บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ระบบการผลิต ระบบการตลาด และมูลค่าข้าว

ระบบการผลิตข้าว

การผลิตข้าวของไทยแบ่งเป็นการผลิตข้าวนาปี และนาปรัง การผลิตข้าวนาปีเป็นการปลูกข้าวโดยอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ซึ่งเตรียมดินปลูกตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม และเก็บเกี่ยวประมาณปลายเดือนตุลาคมถึงต้นเดือนธันวาคม ส่วนใหญ่เป็นข้าวไวแสง เช่นข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นต้น พื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีในช่วง 12 ปีที่ผ่านมา (2533-2544) มีปริมาณลดลง 0.07% จาก 58 ล้านไร่ในปีเพาะปลูก 2533/34 เหลือ 56 ล้านไร่ในปีเพาะปลูก 2543/44 ส่วนผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 0.24% จาก 15 ล้านตันในปีเพาะปลูก 2533/34 เพิ่มเป็น 19 ล้านตัน ในปี 2543/44 และผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่เพิ่มขึ้น 4.46% จาก 256 กิโลกรัมต่อไร่ (ปี 2533/34) เป็น 346 กิโลกรัมต่อไร่ (ปี 2543/44) และในปีการเพาะปลูก 2444/45 คาดการว่าพื้นที่เพาะปลูกปี 2544/45 จะลดลงจากปีที่แล้วเหลือ 56.56 ล้านไร่ และจะให้ผลผลิตทั้งหมด 19.57 ล้านตัน เนื่องจากฝนที่ตกช่วงปลายเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม ตกไม่กระจาย ทำให้เกษตรกรนอกเขตชลประทานในภาคอีสาน เปลี่ยนไปปลูกอ้อย รวมทั้งราคาที่เกษตรกรได้รับ ไม่จูงใจให้ชาวนาเพิ่มพื้นที่การผลิต และคาดการว่าผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่จะเพิ่มขึ้นเป็น 346 กิโลกรัมต่อไร่ เนื่องจากได้รับการส่งเสริมและสนับสนุนจากภาครัฐด้านเมล็ดพันธุ์ (เมล็ดพันธุ์ชุมชน) และการให้สินเชื่อปุ๋ยแก่เกษตรกร (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2544)

สำหรับการผลิตข้าวนาปรัง ซึ่งเพาะปลูกนอกฤดูฝน ภายหลังเก็บเกี่ยวข้าวนาปี ประมาณปลายเดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์ และเก็บเกี่ยวช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม พื้นที่เพาะปลูกข้าวในช่วงสิบกว่าปีที่ผ่านมา (2533-2544) มีอัตราการเพิ่ม 0.4% จากในปี 2533 พื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปรังมี 5.2 ล้านไร่ เพิ่มเป็น 8.7 ล้านไร่ในปี 2544 เนื่องจากในปี 2540 ต่อเนื่องถึงปี 2541 ราคาข้าวอยู่ในเกณฑ์สูง จึงจูงใจให้เกษตรกรขยายพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปรังเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นในอัตรา 0.34% จาก 2.12 ล้านตัน (ปี 2533) เพิ่มเป็น 6.06 ล้านตัน (ปี 2544) และผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ มีอัตราเพิ่มขึ้น 13% จากในปี 2533 ผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 405 กิโลกรัมต่อไร่ เพิ่มเป็น 695 กิโลกรัมต่อไร่ในปี 2544 และคาดการว่าในปีเพาะปลูก 2545 จะมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปรังลดลงจากปี 2544 โดยพื้นที่เพาะปลูกเท่ากับ 8.2 ล้านไร่ และผลผลิตคาดว่าลดลงเหลือ 5.75 ล้านตัน เหตุผลเดียวกับ

การผลิตข้าวนาปี คือราคาข้าวที่ตกต่ำในช่วงปี 2542 เป็นต้นมา จึงไม่จูงใจให้เกษตรกรเพิ่มการผลิต ส่วนผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ คาดว่าจะเพิ่มขึ้นจากปีที่แล้วเป็น 697 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2544)

ในการผลิตข้าว มีต้นทุนการผลิตได้แก่ ต้นทุนคงที่ เช่น ค่าเช่า และค่าใช้ที่ดิน ค่าภาษีที่ดิน รวมทั้งค่าเสื่อมราคาและค่าเสียโอกาสของอุปกรณ์ และต้นทุนผันแปร ซึ่งได้แก่ค่าแรงในการเตรียมดิน หว่านกล้า ปักดำ การดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยว ค่าวัสดุต่าง ๆ เช่นค่าเมล็ดพันธุ์ ค่าปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี ค่ายาปราบศัตรูพืช และวัชพืช รวมทั้งค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เช่นค่าซ่อมแซมอุปกรณ์ และค่าดอกเบี้ย เป็นต้น และทั้งนี้ต้นทุนการผลิตข้าวนาปรัง เฉลี่ยทั้งประเทศในปีเพาะปลูก 2543 เท่ากับ 2,134 บาทต่อไร่ ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษามากกว่าข้าวนาปี ในปีเพาะปลูก 2542/43ที่เท่ากับ 1,585 บาทต่อไร่ แต่ประสิทธิภาพของการผลิตข้าวนาปรังสูงกว่าการผลิตข้าวนาปี โดยพิจารณาจากต้นทุนต่อเกวียนของข้าวนาปรัง ที่ใช้ 3,143 บาทต่อเกวียน ในขณะที่ข้าวนาปี มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 4,775 บาทต่อเกวียน (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2542)

ระบบการตลาดและมูลค่าข้าว

ข้าวเปลือกที่เกษตรกรผลิตได้ ประมาณร้อยละ 40 เกษตรกรขายให้พ่อค้ารวบรวมท้องถิ่น และ 35% ของผลผลิตทั้งหมดขายให้แก่โรงสีโดยตรง ผลผลิตส่วนที่เหลือเกษตรกรจะขายให้พ่อค้าตัวแทนหรือนายหน้า และสถาบันการเกษตร และท้ายที่สุดข้าวเปลือกทั้งหมดจะถูกสีเป็นข้าวสารโดยโรงสี ซึ่งข้าวสารที่ได้ 50.46% ของข้าวสารทั้งหมดจะใช้บริโภคภายในประเทศ โดยโรงสีจะส่งขายให้แก่นายหน้าที่ทำหน้าที่ติดต่อระหว่างโรงสีกับพ่อค้าข้าวในกรุงเทพ (หยง) นอกจากนั้นจะขายให้แก่สถาบันการเกษตร พ่อค้าขายส่ง พ่อค้าขายปลีก และผู้บริโภคโดยตรง ข้าวสารอีก 49.54% จะส่งขายต่างประเทศ โดยผ่านนายหน้า พ่อค้าส่งออก สถาบันของรัฐ หรือโรงสีเป็นผู้ส่งออกโดยตรง (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2542)

สำหรับราคาข้าวเปลือกนั้น จะถูกกำหนดโดยตรงจากราคาข้าวส่งออก ซึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบเชื่อมโยง ได้แก่ ปริมาณข้าวเปลือก นโยบายการแทรกแซงราคาของรัฐ ราคาข้าวภายในประเทศ (อุปสงค์และอุปทานข้าว) รวมทั้งความต้องการข้าวของตลาดโลก นอกจากนั้นคุณภาพข้าวเป็นปัจจัยสำคัญอีกอย่างที่เป็นตัวกำหนดราคาข้าวเปลือกที่เกษตรกรได้รับ ทั้งนี้โรงสีหรือพ่อค้า จะพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความชื้น และคุณภาพการสีเป็นหลัก (เบญจมาศ, 2526; คมสัน, 2531; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2542; สุพร, 2532) โดยข้าวที่มีความชื้นต่ำขายได้ราคาสูงกว่าข้าวที่มี

ความชื้นสูง เช่น ข้าวที่ความชื้น 14-15% ขายได้ 5,023 บาทต่อเกวียน ราคาสูงกว่า 21.47% ของราคาข้าวที่ความชื้นสูงกว่า 19% ซึ่งขายได้เพียง 4,135 บาทต่อเกวียน และสำหรับคุณภาพการสี โดยเฉพาะเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว และเปอร์เซ็นต์ข้าวหักนั้น มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการกำหนดราคาข้าว เช่น ข้าวเปลือกเจ้า 100% นั้นขายได้ในราคา 6,737 บาทต่อเกวียน ในขณะที่ข้าวเปลือกเจ้า 5% เกษตรกรขายได้ในราคา 5,579 บาทต่อเกวียน (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2542)

ตลาดข้าวของไทยนั้น แบ่งเป็นตลาดข้าวภายในประเทศ และตลาดส่งออกต่างประเทศ ผลผลิตข้าวประมาณ 50% ใช้บริโภคภายในประเทศ โดยการบริโภคโดยตรง ซึ่งอัตราการบริโภคข้าวสาร 109 กิโลกรัมต่อคนต่อปี (165 กิโลกรัมข้าวเปลือกต่อคนต่อปี) (สำนักงานสถิติแห่งชาติ อ้างโดยสำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2542) นอกจากนั้นใช้สำหรับทำพันธุ์ และในกิจการอื่น เช่นแปรรูป หรือในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เป็นต้น ส่วนผลผลิตข้าวส่วนที่เหลือจะส่งออก ซึ่งตลาดข้าวหลักของไทยได้แก่ เอเชีย และตะวันออกกลาง รวมทั้งประเทศแถบอาฟริกา จากข้อมูลของสมาคมโรงสีข้าวไทย ที่ปรับปรุงจากแหล่งข้อมูลของกรมเศรษฐกิจพาณิชย์ กระทรวงพาณิชย์ ข้อมูลจากธนาคารแห่งประเทศไทย และจาก United States Department of Agriculture (USDA) อธิบายว่าส่วนแบ่งการส่งออกของข้าวไทยอยู่ในอันดับหนึ่งตั้งแต่ปี 2530 เป็นต้นมา และคู่แข่งการค้าที่สำคัญได้แก่ เวียดนาม สหรัฐอเมริกา ปากีสถาน และอินเดีย ในที่นี้การค้าข้าวในตลาดโลก แบ่งออกเป็นตลาดข้าวคุณภาพต่ำ (ข้าวขาว 25% และปลายข้าว) (กระทรวงพาณิชย์, 2540) ซึ่งไทยมีส่วนแบ่งร้อยละ 40 ของตลาดข้าวประเภทนี้ แต่มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากเวียดนาม และสหรัฐอเมริกา ได้เปรียบด้านราคา เพราะต้นทุนการผลิตต่ำกว่าไทย จึงทำให้ประเทศคู่ค้าไปซื้อข้าวจากแหล่งที่ถูกกว่า และตลาดข้าวอีกประเภทหนึ่งคือตลาดข้าวคุณภาพพิเศษ (ข้าวหอม ข้าวขาว 100%-5%) (กระทรวงพาณิชย์, 2540) มีปริมาณการซื้อขาย 30% ของปริมาณการซื้อขายข้าวทั้งหมดในตลาดโลก มีผู้ส่งออกสองรายคือ ไทยและสหรัฐอเมริกา แต่ส่วนแบ่งการตลาดของไทยเพียง 14% (จำรัส และไพบูลย์, 2534 อ้างโดยอารีย์, 2536) เนื่องจากในการส่งออกข้าวของไทย ข้าวที่บรรจุในกระสอบเดียวกัน อาจประกอบด้วยพันธุ์ต่าง ๆ ผสมกัน ซึ่งแม้ว่าข้าวจะมีลักษณะตรงตามมาตรฐานข้าวสารที่กำหนด ซึ่งพิจารณาเฉพาะคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวและสิ่งเจือปนที่ติดมากับข้าวเท่านั้น แต่ข้าวที่มาจากพันธุ์ต่างกันจะมีคุณภาพในการหุงต้มต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีแตกต่างกัน ทำให้หุงยากและมีปัญหาว่าข้าวในหม้อเดียวกันอาจมีลักษณะไม่เหมือนกัน ผู้บริโภคข้าวคุณภาพดีในยุโรปจำนวนมากจึงนิยมบริโภคข้าวที่มาจากสหรัฐอเมริกามากกว่า (อัมมาร และ วิโรจน์, 2533)

ปัจจัยที่กำหนดมูลค่าข้าวได้แก่คุณภาพข้าว มาตรฐานวัดคุณภาพข้าวแตกต่างกันตามรสนิยมของผู้บริโภค ซึ่งขึ้นกับปัจจัยหลายประการ รวมถึงปัจจัยทางเศรษฐกิจ (อัมมาร และ วิโรจน์, 2533) แต่ในกระบวนการซื้อขายข้าว และการวิเคราะห์วิจัย จะกำหนดคุณภาพข้าวโดยพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมี

โดยคุณสมบัติทางกายภาพ เป็นคุณสมบัติที่ กำหนดมาตรฐานการซื้อขายข้าวทั้งในประเทศและตลาดโลก ที่อ้างอิงกับกระบวนการสีข้าว และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสีข้าว ได้แก่ ข้าวกล้อง และข้าวสารที่มีความยาวขนาดต่าง ๆ แกลบ และรำข้าว ซึ่งโดยทั่วไปคุณสมบัติทางกายภาพนี้พิจารณาถึงคุณภาพการสีซึ่งประกอบไปด้วย เปอร์เซ็นต์การสีเป็นข้าวสาร หมายถึงอัตราส่วนโดยน้ำหนักของข้าวสารต่อข้าวเปลือกที่นำไปสี และเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวซึ่งเป็นสัดส่วนโดยน้ำหนักของต้นข้าว (head rice) ต่อข้าวเปลือกที่นำไปสี (จิรวัฒน์, 2539) กรมวิชาการ ได้กำหนดสัดส่วนของข้าวทั้งเมล็ดไว้เป็น 10 ส่วน ซึ่งเมล็ดข้าวที่อยู่ในสภาพเต็มเมล็ด ไม่มีส่วนใดหัก หมายถึงข้าวเต็มเมล็ด (whole kernels) ส่วนเมล็ดข้าวที่มีความยาว 8-9.9 ส่วนของข้าวเต็มเมล็ด คือต้นข้าว (head rice) เมล็ดข้าวที่มีความยาว 5-7.9 ส่วน หมายถึงข้าวหักใหญ่ (big broken) และข้าวที่มีความยาวอยู่ในช่วง 2.5-4.9 ส่วน หมายถึงข้าวหัก (broken) ส่วนเมล็ดข้าวที่เหลือความยาวน้อยกว่า 2.5 ส่วน หมายถึงปลายข้าว (กระทรวงพาณิชย์, 2540)

สำหรับคุณสมบัติทางเคมีนั้นมีส่วนสำคัญในการกำหนดคุณภาพการหุงต้ม ซึ่งประกอบไปด้วยอัตราส่วนของอมิโลสในแป้ง ความคงตัวของแป้ง (gel consistency) อุณหภูมิที่แป้งสุก (gelatinization temperature) ความยืดของเมล็ดข้าว (elongation) ความชื้นในเมล็ดข้าว และกลิ่นหอมของข้าว ทั้งนี้แป้งในเมล็ดข้าวประกอบด้วย อมิโลส และอมิโลแพคติน อมิโลสจะดูดซับน้ำได้ดี ทำให้ข้าวหุงขึ้นหม้อและร่วน แต่ถ้าอิโลสสูงจะทำให้ข้าวแข็ง ในขณะที่อมิโลแพคตินทำให้ข้าวเหนียวและนุ่ม อัตราส่วนระหว่างอมิโลสและอมิโลแพคตินจะแปรผกผันกัน และแตกต่างกันตามพันธุ์ เช่น ข้าวหอมมะลิ 105 มีอมิโลส 12-18% ข้าวพันธุ์ IR8 มี 35% เป็นต้น ในกรณีที่มีอมิโลสใกล้เคียงกัน พันธุ์ที่มีความคงตัวของแป้งต่ำจะนุ่มกว่าข้าวพันธุ์ที่มีความคงตัวของแป้งสูง สำหรับอุณหภูมิที่แป้งสุกนั้น คืออุณหภูมิที่เมล็ดข้าวเริ่มพองตัวในน้ำร้อน นิยมให้มีอุณหภูมิต่ำถึงปานกลาง เพราะถ้าอุณหภูมิสูงจะหุงสุกช้า หรือไม่สามารถทำให้สุกได้ด้วยวิธีปกติได้ คุณสมบัติในด้านความยืดของเมล็ดข้าวเป็นอีกตัวแปรหนึ่ง กล่าวคือตลาดแถบตะวันออกกลางไม่นิยมข้าวที่เมื่อนำมาหุงแล้ว ขยายตัวทั้งตามยาวและตามเส้นรอบวง (ยาวขึ้นและใหญ่ขึ้น) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของข้าวไทย แต่นิยมข้าวที่มีความยืดของเมล็ดตามยาวอย่างเดียว เช่นข้าวพันธุ์บาสมาติของอินเดียและปากีสถาน ส่วนความชื้นในเมล็ดข้าวมีผลต่อการหุงขึ้นหม้อและความร่วนของข้าว ข้าวที่มี

ความชื้นต่ำ (ข้าวเก่า) หุงขึ้นหม้อและมีความร่วนมากกว่าข้าวที่มีความชื้นสูง (ข้าวใหม่) ในไทยผู้บริโภคนิยมข้าวเจ้าเก่า ทำให้ราคาข้าวเจ้าเก่าสูงกว่าข้าวเจ้าใหม่ และคุณสมบัติทางเคมีอีกอย่างคือกลิ่นหอมของข้าว ซึ่งเกิดจากสารน้ำมัน แต่ยังไม่มีมาตรฐานที่แน่ชัดว่า ข้าวหอม ต้องมีลักษณะทางเคมีอย่างไร (อัมมาร และวิโรจน์, 2533) และทั้งนี้ อำนาจ และคณะ (2540) พบว่า ความหอม ความนุ่ม ความขาว ความเหนียว และความเลื่อมมันของข้าวหุงสุก จะแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ด ซึ่งจากมูลค่าข้าวขายส่งตลาดกรุงเทพมหานคร ณ วันที่ 21 ธันวาคม 2544 ข้อมูลจากสมาคมโรงสีข้าวไทย พบว่าข้าวหอมจะมีมูลค่าสูงกว่าข้าวขาวธรรมดา และข้าวใหม่ราคาต่ำกว่าข้าวเก่า โดยข้าวหอมมะลิ 100% เกรด 1 เก่า ราคา 1,040-1,060 บาท/100 กิโลกรัม ข้าวขาว 100% ชั้น 2 ราคา 735-740 บาท/100 กิโลกรัม (Rice market prices: Food Market Exchange-B2B e-marketplace for the food industry, 2001 : http://www.foodmarketexchange.com/datacenter/indicate/dc_ip_grain_th.Shtml) และข้าวขาว 100% ชั้น 2 (ข้าวใหม่) ราคาเพียง 719 บาท/100 กิโลกรัม เป็นต้น (สำนักรักษาเสถียรภาพราคาสินค้าเกษตร, 2544 : http://www.dit.go.th/agriculture/product/trend.htm) และข้าวหอมมะลิ ชั้น 1 (ดีพิเศษ) ที่เสริมวิตามิน และธาตุเหล็กสามารถขายได้ 125 บาทต่อ 4 กิโลกรัม (31.25 บาท/กิโลกรัม) ในขณะที่ข้าวหอมมะลิ ชั้น 1 (ดีพิเศษ) ที่ไม่เสริมวิตามินราคาประมาณ 15-20 บาทต่อกิโลกรัม (การสำรวจ, 2544)

2.2 โภชนาการและแนวทางการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าว

ข้าวเป็นแหล่งอาหารที่ให้พลังงานและสารอาหาร ซึ่งในข้าวเจ้า 100% จำนวน 100 กรัมให้พลังงาน 353 กิโลแคลอรี โปรตีน 6.4 กรัม คาร์โบไฮเดรต 79.8 กรัม ฟอสฟอรัส 130 มิลลิกรัม เหล็ก 0.9 มิลลิกรัม ไธอามีน 0.26 มิลลิกรัม ไรโบฟลาวิน 0.43 มิลลิกรัม และไธอะซีน 1.6 มิลลิกรัม (กรมอนามัย, 2543 : http://www. anamai.moph.go.th/nutri/foodtable/Html/ce_gr.html) แต่อย่างไรก็ตามข้าวที่ผ่านการหุงต้ม จะสูญเสียวิตามินหลายชนิดเช่น วิตามินบีหนึ่ง 0.34-0.61 มิลลิกรัม/100 กรัม เมื่อนำไปหุงแบบเช็ดน้ำ เหลือเท่ากับ 0.04-0.12 มิลลิกรัม/100 กรัม ซึ่งไม่เพียงพอกับปริมาณสารอาหารที่ร่างกายต้องการต่อวัน (นันทยา, 2543)

แนวทางการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการข้าว มีการเพิ่มเข้าไปในระบบการผลิต จนกระทั่งเสริมในผลิตภัณฑ์ เช่น การปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีปริมาณโปรตีนสูง ของสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) และสถาบันวิจัยข้าวไทย แต่ข้าวที่ปรับปรุงได้ให้ผลผลิตต่ำ เมล็ดมีสีคล้ำ เมื่อนำมาหุงต้มจะค่อนข้างแข็ง (อัมมาร และวิโรจน์, 2533) การเพิ่มปริมาณโปรตีนในเมล็ด ทำโดยการเพิ่มไนโตรเจนให้แก่พืช โดยที่ไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบสำคัญของกรดอะมิโนซึ่งทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีน

(Eady and Postfate, 1974) และความสำคัญดังกล่าวจึงทำให้ไนโตรเจนมีอิทธิพลโดยตรงต่อปริมาณและคุณภาพโปรตีนในเมล็ด กล่าวคือ เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงขึ้น ปริมาณไนโตรเจนหรือโปรตีน (%โปรตีน = 6.25 X %ไนโตรเจน) ในเมล็ดจะสูงขึ้น (สุมิตรา และ Eppendorfer, 2535) และจากการศึกษาของ Won *et al.* (1999) พบว่าปริมาณไนโตรเจนในใบธงมีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลรวมของไนโตรเจน และความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบธงมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิต และนอกจากนั้น Pathak *et al.* (1980) พบว่าการเพิ่มอัตราไนโตรเจนจาก 0-120 กก.ไนโตรเจน/เฮกตาร์ (0-19.2 กก.ไนโตรเจน/ไร่) จะเพิ่มปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และปริมาณแมงกานีสขึ้น แต่จะลดปริมาณธาตุเหล็กในข้าวลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มอัตราไนโตรเจนจาก 0-90 กก.ไนโตรเจน/เฮกตาร์ (0-14.4 กก.ไนโตรเจน/ไร่) อีกทั้งประสูติ และคณะ (2539) รายงานว่าการเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนให้กับข้าวบาสมาติ จะเพิ่มปริมาณโปรตีนในเมล็ดจาก 102 เป็น 121 กรัม/กิโลกรัม แต่อย่างไรก็ตามพันธุ์ข้าวมีผลต่อความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและเปอร์เซ็นต์โปรตีนในเมล็ดข้าวกล้อง ซึ่งข้าวพันธุ์ที่มีความสามารถในการดูดใช้ไนโตรเจนมากกว่า จะมีการสะสมและการใช้ไนโตรเจนในการสร้างผลผลิตได้มากกว่าจึงมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนและโปรตีนในเมล็ดสูงกว่าพันธุ์ที่มีความสามารถในการดูดใช้ไนโตรเจนต่ำกว่า (Yoshida, 1981)

สำหรับการเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กในพืชอาหารนั้น มีแนวทางในการเพิ่มอยู่สามทาง ได้แก่ การเพิ่มธาตุเหล็กในรูปปุ๋ย การใช้เทคโนโลยีการปรับปรุงพันธุ์ และการใช้วิธีทางพันธุวิศวกรรม และสำหรับการให้ปุ๋ยนั้น การให้ปุ๋ยเหล็กทางใบจะสามารถเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดได้ (Frossard *et al.*, 2000) และในแนวทางที่สอดคล้องกัน Alam (1986) ทำการศึกษาถึงผลกระทบของธาตุเหล็กต่อปริมาณธาตุอาหารของข้าวพันธุ์ IR6 พบว่าวิธีการเพิ่มอัตราธาตุเหล็กทางใบ จะเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กให้แก่ลำต้นได้ดีกว่าการให้ทางดิน และนอกจากนั้นการเพิ่มอัตราเหล็กในดินมากขึ้นจะทำให้ ปริมาณธาตุเหล็กในพืชลดลงด้วย อีกทั้งจะทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในลำต้นลดลง แต่จะไม่มีผลถ้าให้เหล็กทางใบ ดังนั้นจึงสรุปว่าการให้ธาตุเหล็กแก่ข้าวทางใบจะมีประโยชน์มากกว่าการให้ทางดิน และองค์ประกอบของเหล็กที่จะให้แก่พืชนั้น จากผลของการศึกษาของ Khan *et al.* (1997) นั้นควรจะอยู่ในรูป Fe-EDTA, $FeSO_4$, $Fe(NO_3)_3$, $Fe_2(SO_4)_3$ หรือ Fe_2O_3 เนื่องจากสารประกอบเหล็กในรูปต่าง ๆ ดังกล่าวตอบสนองต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารได้ดีตามลำดับ ซึ่งพบว่า การใส่เหล็กจะทำให้ปริมาณธาตุเหล็ก ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มสูงขึ้น แต่จะทำให้ปริมาณฟอสฟอรัส คอปเปอร์ แมงกานีส และปริมาณสังกะสีในเมล็ดลดลง

2.3 บทบาทของธาตุไนโตรเจน ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางสรีระของพืช และคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนต่อมนุษย์

บทบาทของธาตุไนโตรเจนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางสรีระของพืช

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญของพืช พืชที่ขาดธาตุไนโตรเจน จะมีอาการใบเหลืองลำต้นแคระแกร็นและผลผลิตลดลง หน้าที่สำคัญของไนโตรเจนคือเป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ ในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ 4 อะตอม ทำหน้าที่รับพลังงานแสงอาทิตย์ มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และเมื่อมีไนโตรเจนไม่เพียงพอ จะเกิดอาการขาดไนโตรเจน เช่นใบเหลือง หรือ light green นอกจากนั้นผลการศึกษาของ Pumphrey *et al.* (1963) สรุปว่าในดินหินปูน (calcareous soil) ปุ๋ยไนโตรเจนมีประโยชน์ในการช่วยการดูดธาตุสังกะสี ของพืชมาก และยังมีการเคลื่อนย้ายเหล็กจากรากไปต้น ซึ่งต้องอาศัย riboflavin หากขาดไนโตรเจน การเคลื่อนย้ายดังกล่าวจะผิดปกติ เนื่องจากไนโตรเจนเป็นข้อจำกัดในการผลิต riboflavin

การขาดไนโตรเจนในพืช จะทำให้พืชไม่แข็งแรง ใบแก่เหลืองเนื่องจากขาดคลอโรฟิลล์ ในที่สุดก็จะแผ่กระจายไปทั้งต้น นอกจากนั้นยังจะทำให้หน้าใบมีสีม่วงคล้ำ แต่หากได้รับในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้ใบพืชเขียวเข้มในใบแรก และในอาการรุนแรงจะทำให้ใบแห้งและหลุดร่วงได้ ทำให้ระบบการทำงานของรากเสื่อม ยับยั้งการออกดอกและติดผล หรืออาจทำให้เปลี่ยนรูปร่างไป (Green Air Product hydroponic systems control company: http://www.greenair.com/interpri.html) ไนโตรเจนในรูป แอมโมเนียม (NH_4^+) ในปริมาณสูงสามารถเป็นพิษต่อพืชได้ โดยจะยับยั้งการเจริญเติบโต ตลอดจนขัดขวางต่อ carbohydrate metabolism (Haynes, 1986) และนอกจากนี้แล้ว ไนโตรเจนที่หลงเหลือตกค้างในดินซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไนเตรต (NO_3^-) สามารถเป็นโทษแก่พืช และไนเตรตที่ปนเปื้อนไปกับน้ำใต้ดิน หากรับประทานน้ำนั้นเข้าไปจะทำให้เกิดอันตรายแก่ทารกและเด็กที่อายุต่ำกว่า 1 ปี ทำให้เกิดอาการ methemoglobinemia หรือ blue baby syndrome เป็นอันตรายแก่ สมอง ปอด และหัวใจ (Nitrate Elimination Co., Inc. (NECi). http://www.nitrate.com/nitrate1.htm.) ในสัตว์จะมีอาการเฉื่อยชา เดินโซเซ หัวใจเต้นเร็ว และอาจตายภายใน 1-3 ชั่วโมง (Matt Poore, *et al.* http: //www.wvu.edu /~agexten/forglvst/Nitrdrot.htm.)

คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนต่อมนุษย์

โปรตีนเป็นสารอาหารชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อร่างกาย คนเราต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ โดยเฉพาะในเด็กวัยเจริญเติบโต มีความต้องการโปรตีนมากกว่าผู้ใหญ่ โปรตีนให้พลังงานแก่ร่างกาย โดย 1 กรัมของโปรตีนให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี ในหนึ่งวันร่างกายควรได้รับพลังงานจากโปรตีนประมาณ 15-20% ของพลังงานที่ได้รับทั้งหมด (คิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี) (Thai RDI) ดังนั้นจึงควรได้รับโปรตีน 75 กรัมต่อวัน นอกจากนั้นโปรตีนจะสร้างน้ำย่อย และเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ ฮอร์โมน น้ำมัน และสร้างภูมิคุ้มกัน ช่วยควบคุมปริมาณและรักษาสมดุลของน้ำในหลอดเลือด เนื้อเยื่อ และเซลล์ อีกทั้งโปรตีนยังช่วยรักษาสมดุลของกรดและด่างของร่างกาย (สมใจ, 2535) ปริมาณโปรตีนสำหรับคนไทย ที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน โดยทารกตั้งแต่แรกเกิดถึงหนึ่งขวบ ควรได้รับโปรตีนประมาณ 13-14 กรัมต่อวัน ปริมาณ 17-23 กรัมต่อวันสำหรับเด็กอายุตั้งแต่ 1-9 ขวบ เด็กอายุ 10-19 ปี เด็กชายจะต้องการโปรตีนมากกว่าเด็กหญิง โดยเด็กชายต้องการ 34-57 กรัมต่อวัน ในขณะที่เด็กหญิงต้องการ 37-49 กรัมต่อวัน ผู้ใหญ่เพศชายต้องการโปรตีนวันละ 51 กรัมต่อวัน ในขณะที่เพศหญิงต้องการ 44 กรัมต่อวัน แต่ในหญิงมีครรภ์ต้องการเพิ่มจากปกติ 7 กรัมต่อวัน และหญิงให้นมบุตรควรได้รับมากกว่าปกติ 14-19 กรัมต่อวัน (Thai RDI) แหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญได้จากทั้งสัตว์ ซึ่งมีคุณภาพดี ได้แก่ เนื้อสัตว์ต่าง ๆ ไข่ และนม และโปรตีนจากพืช ซึ่งโปรตีนจากพืชเป็นแหล่งโปรตีนที่ค่อนข้างมีคุณภาพ หาง่าย และราคาถูก ได้แก่ ถั่วเมล็ดแห้ง เช่นถั่งเหลือง ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วแดง ถั่วลิสง รวมทั้งธัญพืชต่าง ๆ เช่นข้าว เป็นต้น แต่สำหรับโปรตีนในข้าว เป็นโปรตีนที่ไม่สมบูรณ์ อีกทั้งในข้าวกล้องมีโปรตีนประมาณ 7-12 เปอร์เซ็นต์ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว แต่เมื่อมีการขัดสีจะทำให้โปรตีนสูญหายไปประมาณ 30% แต่สมใจ (2535) กล่าวว่าการบริโภคอาหารประเภทข้าวร่วมกับถั่วเมล็ดแห้งในสัดส่วนที่พอเหมาะ ก็จะได้โปรตีนที่สมบูรณ์เช่นกัน อย่างไรก็ตามเพื่อให้ร่างกายได้รับโปรตีนที่มีคุณภาพและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ควรกินโปรตีนจากพืชและสัตว์สลับกันไป

บุคคลที่เสี่ยงต่อการขาดสารอาหารประเภทโปรตีนได้แก่ ทารกและเด็กก่อนวัยเรียน โดยน้ำหนักตัวเด็กลดลง หรือไม่เพิ่มขึ้นเลย โดยไม่ปรากฏอาการเจ็บป่วยใด ๆ หรือตัวเล็กกว่าเด็กที่มีอายุเท่ากัน การขาดสารอาหารของเด็กวัยนี้ จะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตทั้งทางร่างกายและสมอง ทำให้ร่างกายแคระแกร็น สมองมีพัฒนาการช้า (กรมอนามัย, 2543 : http://www.anamai.moph.go.th/nutri/foodtable/Html/m5.htm)

2.4 บทบาทของธาตุเหล็กที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางสรีระของพืชและคุณค่าทางโภชนาการต่อมนุษย์

บทบาทของธาตุเหล็กที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางสรีระของพืช

เหล็กเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นธาตุอาหารรอง ที่พืชต้องการในปริมาณ ความเข้มข้นน้อยกว่า 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง เช่นเดียวกับ Mo Ni Cu Zn Mn B และ Cl ถึงแม้ว่าพืชจะต้องการธาตุเหล็กในปริมาณน้อยมาก เมื่อเทียบกับธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม แต่หากพืชขาดธาตุเหล็ก ก็จะก่อให้เกิดอาการ interveinal chlorosis โดยพืชจะมีอาการใบเหลืองคล้ายกับการขาดแมกนีเซียม แต่จะเกิดกับใบอ่อนก่อน (Green Air Product hydroponic systems control company: http://www.greenair.com/interpri.htm.) ต่อมาเส้นใบจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ในกรณีที่เกิดการขาดรุนแรง ใบอ่อนอาจจะมีสีขาวและมีสีน้ำตาล การขาดธาตุเหล็กจะระงับการสร้างคลอโรฟิลล์ ซึ่งอาจเนื่องจากเหล็ก เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ ที่กระตุ้นการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ (ดนัย, 2539) การขาดธาตุเหล็กนั้นมักพบว่า เกิดจากการที่ในดินมี pH ต่ำ ซึ่งจะส่งผลให้มีการปลดปล่อยธาตุเหล็ก แมงกานีสและอะลูมิเนียมในดิน ออกมามาก จนอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชได้ (เฉลิมพล, 2542) ทั้งนี้ Kawaguchi and Kyuma (1997) พบว่าในดินที่มี pH ต่ำจะทำให้ความเข้มข้นของเหล็กในรากและใบของทานตะวันลดลง และยังส่งผลให้ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในใบลดลงด้วย แล้วทำให้พืชแสดงอาการใบเหลือง และยังกล่าวต่อไปอีกว่าในดินที่มี pH ต่ำนั้น จะทำให้ปฏิกิริยาในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของธาตุเหล็กต่ำ นอกจากนั้น การที่ดินมี pH ต่ำ จะทำให้โพแทสเซียมต่ำด้วย และนั่นจะก่อให้เกิดการขาดแคลนโพแทสเซียม และความเป็นพิษของธาตุเหล็ก ซึ่งสอดคล้องกับ Von (1993) กล่าวไว้เช่นเดียวกันว่าความเป็นพิษของธาตุเหล็กจะเกิดเมื่อในดินมีโพแทสเซียม ฟอสฟอรัส และแมงกานีสในปริมาณต่ำ

คุณค่าทางโภชนาการของธาตุเหล็กต่อมนุษย์

เหล็กเป็นจุลธาตุที่สำคัญ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวพาออกซิเจน (O_2) จากปอดไปยังอวัยวะต่างๆ และแลกเปลี่ยน ของเสีย (CO_2) มากำจัดที่ปอด เหล็กเป็นส่วนประกอบของ hemoglobin ในเซลล์เม็ดเลือดแดง และ myoglobin ในกล้ามเนื้อ พร้อมทั้งเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด การขาดธาตุเหล็กจึงทำให้เป็นโรคโลหิตจาง (anemia) ในหญิงมีครรภ์ที่ขาดธาตุเหล็กอาจทำให้แท้งได้ หรือเด็กมีน้ำหนักแรกเกิดต่ำ นอกจากนั้นการขาดธาตุเหล็กในเด็กจะทำให้เด็กมีพฤติกรรมผิดปกติ มีประสิทธิภาพ การรับรู้ลดลง (Janet, Hunt. http://www.ars.usda.gov) ข้อมูลจากการสำรวจภาวะ

อาหารและโภชนาการ ของประเทศไทยครั้งที่ 4 พ.ศ. 2538 พบว่าภาวะโลหิตจาง พบมากในกลุ่มคนที่มีอายุมาก กว่า 60 ปี ซึ่งมีมากถึง 48.90% และเด็กที่อายุต่ำกว่า 5 ปี 25.20% และพบอีกว่าหญิงมีครรภ์มีภาวะโลหิตจาง มากที่สุด 22.30% ผลจากการสำรวจภาวะโลหิตจางจากการขาดธาตุเหล็กในหญิงมีครรภ์ในประเทศไทยปี 2536-2537 (ชัยและจรัล, 2543) พบว่าหญิงมีครรภ์มีภาวะพร่องเหล็กสะสม 17.2% ภาวะเหล็กในการสร้างเม็ดเลือดแดง 7.6% ภาวะโลหิตจางจากการขาดธาตุเหล็ก 21.3% และโลหิตจางจากสาเหตุอื่นๆ 15.6% ความชุกของภาวะโลหิตจางในหญิงมีครรภ์นั้น ในไทยปี 2531-2540 พบว่าในปี 2540 ประชากรทางภาคใต้มีเปอร์เซ็นต์ความชุก 17.3% ของภาวะโลหิตจางจากการขาดธาตุเหล็ก และในเด็กนักเรียนอายุ 6-14 ปี พบ 19.3% ซึ่งเป็นภาคที่มีภาวะโลหิตจางสูง

โดยทั่วไปแล้วคนปกติต้องการเหล็กประมาณ 10-15 มิลลิกรัม/วัน แต่สำหรับหญิงมีครรภ์ต้องการ เหล็กมากเป็น 40 มิลลิกรัม/วัน (กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณะสุข, 2538) ซึ่งสามารถได้รับจากอาหารที่รับประทานเข้าไปในแต่ละวัน อาหารประเภทเนื้อแดง เป็นแหล่งของธาตุเหล็กที่อุดมสมบูรณ์ และสามารถดูดซับ ได้ดี รองลงมาเป็นสัตว์ปีกและปลา ผัก พืชตระกูลถั่ว นัท ถั่วเหลือง และธัญพืช Senadhira *et al.* (1998) กล่าวถึงผลการสำรวจของกระทรวงสาธารณสุขของประเทศฟิลิปินส์ พบว่า 50% ของธาตุเหล็กที่คนบริโภคเข้าไปในร่างกายมาจากธัญพืช

ความเป็นพิษของเหล็กที่ร่างกายสะสมไว้มากเกินไป จะทำให้เกิด chronic disease เช่น มะเร็ง และหัวใจ ตลอดจน oxidative mechanism ซึ่งสามารถเกิดกับผู้ที่มี gene ผิดปกติ 1 ใน 300 รายของผู้ที่มี gene ดังกล่าวจะมีอาการ hemochromatosis และ 10% ของยีนแฝง (Janet, Hunt. http://www.ars.usda.gov)

2.5 ความสำคัญของธาตุไนโตรเจนและธาตุเหล็กต่อการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพการสีของข้าว

การเพิ่มผลผลิต

อัตราปุ๋ยไนโตรเจนมีผลต่อผลผลิตของข้าว โดยจากการศึกษาของ Lai *et al.* (1996) พบว่าระดับไนโตรเจนที่เหมาะสมที่ให้ผลผลิตข้าวสูงควรจะเป็น 90 และ 140 กก.ไนโตรเจน/เฮกตาร์ (14.4 และ 22.4 กก.ไนโตรเจน/ไร่) ในทำนองเดียวกับผลการศึกษาของ Yang *et al.* (1996) ข้าวจะให้ผลผลิตสูงสุดที่ระดับไนโตรเจน 225 กก.ไนโตรเจน/เฮกตาร์ (36 กก.ไนโตรเจน/ไร่) นอกจากนั้น Carreres *et al.* (2000) พบว่าในดินเหนียวร่วน (loamy clay) ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับ

ปุ๋ยไนโตรเจนจาก 0 จนกระทั่งถึง 100 กิโลกรัมไนโตรเจน/เฮกตาร์ (16 กก.ไนโตรเจน/ไร่) และการแบ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ระดับ 150 กก.ไนโตรเจน/เฮกตาร์ (24 กก.ไนโตรเจน/ไร่) ในครั้งที่สองในระยะที่ข้าวกำเนิดช่อดอก จะช่วยเพิ่มผลผลิต นอกจากนั้นผลการศึกษาของ Pathak *et al.* (1980) ที่อินเดียพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราไนโตรเจนจาก 0 เป็น 90 กก.ไนโตรเจน/เฮกตาร์ (14.4 กก.ไนโตรเจน/ไร่) ทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มจาก 2.3 ตัน/เฮกตาร์ (368 กก./ไร่) เป็น 4.58 ตัน/เฮกตาร์ (732.8 กก./ไร่) แต่ถ้าเพิ่มระดับไนโตรเจนมากถึง 120 กก.ไนโตรเจน/เฮกตาร์ (19.2 กก.ไนโตรเจน/ไร่) ผลผลิตข้าวจะไม่เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด และไนโตรเจนมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบผลผลิตดังนี้ ในการเพิ่มระดับปุ๋ยไนโตรเจนจาก 0 เป็น 70 150 และ 220 กก.ไนโตรเจน/เฮกตาร์ (11.2 24 และ 35.2 กก.ไนโตรเจน/ไร่) จะให้จำนวนหน่อที่มากที่สุด และเปอร์เซ็นต์การสร้างหน่อเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ (Won *et al.*, 1999) ซึ่งมีผลเป็นไปในทางเดียวกับผลการศึกษาของ Eitzen (1991) ที่พบว่าระดับไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้จำนวนหน่อต่อตารางเมตรของข้าวเพิ่มขึ้นตาม แต่จะมีผลทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรทที่ไม่ใช่ส่วนโครงสร้างของเซลล์ (Total nonstructural carbohydrates: NC) ของข้าวเมื่อเกี่ยวแล้วลดลง ไนโตรเจนจะเพิ่มจำนวนจำนวนรวงต่อกอหรือช่อดอก/กอให้สูงขึ้น แต่จะลดน้ำหนัก 1,000 เมล็ดลง (Lai *et al.*, 1996) เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Yang *et al.* (1996) ปุ๋ยไนโตรเจน จะทำให้เปอร์เซ็นต์ของข้าวเมล็ดดีในรวง แต่จะทำให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ดลดลง

ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างธาตุเหล็กและการเพิ่มผลผลิตข้าวนั้น Ishaque *et al.* (1982) พบว่าที่ระดับเหล็ก 50 ppm. ข้าวพันธุ์ BR4 ให้ผลผลิตเท่ากับ 4.72 ตัน/เฮกตาร์ (755 กก./ไร่) เมื่อเทียบกับการไม่ได้ใส่เหล็กที่ 3.43 ตัน/เฮกตาร์ (549 กก./ไร่) ซึ่งในทำนองเดียวกันในข้าว นาลุ่มในดินหินปูน Das *et al.* (1982) พบว่าการใส่เหล็กในรูปสารประกอบคีเลส ในแปลงเพาะกล้า จะทำให้น้ำหนักแห้งของราก ลำต้น และความยาวลำต้นเพิ่มขึ้น อีกทั้งการใส่ธาตุเหล็กเพียงอย่างเดียวหรือการใส่เหล็กร่วมกับแมงกานีสอย่างละ 15 กก.ของสารประกอบคีเลส/เฮกตาร์ (2.4 กก. ของสารประกอบคีเลส/ไร่) จะเพิ่มผลผลิตด้วย และนอกจากนั้นการให้ธาตุเหล็กจะเพิ่มความสูงของต้น เพิ่มขนาดใบ และจำนวนใบต่อต้น เพิ่มน้ำหนักแห้งของฟางและน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าว การใส่เหล็กจะทำให้การดูดธาตุเหล็ก แมงกานีส โซเดียม และไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้น แต่จะลดการดูดธาตุคอปเปอร์ลง (Agboola *et al.*, 1993) การให้ธาตุเหล็กนั้น Alam (1986) ศึกษาพบว่า การให้ $FeSO_4$ ปริมาณตั้งแต่ 0-30 ppm. ทางใบหรือ 10-50 ppm. ทางดินนั้นที่ 30 ppm.ของ $FeSO_4$ จากการให้ทางใบสามารถเพิ่มน้ำหนักแห้งจาก 1.43 เป็น 1.90 กรัม/แปลงทดลอง ในวันที่ 60 หลังปลูก เมื่อเทียบกับการให้ปุ๋ย $FeSO_4$ ทางดิน ซึ่งจะให้น้ำหนักลดลงจาก 1.65 เหลือ 1.40 กรัม/แปลงทดลอง และผลของการศึกษาของ Khan *et al.* (1997) นั้นพบว่าเหล็กช่วยเพิ่มความสูงของข้าว เพิ่มผลผลิตฟาง เพิ่ม

น้ำหนัก 1,000 เมล็ด เพิ่มจำนวนหน่อทั้งหมด และจำนวนหน่อที่สมบูรณ์ต่อแปลงทดลอง เมื่อเทียบกับการไม่ได้ใส่เหล็ก

การเพิ่มคุณภาพการสี

Nangju and De Datta (1970); Seetanum and De Datta (1973); Sajawan *et al.* (1990) รายงานพ้องกันว่าไนโตรเจนสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว และยังมีรายงานว่าโปรตีนในเยื่อหุ้มเมล็ดหรือรำ ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เมล็ดข้าวมีการแตกหักจากการสีน้อยลง เนื่องจากโปรตีนในเยื่อหุ้มเมล็ด (รำ) จะทำให้เมล็ดข้าวลดการแลกเปลี่ยนความชื้นกับบรรยากาศ (ตติยะ, 2538 อ้างโดยจิรวัฒน์, 2539) ซึ่ง Henderson (1954) กล่าวว่าการดูดและคายความชื้นจะชักนำให้เกิดรอยร้าวในเมล็ด กล่าวคือเมื่อผิวส่วนนอกเมล็ดดูดน้ำหรือได้รับอุณหภูมิสูงจนทำให้ผิวนอกของข้าวกล้องขยายตัวมากกว่าแรงดึงภายใน ในขณะที่ส่วนกลางเมล็ดไม่ยืดหยุ่น จะทำให้ผิวนั้นร้าวออก สอดคล้องกับ Kunze (1985); Srinivas *et al.* (1978); Sibenmorgen (1994) ที่กล่าวว่าความชื้นและอุณหภูมิจะก่อให้เกิดแรงเครียดและแตกร้าวของส่วนเอ็นโดเสปิร์ม (Endosperm) ในเมล็ดข้าว นอกจากนั้นแล้วการจัดการที่เหมาะสมสำหรับการดูดซึมไนโตรเจน เช่นการแบ่งใส่ไนโตรเจน (Ali *et al.*, 1992a) การเตรียมดินจะทำให้เพิ่มปริมาณโปรตีนและเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว (Ali *et al.*, 1992b) อีกทั้ง Seetanum and De Datta (1973) รายงานว่าการเก็บเกี่ยวข้าวในเวลาที่เหมาะสม ซึ่งขึ้นกับพันธุ์และระดับปุ๋ยไนโตรเจน จะทำให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว คุณภาพเมล็ดพันธุ์ และระดับโปรตีนในเมล็ดสูงที่สุด และจากรายงานของกิติยา และคณะ (2539); เครือวัลย์ และคณะ (2528) พบว่าเมื่อเก็บเกี่ยวช้ากว่าวันที่เหมาะสมที่สุด จะทำให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลง แต่จะไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร แต่จากผลการศึกษาของแขสุมาลย์ (2543) ไม่พบว่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และชัยนาท 1 แต่พบว่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวที่ได้รับการฉีดพ่นสารโพแทสเซียมไอโอไดด์มีสูงกว่าที่ไม่ได้รับการฉีดพ่น แต่อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาของ Perez *et al.* (1996) พบว่าผลกระทบของระดับไนโตรเจนที่ระยะออกดอก จะเพิ่มต้นข้าว และปริมาณโปรตีนขึ้นได้ 30-60% และระดับของไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ด้านบวกกับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวสาร และสังเกตพบความขุ่นของเมล็ดซึ่งคาดว่าระดับปุ๋ยไนโตรเจนสามารถเพิ่มคุณภาพการสี และคุณค่าทางโภชนาการได้