การศึกษาปริมาณกรดไฟติกในข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง และข้าวกล้องที่ผลิตเป็นการค้า 9 ชนิด

(The Study of Phytic Acid Content in High Inorganic Phosphorous (HIP) of Mutagenic Rice Seed and 9 Types of Brown Rice Seed for Commercial Production)

ธิดา อมร*

*สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา 1061 ซอยอิสรภาพ 15 ถนนอิสรภาพ แขวงหิรัญรูจี เขตธนบุรี กรุงเทพฯ 10600

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณของกรดไฟติกในข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง และข้าวกล้องที่ผลิตเป็นการค้า 9 ชนิด ได้แก่ ข้าวกล้องแดง ข้าวกล้องหอมมะลิ ข้าวกล้องหอมปิ่นเกษตร ข้าวไรซ์เบอรี่ ข้าวกล้องแดงงอก ข้าวกล้องหอมมะลิงอก ข้าวมอลต์ ข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวเหนียวสันป่าตอง 1 และข้าวกล้องหอมนิลงอก จากผลการวิเคราะห์กรดไฟติกต่อเมล็ดพบว่าในข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย 2,2′-ไบพิริดีนให้ผลส่วนใหญ่เป็นสีแดง ส่วนข้าวกล้องที่ผลิตเป็นการค้า 9 ชนิดให้สีแดงจนถึงสีชมพูจาง หรือไม่มีสีเป็นแบบกระจายตัว เมื่อวิเคราะห์ระดับอนินทรีย์ฟอสฟอรัสต่อเมล็ดในข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง พบว่าให้ระดับอนินทรีย์ฟอสฟอรัสต่อเมล็ดประมาณ 0.93-1.39 ไมโครกรัมต่อเมล็ด ส่วนในข้าวกล้องแดง ข้าวกล้องหอมมะลิ ข้าวกล้องหอมปิ่นเกษตร ข้าวไรซ์เบอรี่ ข้าวกล้องหอมมะลิงอก ให้ระดับของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสต่อเมล็ดประมาณ 0.15-0.46 ไมโครกรัมต่อเมล็ด และระดับอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในข้าวกล้องแดงงอก ข้าวกล้องหอมนิลงอก ข้าวมอลต์ และข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวเหนียวสันป่าตอง 1 ให้ระดับอนินทรีย์ฟอสฟอรัสต่อเมล็ดที่ระดับ 0.46-1.39 ไมโครกรัมต่อเมล็ด จากผลการวิเคราะห์ปริมาณของกรดไฟติกพบว่าข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง ข้าวกล้องแดง ข้าวกล้องหอมมะลิ ข้าวกล้องหอมปิ่นเกษตร ข้าวไรซ์เบอรี่ ข้าวกล้องแดงงอก ข้าวกล้องหอมมะลิงอก ข้าวมอลต์ ข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวเหนียวสันป่าตอง 1 และข้าวกล้องหอมนิลงอก มีปริมาณกรดไฟติกร้อยละโดยมวล

เท่ากับ 5.47, 6.86, 8.32, 8.74, 8.30, 7.57, 8.36, 6.85, 8.01 และ 7.79 ตามลำดับ ในงานวิจัยนี้พบว่าข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงและข้าวกล้องที่ผลิตเป็นการค้า ได้แก่ ข้าวมอลต์ และข้าวกล้องแดง และข้าวกล้องแดงงอกให้ระดับปริมาณกรดไฟติกต่ำ ซึ่งข้าวที่มีปริมาณกรดไฟติกต่ำจะให้ระดับอนินทรีย์ฟอสฟอรัสต่อเมล็ดสูงเป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวเหนียวสันป่าตอง 1 จะมีปริมาณกรดไฟติกและอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง

คำสำคัญ: กรดไฟติก/ อนินทรีย์ฟอสฟอรัส/ ข้าวกล้อง/ ข้าวกล้องงอก

Abstract

The high inorganic phosphorous (HIP) of mutagenic rice seed and 9 types of brown rice seed for commercial production, including of Red Brown Rice, Hom Mali Brown Rice, Pinkased Brown Rice, Riceberry Rice, Red Germinated Brown Rice, Hom Mali Germinated Brown Rice, Malt Rice, Sanpatong Germinated Brown Sticky Rice and Hom Nil Germinated Brown Rice were studied phytic acid content. The result of phytic acid analysis per seed by reactive with 2,2′-bipyridine showed that almost all of HIP of mutagenic rice seed was screened for darker red color while 9 types of commercial of brown rice seed showed segregation of color as red to pale pink or colorless. Rice grains were screened based on color intensity of inorganic P level. HIP of mutagenic rice seeds showed high inorganic phosphorus about 0.93-1.39 μg/seed. The effective of inorganic P levels of Red Brown Rice, Hom Mali Brown Rice, Pinkased Brown Rice, Riceberry Rice, Hom Mali Germinated Brown Rice were 0.15-0.46 μg/seed while Red Germinated Brown Rice, Hom Nil Germinated Brown Rice, Malt Rice and Sanpatong Germinated Brown Sticky Rice were 0.46-1.39 μg/seed. The quantitative of phytic acid was analyzed in HIP of mutagenic rice seed, Red Brown Rice, Hom Mali Brown Rice, Pinkased Brown Rice, Riceberry Rice, Red Germinated Brown Rice, Hom Mali Germinated Brown Rice, Malt Rice, Sanpatong Germinated Brown Sticky Rice and Hom Nil Germinated Brown Rice. The results showed that phytic acid content of these rice were 5.47, 6.86, 8.32, 8.74, 8.30, 7.57, 8.36, 6.85, 8.01 and 7.79 percentages by mass, respectively. The conclusion of this research suggested that HIP of mutagenic rice, Malt Rice, Red Brown Rice and Red Germinated Brown Rice had low phytic acid level. This research found that the mostly low phytic acid grains provide for high inorganic P per seed, except Sanpatong Germinated Brown Sticky Rice with high inorganic P and high phytic acid content.

Keywords: Phytic acid/ Inorganic phosphorous/ Brown rice/ Germinated Brown Rice

บทนำ

ข้าวเป็นอาหารหลักที่สำคัญของประชากรในหลายๆ ประเทศ โดยเฉพาะทางทวีปเอเชียและคนไทยนิยมบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์ข้าวหรือแปรรูปข้าวให้มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีปริมาณธาตุอาหารสูง เช่น ธาตุเหล็ก สังกะสี วิตามิน สารกาบา (GABA) รวมถึงการนำธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ในร่างกาย (bioavailability) ได้ดีนับเป็นสิ่งสำคัญต่อผู้บริโภค เพราะมีผลต่อสุขภาพที่ดี แข็งแรง อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดภาวะของโรคที่เกิดจากการขาดธาตุอาหาร (deficiency nutrient) เช่น ภาวะโลหิตจาง (anemia) การเจริญเติบโตช้าในวัยเด็ก การมีพัฒนาการทางสมองช้าจากการขาดธาตุเหล็กและสังกะสี ตัวอย่างประชากรในประเทศกำลังพัฒนาส่วนมากนิยมบริโภคธัญพืชเป็นอาหารหลัก จึงมีโอกาสที่เกิดภาวะการขาดธาตุเหล็ก และสังกะสีสูง เนื่องจากมีหลายงานวิจัยตรวจพบตัวขัดขวางทางโภชนาการ (anti-nutrient) หลายชนิดในเมล็ดธัญพืช ทำให้การนำธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ในร่างกายลดลง (Raboy, 2000)

กรดไฟติก (phytic acid) หรือ ไมโอ-อิโนซิทอลเฮกซาคิสฟอสเฟต (myo-inositol-1,2,3,4,5,6- hexakisphosphate, InsP6) เป็นสารที่สะสมฟอสฟอรัสในเมล็ดธัญพืช ประมาณร้อยละ 60-90 ของฟอสฟอรัสทั้งหมดในเมล็ดพบอยู่ในรูปของกรดไฟติก (Cheryan,1980) โครงสร้างของกรดไฟติกประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟต 6 หมู่ ที่แตกตัวให้ประจุลบจึงมีสมบัติเป็นสารประกอบคีเลต (chelate) ที่สามารถจับกับโมเลกุลที่มีประจุบวกได้ เช่น ธาตุโลหะ โปรตีน และคาร์โบไฮเดรทบางชนิด ทำให้อยู่ในรูปของเกลือไฟเทต (phytate) จึงจัดอยู่ในกลุ่มสารขัดขวางทางโภชนาการชนิดหนึ่ง (Harland and Moris, 1995) ในมนุษย์และสัตว์กระเพาะเดี่ยว (non ruminant) ขาดเอนไซม์ไฟเตส (phytase) ในการย่อยสลายกรดไฟติก จึงไม่สามารถดูดซึมธาตุอาหารได้สมบูรณ์ มีผลทำให้ธาตุอาหารถูกนำมาใช้ประโยชน์ในร่างกายได้น้อยลง (Brinch-Pedersen *et al.*, 2002)

ในการปรับปรุงเมล็ดให้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงมีหลายรายงานวิจัยได้นำเมล็ดข้าวโพด (*Zea mays* L.) ข้าวบาร์เลย์ (*Hordeum vulgare* L.) และข้าว (*Oryza sativa*) มาทำให้เกิดการกลายพันธุ์ด้วยวิธีต่าง ๆ แล้วตรวจหาเมล็ดในรุ่นถัดมาโดยคัดเลือกเมล็ดที่ให้กรดไฟติกต่ำ จากการศึกษาการกลายพันธุ์ของเมล็ดที่ให้กรดไฟติกต่ำ (low phytic acid) (*lpa*) มีรายงานพบว่าให้ผลเป็น 2 ลักษณะที่ปรากฏ (phenotypic) คือ กลุ่ม *lpa1* จะมีปริมาณกรดไฟติกลดลงร้อยละ 50 - 95 และมีการเพิ่มปริมาณของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส และกลุ่ม *lpa2* จะมีปริมาณกรดไฟติกลดลงร้อยละ 50 – 75 และมีการเพิ่มปริมาณทั้งอนินทรีย์ฟอสฟอรัสและไมโอ-อิโนซิทอล ฟอสเฟตรูปแบบอื่นๆ ที่มีจำนวนหมู่ฟอสเฟตแตกต่างกัน เช่น อิโนซิตอล (1,4,5)-ทริสฟอสเฟต (inositol (1,4,5)-trisphophate) ขณะที่กลุ่ม

เมล็ดที่กลายพันธุ์ทั้ง 2 กลุ่ม (lpa-1 และ lpa-2) ยังคงมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorous) ใกล้เคียงกับในเมล็ดปกติ (Raboy *et al*., 2001)

มีรายงานวิจัยพบว่ากรดไฟติกถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ฟอสฟาเตส (phosphatase) โดยพบว่าในระยะที่เมล็ดเริ่มงอก (germination) จะมีปริมาณของกรดไฟติกลดลง จึงเรียกเอนไซม์ที่สลายกรดไฟติกว่าไฟเตส (phytase) (Copeland and MeDonald, 1985) ไฟเตสเป็นเอนไซม์ที่สลายกรดไฟติกได้เป็นออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate) และอิโนซิตอล-ฟอสเฟต (Ins) ชนิดต่างๆ เช่น InsP5, InsP4 ในพืชพบว่าเอนไซม์ไฟเตสเป็นชนิด 6-ไฟเตส (6-phytase) (Brinch - Pedersen *et al*., 2002) ดังนั้นวัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการศึกษาปริมาณกรดไฟติกในข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง และข้าวกล้องที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า 9 ชนิด เพื่อเป็นแนวทางในการนำผลิตภัณฑ์ไปบริโภคตามความเหมาะสม หรือเป็นข้อมูลในการปรับปรุงพัฒนาพันธุ์ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าวที่ให้คุณค่าทางโภชนาการที่ดีต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างวิเคราะห์

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง (ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน) และข้าวกล้องที่ผลิตเป็นการค้า 9 ชนิด ได้แก่ ข้าวกล้องแดง ข้าวกล้องหอมมะลิ ข้าวกล้องหอมปิ่นเกษตร ข้าวไรซ์เบอรี่ ข้าวกล้องแดงงอก ข้าวกล้องหอมมะลิงอก ข้าวมอลต์ ข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวเหนียวสันป่าตอง 1 และข้าวกล้องหอมนิลงอก นำมาอบที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน

2. การวิเคราะห์อินทรีย์ฟอสฟอรัสต่อเมล็ด

การวิเคราะห์อินทรีย์ฟอสฟอรัสต่อเมล็ด เป็นการตรวจหาข้าวที่คาดว่าให้กรดไฟติกต่ำโดยทางอ้อม โดยนำเมล็ดข้าวมาชั่งน้ำหนักต่อเมล็ด ใส่ลงในไมโครเพลต 96 หลุม เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.4 โมลาร์ จำนวน 10 เท่าของน้ำหนักเมล็ด (10 ไมโครลิตรต่อน้ำหนักมิลลิกรัมของเมล็ด) และทำการบดให้ละเอียดโดยใช้คีมคีบบดบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสตลอดคืน จากนั้นดูดสารสกัดปริมาตร 20 ไมโครลิตร ใส่ลงในไมโครเพลต 96 หลุม แล้วเติมน้ำกลั่นลงไป 80 ไมโครลิตร นำไปเติมสารละลายโคโลริเมทริกรีเอเจนต์ (colorimetric reagent) (ประกอบด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 3 โมลาร์: สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดท : สารละลายกรดแอสคอร์บิก และน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 1:1:1:2) ลงไปปริมาตร 100 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 30 นาที สังเกตสีที่ปรากฏขึ้น และบันทึกระดับของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส โดยเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส ถ้าให้ผลมากกว่า

สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสที่ 0.46 ไมโครกรัม ถือว่ามีปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง

เตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสที่ความเข้มข้น 0, 0.15, 0.46, 0.93 และ 1.39 ไมโครกรัมฟอสฟอรัส แล้วทำตามวิธีการทดลองในข้อ 2

3. การวิเคราะห์กรดไฟติกต่อเมล็ด

นำเมล็ดข้าวมาชั่งน้ำหนักต่อเมล็ดและใส่ในแต่ละหลุมไมโครเพลต จากนั้นเติม 0.2 โมลาร์สารละลายกรดไฮโดรคลอริก จำนวน 10 เท่าของน้ำหนักเมล็ด บดเมล็ดในแต่ละหลุมให้ละเอียด แล้วบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสตลอดคืน จากนั้นดูดสารสกัดมา 100 ไมโครลิตรใส่ในหลอดทดลอง นำไปเติม 0.2 โมลาร์ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกปริมาตร 400 ไมโครลิตร และเติมสารละลายแอมโมเนียมไอร์ออน (III) ซัลเฟต-โดเดคะไฮเดรทลงไป 500 ไมโครลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบสั่น (vortex) เบาๆ ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที นำหลอดทดลองมาวางบนน้ำแข็ง 10 นาที จากนั้นดูดสารมา 120 ไมโครลิตร และเติมสารละลาย 2, 2'-ไบพิริดีน (2,2'-bipyridine) ลงไป 180 ไมโครลิตร สังเกตสีที่เกิดขึ้น ถ้ามีสีแดงเข้มแสดงว่ามีกรดไฟติกต่ำ แต่ถ้าเป็นสีชมพูจางหรือไม่มีสี แสดงว่ามีกรดไฟติกสูง

4. การวัดปริมาณกรดไฟติก

นำเมล็ดข้าวตัวอย่างแต่ละชนิดมาบดให้ได้น้ำหนักประมาณ 300 มิลลิกรัม แล้วนำมาสกัดด้วย 0.2 โมลาร์สารละลายกรดกรดไฮโดรคลอริก ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบสั่นเป็นเวลา 6 ชั่วโมง บ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 5000 g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นดูดสารสกัดมา 1 มิลลิลิตร เติมแอมโมเนียมไอร์ออน (III) ซัลเฟตโดเดคะไฮเดรท ลงไป 1 มิลลิลิตร นำไปต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 90 – 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้เย็น นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3000 g เป็นเวลา 30 นาที แล้วดูดสารสกัดมา 2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 2, 2'-ไบพีริดีนลงไป 3 มิลลิลิตร แล้วนำไปต้มเป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้เย็น จากนั้นดูดส่วนใสมา 1 มิลลิลิตร แล้วเติม 2, 2'-ไบพีริดีนลงไป 2 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 530 นาโนเมตร เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดไฟติกที่ความเข้มข้น 1.5, 3, 6, 12, 18, 24 และ 28 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แล้วทำตามวิธีข้างต้น

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการวิเคราะห์อนินทรีย์ฟอสฟอรัสต่อเมล็ด

ในการวิเคราะห์อนินทรีย์ฟอสฟอรัสต่อเมล็ดในข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงและข้าวกล้องที่ผลิตเป็นการค้า 9 ชนิด ได้แก่ ข้าวกล้องแดง ข้าวกล้องหอมมะลิ ข้าวกล้องหอมปิ่นเกษตร ข้าวไรซ์เบอรี่ ข้าวกล้องแดงงอก ข้าวกล้องหอมมะลิงอก ข้าวมอลต์ ข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าว

เหนียวสันป่าตอง 1 พบว่าในข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงให้ผลระดับอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ระดับ 0.93-1.39 ไมโครกรัมต่อเมล็ด ส่วนในข้าวกล้องแดง ข้าวกล้องหอมมะลิ ข้าวกล้องหอมปิ่นเกษตร ข้าวไรซ์เบอรี่ ข้าวกล้องหอมมะลิงอก ให้ระดับของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสต่อเมล็ดประมาณ 0.15 - 0.46 ไมโครกรัมต่อเมล็ด และระดับอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในข้าวกล้องแดงงอก ข้าวกล้องหอมนิลงอก ข้าวมอลต์ และข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวเหนียวสันป่าตอง 1 ให้ระดับอนินทรีย์ฟอสฟอรัสต่อเมล็ดที่ระดับ 0.46-1.39 ไมโครกรัมต่อเมล็ด จากผลการทดลองข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงจะให้ระดับของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสต่อเมล็ดสูง อาจเกิดจากการกลายพันธุ์ทำให้เกิดความผิดปกติของเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์สารที่สะสมฟอสฟอรัส เช่น กรดไฟติก (Raboy, 2001) ส่วนในข้าวกล้องตัวอย่าง 9 ชนิด พบว่าในกลุ่มข้าวกล้องให้ระดับของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสต่อเมล็ดต่ำกว่าในกลุ่มข้าวกล้องงอก อาจเกิดจากในกระบวนการงอกของเมล็ดในพืชจะมีเอนไซม์ไฟเตสทำให้เกิดกระบวนการสลายกรดไฟติกได้เป็นอิโนซิตอลฟอสเฟสชนิดอื่น และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสอิสระ (Brinch-Redersen *et al*., 2002) จึงทำให้ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ต่อเมล็ดในข้าวกล้องงอกมีระดับที่สูงกว่าในข้าวกล้องปกติ

2. ผลการวิเคราะห์กรดไฟติกต่อเมล็ด

ในการวิเคราะห์ปริมาณของกรดไฟติกต่อเมล็ดโดยการลดลงของไอร์ออน (III) ไอออน (Fe^{3+}) จากการตกตะกอนในรูปไอร์ออน (III) ไฟเทต และวิเคราะห์ปริมาณ Fe^{3+} ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับสารละลาย 2,2'-ไบพิริดีน ถ้ามีปริมาณกรดไฟติกสูง จะให้สีชมพูจางหรือไม่มีสี แต่ถ้ามีปริมาณกรดไฟติกต่ำจะให้สีแดงเข้มกับสารละลาย 2,2'-ไบพิริดีน ในการวิจัยพบว่าข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย 2,2′-ไบพิริดีนให้ผลส่วนใหญ่เป็นสีแดง ส่วนข้าวกล้องที่ผลิตเป็นการค้า 9 ชนิดให้ผลปฏิกิริยากับสารละลาย 2,2′-ไบพิริดีนทั้งสีแดงจนถึงสีชมพูจาง หรือไม่มีสี เป็นแบบกระจายตัว จากผลการทดลองแสดงว่าข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง จะมีปริมาณกรดไฟติกต่อเมล็ดต่ำ ส่วนข้าวกล้องที่ผลิตเป็นการค้า 9 ชนิดให้ผลแบบกระจายตัวอาจขึ้นกับลักษณะของเมล็ด เช่น ขนาดเมล็ด ความสมบูรณ์ของเมล็ด และการงอกของเมล็ด

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์อินทรีย์ฟอสฟอรัสและกรดไฟติกต่อเมล็ด

ข้าวที่วิเคราะห์	ระดับอินทรีย์ฟอสฟอรัสต่อเมล็ด (ไมโครกรัมต่อเมล็ด)	ระดับสีในการวิเคราะห์กรดไฟติก (การกระจายของเมล็ด 24 เมล็ด)
ข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง	0.93-1.39	แดงเข้ม – ชมพูจาง (20 : 4)
ข้าวกล้องแดง	0.15-0.46	แดงเข้ม – ชมพูจาง (9 : 15)
ข้าวกล้องหอมมะลิ	0.15-0.46	ชมพู – ชมพูจาง (4 : 20)
ข้าวกล้องหอมปิ่นเกษตร	0.15-0.46	แดง – ชมพูจาง (2 : 22)
ข้าวไรซ์เบอรี่	0.15-0.46	แดง – ชมพูจาง (6 : 18)
ข้าวกล้องแดงงอก	0.46-1.39	แดงเข้ม – ชมพูจาง (4 : 20)
ข้าวกล้องหอมมะลิงอก	0.15-0.46	ชมพูจาง (24)
ข้าวมอลต์	0.46-1.39	แดงเข้ม –ชมพูจาง – ไม่มีสี (10 : 9 : 5)
ข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวเหนียวสันป่าตอง 1	0.46-1.39	แดง – ชมพูจาง (3 : 21)
ข้าวกล้องหอมนิลงอก	0.46 - 1.39	แดง –ชมพูจาง – ไม่มีสี (1 : 15 : 8)

3. ผลการวิเคราะห์ปริมาณของกรดไฟติกข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง และข้าวกล้องที่ผลิตเป็นการค้า 9 ชนิด

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไฟติกในข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง และข้าวกล้องที่ผลิตเป็นการค้า 9 ชนิด ได้แก่ ข้าวกล้องแดง ข้าวกล้องหอมมะลิ ข้าวกล้องหอมปิ่นเกษตร ข้าวไรซ์เบอรี่ ข้าวกล้องแดงงอก ข้าวกล้องหอมมะลิงอก ข้าวมอลต์ ข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวเหนียวสันป่าตอง 1 และข้าวกล้องหอมนิลงอก พบว่าข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงให้ปริมาณกรดไฟติกต่ำที่สุดที่ร้อยละโดยมวลเท่ากับ 5.47 ส่วนในข้าวกล้องแดง ข้าวกล้องหอมมะลิ ข้าวกล้องหอมปิ่นเกษตร ข้าวไรซ์เบอรี่ ข้าวกล้องแดงงอก ข้าวกล้องหอมมะลิงอก ข้าวมอลต์ ข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวเหนียวสันป่าตอง 1 และข้าวกล้องหอมนิลงอกให้ปริมาณกรดไฟติกร้อยละโดยมวลเท่ากับ 6.86, 8.32, 8.74, 8.30, 7.57, 8.36, 6.85, 8.01 และ 7.79 ตามลำดับ จากผลการวิจัยข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงจะให้ปริมาณกรดไฟติกต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Larson *et al.* (2000) ได้วิจัยข้าวที่ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ (*lpa 1-1*) พบว่าข้าว *lpa 1-1* ที่ให้ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงจะให้ระดับของกรดไฟติกต่ำ ส่วนในข้าวกล้องที่ผลิตเป็นการค้า 9 ชนิด พบว่าข้าวมอลต์ ข้าวกล้องแดง ข้าวกล้องแดงงอกให้ปริมาณกรดไฟติกค่อนข้างต่ำ อาจเกิดจากข้าวมอลต์จัดอยู่ในกลุ่มข้าวที่มาเพาะให้งอก ในขณะมีการงอกทำให้ระดับกรดไฟติกลดลง และเมื่อวิเคราะห์ผลของอินทรีย์ฟอสฟอรัสต่อเมล็ดพบว่าข้าวมอลต์มีปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสค่อนข้างสูง ส่วนในข้าวกล้องแดงอาจมีปริมาณกรดไฟติกในเมล็ดต่ำ และในข้าวกล้องแดงงอกจะมีปริมาณกรดไฟติกต่ำและปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสค่อนข้างสูง สำหรับข้าวกล้องงอกชนิดอื่น ๆ อย่างข้าวกล้องหอมนิลงอก ข้าวกล้องหอมมะลิงอก อาจเกิดจากกระบวนการผลิตและระยะเวลาในการทำให้งอก หรือชนิดของพันธุ์ข้าว จึงมีปริมาณกรดไฟติกสูงกว่าในข้าวมอลต์ ส่วนในข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวเหนียวสันป่าตอง 1 มีทั้งปริมาณกรดไฟติกและปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไฟติก

ข้าวที่วิเคราะห์	ร้อยละโดยมวลของกรดไฟติก
ข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง	5.47
ข้าวกล้องแดง	6.86
ข้าวกล้องหอมมะลิ	8.32
ข้าวกล้องหอมปิ่นเกษตร	8.74
ข้าวไรซ์เบอรี่	8.30
ข้าวกล้องแดงงอก	7.57
ข้าวกล้องหอมมะลิงอก	8.36
ข้าวมอลต์	6.85
ข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวเหนียวสันป่าตอง 1	8.01
ข้าวกล้องหอมนิลงอก	7.79

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์อินทรีย์ฟอสฟอรัสในข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงและข้าวกล้องที่ผลิตเป็นการค้า 9 ชนิด พบว่าข้าวที่ให้ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสต่อเมล็ดสูงสุดได้แก่ ข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง และข้าวกล้องที่ผลิตเป็นการค้าได้แก่ ข้าวกล้องแดงงอก ข้าวมอลต์ ข้าวกล้องหอมนิลงอก และข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวเหนียวสันป่าตอง 1 ให้ผลอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง ส่วนข้าวกล้องแดง ข้าวกล้องหอมมะลิ ข้าวกล้องหอมปิ่นเกษตร ข้าวไรซ์เบอรี่ ข้าวกล้องหอมมะลิงอก มีระดับอินทรีย์ฟอสฟอรัสค่อนข้างต่ำ ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไฟติก พบว่าทั้งในการวิเคราะห์กรดไฟติกในเมล็ดเดี่ยวและการวิเคราะห์ปริมาณโดยตรงพบว่าให้ผลสอดคล้องกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสต่อเมล็ดกับกรดไฟติก ส่วนใหญ่พบว่าเมื่อปริมาณกรดไฟติกต่ำจะมีปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง ซึ่งข้าวกลายพันธุ์ที่ให้ผลอินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงจะมีปริมาณกรดไฟติกต่ำสุด ส่วนในข้าวมอลต์ ข้าวกล้องแดง และข้าวกล้องแดงงอกจะให้ปริมาณกรดไฟติกต่ำ ขณะที่ให้ปริมาณ อินทรีย์ฟอสฟอรัสสูง เมื่อเทียบกับข้าวทางการค้าชนิดอื่นๆ

ตามทฤษฎีข้าวกล้องงอกจะเกิดการสลายกรดไฟติกด้วยเอนไซม์ไฟเตสในระหว่างกระบวนการงอก แต่ในงานวิจัยนี้ข้าว

กล้องงอกบางชนิด เช่น ข้าวกล้องหอมมะลิงอก ข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวเหนียวสันป่าตอง 1 ให้ปริมาณกรดไฟติกสูง คาดว่าขั้นตอนนี้อาจเกิดจากขั้นตอนกระบวนการผลิตในขั้นตอนที่ทำให้เกิดกระบวนการทำให้งอก อาจใช้เวลาในการบ่มเพาะน้อยเกินไปทำให้กรดไฟติกถูกสลายไปได้น้อยหรืออาจเกิดจากแหล่งที่มาของข้าวกล้องปกติกับข้าวกล้องงอกมาจากสถานที่ต่างกัน เนื่องจากตัวอย่างข้าวนี้เป็นตัวอย่างที่ซื้อมาสำเร็จรูป สำหรับข้าวกล้องงอกพันธ์ข้าวเหนียวสันป่าตอง1 มีปริมาณกรดไฟติกค่อนข้างสูงขณะที่อนินทรีย์ฟอสฟอรัสสูงด้วยคาดว่าข้าวเหนียวสันป่าตอง 1 มีกรดไฟติกที่สูงมาก เมื่อเกิดกระบวนการทำให้งอกระดับของกรดไฟติกอาจจะลดลงไปบ้างแต่ก็ยังสูงกว่าในข้าวกล้องอื่นๆ

ดังนั้นงานวิจัยนี้ใช้วิธีที่ตรวจสอบง่ายและรวดเร็ว สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่ให้กรดไฟติกต่ำ หรือนำไปใช้พัฒนากรรมวิธีการผลิตข้าวกล้องงอกให้มีคุณค่าทางโภชนาการมากขึ้นได้ เนื่องจากข้าวที่เหมาะในการให้คุณค่าทางโภชนาการ นอกจากมีคุณค่าของสารอาหารวิตามิน และแร่ธาตุสูงแล้ว ยังต้องเพิ่มการใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารในการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดี จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรลดตัวขัดขวางทางโภชนาการอย่างเช่นกรดไฟติกลง

เอกสารอ้างอิง

Brinch-Pedersen, H., Sarensen, L.D. and Holm, P.B. (2002). Engineering crop plants: getting a handle on phosphate. **Trends in Plant Science**, 7(3): 118-125.

Cheryan, M. (1980). Phytic acid interactions in food system. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 13(4): 297-335.

Copeland, L.O. and Mcdonald, M.B. (1985). **The chemistry of seeds, principles of seed science and technology**, Burgess Publishing Company. U.S.A.: pp. 46.

Harland, B.F. and Morris, E.R. (1995). Phytate: A good or a bad food component. **Nutritional Research**, 15(5): 733-754.

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 acid1 mutation. **Crop Science**, 40: 1397-1405.

Lott, J.N.A., Ockenden, I., Raboy, V. and Batten, G.D.. (2000). phytic acid and phosphorous in crop seeds and fruit: a global estimate. **Seed Science Research,** 10: 1-33.

O'Dell, B.L., de Boland A.R. and Koirtyohann, S.R. (1972). Distribution of phytate and nutriationally important element among the morphological componts of cereal grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 20(3): 718-721.

Raboy, V. (2000). Low-phytic-acid grains. **Food and Nutrition Bulletin,** 21(4): 423-427.

Raboy, V. (2001). Seeds for a better future: low phytate grains help to overcome mulnutrition and reduce pollution. **Trend in Plant Science**, 6(10): 458-462.

Raboy, V., Young, K.A., Dorsch, J.A. and Cook, A. (2001). Genetics and breeding of seed phosphorus and phytic acid. **Journal of Plant Physiology**, 158: 489-497.

Wolfgang H. and Lantzsch, H.J. (1983) Sensitive method for the rapid determination of phytic acid in cereals and cereal products. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 34(12): 1423-1426.