties of Jao Hom Nin mutant that were induced with fast neutron radiation. Five seeds per variety from mutant population was analyzed with Perls' Prussian Blue method. High intensity of Prussian blue staining type was selected for ICP at for institution of nutrition, Mahidol University. Furthermore, high iron type were analyzed for free phosphorus with high inorganic P (HIP) method. It was found that 3 mutant types to include 4643, 11716 and 10595 have high iron density than Jao Hom Nin about 29.2, 16.5 and 15.8 mg/kg Fe respectively. Furthermore, we found high inorganic phosphate mutant that have about 4.6 - 13.9 mg/L P 10 types.

Keywords : Mutant rice, Iron and Perl's Prussian blue

E-mail : pfusu_62@hotmail.com

คำนำ

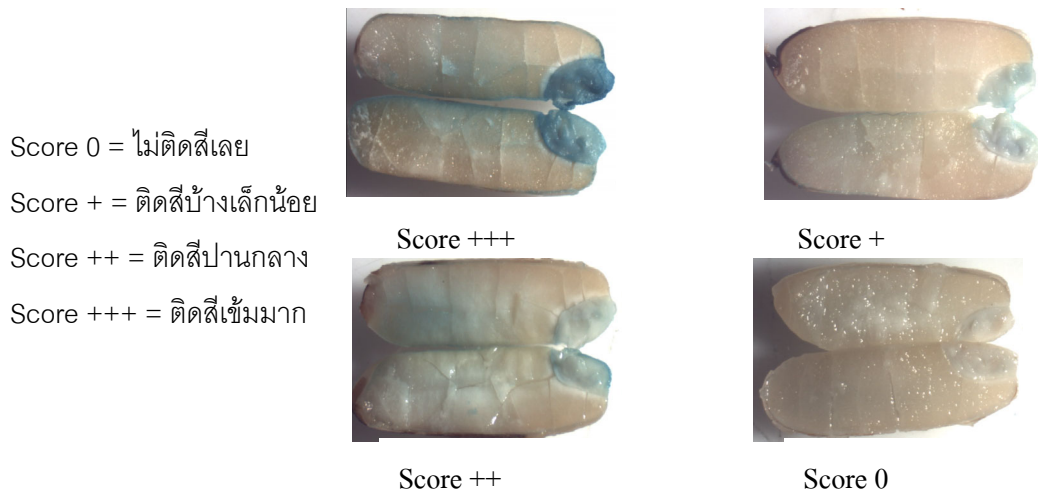
ภาวะทุพโภชนาการเป็นปัญหาที่สำคัญยิ่ง การขาดธาตุเหล็ก เป็นภาวะทุพโภชนาการหนึ่งที่ได้พบได้ในหลายประเทศทั่วโลก สาเหตุของการขาดธาตุเหล็กมีหลายประการ ได้แก่ (1) การมีธาตุเหล็กปริมาณน้อยในอาหาร (2) ไม่สามารถรับประทานอาหารที่มีธาตุเหล็กที่เพียงพอได้ เนื่องจากธาตุเหล็กมีมากในเนื้อสัตว์ และเครื่องในสัตว์ที่มีราคาสูง (3) การได้รับธาตุเหล็กเพียงพอ แต่ไม่สามารถนำไปใช้ได้ เพราะถูกขัดขวางการดูดซึมโรคโลหิตจาง เนื่องจากการขาดธาตุเหล็กเป็นปัญหาสำคัญทางด้านโภชนาการ (Oberleas and Prasad, 1969) ซึ่งในปัจจุบันพบว่าประชากรของโลกประมาณ 3 พันล้านคน โดยเฉพาะในผู้หญิง และเด็กในวัยเจริญเติบโตประมาณ 1.48 พันล้านคน (Graham *et al.*, 1996) ธาตุเหล็กเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของการสร้างเม็ดเลือดแดง แหล่งอาหารธาตุเหล็กในประเทศกำลังพัฒนา รวมทั้งประเทศไทยส่วนใหญ่ได้มาจากพืชเป็นหลัก ซึ่งร่างกายสามารถนำไปใช้ได้เล็กน้อย คนเราต้องการธาตุเหล็กในแต่ละวันประมาณ 10-15 มิลลิกรัมต่อวัน ส่วนใหญ่จะได้จากการบริโภคเนื้อสัตว์ ร่างกายสามารถดูดซึมได้ประมาณร้อยละ 20 แต่ธาตุเหล็กที่ได้จากธัญพืช ร่างกายจะได้ซึมไปได้ร้อยละ 3 - 5 (สาคร, 2552) เนื่องจากมีสารยับยั้งการดูดซึม เช่น ไฟเตท แทนนิน และ polyphenolic compound ฟอสฟอรัสในเมล็ดพบในรูปของสารประกอบต่าง ๆ ได้แก่ กรดไฟติก (phytic acid) สารประกอบฟอสฟอรัสอินทรีย์ ฟอสโฟลิปิด ฟอสโฟโปรตีน และกรดนิวคลีอิก (Reddy *et al.*, 1978) แต่พบฟอสฟอรัสในรูปของกรดไฟติกมากที่สุดถึงประมาณ 65-85% ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในเมล็ดพืช พืชสะสมฟอสฟอรัสในรูปกรดไฟติกเป็นส่วนใหญ่ (Coelho *et al.*, 2002) กรดไฟติกสามารถจับกับธาตุเหล็ก สังกะสี และโปรตีน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ จึงไม่สามารถถูกดูดซึมไปใช้ได้ (Oberleas and Prasad, 1969) ผลคือในปัจจุบันนักปรับปรุงพันธุ์พืชจะมีความพยายามในการพัฒนาเทคนิคการวิจัยโดยการเพิ่มคุณค่าทางด้านโภชนาการในอาหารหลักโดยเฉพาะในข้าวให้มีธาตุเหล็กมากยิ่งขึ้น ซึ่งน่าจะเป็นสิ่งที่จะช่วยให้ประชากรเหล่านั้นได้รับธาตุเหล็กเพิ่มขึ้น ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีปริมาณธาตุเหล็กสูง จึงน่าจะทำให้ผู้บริโภคได้รับธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นรวมทั้งมีโภชนาการที่ดีขึ้น และเป็นวิธีการแก้ปัญหาการขาดสารอาหารในมนุษย์ที่ยั่งยืนอีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การวิเคราะห์ความหนาแน่นของธาตุเหล็กในเมล็ดด้วยวิธี Perl's Prussian blue (Prom-u-thai. *et al*, 2003)

ข้าวพันธุ์ตรวจสอบ(Check) จำนวน 7 พันธุ์ คือ ข้าวพันธุ์ IR68144 ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ข้าวพันธุ์หอมนิล (BT) ข้าวพันธุ์สินเหล็ก ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ข้าว KDC 31-9-11-1-0 และ ข้าวพันธุ์ปิ่นเกษตร ข้าวพันธุ์ทดสอบคือข้าวเจ้าหอมนิลกลายพันธุ์ (M4) ที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยรังสี Fast neutron จำนวน 12,000 สายพันธุ์ สุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวรุ่น M4 และแกะเปลือกหุ้มเมล็ดด้วยมือ จำนวน 5 เมล็ด/ สายพันธุ์ แช่สารฟอกขาว 10 นาที เพื่อขจัดสีที่ผิวเมล็ด ขั้นตอนนี้มีเพิ่มขึ้นมาเฉพาะสำหรับการทดสอบกับตัวอย่างที่เป็นข้าวกล้องซึ่งเมล็ดมีสีเข้ม เช่น สีดำ เนื่องจากการใช้เทคนิค Perl's Prussian blue พื้นฐานมีปัญหาการย้อมไม่ติดสีน้ำเงิน ซึ่งอาจเกิดจากสารประกอบบางตัว บริเวณ pericarp ของข้าวดำมีผลยับยั้งปฏิกิริยา Prussian blue ซึ่งแตกต่างจากการทดสอบในข้าวสีขาว วางเมล็ดบนกระดาษที่ชื้น 15-20 ชั่วโมง ผ่าเมล็ดตามยาว แช่ใน Staining solution (2% Potassium ferrocyanide+ 2% Hydrochloric acid) ที่เตรียมใหม่ เวลา 30 นาที ล้างด้วย distilled water ครั้งละ 2 นาที 2 ครั้ง สังเกตการติดสีน้ำเงิน บริเวณ embryo เนื่องมาจาก Ferric Fe ที่ถูกปลดปล่อยออกมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย Potassium ferrocyanide เกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble compound, ferric ferro cyanide; Prussian blue)

การให้คะแนนตามความเข้มของการติดสีน้ำเงิน บริเวณเอมบริโอ



ภาพที่ 1 ระดับการติดสีย้อมบริเวณ Embryo

2. นำเมล็ดที่ให้การติดสีมากที่สุดวิเคราะห์ที่สถาบันวิจัยโภชนาการเพื่อยืนยันผลด้วยวิธี Inductively Coupled Plasma (ICP)

3. การวิเคราะห์ข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ระดับกรดไฟติกต่ำ โดยวิธี HIP method (High Inorganic P) (Larson S.R. *et al*, 2000)

การวิเคราะห์ข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ระดับกรดไฟติกต่ำโดยวิธี HIP method (High Inorganic P) เป็นวิธีการเบื้องต้นในการตรวจหาตัวอย่างที่มีปริมาณกรดไฟติกต่ำ เป็น indirect method เพราะเป็นการตรวจหาตัวอย่างที่มีปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์สูงแทน บันทึกผลโดยวัดความเข้มของสีด้วยเครื่อง Micro plate reader ที่ความยาวคลื่น 820 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับความเข้มมาตรฐานฟอสฟอรัสอินทรีย์ที่ระดับความเข้มชั้นดังนี้ 0, 1.5, 4.6, 9.3, 13.9 ถ้าพบว่าให้ความยาวคลื่นแสงที่เท่ากับหรือสูงกว่า 4.6 ไมโครกรัม ถือว่าเป็น High Inorganic P ซึ่งคาดว่า มีระดับของกรดไฟติกต่ำ

ขั้นตอนการสกัด ซังเมล็ด และบันทึกผล เติม 0.4 M HCl 10 เท่าของน้ำหนักเมล็ด (10 μ l ต่อ น้ำหนัก mg ของเมล็ด) บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 3 ชั่วโมง บดเมล็ด บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C overnight นำตัวอย่างสกัด มาวางทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที เพื่อให้ suspension ใส่ขึ้น กรณีสารสกัดเป็นข้าวมีสี ให้เติม 3% H₂O₂ ลงไป 1 μ l และตั้งทิ้งไว้จนสารละลายไม่มีสี ดูดสารสกัด 20 μ l ใส่ใน micro titer plate เติมน้ำกลั่นลงไป 79 μ l เติม colorimetric reagent ปริมาตร 100 μ l ประกอบด้วย อัตราส่วนสารละลาย ดังนี้

3 M H ₂ SO ₄	20 μ l
2.5% (w/v) Ammonium molybdate	20 μ l
10% (w/v) Ascorbic acid	20 μ l
Distilled water	40 μ l

ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 30 นาที วัดความเข้มของสีด้วยเครื่อง Micro plate reader ที่ความยาวคลื่น 820 นาโนเมตร หาความเข้มชั้นจากรูปมาตรฐานโดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับความเข้มมาตรฐานฟอสฟอรัสอินทรีย์ ที่ 0, 1.5 mg/L P, 4.6 mg/L P, 9.3 mg/L P, 13.9 mg/L P สูงกว่า 4.6 mg/L P จัดเป็น HIP



0 1.5 4.6 9.3 13.9 (mg/L P)

ภาพที่ 2 ความเข้มมาตรฐานฟอสฟอรัสอินทรีย์

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของธาตุเหล็กในเมล็ดด้วยวิธี Perl's Prussian blue ข้าวเจ้าหอมนิลกลายพันธุ์ จำนวน 12,000 สายพันธุ์ ผลการทดสอบได้จำนวนการให้คะแนนดังนี้ Score 0 = 2 สายพันธุ์ Score + = 11,920 สายพันธุ์ Score ++ = 78 สายพันธุ์ และ Score +++ = 0 สายพันธุ์ นำเมล็ดที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี Perl's Prussian blue ส่งวิเคราะห์ที่สถาบันวิจัยโภชนาการเพื่อยืนยันผลด้วยวิธี Inductively Coupled Plasma(ICP) ในข้าวเจ้าหอมนิลกลายพันธุ์ที่ให้การติดสีเข้ม Perl's Prussian blue ที่ score ++ และ score 0 จำนวน 6 สายพันธุ์ เพราะการวิเคราะห์ด้วยวิธี Perl's Prussian blue เป็นการวิเคราะห์เบื้องต้นสามารถบอกได้ว่าในเมล็ดข้าวสายพันธุ์ใดมีธาตุเหล็กมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการย้อมสี ไม่สามารถบอกได้ว่าในข้าวสายพันธุ์นั้นมีธาตุเหล็กปริมาณเท่าไร จึงต้องส่งวิเคราะห์ ICP ดังตารางที่ 1 เมื่อวิเคราะห์ ICP พบสายพันธุ์ที่มีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดสูง 29.2, 16.5 และ 15.8 mg/kg Fe ได้แก่ สายพันธุ์ 4643, 11716 และ 10595

ตามลำดับ ผลส่วนใหญ่สอดคล้องกับ Prom-u-thai et al (2003) และ ทรายคำ(2549) ที่วิเคราะห์ข้าวพื้นเมือง ด้วยวิธีการย้อมสี Perl's Prussian Blue กับการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีพบว่าปริมาณความแปรปรวนของธาตุเหล็ก ในเมล็ดข้าวอยู่ระหว่าง 7.5 -24.4 mg/kg Fe(Senahira et al., 1998)



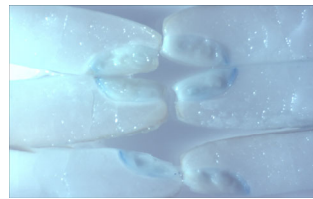
ข้าวเจ้าหอมนิล Score +



สายพันธุ์ 4643 Score ++



สายพันธุ์ 10595 Score ++



สายพันธุ์ 11716 Score ++

ภาพที่ 3 ข้าวกลายพันธุ์ที่มีความหนาแน่นของธาตุเหล็กในเมล็ดสูง เมื่อเทียบกับข้าวเจ้าหอมนิลจากการตรวจสอบด้วยวิธี Perl's Prussian blue

ตารางที่ 1 ปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Inductively Coupled Plasma (ICP)

พันธุ์/สายพันธุ์	Fe (mg/kg)	Perl 's Prussian Blue
สายพันธุ์ 4643	29.2	++
สายพันธุ์ 11183	11.4	++
สายพันธุ์ 10595	15.8	++
สายพันธุ์ 11930	13.7	++
สายพันธุ์ 11716	16.5	++
สายพันธุ์ 8097	7.3	0
ข้าวพันธุ์ปิ่นเกษตร	11.1	+
ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105	10.6	+
ข้าวพันธุ์IR68144	15.0 -17.0	++
ข้าวพันธุ์สินเหล็ก	15.0 – 21.0	++
ข้าวพันธุ์KDC 31-9-11-1-0	28.0	++
ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่	18.0	++
ข้าวพันธุ์หอมนิล (BT)	12.3	+

ผลการวิเคราะห์ข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ระดับกรดไฟติกต่ำ โดยวิธี HIP method (High Inorganic P) ในข้าวเจ้าหอมนิลกลายพันธุ์ที่มีธาตุเหล็กสูงจากการวิเคราะห์โดยวิธี Perl's Prussian Blue จำนวน 94 สายพันธุ์ เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ด้วยวิธี HIP method ทำให้ได้สายพันธุ์ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์สูงกว่าปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์มาตรฐาน หรือมากกว่า 4.6 mg/L P จำนวน 10 สายพันธุ์ และสายพันธุ์ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์สูงได้แก่ สายพันธุ์ 6654 และ 4814 มีปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ 17.61 และ 8.92 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 แต่ปัญหาของเมล็ดที่มีปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์สูงหรือกรดไฟติกต่ำ คือมีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำมาก ยังมีปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์มาก เปอร์เซ็นต์การงอกก็ยิ่งต่ำ ดังนั้นจึงเป็นอุปสรรคต่อการขยายพันธุ์เมล็ดที่มีไฟเตทต่ำไฟเตทมีบทบาทสำคัญในการงอกของเมล็ดอย่างมาก กล่าวคือเมื่อเริ่มงอก embryo ต้องใช้ธาตุอาหารมาก เช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส ด้วยเหตุนี้จึงพบว่าเมื่อเมล็ดเริ่มงอกจะมีการสลายอนุภาคไฟเตทซึ่งถูกห่อหุ้มด้วยแผ่นโปรตีนภายในใบเลี้ยงก่อนเอนไซม์ที่กระตุ้นการสลายคือไฟเตท จึงทำให้ปริมาณไฟเตทในเมล็ดลดลง (Mukherji *et al.*,1971) ภายใน 24 ชั่วโมงหลังจากเพาะเมล็ด ไฟเตทเริ่มสลายตัวปลดปล่อยฟอสเฟตออกมาสร้างฟอสโฟลิพิด แสดงว่ามีการสังเคราะห์เยื่อซึ่งจำเป็นต้องใช้ในการแบ่งเซลล์และจัดสัดส่วนภายในเซลล์ เพื่อควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึมในเซลล์นั้น การเพิ่มขึ้นของ Pi และฟอสเฟตเอสเทอร์แสดงว่าเริ่มมีอัตราการหายใจ ฟอสฟอริเลชันและกระบวนการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องสูงขึ้น การสลายของไฟเตทยังเกิดต่อเนื่องตลอดเวลาและในช่วงท้ายจะพบฟอสฟอรัสอยู่ใน DNA และ RNA มากขึ้น แสดงว่าการแบ่งเซลล์และสังเคราะห์โปรตีนรวดเร็วขึ้นด้วย สำหรับอัตราการสลายของไฟเตทถูกควบคุมโดย Pi กล่าวคือหากมี Pi ออกมามากการสังเคราะห์เอนไซม์ไฟเตสจะลดลง ทั้งนี้เพื่อให้อัตราการสลายของไฟเตทสอดคล้องกับความต้องการใช้ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ในเมแทบอลิซึมส่วนอื่น ๆ ของกระบวนการงอก (ยงยุทธ, 2546)

ตารางที่ 2 ปริมาณฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ด้วยวิธี High Inorganic P ในข้าวเจ้าหอมนิลกลายพันธุ์

พันธุ์/สายพันธุ์	ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ (mg/L)
ข้าวพันธุ์หอมนิล	3.23
สายพันธุ์ 783	4.61
สายพันธุ์ 1463	5.28
สายพันธุ์ 3130	5.53
สายพันธุ์ 4814	8.92
สายพันธุ์ 4821	5.59
สายพันธุ์ 4913	4.93
สายพันธุ์ 5483	4.97
สายพันธุ์ 5614	6.20
สายพันธุ์ 6138	5.22
สายพันธุ์ 6158	4.90
สายพันธุ์ 6654	17.61

สรุปผลการทดลอง

วิธีการหาความหนาแน่นของธาตุเหล็กในเมล็ดด้วยการย้อมสี Perl's Prussian blue สามารถคัดกรองข้าวเจ้าหอมนิลกลายพันธุ์ 12,000 สายพันธุ์ได้รวดเร็ว และประหยัดงบประมาณ และทำให้ค้นพบข้าวเจ้าหอมนิลกลายพันธุ์ที่มีธาตุเหล็กสูงถึง 29.2 mg/kg Fe คือ สายพันธุ์ 4643 ซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่นักปรับปรุงพันธุ์ในการคัดเลือกแหล่งพันธุกรรมและปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีธาตุเหล็กในเมล็ดสูงต่อไป การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์ (HIP method) ในข้าวเจ้าหอมนิลกลายพันธุ์ที่มีธาตุเหล็กสูงจากการวิเคราะห์โดยวิธี Perl's Prussian blue ได้สายพันธุ์ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสอินทรีย์สูง จำนวน 10 สายพันธุ์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์มากในด้านโภชนาการที่ได้ค้นพบ ข้าวธาตุเหล็กสูง และ High inorganic phosphate หรือมีกรดไฟติกต่ำ จะทำให้มนุษย์สามารถดูดซึมธาตุเหล็กไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่มีตัวขัดขวางการดูดซึม

บรรณานุกรม

- ชนากานต์ พรหมอุทัย คันสนีย์ จำจด และ เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม. 2547. ธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวไทย. หนังสือพิมพ์กสิกร ปีที่ 77 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน-ธันวาคม 2547 หน้า 105-110.
- ทรายคำ ปินตาเสน. 2549. ความแปรปรวนในปริมาณและการสะสมธาตุเหล็กของเมล็ดในข้าวพันธุ์ไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ยงยุทธ ไอสถสภา. 2546. ธาตุอาหารพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สาคร ธนमितต์. 2552. ธาตุเหล็ก. <http://www.vcharkarn.com/varticle/36665>. October 20, 2009.
- Coelho, C.M.M., J.C.P. Santos, S.M Tsai and V.A. Vitorello. 2002. Seed phytate content and phosphorous uptake and distribution in dry bean genotypes. Braz. *Plant Physiol.* 14 (1): 677-682
- Graham, R.D. and R.M. Welch. 1996. Breeding for staple-food crops with high micronutrient density. Agricultural for micronutrients. Working paper 3. International Food Policy Research Institute, Washington, DC.
- Larson, S.R., Rutger, J.N., Young, K.A. and Raboy, V. 2000. Isolation and genetic mapping of a non-lethal rice (*Oryza sativa* L.) low phytic acid 1 Mutation. *Crop Science*. 40:1397-1405.
- Mukherji, S., B. Dey, A.K. Paul and S.M. Sircar. 1971. Changing in phosphorus fractions and phytase activity of rice seeds during germination. *Physiol Plant*. 25:94-97.
- Prom-u-thai, C. 2003. Iron(Fe) in Rice Grain. Ph.D.Thesis, Chiang Mai University.
- Reddy, N.R., C.V. Balakrishnan and D.K. Salunkhe. 1978. Phytate phosphorus and mineral changes during germination and cooking of black gram (*Phaseolus mungo*) seeds. *Food Sci*. 43: 540-543.
- Senadhira, D., G.B. Gregorio and R.D. Graham. 1998. Breeding Iron and Zinc Dense Rice. Paper presented at the International Workshop on Micronutrient Enhancement of Rice for Developing Countries, Rice Research and Extension Center, Stuttgart. 22 P.