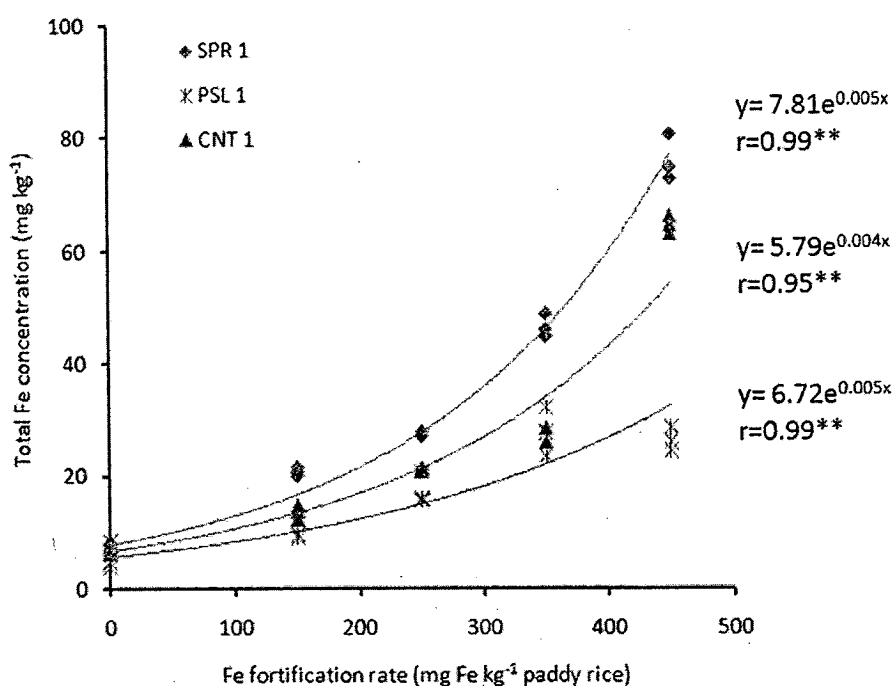


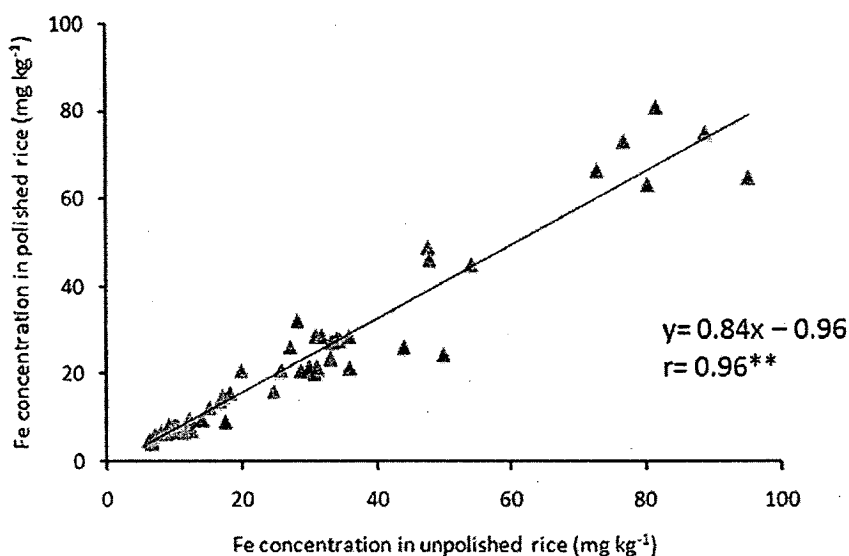
ผลการทดลอง

ปริมาณความเข้มข้นของธาตุเหล็กและสังกะสี

ความเข้มข้นของปริมาณธาตุเหล็กในข้าวสารขาวมีความสัมพันธ์กับอัตราการเติมธาตุเหล็กลงไปในเมล็ดข้าว แต่ความสัมพันธ์ก็แปรปรวนขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวด้วย ($p < 0.05$) (ภาพที่ 1) ลักษณะการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุเหล็กจะเป็นแบบ exponential กับอัตราการเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กในระหว่างกระบวนการนึ่งข้าว ซึ่งพบความสัมพันธ์นี้ในข้าวทุกพันธุ์ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 1) โดยพบว่าพันธุ์ SPR 1 มีอัตราการเพิ่มของปริมาณธาตุเหล็กสูงที่สุด รองลงมาเป็นพันธุ์ CNT 1 และ PSL 1 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวสารขาวมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับปริมาณธาตุเหล็กในข้าวกล้องด้วย (ภาพที่ 2)

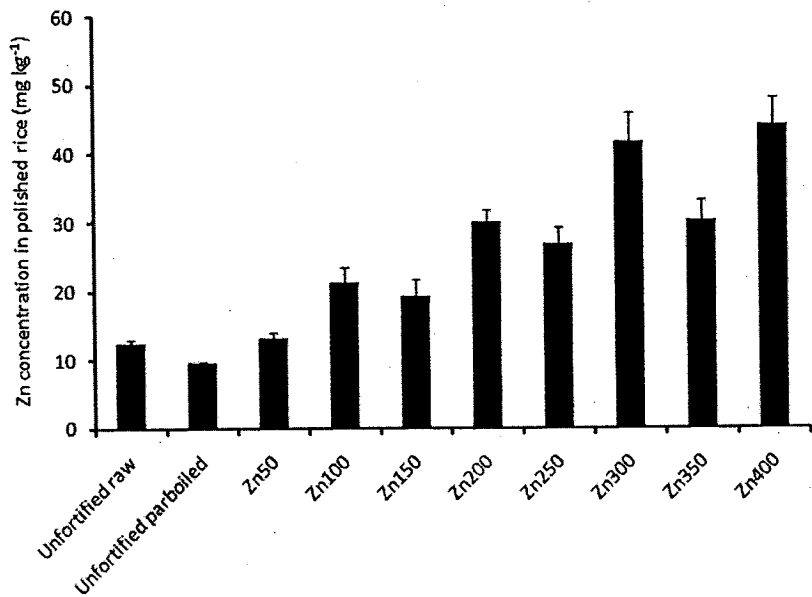


ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวและอัตราการเติมธาตุเหล็กในระหว่างกระบวนการนึ่งข้าว

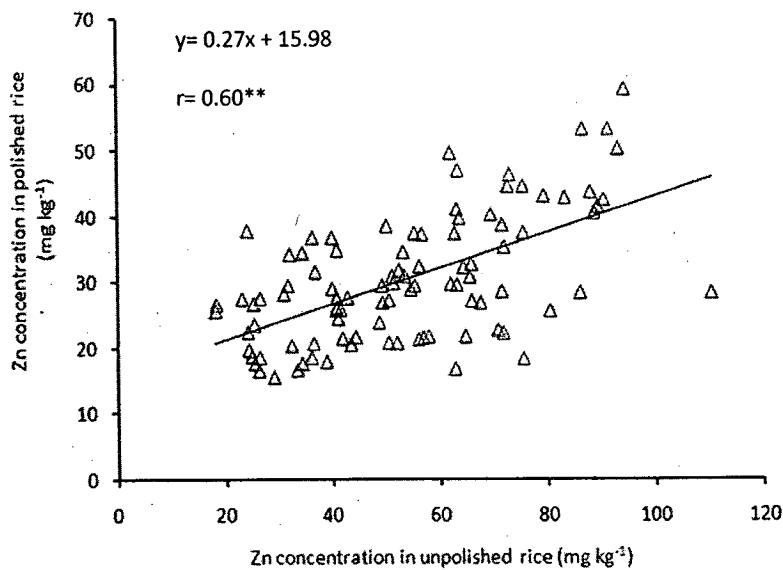


ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของธาตุเหล็กในข้าวสารขาวและข้าวกล้อง

ในส่วนของธาตุสังกะสีพบว่า การเติมธาตุสังกะสีในระหว่างกระบวนการนึ่งข้าวสามารถเพิ่มปริมาณธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าวสารขาวได้ โดยไม่ได้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวและรูปของสังกะสีที่เติมเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวหนึ่งที่ไม่ได้เติมธาตุสังกะสีเลย การเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุสังกะสีในข้าวสารขาวมีปริมาณความเข้มข้นอยู่ในช่วง 13.2- 44.1 มก.ต่อ กก. ข้าวสารขาว เปรียบเทียบกับข้าวดิบและข้าวหนึ่งที่ไม่ได้เติมธาตุสังกะสีที่มีความเข้มข้นของธาตุสังกะสีเพียงแค่ 9.7 – 12.5 มก. ต่อ กก. ข้าวสารขาว (ภาพที่ 3) นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์เช่นเดียวกับในธาตุเหล็กคือความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวสารขาวมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวกล้อง (ภาพที่ 4)



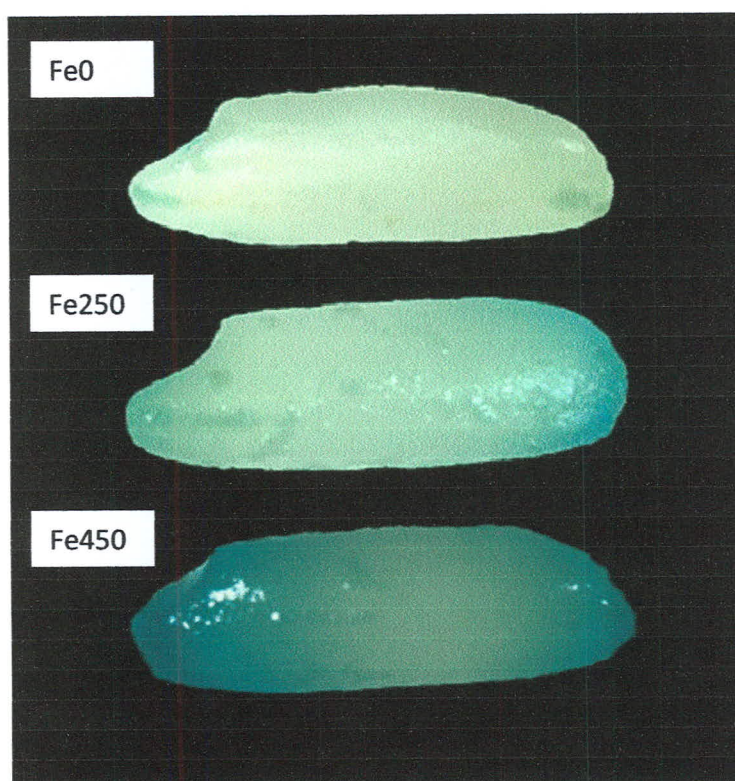
ภาพที่ 3 ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีที่ได้จากการเติมธาตุสังกะสีในอัตราต่าง ๆ ในระหว่างกระบวนการนึ่งข้าว โดยที่ค่าความเข้มข้นของธาตุสังกะสีได้มาจากค่าเฉลี่ยของการเติมธาตุสังกะสีทั้งสองรูป (ZnSO_4 และ ZnO)



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในข้าวสารขาวและข้าวกล้อง

การย้อมสีธาตุเหล็กและธาตุสังกะสี

ปริมาณธาตุเหล็กและธาตุสังกะสีที่อยู่ในเมล็ดข้าวสารขาวสามารถตรวจสอบได้ด้วยการย้อมสีด้วย PPB และ DTZ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวดิบและข้าวหนึ่งที่ไม่มีการเติมธาตุอาหารในระหว่างกระบวนการหนึ่งพบว่าข้าวที่มีการเติมธาตุอาหารมีความเข้มของปริมาณธาตุอาหารมากกว่าข้าวที่ไม่ได้เติมธาตุอาหาร (ภาพที่ 5 และ 6)



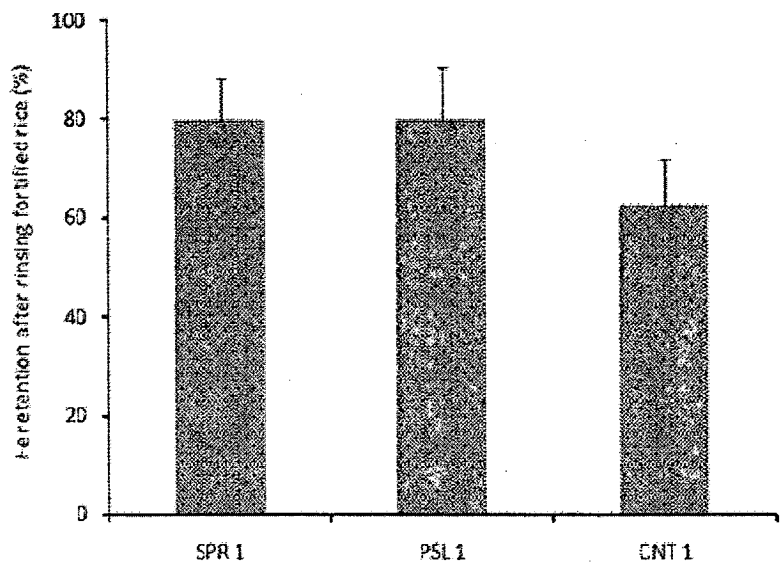
ภาพที่ 5 ความเข้มข้นของปริมาณธาตุเหล็กที่เติมลงไปในระหว่างกระบวนการหนึ่งข้าวที่ตรวจสอบได้ด้วยการย้อมสีด้วย PPB



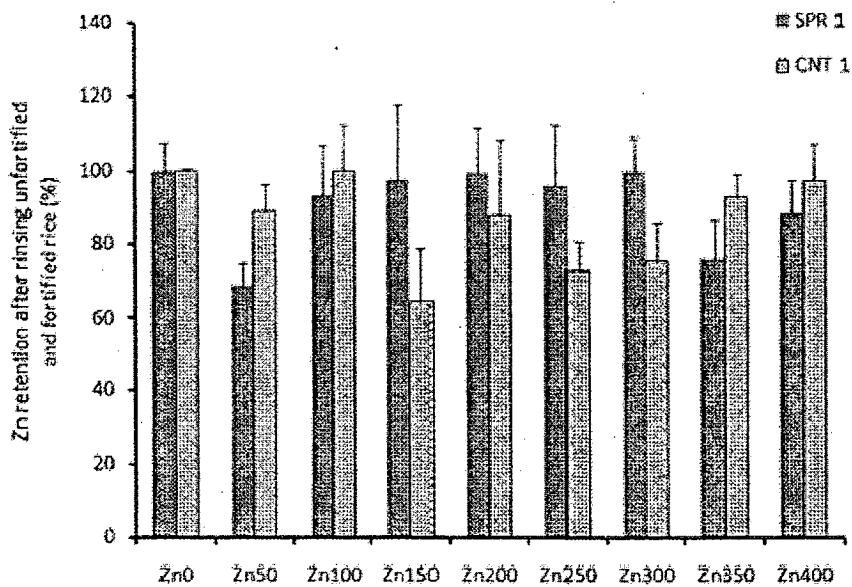
ภาพที่ 6 ความเข้มข้นของปริมาณธาตุสังกะสีที่เติมลงไปในช่วงกระบวนการนึ่งข้าวที่ตรวจสอบได้ด้วยการย้อมสีด้วย DTZ

ปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีคงเหลือหลังการล้างข้าว

ปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีคงเหลือในเมล็ดข้าวอยู่ในปริมาณสูงและมีความแปรปรวนระหว่างพันธุ์ข้าว พันธุ์ SPR 1 และ PSL 1 มีธาตุเหล็กและสังกะสีคงเหลือถึงประมาณร้อยละ 80 ในขณะที่พันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณธาตุเหล็กคงเหลือต่ำสุดคือร้อยละ 60 เปรียบเทียบกับปริมาณธาตุเหล็กเริ่มต้นที่ได้จากการเติมธาตุเหล็กในเมล็ดข้าว (ภาพที่ 7) ส่วนปริมาณการคงเหลือของธาตุสังกะสีก็มีความแปรปรวนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของธาตุสังกะสีที่เติมลงไปแลพันธุ์ข้าว (ภาพที่ 8)



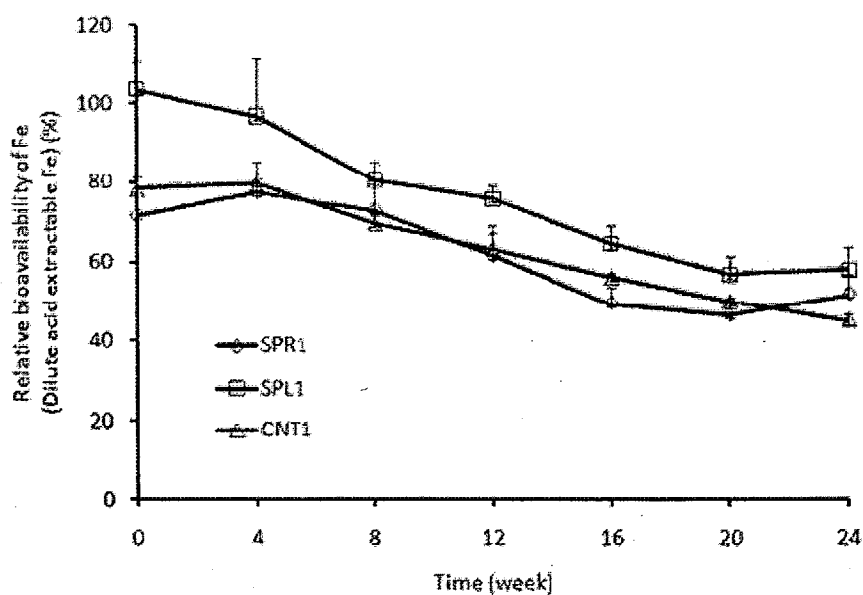
ภาพที่ 7 ปริมาณร้อยละการคงเหลือของธาตุเหล็กหลังจากการล้างน้ำก่อนกระบวนการหุงต้ม เปรียบเทียบกับปริมาณธาตุเหล็กเริ่มต้นที่ได้จากการเติมในระหว่างกระบวนการนึ่งข้าว



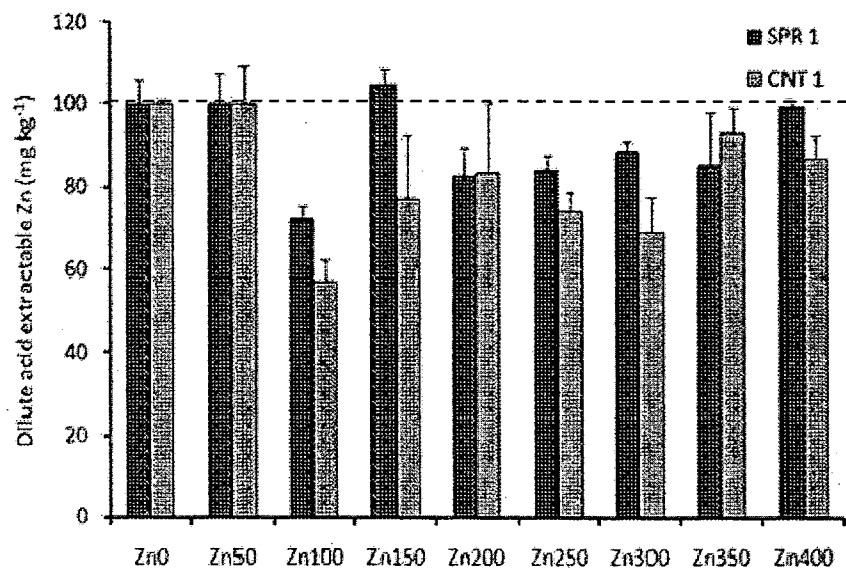
ภาพที่ 8 ปริมาณร้อยละการคงเหลือของธาตุสังกะสีหลังจากการล้างน้ำก่อนกระบวนการหุงต้ม เปรียบเทียบกับปริมาณธาตุสังกะสีเริ่มต้นที่ได้จากการเติมในระหว่างกระบวนการนึ่งข้าว

ความเป็นประโยชน์ในทางโภชนาการของธาตุอาหาร

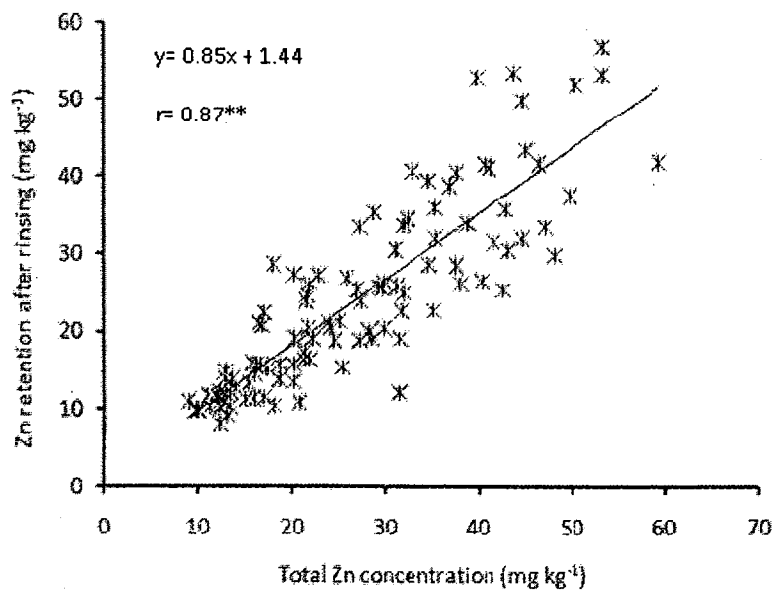
ความสามารถในการละลายในกรดอ่อนซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้ในการอ้างความเป็นประโยชน์ในทางโภชนาการของธาตุอาหาร สำหรับในธาตุเหล็กพบที่มีความแปรปรวนระหว่างพันธุ์ข้าว โดยพบว่าพันธุ์ PSL 1 มีธาตุเหล็กที่มีความเป็นประโยชน์ถึงร้อยละ 100 ในขณะที่พันธุ์ SPR 1 และ CNT 1 มีความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล็กร้อยละ 80 และ 70 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม จากการทดลองพบว่าปริมาณความเป็นประโยชน์จะลดลงเมื่อเก็บข้าวหนึ่งเป็นระยะเวลานาน แต่ก็ยังพบว่าปริมาณความเป็นประโยชน์มากกว่าในข้าวหนึ่งที่ไม่ได้เติมธาตุอาหารเป็นปริมาณมาก (ภาพที่ 9) สำหรับในธาตุสังกะสีพบว่าปริมาณความเป็นประโยชน์มีความแปรปรวนขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวและปริมาณธาตุสังกะสีที่เติมลงไปในช่วงหนึ่ง (ภาพที่ 10) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณคงเหลือของธาตุเหล็กและสังกะสีหลังจากการล้างและความเป็นประโยชน์ของทั้งธาตุเหล็กและสังกะสีมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ดข้าว ดังแสดงความสัมพันธ์ของธาตุสังกะสี (ภาพที่ 11 และ 12)



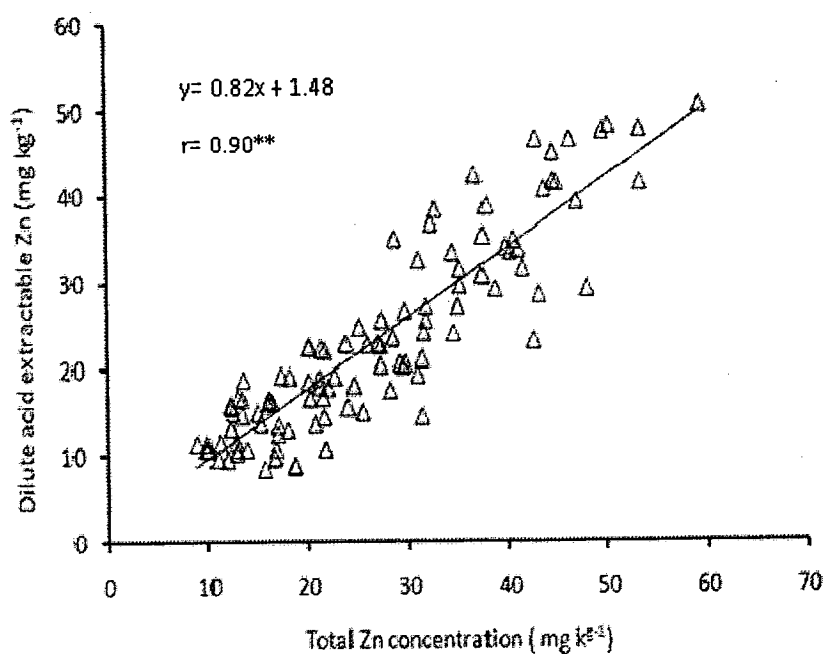
ภาพที่ 9 ปริมาณคงเหลือของธาตุเหล็กหลังจากการล้างน้ำจากปริมาณธาตุเหล็กเริ่มต้นที่ได้จากการเติมในระหว่างกระบวนการหนึ่งข้าว (250 มก.ต่อ กก. ข้าวสารขาว)



ภาพที่ 10 ปริมาณคงเหลือของธาตุสังกะสีหลังจากการล้างน้ำจากปริมาณธาตุสังกะสีเริ่มต้นที่ได้จากการเติม ในระหว่างกระบวนการเลี้ยงข้าวที่อัตราต่าง ๆ



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ของปริมาณความเข้มข้นของธาตุสังกะสีและปริมาณคงเหลือหลังการล้างน้ำ



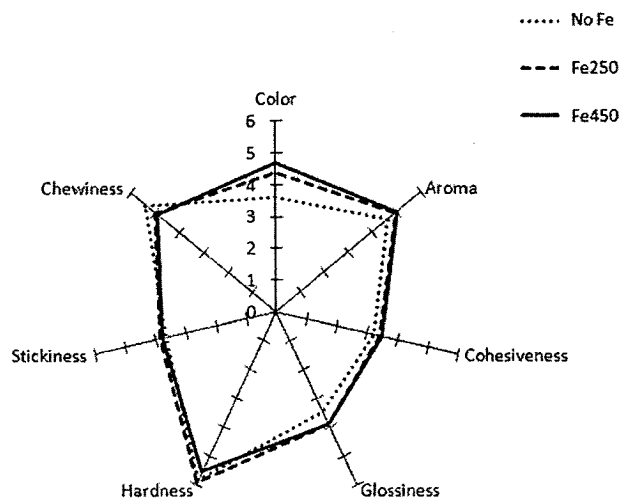
ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ของปริมาณความเข้มข้นของธาตุสังกะสีและปริมาณความเป็นประโยชน์ในทางโภชนาการ

การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

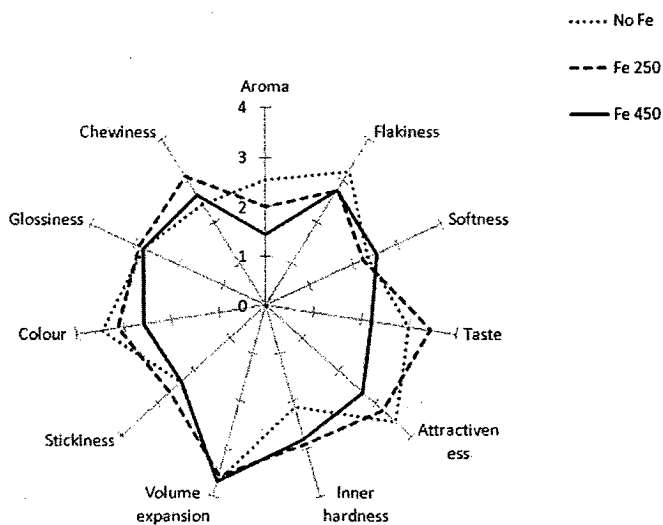
สำหรับการทดสอบในประเทศไทยพบว่าผู้ทดสอบไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างข้าวหนึ่งที่ได้มีธาตุเหล็กและข้าวหนึ่งที่ไม่ได้มีธาตุเหล็กได้ (ภาพที่ 13) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าผู้ทดสอบแต่ละคนให้คะแนนแตกต่างกันในการทดสอบคุณสมบัติของข้าวหนึ่งแต่ละอย่างยกเว้นในเรื่องของความหอม สำหรับการทดสอบในประเทศบังคลาเทศพบว่าในกลุ่มผู้ทดสอบที่เป็นนักวิทยาศาสตร์ก็ไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างข้าวหนึ่งที่ได้มีและไม่ได้อาศัยธาตุเหล็กได้ และพบว่าข้าวหนึ่งที่ได้มีธาตุเหล็กที่อัตรา 250 มก. ต่อ กก. ข้าวเปลือก ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าข้าวหนึ่งดังกล่าวมีคุณสมบัติต่าง ๆ ความคล้ายคลึงกับข้าวหนึ่งในท้องถื่นมาก หรือบางผู้ทดสอบก็ให้เห็นว่ารสชาติดีกว่าด้วย แต่ในขณะที่ข้าวหนึ่งที่ได้มีธาตุเหล็กที่อัตรา 450 มก. ต่อ กก. ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่ามีความแตกต่างต่าง ๆ รวมทั้งรสชาติแยกกว่าข้าวหนึ่งในท้องถื่นที่บริโภคอยู่เป็นประจำ ซึ่งผู้ทดสอบที่เป็นนักวิทยาศาสตร์ให้ความเห็นก่อนข้าวเป็นไปในทางเดียวกันหมดทุกคน (ภาพที่ 14) สำหรับผู้ทดสอบที่เป็นเกษตรกรในท้องถื่นพบว่าเกษตรกรให้ความเห็นตรงกันเป็นส่วนมากในทุกลักษณะที่ทดสอบ แต่พบว่าลักษณะที่พบความแตกต่างระหว่างข้าวหนึ่งที่ได้มีและไม่ได้อาศัยธาตุเหล็กคือลักษณะ

chewiness, flakiness, off-flavour และ inner hardness และผลการทดสอบออกมาเหมือนกับผู้ทดสอบที่เป็นนักวิทยาศาสตร์คือข้าวหนึ่ง ข้าวหนึ่งที่เดิมธาตุเหล็กที่อัตรา 250 มก. ต่อ กก. ข้าวเปลือก ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าข้าวหนึ่งดังกล่าวมีคุณสมบัติต่าง ๆ ความคล้ายคลึงกับข้าวหนึ่งในท้องถื่นมาก หรือบางผู้ทดสอบก็ให้เห็นว่ามึรสชาติดีกว่าด้วย แต่ในขณะที่ข้าวหนึ่งที่เดิมธาตุเหล็กที่อัตรา 450 มก. ต่อ กก. ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่ามึคุณสมบัติต่าง ๆ รวมทั้งรสชาติดีกว่าข้าวหนึ่งในท้องถื่นที่บริโภคมักอยู่เป็นประจำ (ภาพที่ 15)

สำหรับการทดสอบการยอมรับข้าวหนึ่งเพื่อการบริโภคโดยทั่วไปพบว่าในประเทศไทยผู้ทดสอบให้การยอมรับไม่แตกต่างกันระหว่างข้าวหนึ่งที่เดิมและไม่ได้เดิมธาตุเหล็ก แต่ในการให้คะแนนการทดสอบอาจจะไม่มีความสม่ำเสมอสำหรับผู้ทดสอบในประเทศไทย เนื่องจากผู้ทดสอบไม่คุ้นเคยกับการบริโภคข้าวหนึ่ง แต่สำหรับการทดสอบในกลุ่มผู้ทดสอบที่เป็นนักวิทยาศาสตร์ในประเทศบังคลาเทศพบว่าผู้ทดสอบให้ความเห็นเป็นไปในทางเดียวกันในการยอมรับที่จะบริโภคข้าวหนึ่งที่เดิมธาตุเหล็กที่อัตรา 250 มก. ต่อ กก. ข้าวเปลือก โดยมีการยอมรับว่าดีกว่าข้าวหนึ่งที่บริโภคมักอยู่เป็นประจำถึงจำนวน 8 ใน 9 คน แต่ในขณะที่การยอมรับในการบริโภคข้าวหนึ่งที่เดิมธาตุเหล็กที่อัตรา 450 มก. ต่อ กก. ข้าวเปลือก มีเพียงร้อยละ 50 หรือยอมรับ 4 คน ในจำนวนผู้ทดสอบทั้งหมด 9 คน ในทางตรงกันข้ามสำหรับผู้ทดสอบที่เป็นเกษตรกรพบว่า มีการยอมรับข้าวหนึ่งที่ไม่ได้เดิมธาตุเหล็ก ข้าวหนึ่งที่เดิมธาตุเหล็กในอัตรา 250 และ 450 มก. ต่อ กก. ข้าวเปลือกในปริมาณร้อยละ 100, 100 และ 80 ตามลำดับ

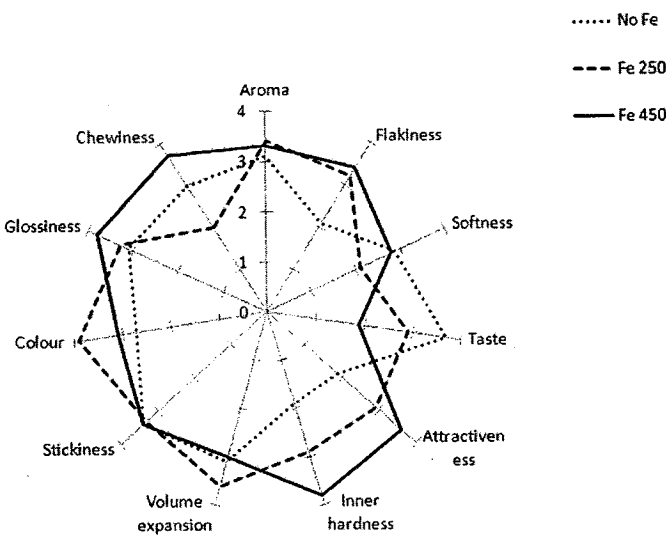


ภาพที่ 13 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบในประเทศไทยทั้งหมด 32 คน โดยทดสอบข้าวหนึ่งที่ไม่เติมธาตุเหล็กที่ระดับ 250 และ 450 มก.ต่อ กก. ข้าวเปลือกเปรียบเทียบกับข้าวหนึ่งที่ไม่เติมธาตุเหล็ก (สเกลในการให้คะแนนคือ 1= ไม่ชอบอย่างยิ่ง, 5= ไม่มีความเห็น, 9= ชอบอย่างยิ่ง)



ภาพที่ 14 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบที่เป็นนักวิทยาศาสตร์ในประเทศบังกลาเทศทั้งหมด 9 คน โดยทดสอบข้าวหนึ่งที่ไม่เติมธาตุเหล็กที่ระดับ 250 และ 450 มก.ต่อ กก. ข้าวเปลือกเปรียบเทียบกับข้าว

หนึ่งที่ไม่มีเติมธาตุเหล็กและข้าวหนึ่งในท้องถิ่น (สเกลในการให้คะแนนคือ 1= คุณภาพแย่กว่าข้าวท้องถิ่นอย่างมาก, 2= คุณภาพแย่กว่าข้าวท้องถิ่น, 3= คุณภาพเหมือนกับข้าวท้องถิ่น, 4= คุณภาพดีกว่าข้าวท้องถิ่น, 5= คุณภาพดีกว่าข้าวท้องถิ่นมาก)



ภาพที่ 15 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบที่เป็นเกษตรกรในประเทศไทยบังคลาเทศทั้งหมด 10 คน โดยทดสอบข้าวหนึ่งที่เติมธาตุเหล็กที่ระดับ 250 และ 450 มก.ต่อ กก. ข้าวเปลือกเปรียบเทียบกับข้าวหนึ่งที่ไม่มีเติมธาตุเหล็กและข้าวหนึ่งในท้องถิ่น (สเกลในการให้คะแนนคือ 1= คุณภาพแย่กว่าข้าวท้องถิ่นอย่างมาก, 2= คุณภาพแย่กว่าข้าวท้องถิ่น, 3= คุณภาพเหมือนกับข้าวท้องถิ่น, 4= คุณภาพดีกว่าข้าวท้องถิ่น, 5= คุณภาพดีกว่าข้าวท้องถิ่นมาก)