บทนำ

ปัจจุบันประชากรทั่วโลกหลายพันล้านคนกำลังประสบปัญหาการขาดสารอาหารชนิดที่ต้องการน้อยต่อวัน (micronutrients malnutrition) โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุเหล็กและสังกะสี (Allen, Benoist, Dary & Hurrell, 2006) โดยพบจากรายงานว่าประชากรโลกมากกว่าพันล้านคนหรือร้อยละ 37 ป่วยเป็นโรคโลหิตจางเนื่องจากการขาดธาตุเหล็ก และร้อยละ 30 อยู่ในอัตราเสี่ยงต่อการขาดธาตุสังกะสี ปัญหาการขาดธาตุเหล็กและสังกะสีนี้พบมากโดยเฉพาะประชากรในแถบทวีปเอเชียและอาฟริกา ถึงร้อยละ 40-60 และ 10-60 ตามลำดับ (Benoist, McLean, Egli & Cogswell, 2008; Carnevale et al., 2007) สำหรับประเทศไทยจากรายงานการสำรวจการขาดธาตุเหล็กพบว่าขาดมากในเด็กก่อนวัยเรียนถึงร้อยละ 25 และร้อยละ 40 ในหญิงวัยเจริญพันธุ์ (Benoist et al., 2008) สำหรับรายงานการขาดธาตุสังกะสีในประเทศไทยพบว่าประชากรในประเทศมีภาวะเสี่ยงต่อการขาดธาตุสังกะสีถึงร้อยละ 41.6 (Hotz & Brown, 2004)

ธาตุเหล็กและสังกะสีจัดได้ว่าเป็นธาตุอาหารชนิดที่ต้องการน้อยต่อวัน (micronutrient) แต่ร่างกายไม่สามารถขาดได้ โดยปกติคนเราต้องการธาตุเหล็กวันละ 10 มิลลิกรัม/วัน และต้องการมากขึ้นในเด็กและสตรีมีครรภ์ (15-30 มิลลิกรัม/วัน) และความต้องการสังกะสีวันละ 5-15 มิลลิกรัม/วัน ธาตุเหล็กเป็นส่วนประกอบของฮีโมโกลบินซึ่งอยู่ในเม็ดเลือดแดง ทำหน้าที่ในการพาออกซิเจนไปใช้ในการหายใจในเซลล์ และเป็นส่วนประกอบของโปรตีนและน้ำย่อยหลายอย่าง ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตและกระบวนการหายใจของเซลล์ ผู้ที่ขาดธาตุเหล็กจะมีภูมิต้านทานของร่างกายต่ำลง ถ้าขาดในเด็กจะทำให้ประสิทธิภาพในการเรียนรู้ต่ำกว่าปกติ และมีพัฒนาการทางร่างกายช้า นอกจากธาตุเหล็กแล้วธาตุสังกะสีนับได้ว่าเป็นธาตุที่ร่างกายต้องการรองลงมา โดยสังกะสีมีความสำคัญในการสังเคราะห์และเมตาบอลิซึมของกรดนิวคลิอิก (nucleic acid) และเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่สำคัญต่างๆ ผู้ที่ขาดสังกะสีจะมีการเจริญเติบโตลดลง แคระแกรน ในผู้ใหญ่อาจทำให้เป็นหมันได้ (Bogert, Briggs & Calloway, 1996)

จากการสำรวจประชากรในภูมิภาคเอเชียและอาฟริกา พบว่าสารอาหารส่วนใหญ่ที่ร่างกายได้รับนั้นมาจากการบริโภคธัญพืชเป็นแหล่งอาหารหลัก โดยเฉพาะข้าว แต่อย่างไรก็ตามพบว่าประชากรในภูมิภาคดังกล่าวประสบกับปัญหาการขาดธาตุเหล็กและสังกะสีเป็นอย่างมาก ทั้งนี้มีสาเหตุเนื่องมาจากข้าวซึ่งบริโภคเป็นอาหารหลักนั้นมีธาตุเหล็กและสังกะสีเป็นส่วนประกอบเพียงแค่ 7.5-24.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ 15.9-58.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าในธัญพืชชนิดอื่น ๆ เช่น ข้าวสาลี (28.2-51.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ 25.2-53.3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และข้าวโพด (9.6-63.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ 12.9-57.6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) (Graham, Senadhira, Beebe, Iglesias & Monasterio, 1999; Gregorio, 2002) โดยปกติแล้วธาตุเหล็กและสังกะสีในเมล็ดข้าวจะสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อชั้นนอกของเมล็ดข้าวที่เรียกว่าชั้นอะลิวโรน (aleurone layer) หรือเยื่อหุ้มเมล็ดและคัพภะ (embryo) และมีปริมาณน้อยมากในเอนโดสเปิร์ม (endosperm) หรือเนื้อเยื่อสะสมอาหาร (Juliano & Bechtel, 1985; Prom-u-thai, 2003) ซึ่งโดยปกติแล้ว

ส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดและคัพภะซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ชั้นนอกของเมล็ดข้าวจะสูญเสียไปในระหว่างกระบวนการขัดสีข้าวเพื่อให้ได้เมล็ดข้าวขาวซึ่งเป็นที่นิยมบริโภคโดยทั่วไปในกลุ่มผู้บริโภรข้าวเป็นอาหารหลัก (Jiang, Hong, Xu, Li & He, 2005; Prom-u-thai, Fukai, Godwin & Huang, 2007) ดังนั้นปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีจึงเหลืออยู่ในข้าวขาวน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้อง ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ผู้บริโภคข้าวขาวได้รับปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในปริมาณที่น้อยลงไปอีกด้วย ดังนั้นการเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในข้าว (โดยเฉพาะในข้าวขาว) จึงน่าจะเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการขาดธาตุเหล็กและสังกะสีในกลุ่มผู้บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก

จากรายงานการวิจัยในโครงการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ในเมล็ดข้าวในปัจจุบันพบว่าวิธีการที่เน้นในการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในเมล็ดข้าวจะมุ่งเน้นไปที่การจัดการสภาพแวดล้อมในนาข้าวและการปรับปรุงพันธุ์ (Fidler, Davidsson, Walczyk & Hurrell, 2003; Graham et al., 1999; Hettiarachchi, Hilmers, Liyanage & Abrams, 2004; Takahashi, Nakanishi, Kawasaki, Nishizawa & Mori, 2001; Vasconcelos et al., 2003) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการปรับปรุงพันธุ์ทั้งที่เป็นวิธีการแบบดั้งเดิมและการตัดต่อยีนแบบสมัยใหม่ กลับพบว่าเป็นวิธีการที่ต้องสิ้นเปลืองทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย (Bouis, 1996) ซึ่งอาจจะเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสมที่จะนำเอามาใช้ในกลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนา การตัดต่อยีนก็ยังคงเป็นวิธีการที่ยังไม่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปในกลุ่มผู้บริโภคต่าง ๆ ดังนั้นวิธีการที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในเมล็ดข้าวจะต้องเป็นวิธีการที่ประหยัด สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว เป็นที่ยอมรับในกลุ่มผู้บริโภคที่มีปัญหาดังกล่าว และวิธีการในเพิ่มปริมาณธาตุอาหารต้องเป็นเทคโนโลยีที่สามารถเชื่อมโยงได้กับเทคโนโลยีที่มีอยู่แล้ว เพื่อสามารถกระจายผลิตภัณฑ์ไปยังผู้บริโภคได้อย่างรวดเร็ว ทันต่อเวลาและเหตุการณ์

ยกตัวอย่างเช่นการเติมธาตุเหล็กลงไปในอาหารเป็นวิธีการที่กระทำกันมาเป็นมาเวลานานแล้ว (Hurrell & Cook, 1990; Mertz, 1997; Tulyathan, Mekjarutkul & Jongkaewwattana, 2005) แต่วิธีการดังกล่าวก็ยังคงไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากเป็นวิธีการที่ต้องการการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของอุตสาหกรรมการผลิต และการเปลี่ยนนิสัยในการบริโภคของประชาชน ซึ่งเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยากในการเปลี่ยนแปลง การเติมธาตุเหล็กลงไปในแป้งข้าวเป็นวิธีการที่ทำกันมากในประเทศศรีลังกาและฟิลิปปินส์ (Hettiarachchi et al., 2004) การเติมธาตุเหล็กโดยการเคลือบลงบนเมล็ดข้าวก็มีการกระทำกันมาแล้ว แต่ก็ไม่ปประสบผลสำเร็จ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงสีและรูปร่างของเมล็ดข้าวไป เมื่อนำมาปนกับข้าวปกติ ผู้บริโภคก็ไม่ชอบและเลือกออกทิ้งหมด (Hurrell et al., 1990) วิธีการเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีดังกล่าวจึงไม่เหมาะสม เนื่องจากมีราคาแพง เป็นกรรมวิธีการผลิตที่ยุ่งยากและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

กระบวนการผลิตข้าวนึ่งเป็นกระบวนการที่มีการปฏิบัติมาเป็นเวลานานแล้ว โดยเฉพาะแถบภูมิภาคเอเชีย เช่น อินเดียและบังคลาเทศ ซึ่งเป็นประเทศที่มีการบริโภคข้าวนึ่ง(parboiled rice) มากที่สุด ปัจจุบันการบริโภคข้าวนึ่งเริ่มเป็นที่นิยมกันมากในหลายๆ ภูมิภาคของโลก เช่น ยุโรป อเมริกา อาฟริกา

เป็นต้น (Choudhury, 1991) กระบวนการนึ่งข้าวประกอบไปด้วย การแช่ข้าว การนึ่งข้าว และการตากแห้งก่อนที่จะมีการนำเอามาขัดสีตามวิธีการปกติทั่วไป วิธีการเติมธาตุอาหารในข้าวในระหว่างกระบวนการนึ่งข้าว ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำอยู่แล้วเป็นปกติในอุตสาหกรรมการผลิตข้าวยังไม่มีการศึกษาวิจัยอย่างจริงจัง วิธีการดังกล่าวอาจเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในเมล็ดข้าว เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีอยู่แล้วจึงไม่ต้องเปลี่ยนแปลงอะไรมาก ราคาไม่แพง และมีผู้บริโภคข้าวนึ่งอยู่แล้วทั่วโลก ดังนั้นโครงวิจัยนี้จึงได้ศึกษาหาวิธีการที่เหมาะสมในระหว่างกระบวนการนึ่งข้าวมาเป็นวิธีในการเติมสารอาหารลงไปในเมล็ดข้าว นอกจากนั้นก็วัดผลว่าธาตุอาหารดังกล่าวที่เติมเข้าไปนั้นคงเหลือเท่าไรหลังจากการขัดสีเป็นข้าวสารขาว และการล้างข้าวก่อนการหุงต้มตามวิธีการปกติทั่วไป ก่อนที่จะมีการศึกษาว่าปริมาณธาตุอาหารที่เติมลงไปนั้นมีความเป็นประโยชน์ต่อการโภชนาการของผู้บริโภคมากน้อยเท่าไร