

อิทธิพลของปัจจัยก่อนเก็บเกี่ยวที่มีต่อระบบกำหนดคุณภาพการสีของข้าว

บทคัดย่อ

การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยก่อนเก็บเกี่ยวที่มีต่อคุณภาพการสีของข้าว โดยการวิเคราะห์ข้อมูลและสมมติฐานจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ร่วมกับการทดลองในแปลงปลูก ที่ศึกษาอิทธิพลของลักษณะทางกายภาพของเมล็ด สภาพภูมิอากาศ และปัจจัยการจัดการที่ได้แก่ อัตราปุ๋ยในโตรเจน และระยะเวลาการระบายน้ำ ต่อคุณภาพการสีของข้าว โดยดำเนินการทดลองที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระหว่างปี 2540-2542 แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลปัจจัยต่างๆ นั้นเกี่ยวข้องกับระบบสองระบบที่ต่อเนื่องและสัมพันธ์กัน คือ 1) การสะสมเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร ซึ่งเป็นกระบวนการสะสมน้ำหนักเมล็ด และขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางกายภาพเมล็ดข้าวเปลือกที่เป็นลักษณะทางพันธุกรรม และ 2) การกำหนดเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว จากองค์ประกอบข้าวสารที่มีโอกาสหักสูง ซึ่งประกอบด้วย ความยากง่ายของการหักเนื่องจากโครงสร้างเมล็ดที่สัมพันธ์กับรูปร่างเมล็ด และการเกิดท้องไข้เนื่องจากการสะสมแป้งไม่สมบูรณ์ที่สัมพันธ์กับข้อจำกัดการสะสมน้ำหนักเมล็ด ได้แก่ อุณหภูมิต่ำ เมล็ดอ่อนหรือที่ไม่สุกแก่เนื่องจากการสะสมน้ำหนักไม่สมบูรณ์ หรือมีความไม่สม่ำเสมอของเมล็ด และเมล็ดร้าวเนื่องจากการเกิดความเครียดจากการดูดความชื้นกลับเข้าเมล็ดเพื่อให้สมดุลกับความชื้นอากาศรอบเมล็ด โดยที่อัตราการหักเนื่องจากความเครียดจากความชื้นเมล็ดนี้ สัมพันธ์กับอัตราส่วนของเมล็ดที่สุกแก่ก่อน ซึ่งขึ้นอยู่กับความไม่สม่ำเสมอของการเจริญเติบโตของเมล็ดทั้งภายในรวงที่เป็นลักษณะพันธุกรรมร่วมกับสภาพแวดล้อม และความไม่สม่ำเสมอของการเกิดรวงในสภาพอุณหภูมิไม่เหมาะสม และปัจจัยการจัดการที่ได้แก่อัตราปุ๋ยในโตรเจน มีผลต่อการเพิ่มระดับการสะสมน้ำหนักเมล็ด และมีผลต่อการลดการหักของเมล็ด โดยเปอร์เซ็นต์ในโตรเจนในเมล็ดสัมพันธ์ทางบวกกับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว และการรักษาระดับน้ำในแปลงในช่วงเก็บเกี่ยวที่ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวสารแต่มีผลต่อการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว โดยมีผลต่อสภาพอากาศรอบเมล็ด และเปอร์เซ็นต์ในโตรเจนในเมล็ด

Pre-harvest Factors Determining Rice Milling Quality

ABSTRACT

The comprehensive explanation of how milling rice quality was determined by the pre-harvest factors was attempted by combining relevant information from the previous research works together with conducting field experiments at Chiang Mai University during 1997-1999 examining the roles of genetic, climatic and management factors (nitrogen fertilizer rate and drainage time) in determining milling quality components of lowland rice varieties grown in Northern Thailand.

The systems determining rice milling quality comprise of two main processes: accumulation of percent milled rice and determining percent head rice from percent milled rice and broken rice. Accumulation of percent milled rice depends on grain filling process and the genetic factors of potential grain weight and husk plus bran portion. Grain filling process is controlled by potential single grain weight, and grain filling stress due to temperature or nitrogen deficiency. Maximum milled rice is normally at maturity. Percent head rice determination process can be divided into head rice by maturity and after maturity. By maturity, the determining of percent of head rice from milled rice portions that susceptible to breakage during milling. These susceptible features are 1) grains of slender shape and internal susceptible structure 2) cracked grains caused by moisture stress of the low moisture grain portion depending harvesting time and maturity non-uniformity which depends on genotype, temperature stress and harvesting time, 3) immatured grains depending on harvesting time and non-uniformity 4) chalky grains caused by incomplete grain filling mainly due to temperature stress and genotype. The maturity non-uniformity. Maximum head rice is normally at maturity or before depending on non-uniformity and climatic factors especially rainfall. After maturity, percent head rice is the maximum head rice at maturity that is reduced by accumulation of potential broken grains caused by moisture - stressed crack formation. Broken rice percentage is reduced by increased percent grain nitrogen by optimum nitrogen fertilizer. Maintaining standing water at maturity appeared to increase maximum head rice probably probably dealing with grain nitrogen content and reducing temperature and moisture stress of grain.

คำนำ

คุณภาพการสีของข้าว (rice milling quality) ประกอบด้วย เปอร์เซ็นต์ข้าวสาร (percent milled rice) ที่เป็นส่วน endosperm ที่เป็นแป้ง ที่ได้จากการกระเทาะส่วนแกลบและสีเอาส่วนที่เป็นรำออก และ เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว (percent head rice) ที่หมายถึงเมล็ดข้าวสารที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 8 ใน 10 ของข้าวเต็มเมล็ด ตามมาตรฐานของไทย (กระทรวงพาณิชย์, 2540) หรือ 3 ใน 4 ส่วนตามมาตรฐานสหรัฐอเมริกา (IRRI, 1992) คุณภาพการสีเป็นองค์ประกอบที่มีบทบาทสำคัญอย่างมากในกำหนดราคาผลผลิตข้าวในตลาดสากล (Efferson, 1985) ในจำนวนข้าวเปลือกที่ประเทศไทยผลิตได้ปีละประมาณ 20-22 ล้านตันนั้น เป็นข้าวที่มีคุณภาพการสีต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ (กรมวิชาการเกษตร, 2539) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ข้าวเป็นสินค้าที่มีปัญหาทางการตลาด และให้ผลตอบแทนที่ต่ำกับเกษตรกรผู้ผลิต

เปอร์เซ็นต์ข้าวสารนั้นเป็นผลของกระบวนการสะสมน้ำหนักเมล็ด และสัมพันธ์กับลักษณะทางโครงสร้างของเมล็ดที่เป็นลักษณะทางพันธุกรรม ได้แก่ รูปร่าง ขนาด และน้ำหนักสูงสุดของเมล็ด (Yoshida, 1981; Jongkaewwattana, 1990) และเปลือกหุ้มเมล็ดข้าว หรือแกลบ และ สัตว์ส่วนผิวของข้าวกล้องที่ประกอบด้วยชั้นของ pericarp, seed coat หรือ tegment และ aleurone layer และขนาดของคัพภะ (embryo) และส่วน endosperm บางส่วน ที่จะถูกขัดออกไปเป็นรำในการสี เพื่อให้ได้ข้าวสารสีขาวตามมาตรฐานของตลาด (Juliano and Bechtel, 1985; Srinivas and Bhashyam, 1985) ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสะสมน้ำหนักเมล็ด ที่ได้แก่ อุณหภูมิ (Fujita *et al.*, 1984; Bangwaek *et al.*, 1994) และพลังงานแสง (Yoshida and Hara, 1977; Ahmed *et al.*, 1990) โดยอาหารสะสมในเมล็ดที่เป็นแป้งและสารประกอบอื่นๆ ในเมล็ดข้าวสารนั้นเกือบทั้งหมดมาจากสารอาหารที่สร้างโดยใบ ที่สร้างภายหลังจากออกดอก (Tsunoda and Takahashi, 1984) ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของการสร้างต้นและใบตั้งแต่ระยะแรกด้วย จากรายงานการสำรวจผลผลิตข้าวทั่วโลกพบว่าเปอร์เซ็นต์ข้าวสารส่วนใหญ่มีช่วงไม่ห่างกันมากคืออยู่ในช่วง 60-73 เปอร์เซ็นต์ (Palapac, 1982)

เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวนั้นบอกถึงระดับการแตกหักของข้าวสารเต็มเมล็ดเมื่อผ่านการขัดขาว และมีค่าแปรปรวนมากกว่าเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 25-55 เปอร์เซ็นต์ (IRRI, 1992; Juliano *et al.*, 1992) จึงมีบทบาทในการกำหนดคุณภาพการสีมากกว่าโดยข้าวหักมีราคาเพียงครึ่งหนึ่งหรือน้อยกว่าของข้าวเต็มเมล็ดหรือต้นข้าว (Wadsworth, 1994;

Siebenmorgen, 1994) มีรายงานวิจัยหลายงานรายงานว่าโอกาสแตกหักของเมล็ดข้าวนั้นสัมพันธ์กับองค์ประกอบหลายอย่าง ได้แก่ ขนาดและรูปร่างของเมล็ด (IRRI, 1992; Juliano *et al.*, Mattews *et al.*, 1970; Somrith, 1976; Goodman and Rao, 1985) สัดส่วนเมล็ดที่เป็นท้องไข (chalkiness) หรือลักษณะขุนขาวในเมล็ดที่เกิดจากการที่แป้งจับตัวกันไม่แน่นในเอ็นโดสเปิร์ม (Bangwaek, 1994; เครือวัลย์ และคณะ, 2538 ข) มีรายงานว่าควบคุมโดยพันธุกรรมหลายลักษณะ (Kamijima, 1997; จารุวรรณ และ ประโยชน์, 2542) ที่สัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิ (เครือวัลย์ และคณะ 2538ข; Yoshida and Hara, 1977; Bangwaek, 1994) รวมทั้งอัตราปุ๋ยไนโตรเจน (Tashiro and Ebata, 1979; Srinivas and Bhashyam, 1985; บุญลักษณ์และคณะ, 2517) และอัตราการเกิดรอยร้าวของเมล็ดข้าวกล้องก่อนกระเพาะเมล็ดออก อันเนื่องมาจากความเครียดในเมล็ดที่เกิดจากความแตกต่างของความชื้นภายในเมล็ดกับความชื้นภายนอก (Kondo and Okamura, 1929 (อ้างโดย Rhind, 1962); Kunze, 1985; ไผตรี, 2541) ที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะพันธุกรรมโครงสร้างเมล็ด และอัตราเร็วการดูดน้ำและคายน้ำของเมล็ด (Srinivas and Bhashyam, 1985; Siebenmorgen and Jindal, 1986; Kunze and Calderwood, 1985)

การเกิดรอยร้าวเนื่องจากความเครียดดังกล่าวนี้สัมพันธ์กับระยะเวลาเก็บเกี่ยวและระดับความชื้นเมล็ด (Huysmans, 1965; Seetanun and De Datta, 1973; กิตติยาและคณะ, 2539; เครือวัลย์ และคณะ, 2528) และสัมพันธ์กับระดับความไม่สม่ำเสมอของการสุกแก่ของเมล็ด (non-uniformity of maturity) อันเนื่องมาจากประชากรเมล็ดข้าวในแปลงมีระยะพัฒนาการต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพการสีในระยะเวลาหนึ่งอย่างมาก โดยทำให้ที่เวลาหนึ่งๆ จะมีทั้งข้าวเมล็ดที่ยังอ่อน ความชื้นสูง และสะสมน้ำหนักยังไม่เต็มที่ และมีเมล็ดที่สุกแก่ก่อน จะมีความชื้นต่ำ และมีการดูดความชื้นกลับ จนทำให้เกิดรอยร้าว และทำให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลง (Matsubayashi *et al.*, 1965; Kunze, 1985; Jongkaewwattana *et al.*, 1993; Steffe *et al.*, 1980; Siebenmorgen, 1994)

ปัจจัยการจัดการหลายอย่างที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว งานวิจัยหลายงานที่รายงานว่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราปุ๋ยไนโตรเจน (บุญลักษณ์ และคณะ, 2517; Nangju and De Datta, 1970; Seetanun and De Datta, 1973; Sajawan *et al.*, 1990; Jongkaewwattana, 1990) และพบว่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการระบายน้ำออกจากแปลงก่อนเก็บเกี่ยว (วิวัฒน์ และคณะ, 2531; Counce *et al.*, 1990; De Datta, 1981; Jongkaewwattana, 1990; Steffe *et al.*, 1980)

ความรู้ที่เกี่ยวกับปัจจัยต่างๆ ในระดับแปลงปลูกหรือก่อนเก็บเกี่ยว ที่สัมพันธ์กับคุณภาพการสี ที่หลากหลายดังกล่าวมาแล้วนี้ ได้นำมาเป็นพื้นฐานของการวางแผนการดำเนินการทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐานและศึกษาปัจจัยที่สำคัญ ๆ ที่สัมพันธ์กับคุณภาพการสีของข้าวที่ปลูกใน

พื้นที่ภาคเหนือของไทย เพื่อให้สามารถเชื่อมโยงความรู้ความเข้าใจระบบของความสัมพันธ์และอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ก่อนการเก็บเกี่ยว กับผลคุณภาพการสี และสร้างเป็นภาพรวม ที่ทำให้เข้าใจถึง กระบวนการ ทิศทางและระดับของการเปลี่ยนแปลง ที่เกิดขึ้นกับองค์ประกอบต่าง ๆ ที่กำหนดศักยภาพคุณภาพการสีก่อนการเก็บเกี่ยวทั้งระบบ เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจ และการลำดับความสำคัญของปัญหาของคุณภาพการสีของข้าวที่ในสภาพเงื่อนไขปัจจัยการผลิตรูปแบบต่าง ๆ และเป็นแนวทางพัฒนาระบบที่เชื่อมโยงได้กับระบบการสร้างผลผลิต และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว ตลอดจนระบบวิเคราะห์การตลาดของสินค้าข้าว ซึ่งจะเป็นแนวทางการพัฒนางานวิจัยและการผลิตข้าวของเกษตรกรได้อย่างครบทั้งระบบ และอย่างมีทิศทางที่ถูกต้อง แนวทางหนึ่ง

วิธีการศึกษา

ทำการศึกษาโดยวางแผนการทดลองในแปลงปลูก ให้ครอบคลุมปัจจัยสำคัญต่าง ๆ ในระบบการปลูกข้าวที่มีงานวิจัยรายงานงานว่า สัมพันธ์กับคุณภาพการสี การทดลองในแปลงปลูกที่แบ่งเป็น 2 ส่วนคืองานศึกษาอิทธิพลของปัจจัยทางพันธุกรรมและปัจจัยภูมิอากาศกับคุณภาพการสี และงานศึกษาอิทธิพลของปัจจัยการจัดการ ดำเนินการในปี 2540-2542 ที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ดังมีรายละเอียดการดำเนินการดังต่อไปนี้

ก. การวางแผนงานทดลอง

1. งานศึกษาอิทธิพลของปัจจัยทางพันธุกรรมและปัจจัยภูมิอากาศ

การทดลอง 1.1 ศึกษาอิทธิพลของวันปลูกกับคุณภาพการสี

วางแผนแบบ Split-plot 3 ซ้ำ มี main plot เป็น วันปลูก 12 วันปลูกระยะห่างกันประมาณ 1 เดือน และ subplot เป็นพันธุ์ข้าว 4 พันธุ์ คือ ขาวดอกมะลิ 105 เหนียวสันป่าตอง ชัยนาท 1 และ ข้าวญี่ปุ่น ก.ว.ก.1 (ชาซานิซิกิ) ซึ่งเป็นการวางแผนเก็บข้อมูลด้านคุณภาพการสีร่วมกับงานทดลองเพื่อศึกษาการประเมินสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมในการใช้แบบจำลอง CERES-Rice 3.5 และการทดสอบการตอบสนองต่อสภาพภูมิอากาศของข้าว 4 พันธุ์ ที่รายงานใน จิรวัดณ์ (2544 ก) โดยปักดำครั้งแรกวันที่ 24 มิถุนายน 2540 และครั้งสุดท้ายวันที่ 24 พฤษภาคม 2541 ใช้อายุกล้า 25-30 วัน สำหรับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เหนียวสันป่าตอง และชัยนาท 1 และ 16-20 วันสำหรับข้าวพันธุ์ ก.ว.ก.1 (ชาซานิซิกิ). โดยจัดการน้ำให้ขังตลอดฤดูปลูก ให้อยู่ในอัตราที่เหมาะสม และควบคุมป้องกันกำจัดศัตรูพืชในระดับเหมาะสม (วันที่ปักดำ และอายุกล้าของทั้ง 12 วันปลูก แสดงในตารางภาคผนวก 1)

การทดลอง 1.2 ศึกษาลักษณะพันธุกรรมของข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงบางพันธุ์กับคุณภาพการสี

วางแผนแบบ Randomized complete block จำนวน 4 ซ้ำ โดยศึกษาพันธุ์ชัยนาท 1 กข 25, แพร่ 1 และ ก.ว.ก.1 สำหรับงานทดลองในปี 2540 และ พันธุ์ กข 25, แพร่ 1 สุพรรณบุรี 60 และ กข 23 ในปี 2541 โดยปี 2540 ปักดำวันที่ 10 มีนาคม 2540 อายุกล้า 30 วัน (ยกเว้น ก.ว.ก.1 อายุกล้า 20 วัน) และในปี 2541 ปักดำ 13 มีนาคม 2541 อายุกล้า 25 วัน โดยการจัดการดูแลข้าวในแปลงปลูก ทำนองเดียวกับการทดลอง 1.1

2. งานศึกษาอิทธิพลของปัจจัยการจัดการ

การทดลอง 2.1 การทดสอบอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจน การให้น้ำ และพันธุกรรม กับคุณภาพการสี

วางแผนแบบ Split-split plot จำนวน 3 ซ้ำ โดย main plot เป็นสภาพการให้น้ำคือ ให้น้ำตลอดฤดูปลูก และไม่ให้น้ำหรืออาศัยน้ำฝน subplot เป็นพันธุ์ข้าว มี 2 พันธุ์ คือขาวดอกมะลิ 105 และ ชัยนาท 1 และ sub-subplot เป็นอัตราปุ๋ยไนโตรเจน (0, 45, 90 และ 135 กก.N/เฮกตาร์ ในปี 2541 และ 0, 70, 140 และ 210 กก.N/เฮกตาร์ในปี 2542) ให้ปุ๋ยฟอสฟอรัส 50 กก.P₂O₅/เฮกตาร์ และโพแทสเซียม 50 กก.K₂O/เฮกตาร์ และดูแลรักษาข้าวอย่างอื่น ๆ ในระดับดี โดยปักดำวันที่ 19 สิงหาคม ในปี 2541 อายุกล้า 27 วัน และ ปักดำวันที่ 13 สิงหาคม ในปี 2542 อายุกล้า 25 วัน

การทดลอง 2.2 การศึกษาระยะเวลาระบายน้ำ และพันธุ์ กับคุณภาพการสี

วางแผนการทดลองแบบ Split plot จำนวน 3 ซ้ำ โดย main plot เป็นพันธุ์ข้าว 2 พันธุ์คือ ขาวดอกมะลิ 105 และชัยนาท 1 สำหรับปี 2540 และ กข 25 และ ชัยนาท 1 สำหรับปี 2541 และ subplot เป็น ระยะเวลาระบายน้ำ 4 เวลา คือ หลังระยะออกดอก 80 เปอร์เซ็นต์ 1, 2 และ 3 สัปดาห์ และ ชั่งน้ำตลอด ให้ปุ๋ยฟอสฟอรัส 50 กก.P₂O₅/เฮกตาร์ และปุ๋ยโพแทสเซียม 50 กก. K₂O/เฮกตาร์ ขณะเตรียมแปลงก่อนปักดำ ให้ปุ๋ยไนโตรเจน 90 กก.N/เฮกตาร์ โดยแบ่งใส่ครึ่งหนึ่งพร้อมปักดำ และอีกครึ่งหนึ่งที่ระยะเกิดรวง การดูแลรักษาแปลงปลูกทั่วไปอื่นๆให้อยู่ในระดับดี โดยปักดำข้าว 5 กันยายน ด้วยกล้าอายุ 25 วัน ในปี 2540 และ 6 กรกฎาคม ด้วยกล้าอายุ 28 วัน ในปี 2541

ข. การเก็บข้อมูล

สำหรับทั้ง 4 การทดลอง บันทึกวันออกดอก และระยะสุกแก่ของเมล็ด เก็บตัวอย่างต้นข้าวทุก 3-4 วัน ตั้งแต่เริ่มสะสมน้ำหนักเมล็ด จนถึง 30 วันหลังสุกแก่ 80 เปอร์เซ็นต์ โดยเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวแต่ละแปลงจากพื้นที่ 1 x 1 เมตร เพื่อหาผลผลิต พร้อมทั้ง เก็บตัวอย่าง 2 กอเพื่อหาความชื้นเมล็ดโดยวิธี oven dry และรายงานเปอร์เซ็นต์ความชื้นแบบฐานเปียก (wet basis) คือสัดส่วนของน้ำหนักน้ำในเมล็ดต่อน้ำหนักเมล็ดตั้งต้นก่อนทำให้น้ำระเหย และหาองค์ประกอบผลผลิตที่ได้แก่ น้ำหนักเมล็ดดี 100 เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบต่อรวง เมล็ด และจำนวนรวง

จากตัวอย่างข้าวเปลือกพื้นที่ 1 x 1 เมตรที่ซังน้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือกและวัดความชื้นขณะซังแล้ว เก็บไว้ในที่แห้งอุณหภูมิห้อง จนเมล็ดมีความชื้นประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ สุ่มตัวอย่าง 150 กรัมเพื่อนำไปหาเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้อง โดยใช้เครื่องกระเทาะเมล็ดข้าวเปลือก (เจ๊กเซ่งฮวด, 2541) ใช้ตัวอย่างข้าวกล้อง 100 กรัมเพื่อหาและหาเปอร์เซ็นต์ข้าวสารโดยเครื่องขัดขาว ที่ใช้เวลาขัด 25 วินาที (เจ๊กเซ่งฮวด, 2541) และทำการแยกตัวอย่างข้าวสารเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวด้วยเครื่องคัดข้าวสาร (เจ๊กเซ่งฮวด, 2541)

การทดลอง 1.1 และ 1.2 หาเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องที่มีรอยร้าวโดยการใช้แว่นขยายส่อง จากการสุ่มตัวอย่างละ 100 เมล็ด วัดความยาว ความกว้าง และความหนาของข้าวเปลือก และข้าวกล้อง โดย micrometer สำหรับค่า รูปร่างเมล็ด เท่ากับอัตราส่วนความยาวส่วนความกว้าง และปริมาตรเมล็ดประมาณโดยปริมาตรของวัตถุรูป ellipsoid volume = $\text{Pi}/6 \times \text{ความยาว} \times \text{ความกว้าง} \times \text{ความหนา}$ (Jongkaewwattana, 1990) วัดเปอร์เซ็นต์เมล็ดที่มีท้องไขจากตัวอย่าง 100 เมล็ด ค่าความแข็งของเมล็ดข้าวกล้อง (grain hardness) สุ่มตัวอย่างละ 20 เมล็ด วัดโดยเครื่องวัดความแข็งเมล็ด (Lijuan, 1995)

สำหรับการทดลอง 2.1 ที่ศึกษาอัตราปุ๋ยไนโตรเจน วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน (โดยวิธี Kjeldahl) ของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และแกลบ

สำหรับการทดลอง 2.2 ที่ศึกษาระยะเวลาระบายน้ำ วัดความชื้นสัมพัทธ์รายวัน โดยใช้โครมิเตอร์แบบตุ้มแห้ง-เปียก (wet-dry bulb psychrometer) ระดับรวงข้าวในแปลงปลูกของแต่ละแปลงย่อย

ค.. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลของตัวแปรต่างๆ ที่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาทางสถิติ ที่ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดย least significant difference test (LSD) และวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (correlation analysis)

การรายงานผลการวิจัยของการศึกษาในงานวิจัยนี้ไม่ได้แยกอธิบายและวิเคราะห์ผลตามหัวข้องานทดลอง แต่นำผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลระยะสุกแก่ ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของตัวแปรต่างๆ ร่วมกับผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มาเชื่อมโยง และอธิบายกระบวนการที่กำหนดเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร และเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว ให้เป็นภาพรวมของระบบของปัจจัยก่อนเก็บเกี่ยวต่างๆ ที่ร่วมกันกำหนดคุณภาพการสี

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. เปอร์เซ็นต์ข้าวสาร

การวิเคราะห์ทางสถิติของการทดลอง 1.1 ที่ปลูกข้าว 4 พันธุ์ ที่ได้แก่ข้าวดอกมะลิ105 เหนียวสันป่าตอง ชัยนาท 1 และก.วก. 1 ที่วันปลูก 12 วันปลูก ของตัวแปรในระยะสุกแก่ แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ข้าวสารมีความแตกต่างกันทั้งระหว่างพันธุ์ วันปลูก และปฏิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับวันปลูก ทำนองเดียวกับผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตอื่นๆ น้ำหนัก 100 เมล็ด (ตาราง 1 และ ตาราง 2) กระบวนการและปัจจัยที่กำหนดเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร อธิบายได้จากการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยพันธุกรรมที่ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพเมล็ด อิทธิพลของวันปลูกหรือภูมิอากาศ และปัจจัยการจัดการ ที่ได้แก่การใช้ปุ๋ยในโตรเจน ดังนี้

1.1 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ด

การวิเคราะห์ทางสถิติของการทดลอง 12 วันปลูก (ตาราง 1) พบว่าตัวแปรที่เกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพเมล็ด ได้แก่ ความกว้าง ความยาว และ รูปร่าง (ความยาว/ความกว้าง)ของเมล็ด ข้าวกล้อง ไม่มีความแตกต่างระหว่างวันปลูกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า ลักษณะเหล่านี้เป็นลักษณะทางพันธุกรรมและไม่เปลี่ยนแปลงโดยอิทธิพลของวันปลูกหรือสภาพภูมิอากาศในรอบปี ทำนองเดียวกับที่ได้เคยมีรายงานในงานวิจัยหลายงาน (Yoshida, 1980; Juliano and Bechtel, 1985; สมพร, 2532; สุพัตรา และคณะ, 2537)

การทดสอบสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่ได้จากการทดลองปลูกข้าว 4 พันธุ์ (ข้าวดอกมะลิ105 เหนียวสันป่าตอง ชัยนาท 1 และก.วก. 1 ที่ปลูก 12 วันปลูก (ตาราง 3) พบว่าเปอร์เซ็นต์ข้าวสารมีสหสัมพันธ์กับ น้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้อง ที่เป็นองค์ประกอบใกล้เคียงที่สุดที่กำหนดเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ ความหนา ความกว้าง และปริมาตรเมล็ดข้าวกล้อง แต่มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับความยาว และรูปร่างข้าวกล้อง ทำนองเดียวกับที่รายงานโดย Jongkaewwattana (1990)

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์เฉพาะพันธุ์ข้าวชนิดเมล็ดยาว (>7.0 มม. (Webb, 1980)) 3 พันธุ์ (ข้าวดอกมะลิ 105 เหนียวสันป่าตอง และชัยนาท 1) 12 วันปลูก โดยไม่รวมพันธุ์ข้าวญี่ปุ่น ก.วก.1 ที่เป็นข้าวเมล็ดสั้น (5.2 มม.) และมีเปอร์เซ็นต์ข้าวสารสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ (ตาราง 2) พบว่า เปอร์เซ็นต์ข้าวสารของข้าวทั้งสามพันธุ์นั้น มีสหสัมพันธ์ทางบวกกับน้ำหนักเมล็ด เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้อง เช่น

ตาราง 1 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของ ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต % ข้าวสาร ลักษณะเมล็ด
ของข้าวขาวดอกมะลิ105 เหนียวสันป่าตอง ชัยนาท 1 และก.วก.1 12 วันปลูก

ตัวแปร	วันปลูก	พันธุ์	วันปลูก x พันธุ์	CV(%)
ผลผลิต	**	**	**	15.3
น้ำหนักทั้งต้น	**	**	**	18.0
จำนวนรวง/ ตารางเมตร	**	**	**	17.4
จำนวนคอกย่อย/รวง	**	**	**	22.2
% เมล็ดลีบ	**	ns	**	20.8
น้ำหนัก 100 เมล็ด	**	**	**	1.9
% ข้าวกล้อง	**	**	**	1.9
% ข้าวสาร	**	**	**	1.1
ความหนา (ข้าวกล้อง)	*	**	ns	3.5
ความกว้าง (ข้าวกล้อง)	ns	**	*	6.0
ความยาว (ข้าวกล้อง)	ns	**	*	3.4
รูปร่าง (ข้าวกล้อง)	ns	**	*	6.8

* มีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ** มีนัยสำคัญที่ระดับ .01 ns ไม่มีนัยสำคัญ

ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร ของข้าว 4 พันธุ์ 12 วันปลูก ม.เชียงใหม่ 2540-41

วันปักดำ	% ข้าวสาร			
	ขาวดอกมะลิ105เหนียวสันป่าตอง	ชัยนาท 1	ก.วก.1	
21-มี.ย.-97	65.2	64.8	67.0	69.4
23-ก.ค.-97	65.7	66.0	66.0	70.0
25-ส.ค.-97	65.3	65.5	66.2	69.1
25-ก.ย.-97	63.6	62.9	66.1	70.1
24-ต.ค.-97	63.8	62.7	66.2	69.6
24-พ.ย.-97	63.0	60.1	66.0	68.6
24-ธ.ค.-97	63.8	61.7	65.0	68.4
23-ม.ค.-98	63.5	60.4	65.3	68.0
24-ก.พ.-98	65.0	64.5	65.2	68.8
24-มี.ค.-98	65.4	64.7	65.6	67.2
24-เม.ย.-98	65.0	64.5	65.6	67.2
25-พ.ค.-98	64.8	64.2	66.9	68.1

LSD .05 (พันธุ์ x วันปลูก) 1.20

ตาราง 3 สหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญ (.05) ของตัวแปรที่สัมพันธ์กับ เปอร์เซ็นต์ข้าวสาร
ข้าว 4 พันธุ์ (ข้าวดอกมะลิ105, เหนียวสันป่าตอง, ชัยนาท1, ก.วก.1) 12 วันปลูก

	GY	TMY	HI	Pan #	SPK	UFG	GW	THI	WID	LEN	SHA	VOL	DEN	%BW	%MR
GY	1.00														
TMY	0.60	1.00													
HI	0.28	-0.54	1.00												
Pan #				1.00											
SPK	0.51	0.44		-0.62	1.00										
UFG	-0.68	-0.40	-0.25		-0.27	1.00									
GW	0.45		0.36			-0.23	1.00								
THI				0.33	-0.38			1.00							
WID				0.31	-0.30			0.86	1.00						
LEN	0.29	0.25		-0.30	0.42			-0.86	-0.82	1.00					
SHA				-0.30	0.36			-0.89	-0.95	0.94	1.00				
VOL							0.40	0.68	0.80	-0.36	-0.62	1.00			
DEN							0.25	-0.40	-0.56		0.42	-0.73	1.00		
%BW			0.28				0.47	0.66	0.62	-0.52	-0.60	0.55		1.00	
MR			0.32				0.56	0.69	0.65	-0.58	-0.62	0.52		0.80	1.00

หมายเหตุ :

GY	grain yield	GW	grain weight	DEN	density
TMY	Total dry matter	THI	thick (brown rice)	%BW	%brownrice
HI	harvest index	WID	width	%MR	% milled rice
Pan #	Panicle density	LEN	length		
SPK	SPK/PAN	SHA	shape(leng/wid.)		
UFG	%unfilled grain	VOL	volume		

ตาราง 4 สหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญ(.05) ของตัวแปรต่าง ที่สัมพันธ์กับ เปอร์เซ็นต์ข้าวสาร
เฉพาะข้าวเมล็ดยาว 3 พันธุ์ (ข้าวดอกมะลิ105, เหนียวสันป่าตอง, ชัยนาท1) 12 วันปลูก

	GY	TMY	HI	Pan #	SPK	UFG	GW	THI	WID	LEN	SHA	VOL	DEN	%BW	%MR
GY	1.00														
TMY	0.57	1.00													
HI	0.27	-0.58	1.00												
Pan #				1.00											
SPK	0.52	0.38		-0.61	1.00										
UFG	-0.69	-0.45			-0.36	1.00									
GW	0.57		0.32		0.30		1.00								
THI								1.00							
WID								0.41	1.00						
LEN	0.39		0.46				0.58			1.00					
SHA			0.33					-0.33	-0.83	0.57	1.00				
VOL	0.33					-0.27	0.47	0.64	0.82	0.45	-0.43	1.00			
DEN							0.26	-0.57	-0.72			-0.69	1.00		
%BW	0.41				0.36	-0.27	0.49	0.13		0.52		0.42		1.00	
%MR	0.47		0.33		0.34	-0.35	0.66			0.55		0.30	0.25	0.60	1.00

หมายเหตุ :

GY	grain yield	GW	grain weight	DEN	density
TMY	Total dry matter	THI	thick (brown rice)	%BW	%brownrice
HI	harvest index	WID	width	%MR	% milled rice
Pan #	Panicle density	LEN	length		
SPK	SPK/PAN	SHA	shape(leng/wid.)		
UFG	%unfilled grain	VOL	volume		

เดียวกัน แต่มีสหสัมพันธ์ทางบวกกับความยาวและปริมาตรเมล็ด (ตาราง 4) ซึ่งตรงกันข้ามกับการวิเคราะห์ที่รวมพันธุ์ ก.วก.1 ไว้ด้วย

ทำนองเดียวกัน การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของข้าว 8 พันธุ์ ที่เป็นข้าวเมล็ดยาวไม่ไวต่อช่วงแสง 5 พันธุ์ ได้แก่ ชัยนาท 1 กข 25 แพร่ 1 กข 23 และสุพรรณบุรี 60 และข้าวเมล็ดสั้น 1 พันธุ์ ได้แก่ ก.วก 1 (จากการทดลอง 1.2) และข้าวเมล็ดยาวที่ไวต่อช่วงแสง 2 พันธุ์ ที่ ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 เหนียวสันป่าตอง (งานทดลอง 1.1 เฉพาะที่ปลูกในเดือนสิงหาคม) พบว่า เปอร์เซ็นต์ข้าวสาร มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับ เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้อง ความกว้าง ความหนา และปริมาตรของเมล็ด (ตาราง 5)

เมื่อวิเคราะห์เฉพาะข้าวพันธุ์เมล็ดยาว 7 พันธุ์ที่ไม่รวม ก.วก.1 (ตาราง 6) ก็พบว่าเปอร์เซ็นต์ข้าวสารสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักเมล็ด เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้อง แต่มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับความยาว และรูปร่างเมล็ด และมีสหสัมพันธ์เชิงลบกับความหนาและความกว้างเมล็ด

ดังนั้นการที่พบว่าเมื่อรวมข้าวญี่ปุ่น ก.วก.1 ที่เป็นพันธุ์ที่มีเมล็ดสั้นเข้าในการวิเคราะห์หาค่าสหสัมพันธ์ร่วมกับข้าวเมล็ดยาว จะพบสหสัมพันธ์กับรูปร่างเมล็ดที่ตรงกันข้ามกันกับเมื่อวิเคราะห์เฉพาะข้าวพันธุ์เมล็ดยาวด้วยกัน เนื่องจาก ก.วก.1 มีลักษณะทางกายภาพเมล็ดที่แตกต่างจากพันธุ์เมล็ดยาวอื่นๆ ที่ทดสอบอย่างชัดเจน คือมีขนาดเมล็ดสั้น แต่มีปริมาตรมากเนื่องจากมีความกว้างและความหนาที่มาก และมีเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องและเปอร์เซ็นต์ข้าวสารสูงกว่าข้าวเมล็ดยาวพันธุ์อื่นๆ ที่ศึกษา (ตาราง 7) ทำให้ค่าตัวแปรของ ก.วก. 1 มีบทบาทในสหสัมพันธ์มากกว่าค่าตัวแปรของข้าวเมล็ดยาว ซึ่งผลของสหสัมพันธ์นี้สอดคล้องที่ Jongkaewwattana (1990) รายงานในการศึกษาสหสัมพันธ์ของข้าวที่ประกอบด้วยพันธุ์ที่เมล็ดมีขนาดสั้น กลาง และยาว

ดังนั้นสำหรับกลุ่มพันธุ์เมล็ดยาวนั้น เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องและข้าวสารมากขึ้นเมื่อเมล็ดมีความยาวมากขึ้น สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยตาราง 7 นอกจากนี้ เปอร์เซ็นต์ข้าวสาร และเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องของข้าวเมล็ดยาวก็เพิ่มตามน้ำหนัก 100 เมล็ดด้วย ยกเว้นพันธุ์แพร่ 1 ที่แม้ว่ามีน้ำหนักเมล็ดมาก แต่ก็มีปริมาตรมาก และความหนาแน่นน้อย ทำให้มีเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องและข้าวสารต่ำ (ตาราง 7) แสดงให้เห็นว่า เปอร์เซ็นต์ข้าวสารไม่ได้ขึ้นอยู่กับน้ำหนัก 100 เมล็ดข้าวเปลือกอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับสัดส่วนของแกลบ และผิวข้าวกล้อง ที่อาจไม่สัมพันธ์กับความยาวเมล็ด ก็ได้

1.2 อิทธิพลของวันปลูก

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง 1.1 ที่ปลูกข้าว 4 พันธุ์ 12 วันปลูก (ตาราง 1) แสดงให้เห็นว่า มีอิทธิพลของปฏิกริยาร่วมกันระหว่างพันธุ์กับวันปลูก ต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวสารที่ระยะสุกแก่ และมีความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ข้าวสารที่ระยะสุกแก่แต่ละวันปลูกของข้าวแต่ละ

ตาราง 5 สหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญ (.05) , ข้าว 6 พันธุ์ (ชัยนาท1, กข23, กข25,สุพรรณ60, ก.ว.ก.1, แพร่1)

ปีการค้า มีนาคม40/41 และข้าวไวต์ต่อช่วงแสง 2 พันธุ์ (ขาวดอกมะลิ105, เหนียวสันป่าตอง) ปีการค้า สิงหาคม 40

	GY	TMY	HI	Pan #	SPK	UFG	GW	THI	WID	LEN	SHA	VOL	DEN	%BW	MR
GY	1.00														
TMY	0.74	1.00													
HI		-0.58	1.00												
Pan #		0.05		1.00											
SPK	0.44	0.44		-0.73	1.00										
UFG	-0.36					1.00									
GW	0.06						1.00								
THI	-0.41	-0.51	0.32	0.29	-0.58			1.00							
WID	-0.32	-0.35		0.26	-0.48		0.32	0.78	1.00						
LEN	0.39	0.51	-0.34		0.55	0.33		-0.93	-0.72	1.00					
SHA	0.40	0.46	-0.25	-0.26	0.52			-0.90	-0.95	0.89	1.00				
VOL					-0.25		0.60	0.47	0.84	-0.26	-0.65	1.00			
DEN						-0.34	-0.30	-0.33	-0.70		0.53	-0.89	1.00		
%BW		-0.28		0.34	-0.51	-0.52		0.61	0.39	-0.66	-0.51		0.25	1.00	
%MR		-0.48	0.31	0.42	-0.68	-0.41		0.85	0.70	-0.91	-0.83	0.27		0.77	1.00

หมายเหตุ :

GY	grain yield	GW	100 grain weight	DEN	density
TMY	Total dry matter	THI	thickness (brown rice)	%BW	%brownrice
HI	harvest index	WID	width	%MR	% milled rice
Pan #	Panicle density	LEN	length		
SPK	Spikelet/panicle	SHA	shape(leng/wid.)		
UFG	%unfilled grain	VOL	volume		

ตาราง 6 สหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญ (.05) ข้าวเมล็ดยาว 5 พันธุ์ (ชัยนาท1, กข23, กข25,สุพรรณ60, แพร่1)

ปีการค้า มีนาคม40/41 และข้าวไวต์ต่อช่วงแสง 2 พันธุ์ (ขาวดอกมะลิ105, เหนียวสันป่าตอง) ปีการค้า สิงหาคม 40

	GY	TMY	HI	Pan #	SPK	UFG	GW	THI	WID	LEN	SHA	VOL	DEN	%BW	MR
GY	1.00														
TMY	0.69	1.00													
HI	0.26	-0.50	1.00												
Pan #	0.41	0.30		1.00											
SPK	0.28			-0.68	1.00										
UFG	-0.63	-0.55				1.00									
GW					-0.34		1.00								
THI				-0.27		0.32	0.43	1.00							
WID						0.36	0.70	0.39	1.00						
LEN				0.38				-0.54		1.00					
SHA				0.26		-0.39	-0.63	-0.57	-0.91	0.37	1.00				
VOL						0.37	0.72	0.47	0.97		-0.84	1.00			
DEN						-0.47	-0.36	-0.41	-0.88		0.79	-0.89	1.00		
%BW						-0.39		-0.35	-0.46	0.36	0.54	-0.40	0.66	1.00	
%MR						-0.46	0.45	-0.32	-0.42	0.33	0.50			0.44	1.00

หมายเหตุ :

GY	grain yield	GW	100 grain weight	DEN	density
TMY	Total dry matter	THI	thickness (brown rice)	%BW	%brownrice
HI	harvest index	WID	width	%MR	% milled rice
Pan #	Panicle density	LEN	length		
SPK	Spikelet/panicle	SHA	shape(leng/wid.)		
UFG	%unfilled grain	VOL	volume		

ตาราง 7 ค่าเฉลี่ยตัวแปร ลักษณะกายภาพเมล็ด เปรอร์เซ็นต์ข้าวสารและข้าวกล้อง ข้าว 8 พันธุ์
ม.เชียงใหม่ 2540-41

พันธุ์	น้ำหนัก 100เมล็ด	ขนาดเมล็ด(มม.)				รูปร่าง ปริมาตร	ความ หนาแน่น	% ข้าวกล้อง	% ข้าวสาร
		หนา	กว้าง	ยาว	รูป				
ขาวดอกมะลิ105	2.27	1.68	2.22	7.52	3.40	14.69	1.32	74.1	65.3
เหนียวสันป่าตอง	2.31	1.78	2.37	7.19	3.04	15.87	1.28	74.8	65.5
ชัยนาท 1	2.35	1.68	2.15	7.90	3.68	14.95	1.41	76.2	65.7
กข 25	2.36	1.77	2.28	7.17	3.14	15.22	1.34	73.2	65.7
กข 23	2.20	1.77	2.09	7.07	3.38	13.74	1.33	70.7	65.0
สุพรรณบุรี 60	2.43	1.81	2.16	7.13	3.30	14.60	1.50	76.1	65.7
แพร่ 1	2.49	1.81	2.77	7.38	2.67	19.35	1.08	71.4	65.5
ก.ว.ก. 1	2.32	2.12	3.03	5.24	1.73	17.58	1.23	79.2	69.7
LSD .05	0.07	0.07	0.10	0.23	0.17	1.05	0.08	1.1	1.0

หมายเหตุ

ขาวดอกมะลิ 105 และเหนียวสันป่าตอง ปักดำเดือนสิงหาคม 2540

ข้าวพันธุ์อื่นๆ ปักดำ เดือนมีนาคม 2540 และ 41

รูปร่าง = ความยาว/ความกว้าง

ปริมาตร = $3.1416/6 \times$ กว้าง \times ยาว \times หนา (Jongkaewwattana, 1990)

ความหนาแน่น = น้ำหนักเมล็ด/ปริมาตร

พันธุ์ (ตาราง 2) แสดงให้เห็นอิทธิพลของวันปลูก ซึ่งในที่นี้คือสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนไปในรอบปี ต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร และพบว่าตัวแปรทุกตัวแปรที่มีสหสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ข้าวสารมีนัยสำคัญของอิทธิพลของปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับวันปลูก แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของพันธุ์กรรมต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวสารที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสิ่งแวดล้อมทำนองเดียวกับที่รายงานโดย Ali *et al.* (1991) และ สุพัตรา และคณะ (2537)

สำหรับข้าวแต่ละพันธุ์นั้น พบว่าวันปลูกมีอิทธิพลต่อน้ำหนัก 100 เมล็ดและเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบที่มีสหสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร อย่างเห็นได้ชัดเจน ข้าวที่ไวต่อช่วงแสงที่ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และเหนียวสันป่าดอง ที่ปักดำตั้งแต่ปลายเดือนกันยายนถึงปลายมกราคมที่มีเปอร์เซ็นต์ข้าวสารต่ำกว่าวันปลูกอื่น ๆ (ตาราง 2) และมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบที่มากกว่า และมีน้ำหนัก 100 เมล็ดที่น้อยกว่าวันปลูกอื่นๆ ด้วย (ตาราง 8) อธิบายได้ว่าข้าวที่ไวต่อช่วงแสงที่ปลูกในช่วงนี้ที่เป็นระยะที่ช่วงวันสั้นกว่าความยาววันวิกฤติ (น้อยกว่า 12 ชั่วโมง) มีการเจริญเติบโตของต้นและใบที่สั้น และมีการชะงักการเจริญเติบโตในช่วงสะสมน้ำหนักเมล็ดเนื่องจากอุณหภูมิซึ่งน่าจะต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมของทั้งสองพันธุ์นี้ (จิรวุฒน์, 2544 ก) ในวันปลูกที่มีอุณหภูมิต่ำสุดช่วงออกดอกถึงสะสมน้ำหนักเมล็ดต่ำ จึงมีเมล็ดไม่สมบูรณ์ ทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวสารต่ำกว่าวันปลูกอื่นๆ (ภาพ 1) ขณะที่ข้าวพันธุ์ ก.ว.ก.1 ที่เป็นข้าวญี่ปุ่นที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ (15-25 °C) มีเปอร์เซ็นต์ข้าวสารต่ำในช่วงที่เจริญเติบโตในช่วงฤดูร้อน (จำนง, 2533) จะมีอายุสั้นสุกแก่เร็วและให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบมาก และน้ำหนักเมล็ดต่ำ ในสภาพที่ปลูกในช่วงที่อุณหภูมิสูง ซึ่งอุณหภูมิที่สูงเกินไปทำให้เมล็ดข้าวไม่สามารถรับสารอาหารที่ยังสร้างอยู่จากส่วนอื่นๆ เมล็ดจึงมีน้ำหนักสะสมน้อย (Nagato, 1973; Bangwaek *et al.*, 1994)

1.3 อัตราปุ๋ยในโตรเจน

ผลการทดลอง 2.1 ที่ทดสอบอิทธิพลของอัตราปุ๋ยในโตรเจนร่วมกับการให้น้ำชลประทานหรืออาศัยน้ำฝน ทั้งในปี 2541 และ 2542 แสดงให้เห็นอิทธิพลของอัตราปุ๋ยในโตรเจนต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร น้ำหนักทั้งต้น ความหนาแน่นรวง ผลผลิต และน้ำหนัก 100 เมล็ด (ตาราง 9 และ 10) โดยการเพิ่มน้ำหนัก 100 เมล็ดตามอัตราปุ๋ยในโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ก็หมายถึงเพิ่มการสะสมน้ำหนักส่วนที่เป็นแป้งหรือเนื้อข้าวสาร หรือเปอร์เซ็นต์ข้าวสารนั่นเอง

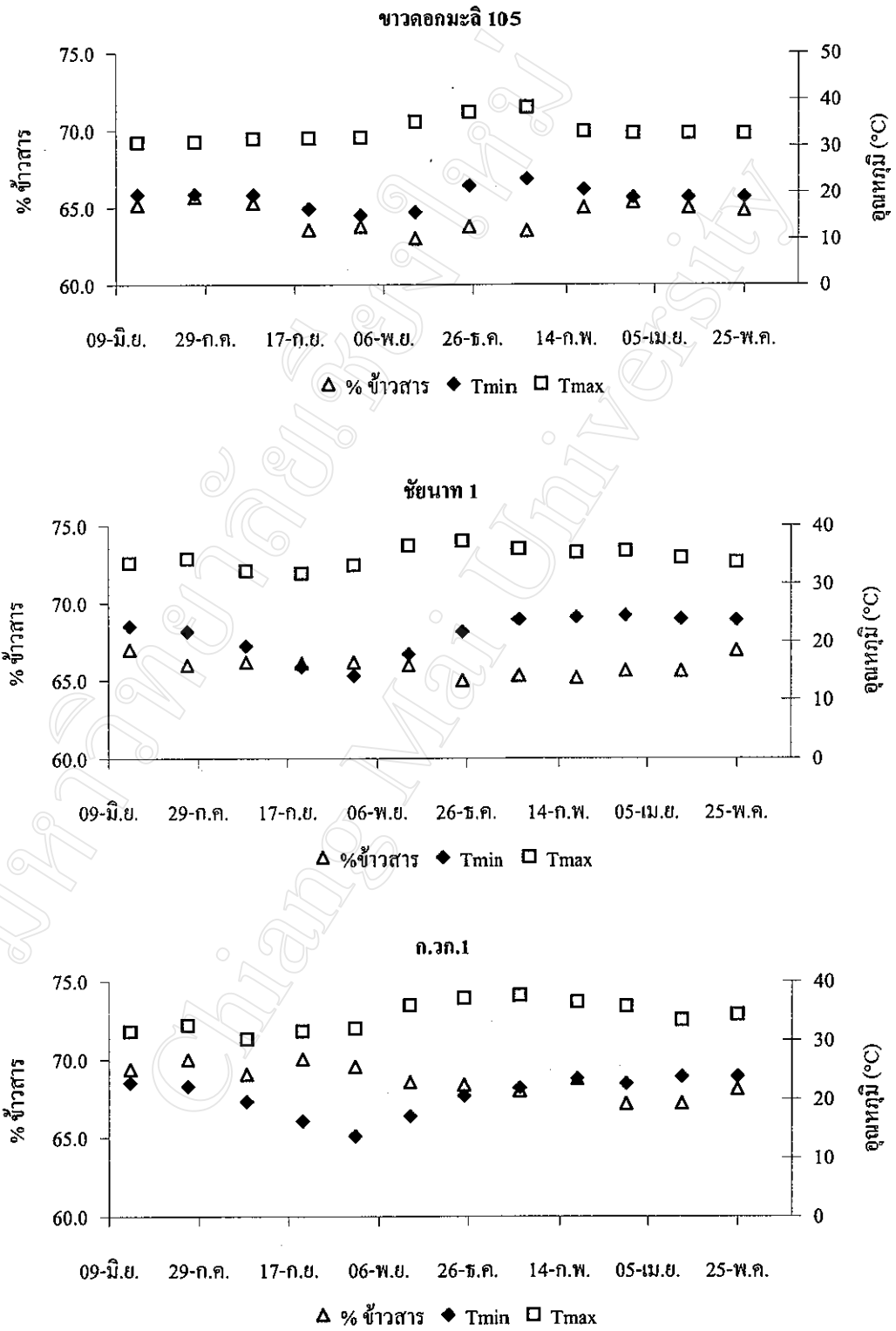
อย่างไรก็ตาม พบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และขาวดอกมะลิ 105 มีการตอบสนองของเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวต่ออัตราปุ๋ยในโตรเจนต่างกัน โดยที่เปอร์เซ็นต์ข้าวสารของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นจากการใช้ปุ๋ยในโตรเจนในอัตราสูงที่ 210 กก.N/เฮกตาร์ ในขณะที่อัตราปุ๋ยระดับนี้ทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวสารของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ลดลง (ภาพ 2) ซึ่งพบว่าเนื่องมาจากน้ำ

ตาราง 8 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ น้ำหนัก 100 เมล็ด และเปอร์เซ็นต์เมล็ดอ่อน ที่ระยะสุกแก่
ของข้าว 3 พันธุ์ 12 วันปลูก 2540-41 ม.เชียงใหม่

วันปลูก	ข้าวดอกมะลิ 105			ชัยนาท 1			ก.ว.ก.1					
	วันสุกแก่	%เมล็ดลีบ	นน.100 เมล็ดอ่อน	วันสุกแก่	%เมล็ดลีบ	นน.100 เมล็ดอ่อน	วันสุกแก่	%เมล็ดลีบ	นน.100 เมล็ดอ่อน			
21-มิ.ย.-97	18-พ.ย.-97	12.9	2.23	3.23	24-ก.ย.-97	33.5	2.51	2.07	10-ก.ย.-97	51.7	2.34	1.57
23-ก.ค.-97	25-พ.ย.-97	9.4	2.23	1.70	25-ต.ค.-97	19.4	2.55	2.28	14-ต.ค.-97	26.2	2.43	2.10
25-ส.ค.-97	26-พ.ย.-97	14.5	2.25	3.57	27-พ.ย.-97	29.4	2.45	3.27	16-พ.ย.-97	21.5	2.34	1.40
25-ก.ย.-97	28-ธ.ค.-97	26.2	2.25	34.39	06-ม.ค.-98	23.0	2.42	21.46	27-ธ.ค.-97	14.2	2.43	2.87
24-ต.ค.-97	03-ก.พ.-98	50.5	2.26	11.90	17-ก.พ.-98	60.6	2.41	19.37	07-ก.พ.-98	21.3	2.47	2.63
24-พ.ย.-97	06-มี.ค.-98	59.3	2.02	14.40	31-มี.ค.-98	31.9	2.51	10.07	10-มี.ค.-98	29.9	2.45	4.07
24-ธ.ค.-97	07-พ.ค.-98	24.2	2.08	10.03	22-เม.ย.-98	17.1	2.31	6.91	08-เม.ย.-98	13.8	2.30	10.80
23-ม.ค.-98	15-พ.ค.-98	38.4	2.08	2.13	29-พ.ค.-98	26.0	2.40	0.46	02-พ.ค.-98	6.0	2.39	3.25
24-ก.พ.-98	02-มิ.ย.-98	43.2	2.27	1.20	02-มิ.ย.-98	20.3	2.38	0.81	20-พ.ค.-98	12.1	2.32	5.28
24-มี.ค.-98	24-พ.ย.-98	18.9	2.30	0.81	15-ก.ค.-98	30.7	2.51	0.45	09-มิ.ย.-98	58.3	2.24	7.77
24-เม.ย.-98	24-พ.ย.-98	23.2	2.20	0.83	07-ส.ค.-98	35.6	2.52	0.80	10-ก.ค.-98	46.9	2.31	6.50
25-พ.ค.-98	22-พ.ย.-98	20.2	2.20	0.52	14-ก.ย.-98	26.1	2.56	0.68	21-ส.ค.-98	57.2	2.31	6.77

LSD(.05) วันปลูก x พันธุ์	% เมล็ดลีบ	9.9
	นน.100 เมล็ด	0.08
	% เมล็ดอ่อน	8.17

หมายเหตุ % เมล็ดลีบ = จำนวนเมล็ดลีบ/จำนวนเมล็ดทั้งหมด *100
 % เมล็ดอ่อน = จำนวนเมล็ดลีบ/จำนวนเมล็ดทั้งหมด *100
 นน.100 เมล็ด คือน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด ที่ความชื้น 0 เปอร์เซ็นต์
 วันสุกแก่ กำหนดจากวันที่น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดสูงสุด



ภาพ 1 เปรอ์เซ็นต์ข้าวสาร และอุณหภูมิต่ำสุด/สูงสุดระยะสะสมน้ำหนักเมล็ด ของข้าว 3 พันธุ์ 12 วันปลูก
ม.เชียงใหม่ 2540-2541

ตาราง 9 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดลองอัตราปุ๋ยไนโตรเจน และการให้น้ำ ม.เชียงใหม่

ปี: 2541

ตัวแปร	I	V	I*V	N	V*N	I*V*N	%CV
ผลผลิต	ns	ns	ns	**	*	*	11.2
นน.รวมทั้งต้น	ns	ns	ns	**	ns	ns	16.3
ดัชนีเก็บเกี่ยว	ns	ns	ns	ns	*	ns	20.0
รวงต่อตร.ม.	ns	*	ns	**	ns	ns	12.6
คอกย่อยต่อรวง	ns	**	ns	ns	ns	ns	10.5
เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ	ns	ns	ns	ns	**	ns	23.4
นน.100 เมล็ด	ns	*	ns	**	ns	ns	3.9
%N ข้าวเปลือก	*	ns	*	**	ns	*	7.3
% N ข้าวกล้อง	ns	ns	ns	*	ns	ns	6.2
% N แกลบ	ns	ns	*	**	*	**	6.2
% ท้องไร่	ns	ns	ns	ns	ns	ns	29.3
% ความชื้น	ns	ns	ns	**	ns	*	5.8
% ข้าวสาร	ns	ns	ns	*	ns	ns	1.1
% ต้นข้าว	*	ns	ns	**	**	ns	2.6
% ข้าวหัก	*	ns	ns	**	**	ns	3.2

ปี 2542

ตัวแปร	I	V	I*V	N	V*N	I*V*N	%CV
ผลผลิต	ns	ns	ns	**	*	**	8.8
นน.รวมทั้งต้น	*	ns	ns	**	ns	ns	12.7
ดัชนีเก็บเกี่ยว	ns	ns	ns	**	**	*	10.3
รวง ต่อ ตร.ม.	*	ns	ns	**	ns	**	14.2
คอกย่อยต่อรวง	ns	*	ns	ns	ns	*	14.2
เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ	ns	ns	ns	**	*	ns	27.2
นน.100 เมล็ด	ns	**	ns	**	**	ns	2.3
%N ข้าวเปลือก	ns	ns	ns	**	ns	ns	13.0
% ข้าวสาร	ns	*	ns	**	*	ns	2.1
% ต้นข้าว	ns	**	ns	**	*	ns	3.7
% ข้าวหัก	ns	*	ns	**	*	ns	4.0

หมายเหตุ

I การให้น้ำ (ให้น้ำชลประทาน, อาศัยน้ำฝน)

V พันธุ์ (ข้าวคอกมะลิ105, ชัยนาท1)

N อัตราปุ๋ยไนโตรเจน (ปี 2541: 0,45,90,135 กก.N/เฮกตาร์, ปี 2542 : 0,70,140,210 กก.N/เฮกตาร์)

* มีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ** มีนัยสำคัญที่ระดับ .01

ns ไม่มีนัยสำคัญ

ตาราง 10 ค่าเฉลี่ยตัวแปรผลผลิตและคุณภาพการสี การทดลองอัตราปุ๋ยไนโตรเจน และการให้น้ำ

ปี 2541

V	N	ผลผลิต กก/ha	นน.ทั้งต้น กก/ha	ดัชนี เก็บเกี่ยว	รวง/ ตร.ม.	จน.ดอกย่อย ต่อรวง	%เมล็ด ลีบ	นน.100 เมล็ด(ก.)	%N เมล็ด	%ข้าวสาร	%คั้นข้าว	%ข้าวหัก
1	1	2,465	7,220	0.35	151	81.6	18.8	2.55	1.49	67.3	55.8	11.4
1	2	3,721	8,355	0.46	186	92.3	15.5	2.60	1.65	67.6	56.5	11.1
1	3	3,899	8,519	0.46	192	90.8	14.1	2.63	1.70	67.6	56.3	11.3
1	4	4,128	11,352	0.37	213	90.6	17.9	2.62	1.73	68.1	58.4	9.7
2	1	2,968	6,526	0.46	177	76.6	12.0	2.62	1.43	67.6	52.1	15.5
2	2	3,217	9,359	0.36	205	71.0	17.3	2.69	1.54	67.5	55.1	12.4
2	3	3,844	10,484	0.38	223	75.7	16.0	2.74	1.68	68.4	57.4	11.0
2	4	4,414	12,963	0.35	238	75.0	12.5	2.81	1.77	68.3	60.0	8.3
5%LSD		479	1,814	0.10	30	10.2	4.3	0.12	0.13	0.8	1.8	2.1

V x N

V1= ขาวดอกมะลิ 105, V2= ชัยนาท 1

N 1 = 0 kg N/ha, N2 = 45 kg N/ha, N3 = 90 kg/ha, N4 = 135 kg/ha

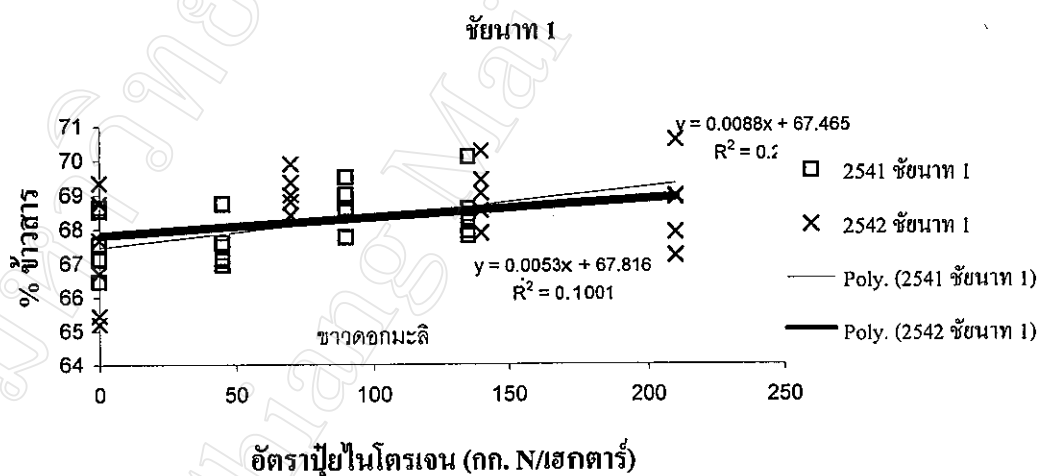
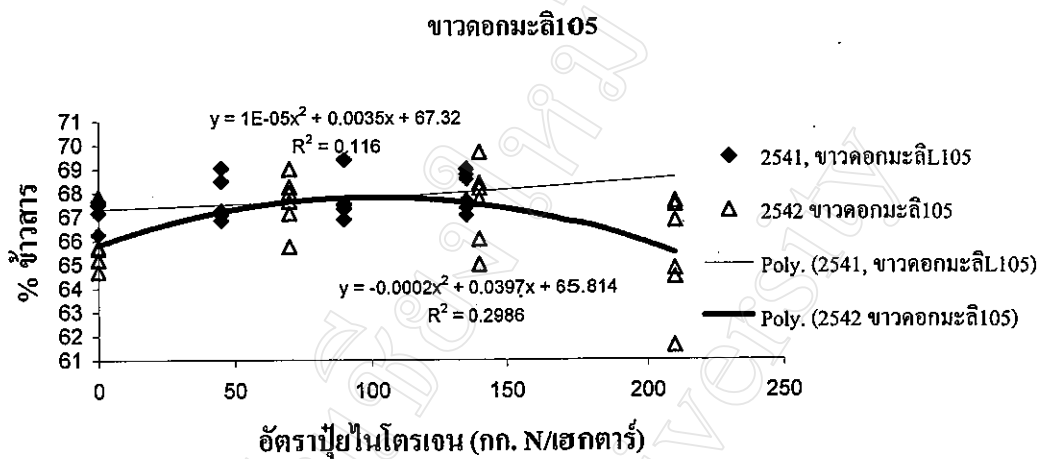
ปี 2542

V	N	ผลผลิต กก/ha	นน.ทั้งต้น กก/ha	ดัชนี เก็บเกี่ยว	รวง/ ตร.ม.	จน.ดอกย่อย ต่อรวง	%เมล็ด ลีบ	นน.100 เมล็ด(ก.)	%N เมล็ด	%ข้าวสาร	%คั้นข้าว	%ข้าวหัก
1	1	4,039	9,030	0.45	241	79.3	19.2	2.63	1.37	65.5	55.9	9.6
1	2	4,041	12,007	0.35	257	80.4	24.8	2.61	1.81	67.1	56.8	10.3
1	3	4,802	13,212	0.37	272	86.2	24.4	2.73	1.81	67.9	58.1	9.8
1	4	4,065	12,909	0.32	247	97.9	35.5	2.57	1.90	65.1	54.4	10.7
2	1	4,140	10,072	0.42	240	76.0	16.8	2.76	1.39	66.7	54.7	12.0
2	2	4,160	10,062	0.42	230	75.9	16.9	2.88	1.59	68.7	58.2	10.5
2	3	4,632	11,891	0.39	270	77.6	23.4	2.89	1.85	68.8	59.7	9.1
2	4	4,975	11,146	0.45	318	70.5	20.7	2.83	1.91	68.5	59.5	9.0
5%LSD		459	1,715	0.05	31	10.3	7.4	0.06	0.26	1.3	2.5	1.8

V x N

V1= ขาวดอกมะลิ 105, V2= ชัยนาท 1

N 1 = 0 kg N/ha, N2 = 70 kg N/ha, N3 = 140 kg/ha, N4 = 210 kg/ha



ภาพ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยไนโตรเจนกับเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร ม.เชียงใหม่ 2541-42

หนัก 100 เมล็ดลดลง (ตาราง 10) น่าจะเป็นเพราะมีการหักล้างของข้าวขาวดอกมะลิ เนื่องจากมีการเจริญทางต้นและใบที่มาก และต้นสูงเกินไป ทำให้การสะสมน้ำหนักเมล็ดไม่สมบูรณ์ ทำนองเดียวกับการตอบสนองของผลผลิตต่ออัตราปุ๋ยไนโตรเจน (จิรวัดน์ 2544 ข)

1.4 การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ข้าวสารตามระยะเวลาเก็บเกี่ยว

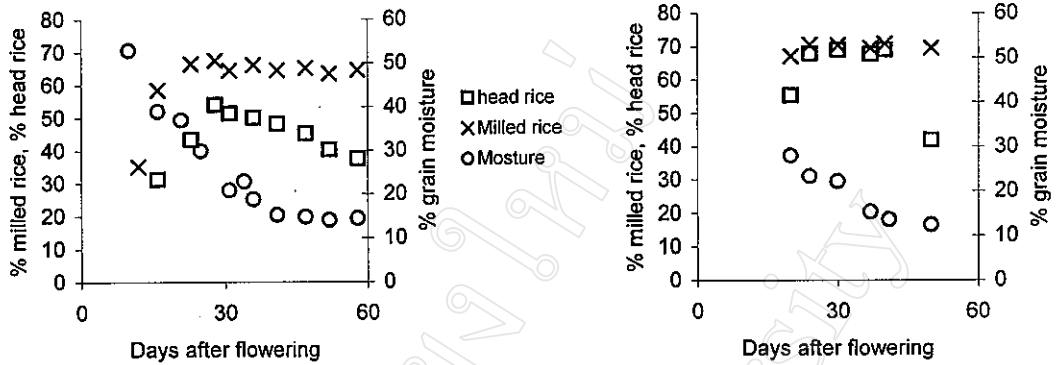
การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ข้าวสารที่วัดตั้งแต่ระยะเริ่มสะสมน้ำหนักเมล็ดจนถึง 25 วัน หลังระยะสุกแก่ 80เปอร์เซ็นต์ นั้นแสดงให้เห็นว่าในสภาพที่การเจริญเติบโตปกติ รูปแบบการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ข้าวสารเป็นไปในทำนองเดียวกันสำหรับข้าวทุกพันธุ์ คือ น้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ข้าวสารก็เพิ่มขึ้นพร้อมๆ กับผลผลิต และเมื่อเพิ่มถึงค่าสูงสุดแล้วเปอร์เซ็นต์ข้าวสารจะอยู่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยที่ระยะที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวสารสูงสุดนั้นจะเป็นระยะที่ให้ผลผลิตสูงสุดด้วย อยู่ในช่วงเวลาประมาณ 28-35 วันหลังออกดอก คือระยะที่เรียกว่าสุกแก่ (ภาพ 3) ซึ่งสอดคล้องกับที่รายงานโดย Huysmans(1965) Seetanun and De Datta (1973) กิติยาและคณะ (2539) เครือวัลย์และคณะ (2528)

อย่างไรก็ตามพบว่ามีหลายสาเหตุที่สามารถทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวสารมีการเปลี่ยนแปลงได้ หลังสุกแก่ ได้แก่ สภาพการสุกแก่ของเมล็ดระหว่างรวงไม่พร้อมกันมากเกินไป เนื่องจากอุณหภูมิไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต ทำให้มีรวงและเมล็ดที่พัฒนาขึ้นใหม่เรื่อยๆ แม้เมล็ดบางส่วนจะสุกแก่แล้ว เปอร์เซ็นต์ข้าวสารเฉลี่ยจึงเปลี่ยนแปลงไปตามสัดส่วนของเมล็ดที่สุกแก่และสัดส่วนของเมล็ดที่สะสมน้ำหนักเมล็ดอย่างสมบูรณ์ ที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย

ทำนองเดียวกัน การร่วงหล่นของเมล็ดที่สุกแก่เต็มที่ก็น่าจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร เนื่องจาก เมล็ดที่ร่วงจากรวงก่อนเก็บเกี่ยวเป็นเมล็ดที่แก่เต็มที่ และสะสมน้ำหนักเมล็ดเต็มที่ด้วย ดังนั้นถ้าเก็บเกี่ยวหลังสุกแก่แล้วนานๆ และมีเมล็ดร่วงมาก ก็ทำให้มีโอกาสจะได้เปอร์เซ็นต์ข้าวสารลดลง พร้อมๆ กับผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ที่ลดลงด้วย ซึ่งพบว่าการร่วงของเมล็ดมีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ด้วย โดยพบว่าเมล็ดข้าวญี่ปุ่น ก.ว.ก.1 ยึดติดกับรวงดีมาก จึงมีอัตราเมล็ดที่ร่วงน้อยกว่าพันธุ์อื่นๆ

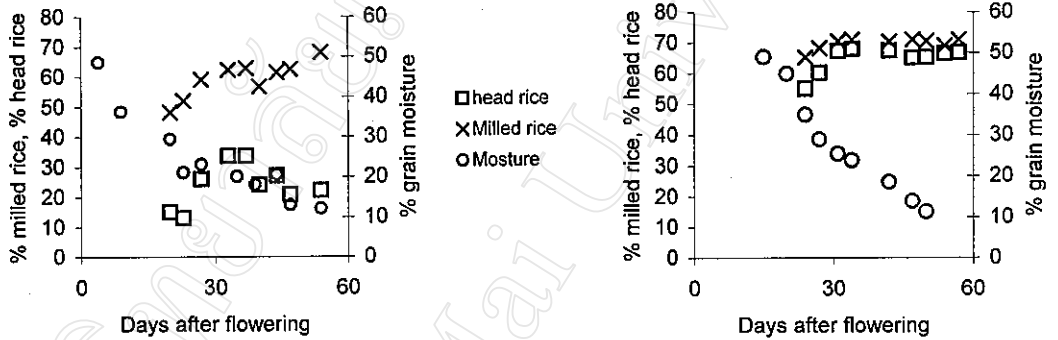
2. เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว

ผลการศึกษาปัจจัยและกระบวนการที่กำหนดหรือสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว เริ่มจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของประเภทต่างๆ ของ เมล็ดที่กำหนดหรือจำกัดเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว และอธิบายถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดองค์ประกอบเหล่านั้น จากผลการทดลองและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง



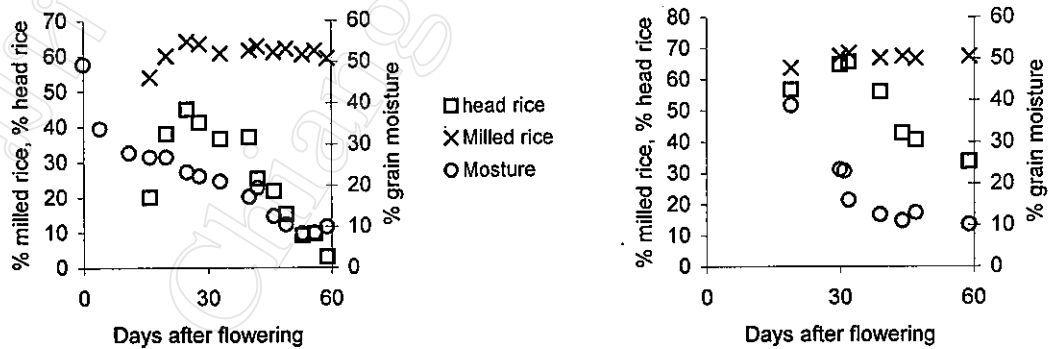
ข้าวดอกมะลิ 105 ปีค 21 มีย.40

ก.ว.1 ปีคดำ 21 มีย.40



ข้าวดอกมะลิ 105 ปีคดำ 26 กย 40

ก.ว.1 ปีคดำ 26 กย 40



ข้าวดอกมะลิ 105 ปีคดำ 23 มค 41

ก.ว.1 ปีคดำ 23 มค.41

ภาพ 3 การเปลี่ยนแปลงของ เปอร์เซนต์ข้าวสาร เปอร์เซนต์คั้นข้าว และเปอร์เซนต์ความชื้นเมล็ด ก่อนเก็บเกี่ยวของข้าวขาวดอกมะลิ105 และ ก.ว.1 ที่ ปีคดำ 21 มีย.40 26 กย.40 และ 23 มค.41

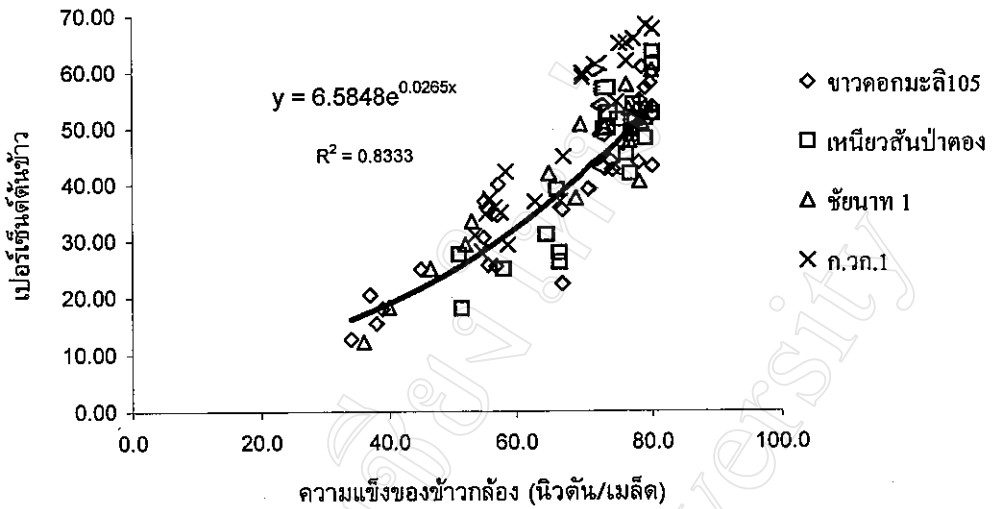
2.1 องค์ประกอบเมล็ดที่กำหนดเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว

องค์ประกอบของเมล็ดข้าวที่กำหนดเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว นั้น วิเคราะห์ได้จากองค์ประกอบเมล็ดข้าวที่มีโอกาสสูงที่จะแตกหักเมื่อนำไปสี จากข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้สมมติฐานได้ว่า เมล็ดข้าวที่มีโอกาสหักเนื่องจากการสีนั้น ได้แก่ 1) เมล็ดที่มีรอยร้าวเนื่องจากความเครียดของการดูดความชื้นจากอากาศภายนอกของเมล็ด (Srinivas and Bhashyam, 1985; Kunze and Calderwood, 1985; Swamy and Bhattacharya, 1980) 2) เมล็ดที่เป็นท้องไขที่แป้งจับตัวกันไม่แน่นพอ (หรือวัลย์ และคณะ, 2527; Srinivas and Bhashyam, 1985; Somrith, 1975) 3) เมล็ดที่ยังไม่แก่เต็มที่หรืออยู่ในระยะน้ำนมหรือแป้งอ่อน ที่ความหนาแน่นน้อยเนื่องจากยังสะสมแป้งไม่เต็มที่ และแป้งจับตัวยังไม่แน่นพอ (Steffe *et al.* 1980) และมีระดับความชื้นที่สูง (Webb. and Calderwood, 1977) และ 4) เมล็ดที่มีลักษณะทางพันธุกรรมที่ง่ายต่อการแตกหัก ได้แก่รูปร่างเรียวยาว และความหนาแน่นน้อย (Jongkaewwattana, 1990) หรือมีลักษณะอื่นๆ ที่ทำให้มีโอกาสที่จะหักจากการขัดสีมาก

การทดสอบความแข็งเมล็ด (grain hardness) ของเมล็ดข้าวกล้องของข้าว 4 พันธุ์ที่ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 เหนียวสันป่าตอง ชัยนาท 1 และ ก.ว.ก. 1 โดยใช้เครื่องวัดความแข็งเมล็ด ที่จะบอกแรงอัดต่ำสุดขณะที่ข้าวหักหรือแตก มีหน่วยเป็นนิวตัน/เมล็ด (Lijuan, 1995) พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งเมล็ดข้าวกล้องกับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว เป็นแบบ exponential (ภาพ 4) และพบว่าไม่มีความแตกต่างของความแข็งระหว่างพันธุ์ข้าว 4 พันธุ์ แต่มีความแตกต่างระหว่างเมล็ดข้าวประเภทต่าง ๆ ที่มีโอกาสแตกหัก ที่ได้แก่เมล็ดที่มีรอยร้าว เมล็ดท้องไข และ เมล็ดอ่อน (ตาราง 11) พบว่าข้าวที่เป็นท้องไขมีความแข็งต่ำที่สุด ในทุกพันธุ์ ทั้งที่เป็นท้องไขเป็นส่วนใหญ่ของเมล็ดและเฉพาะตรงกลางเมล็ด และเมล็ดที่มีรอยร้าวมีความแข็งรองจากเมล็ดปกติ (ตาราง 12)

การที่เมล็ดที่มีรอยร้าวที่น่าจะมีโอกาสแตกหักเมื่อสีมากอย่างที่รายงานในหลายงานวิจัย (Kunze and Calderwood, 1985; Siebenmorgen, 1994; Srinivas and Bhashyam, 1985) แต่กลับพบว่ามีความแข็งแรงมากโดยการวัดด้วยวิธีนี้ ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดนั้นยังมีความหนาแน่นใกล้เคียงเมล็ดปกติ และรอยร้าว นั้นจึงไม่มีผลต่อแรงต้านการบดอัดที่กดไปตรงกลางเมล็ด ขณะที่การขัดสีมีโอกาสมากที่จะมีแรงกดด้านปลายเมล็ดที่เกิดแรงแบบ โมเมนต์จนทำให้ข้าวที่มีรอยร้าว นั้นแยกออกเป็นข้าวหัก

ทำนองเดียวกัน ความแข็งของเปอร์เซ็นต์เมล็ดท้องไขจากการวัดด้วยเครื่องมือนี้ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน แม้เมล็ดที่มีท้องไขตรงกลาง หรือเป็นท้องไขบางส่วนน่าจะมีโอกาสหักจากการ



ภาพ 4 ความสัมพันธ์ของความแข็งแรงของเมล็ดข้าวกล้อง กับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว

ตาราง 11 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนความแข็งแรงเมล็ด (นิวตัน/เมล็ด) ของเมล็ดข้าวกล้อง 4 พันธุ์ ของเมล็ดข้าว 5 ประเภท(ตาราง 12)

แหล่งความแปรปรวน	พันธุ์ข้าว	ประเภทเมล็ด	พันธุ์ x ประเภท
ความแข็งแรงเมล็ด	ns	**	**

ns ไม่มีนัยสำคัญที่ .05

** มีนัยสำคัญที่ .01

ตาราง 12 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงเมล็ด (นิวตัน/เมล็ด) ของเมล็ดข้าวกล้อง 4 พันธุ์ ของเมล็ดข้าว 5 ประเภท

ประเภทเมล็ด	ขาวดอกมะลิ105	เหนียวสันป่าตอง	ชัยนาท 1	ก.ว.ก.1	เฉลี่ย
เมล็ดปกติ	78.42	74.94	77.92	75.28	76.64
เมล็ดอ่อน	74.33	na	71.15	71.24	72.24
ท้องไข่ >50% ของเมล็ด	72.16	na	64.68	70.58	69.14
ท้องไข่ตรงกลางเมล็ด	70.54	na	62.45	70.79	67.93
เมล็ดมีรอยร้าว	76.15	72.25	77.65	74.10	75.04
LSD(0.05) ประเภท	5.96				
LSD(0.05) ประเภท x พันธุ์	2.96				
CV%	9.6				

ขณะทำการตีมากกว่าจากการเกิดแรงกดด้านปลายเมล็ด ดังที่รายงานโดย Srinivas and Bhashyam (1985) แต่เมื่อทดสอบแรงกดตรงกลางเมล็ดจึงไม่พบความแตกต่างกัน

2.2 ปัจจัยที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบที่กำหนดเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว

2.2.1 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ด

การวิเคราะห์ทางสถิติของตัวแปรลักษณะทางกายภาพของเมล็ดจากการทดลองที่ปลูกข้าว 4 พันธุ์ 12 วันปลูก (ตาราง 13) แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวมีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ และ วันปลูก และปฏิกริยาสัมพันธ์ของพันธุ์และวันปลูก ทำนองเดียวกับเปอร์เซ็นต์ข้าวสารที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยความแตกต่างระหว่างพันธุ์นั้น เห็นได้ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวของข้าว ฉู่ปุ่น ก.ว.ก.1 กับพันธุ์อื่นๆ (ตาราง 14) ที่ข้าว ก.ว.ก.1 ให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ ทุกๆ วันปลูก และเมื่อดูเปอร์เซ็นต์ข้าวหักแล้ว พบว่า ก.ว.ก. 1 ก็มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักที่น้อยที่สุดด้วย คือ เฉลี่ย 3 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่พันธุ์อื่นๆ มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก 7-9เปอร์เซ็นต์ และ ก.ว.ก.1 มีความผันแปรของเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวระหว่างวันปลูกน้อยกว่าพันธุ์อื่นๆ ชัดเจน โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวระหว่างวันปลูกที่ได้น้อยที่สุดอยู่ในช่วง 10เปอร์เซ็นต์ ขณะที่อีก 3 พันธุ์นั้น มีความแตกต่างถึง 20เปอร์เซ็นต์

ค่าสหสัมพันธ์ตัวแปรลักษณะ โครงสร้างเมล็ดหรือลักษณะทางกายภาพเมล็ดกับคุณภาพการสีของข้าวจากการทดลองที่ปลูกข้าว 4 พันธุ์ 12 วันปลูก (ตาราง 15) แสดงให้เห็นว่า เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวมีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร และมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับตัวแปรโครงสร้างเมล็ดอื่นๆ ที่สัมพันธ์ทางบวกกับเปอร์เซ็นต์ข้าวสารด้วย ได้แก่ น้ำหนัก 100 เมล็ด เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้อง ความกว้าง และความหนาเมล็ด โดยที่เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสัมพันธ์ทางลบกับความยาว รูปร่าง(ความยาว/ความกว้าง) ปริมาตรของเมล็ด และเปอร์เซ็นต์ข้าวหักสัมพันธ์ทางลบกับทุกๆ ตัวแปรที่สัมพันธ์ทางบวกกับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว (ตาราง 15)

เมื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์เฉพาะข้าวเมล็ดยาว 3 พันธุ์ โดยไม่รวมข้าวฉู่ปุ่น ก.ว.ก.1 (ตาราง 16) พบว่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร และทางลบกับเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเช่นกัน แต่ไม่มีสหสัมพันธ์กับรูปร่างเมล็ด หรือความยาว แต่มีสหสัมพันธ์ทางบวกกับความกว้างเมล็ด และพบว่าเปอร์เซ็นต์ข้าวหักมีสหสัมพันธ์ทางลบกับความกว้างเมล็ด และมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับความยาว เปอร์เซ็นต์เมล็ดร้าว และเมล็ดท้องไข

สหสัมพันธ์ในตารางที่ 15 และ 16 เมื่อนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างสมมติฐานของลำดับความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ในการกำหนดเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว และเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร (ภาพ 5 และ 6)

ตาราง 13 ผลวิเคราะห์สถิติ เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง การทดลอง ข้าว 4 พันธุ์
12 วันปลูก ม.เชียงใหม่ 2540-41

ตัวแปร	วันปลูก	พันธุ์	วันปลูกxพันธุ์	CV(%)
% ต้นข้าว	**	**	**	5.7
% ข้าวหัก	**	**	**	19.9
% เมล็ดรีว	**	*	*	31.1
% เมล็ดอ่อน	**	ns	ns	120.5
% เมล็ดท้องไข่	**	ns	**	33.7
% ไนโตรเจนเมล็ด	ns	ns	ns	0.0
% ความชื้น	**	ns	**	12.1
ความยาวรวง	**	**	**	7.3
ความยาวรวง/นน.ทั้งต้น	**	ns	**	32.3

** มีนัยสำคัญที่ .01 * มีนัยสำคัญที่ .05 ns ไม่มีนัยสำคัญ

ตาราง 14 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวและข้าวหัก ของข้าว 4 พันธุ์ 12 วันปลูก ม.เชียงใหม่ 2540-2541

วันปลูกดำ	% ต้นข้าว				% ข้าวหัก			
	ขาวดอกมะลิ	เหนียวสันป่าตอง	ชัยนาท 1	ก.ว.ก.1	ขาวดอกมะลิ	เหนียวสันป่าตอง	ชัยนาท 1	ก.ว.ก.1
21-มี.ย.-97	56.5	52.9	56.1	64.5	8.7	11.9	10.9	4.9
23-ก.ค.-97	54.3	55.6	54.4	65.9	11.4	10.4	11.6	4.1
25-ส.ค.-97	57.4	58.9	57.9	64.9	7.9	6.6	8.3	4.2
25-ก.ย.-97	43.0	51.9	50.1	67.3	20.6	11.0	16.0	2.8
24-ต.ค.-97	37.1	47.8	45.9	66.2	26.7	14.9	20.3	3.4
24-พ.ย.-97	36.8	28.0	42.6	64.1	26.2	32.1	23.4	4.5
24-ธ.ค.-97	46.3	42.1	42.6	65.2	17.5	19.6	22.4	3.2
23-ม.ก.-98	39.4	33.7	39.9	65.0	24.1	26.7	25.4	3.0
24-ก.พ.-98	45.6	44.7	42.1	65.3	19.4	19.8	23.1	3.5
24-มี.ค.-98	51.6	52.8	43.8	58.1	13.8	11.9	21.8	9.1
24-เม.ย.-98	50.9	53.6	46.2	55.2	14.1	10.9	19.4	12.0
25-พ.ค.-98	51.9	55.4	46.1	59.1	12.9	8.8	20.8	9.0

LSD .05 (พันธุ์ x วันปลูก) % ต้นข้าว 4.8

LSD .05 (พันธุ์ x วันปลูก) % ข้าวหัก 4.5

ตาราง 15 สหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญ(.05) ของตัวแปรที่สัมพันธ์กับคุณภาพการสี
ข้าว 4 พันธุ์ (ข้าวดอกมะลิ105, เหนียวสันป่าตอง, ชัยนาท1, ก.วก.1) 12 วันปลูก

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
	GY	TMY	HI	Pan#	SPK	UFG	GW	THI	WID	LEN	SHA	VOL	DEN	P_I	P/PH	%MO	%N	%CHA	%CR	%IM	%BW	MR	HR		
GY	1.00																								
TMY	0.60	1.00																							
HI	0.28	-0.54	1.00																						
Pan #				1.00																					
SPK	0.51	0.44		-0.62	1.00																				
UFG	-0.68	-0.40	-0.25		-0.27	1.00																			
GW	0.45		0.36			-0.23	1.00																		
THI				0.33	-0.38			1.00																	
WID				0.31	-0.30			0.86	1.00																
LEN	0.29	0.25		-0.30	0.42			-0.86	-0.82	1.00															
SHA				-0.30	0.36			-0.89	-0.95	0.94	1.00														
VOL							0.40	0.68	0.80	-0.36	-0.62	1.00													
DEN							0.25	-0.40	-0.56	0.42	-0.73	1.00													
P_I	0.37	0.43		-0.26	0.47			-0.41	-0.43	0.53	0.48		1.00												
P/PH	-0.47	-0.72	0.51		-0.32	0.33								1.00											
%MO								-0.05							1.00										
%N			-0.34			-0.28										1.00									
%CHA																	1.00								
%CR				0.39			0.27	0.29			0.29	-0.41	-0.37					1.00							
%IM	-0.3	-0.3			0.26						-0.3	-0.27	0.26					0.28		1.00					
%BW			0.28			0.47	0.66	0.62	-0.52	-0.60	0.55									-0.30	1.00				
MR			0.32			0.56	0.69	0.65	-0.58	-0.62	0.52										0.80	1.00			
HR						-0.42	0.37	0.69	0.68	-0.64	-0.69	0.50						-0.28			0.66	0.76	1.00		
BR						0.44	-0.28	-0.62	-0.62	0.59	0.64	-0.45						0.32			-0.56	-0.61	-0.98		

ตาราง 16 สหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญ (.05) ของตัวแปรต่าง ที่สัมพันธ์กับคุณภาพการสี
เฉพาะข้าวเมล็ดยาว 3 พันธุ์ (ข้าวดอกมะลิ105, เหนียวสันป่าตอง, ชัยนาท1) 12 วันปลูก

	GY	TMY	HI	Pan#	SPK	UFG	GW	THI	WID	LEN	SHA	VOL	DEN	P_I	P/PH	MO	%N	%CHA	%CR	%IM	%BW	MR	HR		
GY	1.00																								
TMY	0.57	1.00																							
HI	0.27	-0.58	1.00																						
Pan #				1.00																					
SPK	0.52	0.38		-0.61	1.00																				
UFG	-0.69	-0.45			-0.36	1.00																			
GW	0.57		0.32		0.30		1.00																		
THI								1.00																	
WID								0.41	1.00																
LEN	0.39		0.46				0.58			1.00															
SHA			0.33					-0.33	-0.83	0.57	1.00														
VOL	0.33					-0.27	0.47	0.64	0.82	0.45	-0.43	1.00													
DEN						0.26	-0.57	-0.72			-0.69	1.00													
P_I	0.57	0.50			0.46	-0.50	0.34			0.27			1.00												
P/PH	-0.50	-0.75	0.53		-0.38	0.39	-0.28						-0.34	1.00											
%MO					-0.27											1.00									
%N			0.27	-0.42			-0.37			-0.29	-0.29						1.00								
%CHA										0.26	0.27				-0.3			1							
%CR				0.29	-0.25											-0.55		0.33	1.00						
%IM	-0.5	-0.5				0.30	-0.3	-0.3	-0.3		-0.4		-0.5	0.28				0.44		1.00					
%BW	0.41				0.36	-0.27	0.49	0.13		0.52	0.42		0.29							-0.4	1.00				
MR	0.47		0.33		0.34	-0.35	0.66			0.55	0.30	0.25	0.43							-0.3	0.60	1.00			
HR	0.52	0.49		-0.26	0.48	-0.63	0.33		0.28		0.30	0.61	-0.47					-0.5	-0.44		0.33	0.48	1.00		
BR	-0.45	-0.53		0.28	-0.44	0.61			-0.29		0.27	-0.25	-0.56	0.46				0.51	0.45					-0.97	

หมายเหตุ (ตาราง 16 และ 17) :

GY	grain yield	GW	grain weight	DEN	density	%CR	% cracked grain
TMY	Total dry matter	THI	thick (brown rice)	P_I	panicle Length	%IM	% immatured grain
HI	harvest index	WID	width	P/PH	Pan/phytomas	%BW	%brownrice
Pan #	panicle density	LEN	length	%MO	%moisture	MR	% milled rice
SPK	spikelet/panicle	SHA	shape(leng/wid.)	%N	%grain N	HR	% head rice
UFG	%unfilled grain	VOL	volume	%CHA	% chalky grain	BR	% broken rice

*ข้าวเหนียวสันป่าตอง ไม่ได้มีข้อมูลค่า %chalky grain, %cracked grain, % immatured grain

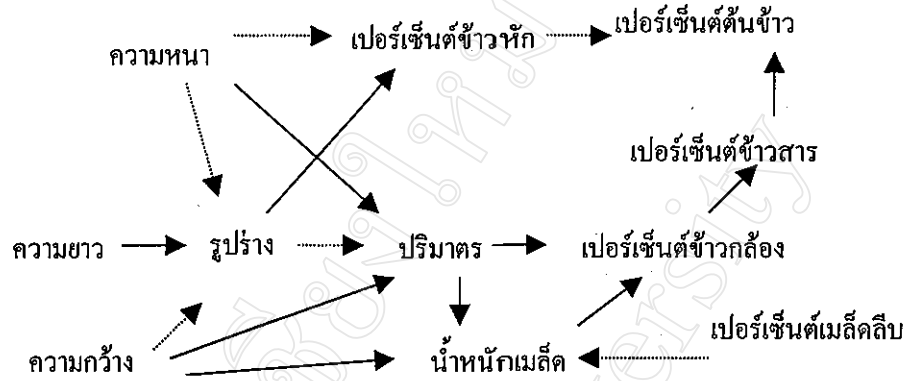
ที่อธิบายเป็นสมมติฐานได้ว่า เฮอร์เซ็นต์ข้าวสารขึ้นอยู่กับเฮอร์เซ็นต์ข้าวกล้อง ที่ขึ้นอยู่กับปริมาณ และน้ำหนักเมล็ด โดยปริมาตรก็กำหนดร่วมกันโดยรูปร่างและความหนา และปริมาตรก็สัมพันธ์ซึ่งกันและกันกับน้ำหนักเมล็ด ที่ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์การสะสมน้ำหนักเมล็ดหรือเฮอร์เซ็นต์เมล็ดด้วย และเฮอร์เซ็นต์ต้นข้าวขึ้นอยู่กับทั้งเฮอร์เซ็นต์ข้าวสารและเฮอร์เซ็นต์ข้าวหัก

ข้าวญี่ปุ่น.ว.ก.1 มีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างจากพันธุ์อื่น ๆ มาก จึงมีอิทธิพลวิเคราะห์สหสัมพันธ์มาก ซึ่งทำให้เฮอร์เซ็นต์ต้นข้าว เฮอร์เซ็นต์ข้าวสารและเฮอร์เซ็นต์ข้าวหักถูกควบคุมด้วยลักษณะรูปร่างที่ป้อมสั้นและความหนาที่มากของเมล็ดข้าวพันธุ์นี้ (ภาพ 5) และมีอิทธิพลเหนือตัวแปรที่เกี่ยวกับการแตกหักอื่นๆ ทั้งๆ ที่พบว่า เฮอร์เซ็นต์ท้องไขไม่แตกต่างจากพันธุ์อื่น และยังมีเฮอร์เซ็นต์เมล็ดร้าวที่มากกว่าพันธุ์อื่นด้วย (ตาราง 17) เนื่องจากเมื่อวิเคราะห์ระหว่างพันธุ์เมล็ดยาวด้วยกันนั้น พบว่านอกจากรูปร่างเมล็ดที่กำหนดเฮอร์เซ็นต์ข้าวหักแล้ว ยังมีเฮอร์เซ็นต์เมล็ดร้าวและเฮอร์เซ็นต์เมล็ดท้องไขด้วย (ภาพ 6)

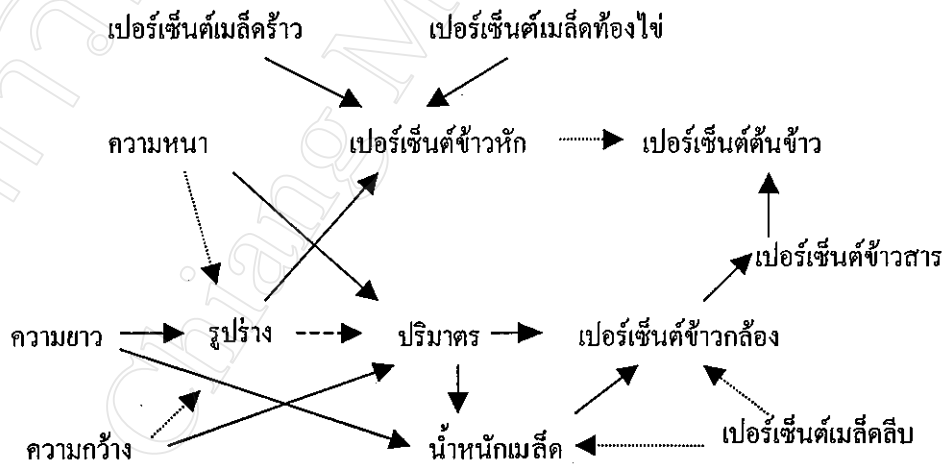
การวิเคราะห์นี้ แสดงให้เห็นว่าเมล็ดข้าวที่รูปร่างเรียวยาวกว่า มีโอกาสหักจากการสีได้มากกว่า แม้ระหว่างข้าวเมล็ดยาวด้วยกันที่มีรูปร่างแตกต่างกันไม่มาก (ตาราง 7) เนื่องจาก moment force ของเมล็ดยาวขณะขัดสีนั้นมีมากกว่าเมล็ดสั้น ขณะที่ความหนา ถือเป็นตัวแปรที่ช่วยให้อัตราต้านทานแรงหักมากขึ้น

การเปรียบเทียบเฮอร์เซ็นต์ต้นข้าวหรือข้าวหักระหว่างข้าวเหนียวและข้าวเจ้า นั้น พบว่าสำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 และเหนียวสันป่าตองที่มีระยะพัฒนาการและได้รับปัจจัยการจัดการอย่างเดียวกันนั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างเฮอร์เซ็นต์ต้นข้าวในระดับสูงสุด ที่ได้จากวันปลูกเดือนสิงหาคม และค่อนข้างใกล้เคียงกันในทุกๆ วันปลูก ยกเว้นวันปลูกที่ให้เฮอร์เซ็นต์ต้นข้าวระดับต่ำมากๆ นั้น ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ให้เฮอร์เซ็นต์ข้าวหัก เหนียวสันป่าตอง (ตาราง 14) จากการเปรียบเทียบในตาราง 7 พบว่าแม้ข้าวเหนียวสันป่าตองจะมีน้ำหนักเมล็ดมากกว่าขาวดอกมะลิ 105 แต่มีขนาดใหญ่กว่า และมีความหนาแน่นน้อยกว่า สอดคล้องกับที่ Juliano (1985) รายงานว่าข้าวเหนียวโดยทั่วไปมีความหนาแน่นน้อยกว่าข้าวเจ้า

นอกจากความแตกต่างทางโครงสร้างภายนอก ที่เห็นได้ชัดเจนแล้ว ความแตกต่างของลักษณะทางโครงสร้างภายใน เป็นส่วนหนึ่งของลักษณะพันธุกรรมของเมล็ดที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างเฮอร์เซ็นต์ข้าวหัก ทำนองเดียวกับที่ศึกษาโดย Kunze and Calderwood (1985) และที่ Srinivas and Bhashyam (1985) อธิบายว่าความต้านทานต่อการแตกร้าวจากความชื้นจะสัมพันธ์กับการดูดน้ำ (hydration) หรือความชื้นสมดุลเมื่อแช่ข้าวในน้ำ อุณหภูมิเบี่ยงสูง และ ปริมาณ pentosan ที่สัมพันธ์คุณสมบัติผนังเซลล์ และ โครงสร้างระดับเซลล์ หรือการจัดเรียงตัวของเซลล์



ภาพ 5 แผนผังแสดงทิศทางสหสัมพันธ์ที่นำไปสู่การกำหนดเปอร์เซ็นต์ข้าวสารและเปอร์เซ็นต์คั้นข้าว ในการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ที่รวม ข้าวญี่ปุ่น ก.ว.ก.1 ด้วย (—————> สหสัมพันธ์เป็นบวก> สหสัมพันธ์เป็นลบ)



ภาพ 6 แผนผังแสดงทิศทางความสัมพันธ์ที่นำไปสู่การกำหนดเปอร์เซ็นต์ข้าวสารและเปอร์เซ็นต์คั้นข้าว ในการวิเคราะห์สหสัมพันธ์เฉพาะข้าวเมล็ดยาว 3 พันธุ์ (—————> สหสัมพันธ์เป็นบวก> สหสัมพันธ์เป็นลบ)

ตาราง 17 วันสุกแก่ เปอร์เซ็นต์เมล็ดอ่อน เปอร์เซ็นต์ท้องไข่ และเปอร์เซ็นต์เมล็ดร้าว ข้าว 3 พันธุ์
12 วันปลูก 2540-41 ม.เชียงใหม่

วันปักดำ	ขาวดอกมะลิ 105			ชัยนาท 1			ก.ว.ก.1					
	วันสุกแก่	%เมล็ด อ่อน	% ท้องไข่	%เมล็ด ร้าว	วันสุกแก่	%เมล็ด อ่อน	% ท้องไข่	%เมล็ด ร้าว	วันสุกแก่	%เมล็ด อ่อน	% ท้องไข่	%เมล็ด ร้าว
21-มี.ย.-97	18-พ.ย.-97	3.23	3.68	9.0	24-ก.ย.-97	2.07	5.34	8.9	10-ก.ย.-97	1.57	9.08	12.1
23-ก.ค.-97	25-พ.ย.-97	1.70	4.78	9.9	25-ค.ค.-97	2.28	6.32	6.6	14-ค.ค.-97	2.10	6.69	14.2
25-ส.ค.-97	26-พ.ย.-97	3.57	4.32	11.0	27-พ.ย.-97	3.27	4.71	5.4	16-พ.ย.-97	1.40	7.18	7.3
25-ก.ย.-97	28-ธ.ค.-97	34.39	10.89	10.8	06-ม.ก.-98	21.46	10.92	12.0	27-ธ.ค.-97	2.87	12.72	5.0
24-ค.ค.-97	03-ก.พ.-98	11.90	7.68	12.4	17-ก.พ.-98	19.37	7.04	18.2	07-ก.พ.-98	2.63	6.22	12.0
24-พ.ย.-97	06-มี.ค.-98	14.40	6.21	12.7	31-มี.ค.-98	10.07	6.20	11.0	10-มี.ค.-98	4.07	8.53	17.7
24-ธ.ค.-97	07-พ.ค.-98	10.03	7.34	19.7	22-เม.ย.-98	6.91	5.81	15.9	08-เม.ย.-98	10.80	6.48	22.7
23-ม.ค.-98	15-พ.ค.-98	2.13	6.84	11.2	29-พ.ค.-98	0.46	8.93	21.1	02-พ.ค.-98	3.25	5.81	19.2
24-ก.พ.-98	02-มี.ย.-98	1.20	6.66	14.8	02-มี.ย.-98	0.81	7.97	12.9	20-พ.ค.-98	5.28	5.48	21.0
24-มี.ค.-98	24-พ.ย.-98	0.81	6.53	13.3	15-ก.ค.-98	0.45	8.27	13.2	09-มี.ย.-98	7.77	5.84	18.5
24-เม.ย.-98	24-พ.ย.-98	0.83	6.15	16.5	07-ส.ค.-98	0.80	7.72	11.8	10-ก.ค.-98	6.50	6.52	19.0
25-พ.ค.-98	22-พ.ย.-98	0.52	5.02	12.3	14-ก.ย.-98	0.68	7.77	20.3	21-ส.ค.-98	6.77	5.27	18.7

LSD(.05) วันปลูก x พันธุ์	% เมล็ดอ่อน	8.2
	% ท้องไข่	5.21
	% เมล็ดร้าว	7.1

หมายเหตุ % เมล็ดอ่อน = จำนวนเมล็ดข้าวกล้องที่มีสีเขียว/จำนวนเมล็ดทั้งหมด *100
 % ท้องไข่ = จำนวนเมล็ดข้าวกล้องที่มีท้องไข่/จำนวนเมล็ดทั้งหมด *100
 % เมล็ดร้าว = จำนวนเมล็ดข้าวกล้องที่มีรอยร้าว/จำนวนเมล็ดทั้งหมด *100
 วันสุกแก่ กำหนดจากวันที่น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดสูงสุด
 ข้อมูลผู้มุงจากตัวอย่าง 100 เมล็ด

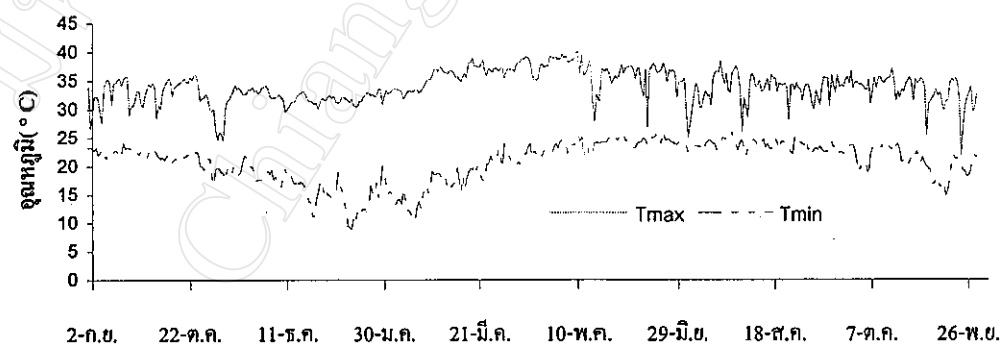
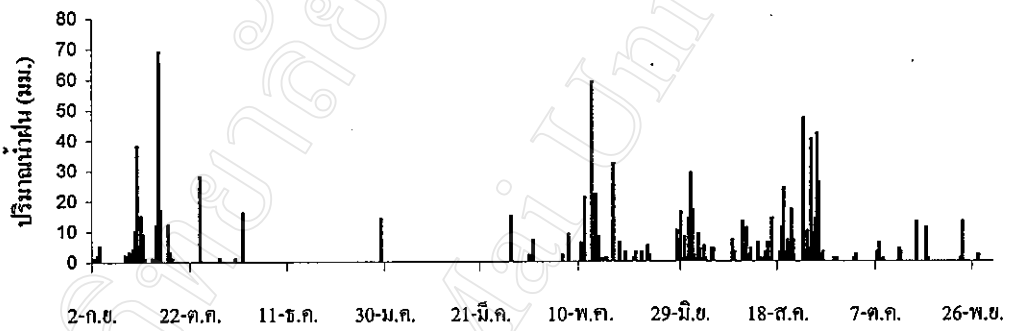
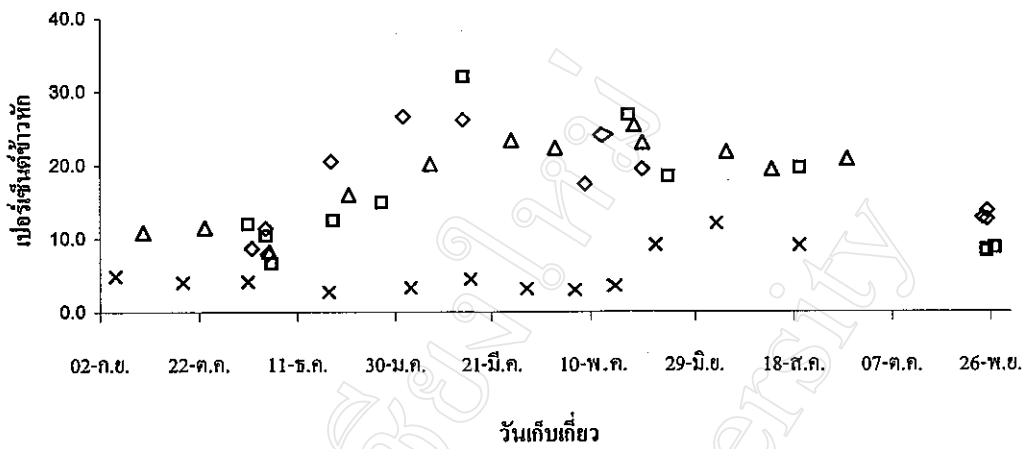
2.2.2 อิทธิพลของวันปลูก

การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวระหว่างวันปลูก 12 วันปลูก แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว ของข้าว 3 พันธุ์คือขาวดอกมะลิ 105 เหนียวสันป่าตอง และชัยนาท 1 ที่ได้จากวันปลูกที่มีอายุสุกแก่ในปลายกันยายนถึงปลายมกราคม ต่ำกว่าวันปลูกอื่น ๆ (ตาราง 14) ขณะที่ เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงสุด ได้จากการปลูกในปลายเดือนสิงหาคม ทั้งสามพันธุ์ และเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และเหนียวสันป่าตองต่ำสุดที่วันปลูกเดือนพฤศจิกายน ที่เนื่องมาจากผลของเปอร์เซ็นต์ข้าวสารที่ต่ำร่วมกับเปอร์เซ็นต์ข้าวหักที่มากด้วย

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ข้าวหักที่เป็นตัวแปรที่สัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว ตามเวลาที่สุกแก่ พบว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และเหนียวสันป่าตองที่มีระยะสุกแก่ช่วงปลายเดือนพฤศจิกายน มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักน้อยกว่าที่เก็บเกี่ยวในช่วงเวลาอื่นอย่างเห็นได้ชัด อาจเนื่องจากอยู่ในช่วงที่มีปริมาณฝนตกน้อย (ภาพ 7) ทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวหักต่ำ ดังที่หลายงานวิจัยรายงานไว้ว่า ฝนเป็นปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ทำให้ข้าวหักที่สำคัญที่สุด (Siebenmorgen and Jindal, 1986; Steffe *et al.*, 1980) แต่ก็พบว่า มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักมากที่สุดของข้าวที่สุกแก่ในเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคม ซึ่งมีฝนน้อยมากด้วยเช่นกัน ซึ่งเปอร์เซ็นต์ข้าวหักในระยะนี้น่าจะเป็นเพราะอุณหภูมิอากาศที่สูง และพลังงานแสงที่มากในช่วงนี้ทำให้เมล็ดระเหยน้ำเร็วในตอนกลางวัน และมีโอกาสดูดความชื้นกลับในช่วงกลางคืนจนทำให้เกิดความเครียด จนเกิดรอยร้าว และหักเมื่อนำไปสี (Kunze, 1985) โดยไม่จำเป็นต้องเปียกฝน

2.2.3 ปัจจัยที่สัมพันธ์กับการเกิดรอยร้าว และเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว

การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เมล็ดที่มีรอยร้าวที่เป็นตัวแปรแสดงความเครียดเนื่องจากความชื้นของเมล็ด (Kunze, 1985) ขณะสุกแก่ ของการทดลองปลูกข้าว 4 พันธุ์ 12 วันปลูก พบว่าเปอร์เซ็นต์การเกิดรอยร้าวมีความแตกต่างจากอิทธิพลระหว่างพันธุ์และวันปลูก หรือสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวไม่วิเสสนั้น พบว่า พันธุ์ ก.ว.ก.1 มีเปอร์เซ็นต์เมล็ดร้าวมากกว่า ชัยนาท 1 (ตาราง 17) สอดคล้องกับที่ Kunze (1985) ที่อธิบายไว้ว่า เมล็ดข้าวที่มีความกว้างหรือความหนา มาก จะมีความเครียดมาก และมีอัตราการแตกร้าวมากกว่า โดยจะสัมพันธ์กับความแตกต่างของแรงดึงจากการเสียน้ำ ที่ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างผิวนอกกับแกนกลาง (Kunze and Karlderwood, 1985) และเกิดความเครียดจากการเพิ่มปริมาตร หรือการขยายตัวของเมล็ดข้าวกล้อง (Muthukumarappan *et al.*, 1992)



ภาพ 7 เปอร์เซนต์งอกข้าวหักของข้าว 4 พันธุ์ที่ปลูก 12 วันปลูก ตามวันเก็บเกี่ยว กับปริมาณน้ำฝน และ อุณหภูมิสูงสุดต่ำสุดรายวัน กย.40- พย.41 ม.เชียงใหม่

การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์เมล็ดข้าวของข้าว 3 พันธุ์ที่ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 ชัยนาท 1 และ ก.วก.1 12 วันปลูก ไม่พบว่ามีสหสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว (ตาราง 15) ขณะที่ค่าสหสัมพันธ์เฉพาะข้าวเมล็ดขาวคือ ข้าวดอกมะลิ 105 และชัยนาท 1 จาก 12 วันปลูกนั้น พบว่า เปอร์เซ็นต์เมล็ดที่ข้าวจะมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก และสัมพันธ์ทางลบกับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว โดยที่ไม่สัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร (ตาราง 16) ทำนองเดียวกับที่สุกศักดิ์ และวิบูลย์ (2535) รายงานว่าไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์เมล็ดข้าวกับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวของข้าวญี่ปุ่น และการที่เปอร์เซ็นต์เมล็ดข้าวของ ก.วก. 1 แม้อยู่ในระดับสูง แต่มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักต่ำกว่าพันธุ์อื่นๆ แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยทางพันธุกรรม โครงสร้างเมล็ดของ ก.วก.1 ที่รูปร่างเมล็ดที่ป้อมสั้น มีบทบาทในการต้านทานต่อการหักจากการสีได้ดีกว่าข้าวเมล็ดเรียวยาว

2.2.4 ความชื้นเมล็ด และ ความไม่สม่ำเสมอของ (non-uniformity) ของความชื้นเมล็ด

มีหลายงานวิจัยที่รายงานว่า ความชื้นเมล็ดสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว (Geng *et al.*, 1984; เกรียววัลย์และคณะ, 2528 ก) การศึกษาความชื้นเมล็ดเฉลี่ยที่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาของผลผลิตข้าวจากทั้ง 12 วันปลูกของข้าว 4 พันธุ์ พบว่าอยู่ในช่วง 15 – 30เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ย 22-24เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับที่รายงานในหลายงานวิจัย (Stansel, 1975; Jongkaewwattana, 1990) และผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ สอดคล้องกับที่รายงานโดย Namuco and Ingram (1994) แต่พบว่ามีค่าความแตกต่างระหว่างวันปลูก และระหว่างปฏิภพของพันธุ์กับวันปลูก (ตาราง 9) แสดงว่าความชื้นเมล็ดที่ระยะสุกแก่ น่าจะสัมพันธ์สภาพภูมิอากาศมากกว่าเป็นค่าทางพันธุกรรม และพบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ไม่มีสหสัมพันธ์กับ เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว สูงสุด หรือเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก (ตาราง 15 และ 16) แสดงให้เห็นว่าความชื้นเมล็ดเฉลี่ยที่ระยะสุกแก่ ไม่สัมพันธ์โดยตรงกับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว แต่มักใช้เป็นค่าที่แสดงระยะเวลาเหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยว สอดคล้องกับที่รายงานโดย Kocher *et al.*, 1990 ; Siebenmorgen, 1994; Chau and Kunze, 1982 ; และ Jongkawattana, 1990 และสอดคล้องกับการทดลองใช้ชนิดพันธุ์สารเร่งการสุกแก่ dimethipin เพื่อลดความชื้นเมล็ดข้าว ที่รายงานโดย สุกศักดิ์ และ พรชัย (2539) และ ยาวเรศ (2541) ที่สารนี้ทำให้ความชื้นเมล็ดลดลงอย่างมากขณะสุกแก่ ไม่ทำให้หักยภาพคุณภาพการสีเปลี่ยนแปลง แต่ช่วยในการลดพลังงานในการลดความชื้นหลังเก็บเกี่ยว

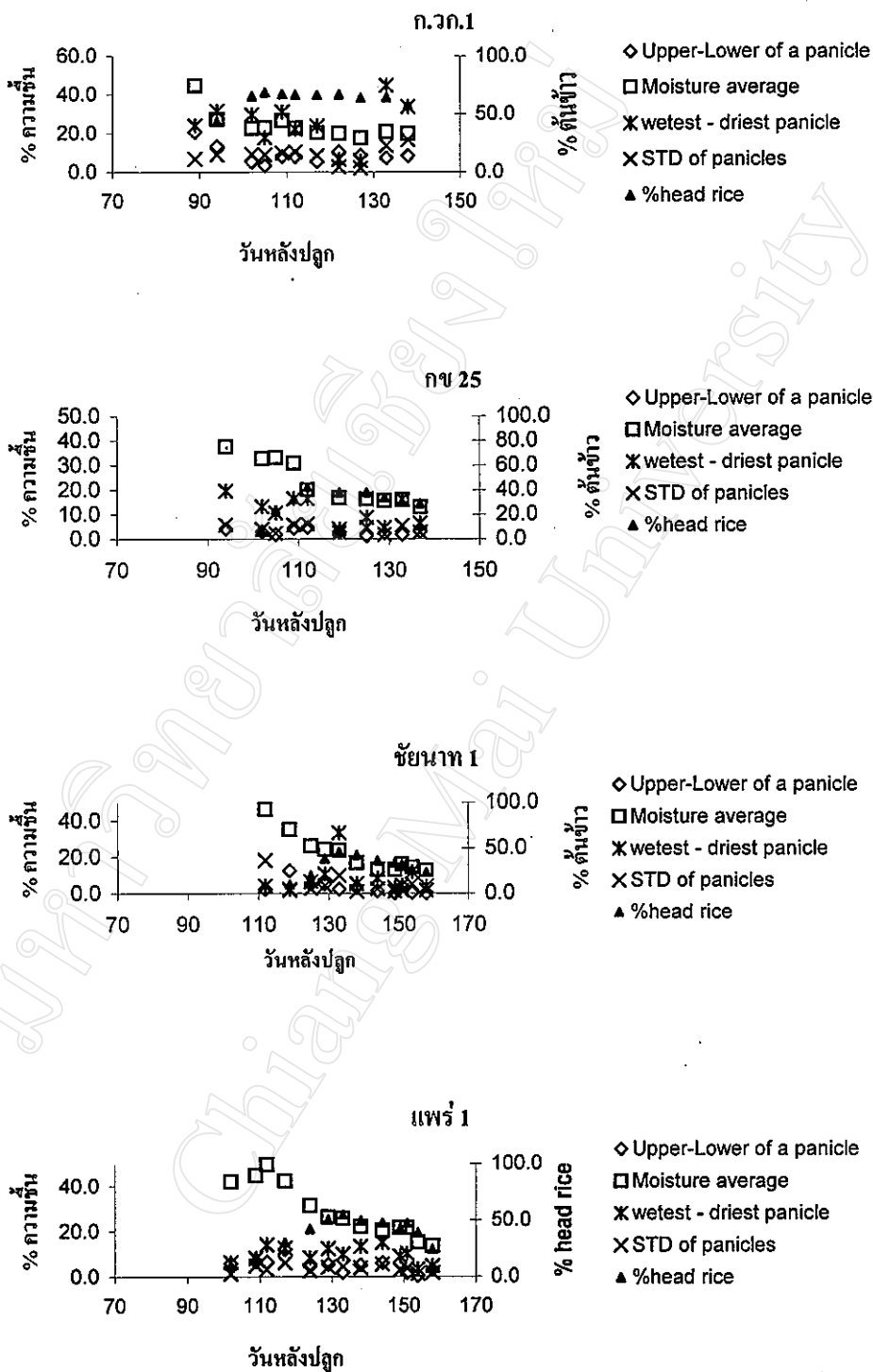
งานทดลองนี้ทำการศึกษการเปลี่ยนแปลงและความแตกต่างของความชื้นของเมล็ดข้าวทั้งระหว่างส่วนบนและส่วนล่างของรวง ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 เหนียวสันป่าดอง ชัยนาท1 และ ก.วก.1 และ แพร่ 1 และ กข 25 กข23 พบว่ามีรูปแบบทำนองเดียวกัน โดยเมล็ดส่วนบนของรวงมีความชื้นเมล็ดลดลงจนเข้าสู่สมดุลกับบรรยากาศรอบ ๆ ได้เร็วกว่าเมล็ดส่วนล่าง ขณะที่ระยะที่

เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงสุดนั้น เมล็ดส่วนล่างยังมีความชื้นสูงกว่าความชื้นเฉลี่ย ขณะที่ความแตกต่างความชื้นจะลดลง (ภาพ 8) สอดคล้องกับที่รายงานโดย Chau and Kunze (1982) และ Jongkaewwattana (1990)

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ ของข้าว 4 พันธุ์ 12 วันปลูก พบว่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสัมพันธ์ทางลบกับตัวแปรความยาวรวงต่อน้ำหนักต้นและใบ (ตาราง 15 และ 16) ซึ่ง Jongkaewwattana (1990) อธิบายว่าเป็นลักษณะพันธุกรรมอย่างหนึ่งที่สัมพันธ์กับ ระดับความไม่สม่ำเสมอ ภายในรวงหรือความแตกต่างของการเจริญของเมล็ดภายในรวงระหว่างส่วนบนและล่าง

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นเฉลี่ยและความแปรปรวนของความชื้น ของข้าวไม่ไวแสง 4 พันธุ์ ที่ปลูกในเดือนมีนาคม 2540 (ภาพ 8) พบว่าที่ระยะเวลาที่เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงสุดนั้น ความแตกต่างระหว่างความชื้นเมล็ดส่วนบนกับส่วนล่างของรวงของข้าวพันธุ์ที่มีอายุสุกแก่น้อยกว่ามีมากกว่าพันธุ์ที่มีอายุสุกแก่มากกว่า โดย ก.วก.1 กข 25 ชัยนาท 1 และแพร่ 1 ที่มีอายุสุกแก่ในการทดลองนี้ 100, 110, 130 และ 135 ตามลำดับ มีความแตกต่างของความชื้นระหว่างเมล็ดส่วนบนและส่วนล่างของรวง 9.1, 4.6, 2.3 และ 1.9 ตามลำดับ สอดคล้องกับที่อธิบายโดย Jongkaewwattana *et al.*(1993) ว่าข้าวพันธุ์หนักที่มีสารอาหารสะสมมากกว่าพันธุ์เบา จึงมีการแข่งขันในการดึงการสะสมอาหารระหว่างส่วนบนกับส่วนล่างของรวงน้อยกว่า และมีแนวโน้มที่จะมีความไม่สม่ำเสมอน้อยกว่า

การศึกษาความแตกต่างของความชื้นเฉลี่ยของเมล็ดของแต่ละรวงภายในกอหนึ่งๆ นั้น (ภาพ 8) พบว่าความแตกต่างความชื้นระหว่างรวงที่มีความชื้นมากที่สุดกับที่น้อยที่สุดนั้น มีแนวโน้มที่ลดลงตามเวลาสุกแก่ โดยความชื้นระหว่างรวงอ่อนที่สุดกับรวงที่แก่สุดเมื่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงสุด ของข้าวทั้ง 4 พันธุ์ อยู่ในช่วง 6-20 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความชื้นเมล็ดแต่ละรวงภายในกอ อยู่ในช่วง 2-10 เปอร์เซ็นต์ ความแตกต่างความชื้นระหว่างรวงจะมีมากกว่าระหว่างส่วนบนกับส่วนล่าง และความแตกต่างนี้เพิ่มขึ้นตามระยะเวลา เนื่องจากมีการเกิดรวงใหม่ในข้าว ก.วก.1 จะเกิดรวงใหม่ตลอดเวลาขณะที่รวงแม่กำลังสุกแก่ ทำให้ความแตกต่างเพิ่มขึ้นหลังที่เมล็ดส่วนใหญ่สุกแก่ ความแตกต่างระหว่างรวงนั้นสัมพันธ์กับอัตราแตกกอ การเจริญของหน่อและการพัฒนารวงจากหน่อ นั้น โดยจากการทดลองพบว่า ขาวดอกมะลิ 105 เหนียวสันป่าตอง และชัยนาท 1 ที่ปักดำในช่วงอุณหภูมิต่ำ และ ก.วก.1 ที่ปักดำในช่วงอุณหภูมิสูง จะมีการแตกหน่อใหม่และมีรวงเกิดขึ้นมาอยู่ตลอดเป็นระยะเวลามากกว่าหนึ่งเดือนแม้ว่าต้นแม่จะเข้าสู่ระยะเกิดรวง (PI) แล้ว (จิววัฒน์ 2544 ก) ซึ่งสภาพการไม่สม่ำเสมอของการสุกแก่ของเมล็ดในลักษณะนี้ น่าจะเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวของข้าวเมล็ดยาวที่ปลูกในฤดูหนาวต่ำ



ภาพ 8 ความชื้นเมล็ดเฉลี่ย และความแปรปรวนความชื้นเมล็ดลักษณะต่างๆ กับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว ในระยะสุกแก่ ก่อนเก็บเกี่ยว ของข้าว 4 พันธุ์ ที่ปักดำ 1 มีค. 2540 ม.เชียงใหม่

2.2.5 ความเป็นท้องไข่ (chalkiness)

ความเป็นท้องไข่เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ทำให้ข้าวมีโอกาสดักเมื่อนำไปสี ความเป็นท้องไข่จึงสัมพันธ์ตรงกันข้ามกับคุณภาพการสี (Somrith 1974, Nakata and Jackson, 1973) เนื่องจากเป็นสภาพที่เป็งจับตัวอย่างหลวมๆ (Srinivas and Bhashyam, 1985) และการทดสอบความแข็งดังกล่าวมาข้างต้น ก็พบว่าเป็นประเภทเมล็ดที่มีความแข็งน้อยที่สุด

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของข้าว 3 พันธุ์ คือ ข้าวดอกมะลิ105 และ ชัยนาท 1 และ ก.ว.ก.1 12 วันปลูก (ตาราง 15) พบว่า เปอร์เซ็นต์ท้องไข่ไม่สัมพันธ์กับ เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว แต่เมื่อวิเคราะห์เฉพาะข้าวเมล็ดยาว 2 พันธุ์ คือ ข้าวดอกมะลิ105 และ ชัยนาท 1 12 วันปลูก ก็พบว่าเปอร์เซ็นต์ท้องไข่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว โดยไม่สัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร (ตาราง 16 และภาพ 6) แสดงให้เห็นว่าสำหรับข้าวเมล็ดยาวนั้น ความเป็นท้องไข่มีแนวโน้มที่จะเกี่ยวข้องกับการหักของเมล็ดโดยตรง โดยความเป็นท้องไข่นั้นอาจไม่มีผลมากนักสำหรับข้าวเมล็ดสั้นซึ่งมีความต้านทานต่อการหักดีกว่า สอดคล้องกับที่ เกรือวัลย์ และคณะ (2528 ข) รายงานว่าข้าวตระกูลอินดิกาที่เป็นข้าวเมล็ดยาวหลายพันธุ์ ที่มีระดับของท้องไข่น้อยจะมีคุณภาพการขัดสี หรือ เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดต้นข้าวสูงกว่าพันธุ์ที่มีระดับของท้องไข่สูง แต่พันธุ์ข้าวญี่ปุ่นที่เป็นข้าวตระกูลจาโปนิกา ที่มีระดับท้องไข่ปานกลางมีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวไม่ต่างกับข้าวพันธุ์ที่มีระดับท้องไข่น้อย แต่การวิเคราะห์สหสัมพันธ์นั้นก็ยังพบว่าเปอร์เซ็นต์เมล็ดท้องไข่สัมพันธ์ทางบวกกับ เปอร์เซ็นต์เมล็ดอ่อน (ตาราง 15 และ 16) น่าจะแสดงว่าถึงสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดเมล็ดอ่อนคล้ายคลึงกันสภาพที่ทำให้เกิดท้องไข่ด้วย คือเป็นสภาพที่จำกัดการสะสมอาหารในเมล็ด

การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์ท้องไข่จากงานทดลอง 12 วันปลูกพบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ที่ศึกษา แต่มีความแตกต่างระหว่างวันปลูก (ตาราง 13 และ 17) แสดงให้เห็นว่าพันธุ์ข้าวที่ใช้ในงานทดลองนี้ที่เป็นพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์ท้องไข้อยู่ในระดับต่ำใกล้เคียงกัน ทำให้อิทธิพลของวันปลูกนั้นมีมากกว่า และก็ตอบสนองแตกต่างระหว่างพันธุ์ด้วย เพราะพบว่าปฏิกริยาสัมพันธ์วันปลูกกับพันธุ์ ด้วย

เปอร์เซ็นต์ท้องไข่ของแต่ละพันธุ์และวันปลูก (ตาราง 17) ยืนยันว่าการเกิดท้องไข่น่าจะสัมพันธ์กับปัจจัยอุณหภูมิขณะสะสมน้ำหนักเมล็ด เช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์เมล็ดอ่อน วันปลูกที่ได้เปอร์เซ็นต์ท้องไข่สูงสุดของทุกพันธุ์คือวันปลูกในเดือนกันยายนที่มีระยะสะสมน้ำหนักรวมเดือนธันวาคมถึงต้นมกราคม ที่อุณหภูมิต่ำสุดในรอบปี (ภาพภาคผนวก 1) สอดคล้องกับที่รายงานโดย สมพร (2532) สุพัตราและคณะ (2537) Yoshida and Hara (1977) และ Nagato (1973)

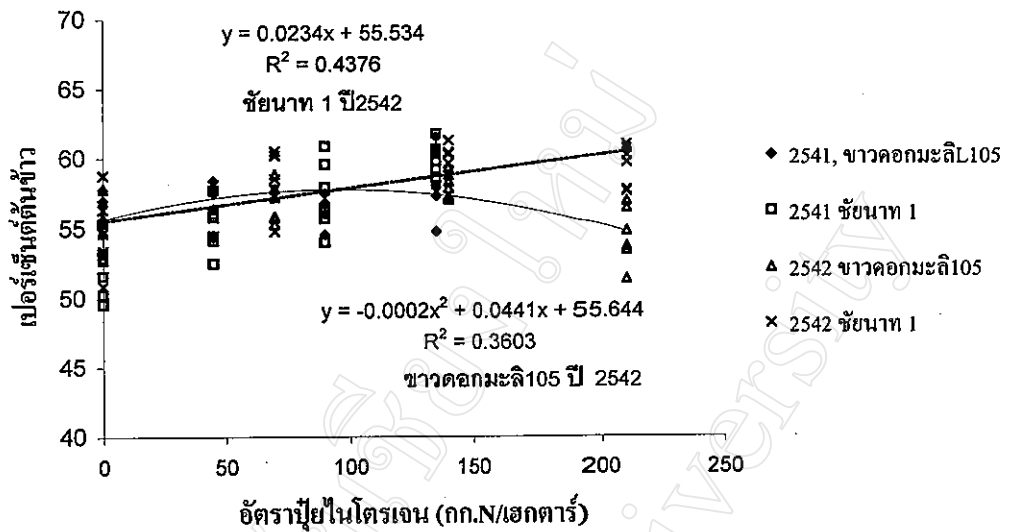
นอกจากนั้นยังมีรายงานว่า การเกิดท้องไขจะเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่จำกัดการสะสมน้ำหนักเมล็ด เช่น การเกิดโรคไหม้คอรวง (Tashiro and Ebata, 1975)

2.2.6 อัตราปุ๋ยไนโตรเจน กับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว

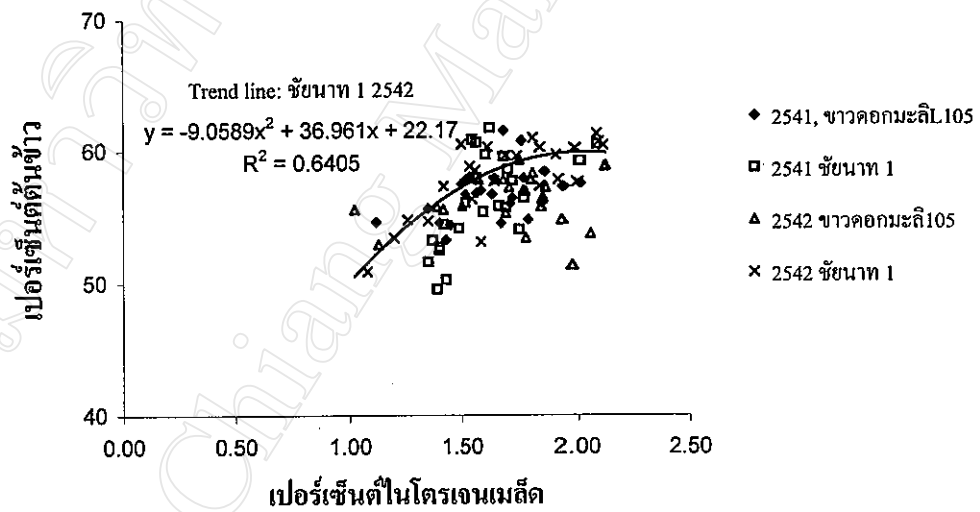
การทดสอบอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อคุณภาพการสีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และชัณษาท 1 ในปี 2541 และ 2542 (การทดลอง 2.1) ที่ปลูกให้มีวันสุกแก่ใกล้เคียงกันเพื่อให้มีสภาพอากาศขณะสุกแก่ใกล้ๆ กันในเดือนพฤศจิกายน แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยไนโตรเจนมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวและเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก โดยมีรูปแบบการตอบสนองที่แตกต่างกันระหว่างพันธุ์ด้วย (ตาราง 9) โดยปุ๋ยไนโตรเจนทำให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวของข้าวทั้งสองพันธุ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในปี 2541 แต่พบว่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ลดลงเมื่อให้ไนโตรเจนในอัตราสูง 210 กก. N/ไร่ ในปี 2542 ทำนองเดียวกับในกรณีเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร (ตาราง 10 และ ภาพ 9) ซึ่งก็พบว่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวหักของข้าวขาวดอกมะลิ 105 แตกต่างกันชัดเจน แต่ทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวหักของชัณษาท 1 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ตาราง 10) แสดงว่าไนโตรเจนมีบทบาทต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวทั้งในส่วนที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวสารเพิ่มขึ้น และทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวหักลดลงได้ด้วย ทำนองเดียวกับที่รายงาน โดย Seetanun and De Datta (1973) Jongkaewwattana (1990)

มีหลายสมมติฐานที่อธิบายอิทธิพลของไนโตรเจนต่อการลดเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก ได้แก่การเพิ่มของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ด ดังที่ในการทดลองนี้พบว่าอัตราข้าวเปลือก ข้าวกล้องและแกลบ เพิ่มขึ้น (ตาราง 9 และ 10) และจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ พบว่า เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสัมพันธ์เชิงบวก กับเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนของเมล็ดข้าวเปลือก แกลบ ข้าวกล้อง ด้วย และก็พบว่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น (ภาพ 10) สอดคล้องกับงานวิจัยหลายงาน (Karim *et al.*, 1992; Fagade and Ojo, 1977; Lijuan, 1995) ซึ่งเปอร์เซ็นต์ในเมล็ดที่เพิ่มขึ้นนี้อาจทำให้ข้าวท้องไขแตกหักน้อยลง หรือลดความเป็นท้องไขได้ (Srinivas and Bhashyam, 1985; บุญลักษณะและคณะ, 2517) โดยเป็นการเพิ่มโปรตีนในช่องอากาศในส่วนแป้ง แต่ก็มีหลายงานที่ไม่พบความสัมพันธ์นี้ (ชุติวัดน์ และคณะ, 2538; Bay, 1994) ซึ่งในการทดลองนี้ ก็พบว่าระดับปุ๋ยไนโตรเจนไม่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์เมล็ดท้องไขอย่างมีนัยสำคัญ (ตาราง 9) ซึ่งเป็นไปได้ว่าทั้งสองพันธุ์มีการเกิดท้องไขในสภาพปกติน้อยมากอยู่แล้ว

การเพิ่มของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนส่วนแกลบอาจเป็น ตติยะ (2538) อธิบายว่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่เพิ่มขึ้นในแกลบเนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนอาจจะลดการแลกเปลี่ยนความชื้นระหว่างข้าวกล้องกับบรรยากาศทำให้ลดอัตราการดูดความชื้นของเมล็ดข้าวกล้องที่ทำให้เกิดรอยร้าว สอดคล้องกับการศึกษาของ Seo and Ota (1982) พบว่าแกลบมีความสำคัญในการรักษาความชื้นเมล็ด ที่ทำให้



ภาพ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปุ๋ยไนโตรเจนกับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว ม.เชียงใหม่ 2541-42



ภาพ 10 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ดกับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว ม.เชียงใหม่ 2541-42

เมล็ดข้าวพัฒนาตามปกติ แกลบที่สมบูรณ์จะมีอัตราการเสียน้ำต่ำกว่าเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ก็ยังพบว่าโปรตีนหรือไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในเมล็ดน่าจะสามารรถเชื่อมรอยร้าวในเมล็ดที่เกิดจากความเครียดความชื้นได้ (ตติยะ, 2538)

การจัดการที่ทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการดูดซึมน้ำในโตรเจนมากขึ้นเช่น การแบ่งใส่ไนโตรเจน การเตรียมดิน (Ali *et al.*, 1992a; Ali *et al.*, 1992b) การลดความหนาแน่นของพืชปลูก (Fagade and Ojo, 1977) การตัดรวงออกให้มีความหนาแน่นน้อยลง (Srinivas and Bhashyam, 1985) ก็มีผลต่อการเพิ่มปริมาณโปรตีน และเพิ่มเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว

แม้ว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจะมีผลในทางเพิ่มคุณภาพการสีของข้าว แต่มีรายงานว่าไนโตรเจนมีผลต่อคุณภาพอย่างอื่นของข้าว ได้แก่ที่ อานาจและคณะ (2540) รายงานว่า ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงทำให้ความหอมและความเลื่อมมันของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ลดลง

นอกจากไนโตรเจนแล้ว ยังมีงานวิจัยที่รายงานว่าธาตุอาหารหรือสารอื่นที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวอีกเช่น Lijuan (1997) พบว่าฟอสฟอรัสสามารถเพิ่มโปรตีนในเมล็ดข้าวและเพิ่มเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว แต่สังกะสีทำให้ปริมาณอะมิโนสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทำให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนลดลง และมีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลง แซงมาลย์ (2543) รายงานว่า โปแตสเซียมไอโอไดด์ที่ฉีดพ่นในระยะเกิดรวงถึงระยะผสมเกสร ทำให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเพิ่มขึ้น

2.2.7 อิทธิพลของการระบายน้ำ

ผลการทดสอบอิทธิพลของระยะเวลาระบายน้ำ (การทดลอง 2.2) พบว่าระดับของอิทธิพลระยะเวลาระบายน้ำต่อคุณภาพการสีข้าวขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม โดยในปี 2540 ที่ข้าวสุกแก่ในปลายเดือนพฤศจิกายนถึงต้นธันวาคม พบว่าระยะเวลาการระบายน้ำมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว และเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก แต่ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวสารหรือผลผลิต แสดงถึงและมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ดด้วย (ตาราง 18) ทำนองเดียวกับที่รายงานโดยวิวัฒน์ และคณะ (2531) Steffe *et al.* (1980) Councet *et al.* (1990) และ Jongkaewwattana (1990) ซึ่งในการทดลองนี้พบว่า การยืดเวลาการระบายน้ำมีผลในการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวทั้งสองพันธุ์ (ตาราง 19) โดยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในแปลงที่ไม่ได้ระบายน้ำออกให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงสุด 53.2 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างจากการระบายน้ำหลังออกดอก 28 วัน ที่ได้ 52 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าในแปลงที่ระบายออกในช่วงหลังออกดอก 1, 2 สัปดาห์ ที่ได้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว 47 เปอร์เซ็นต์ และ 49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทำนองเดียวกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 และยังพบว่า การยืดเวลาการระบายน้ำ ทำให้ไนโตรเจนในเมล็ดเพิ่มขึ้น และทำให้อายุสุกแก่ช้าลงด้วย (ตาราง 19)

ตาราง 18 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ การทดลอง อิทธิพลของระยะเวลาระบายน้ำ กับพันธุ์ข้าว
ม.เชียงใหม่ 2540-2541

ปี 2540

ตัวแปร	พันธุ์ (V)	ระยะเวลาระบายน้ำ(D)	V*D	%CV
ผลผลิต	ns	ns	ns	13.9
เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ	ns	ns	ns	19.5
เปอร์เซ็นต์ข้าวสาร	**	ns	ns	1.0
เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว	**	*	ns	3.8
เปอร์เซ็นต์ข้าวหัก	**	*	ns	5.0
เปอร์เซ็นต์ความชื้นเมล็ด	ns	ns	ns	9.7
ความชื้นสัมพัทธ์ 14:00 น.(7วันก่อนสุกแก่)	ns	**	ns	3.7
อุณหภูมิ 14:00 น.(7 วันก่อนสุกแก่)	ns	**	ns	1.3
% N เมล็ด	ns	*	ns	12.2

ปี 2541

ตัวแปร	พันธุ์ (V)	ระยะเวลาระบายน้ำ(D)	V*D	%CV
ผลผลิต	**	ns	ns	9.9
เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ	**	ns	ns	20.1
เปอร์เซ็นต์ข้าวสาร	ns	ns	ns	0.6
เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว	*	ns	ns	6.4
เปอร์เซ็นต์ข้าวหัก	*	ns	ns	7.2
เปอร์เซ็นต์ความชื้นเมล็ด	*	ns	ns	6.3
ความชื้นสัมพัทธ์ 14:00 น.(7วันก่อนสุกแก่)	*	ns	ns	7.7
อุณหภูมิ 14:00 น.(7 วันก่อนสุกแก่)	ns	*	ns	3.5
% N เมล็ด	ns	ns	ns	12

หมายเหตุ

D : ระยะเวลาระบายน้ำ 7, 14, 28 วันหลังออกดอก และไม่ระบาย

2540 : V คือพันธุ์ข้าว ขาวดอกมะลิ 105 และ ชัยนาท 1

2541 : V คือพันธุ์ข้าว กข 25 และ ชัยนาท 1

* มีนัยสำคัญ ที่ระดับ .05 ** มีนัยสำคัญที่ระดับ .01 ns ไม่มีนัยสำคัญ

ตาราง 19 ค่าเฉลี่ยตัวแปรผลผลิตและคุณภาพการสี การทดสอบระยะเวลาระบายน้ำ ปี 2540-2541

ปี 2540

D	ระยะเวลาระบายน้ำ (วันหลังออกคอก)	ผลผลิต กก./ha	% เมล็ด ลีบ	% ความชื้น	%RH 4:00 น.	อุณหภูมิ 14:00 น.	% N เมล็ด	% ข้าวสาร	% ต้นข้าว	% ข้าวหัก
1	7 วัน	3,261	14.9	22.9	50.8	33.3	1.29	65.5	47.5	18.0
2	14 วัน	3,222	12.1	22.3	51.8	33.3	1.47	66.3	48.3	18.0
3	21 วัน	3,295	13.1	24.9	54.8	32.6	1.72	66.5	50.8	15.7
4	น้ำขังตลอด	3,188	14.9	23.7	58.1	31.9	1.66	66.3	52.1	14.1
5%LSD		490	3.4	2.9	2.5	0.5	0.24	0.9	2.2	2.1

V	D	วันสุกแก่	ผลผลิต กก./ha	% เมล็ด ลีบ	% ความชื้น	%RH 4:00 น.	อุณหภูมิ 14:00 น.	% N เมล็ด	% ข้าวสาร	% ต้นข้าว	% ข้าวหัก
1	1	06-ธ.ค.-97	3,376	13.6	21.3	50.4	33.5	1.30	65.0	47.8	17.2
1	2	10-ธ.ค.-97	3,243	12.0	20.9	50.7	33.4	1.41	65.2	47.7	17.4
1	3	10-ธ.ค.-97	3,242	13.3	24.6	54.3	32.7	1.74	65.7	49.4	16.3
1	4	14-ธ.ค.-97	3,171	15.3	24.4	58.4	31.9	1.57	65.4	51.1	14.3
2	1	06-ธ.ค.-97	3,146	16.2	24.6	51.2	33.2	1.29	66.1	47.3	18.9
2	2	08-ธ.ค.-97	3,201	12.1	23.8	52.9	33.1	1.52	67.3	48.9	18.5
2	3	10-ธ.ค.-97	3,348	12.9	25.2	55.2	32.5	1.71	67.3	52.2	15.1
2	4	14-ธ.ค.-97	3,206	14.5	23.1	57.8	31.9	1.74	67.2	53.2	14.0
5%LSD			693	4.8	4.0	3.6	0.8	0.35	1.2	3.1	3.0

V1 = ข้าวคอกมะลิ 105 V2 = ชัยนาท 1

D : ระยะเวลาระบายน้ำ 7, 14, 28 วันหลังออกคอก และไม่ระบายน้ำ

%RH และ อุณหภูมิ คือความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ ที่วัดที่รวงข้าว เวลา 14:00 น เฉลี่ย 7 วันก่อนสุกแก่

ปี 2541

D	ระยะเวลาระบายน้ำ	ผลผลิต กก./ha	% เมล็ด ลีบ	% ความชื้น	%RH 4:00 น.	อุณหภูมิ 14:00 น.	% N เมล็ด	% ข้าวสาร	% ต้นข้าว	% ข้าวหัก
1	7 วัน	4,040	27.3	22.4	61.9	34.5	1.54	65.7	47.5	18.2
2	14 วัน	4,015	25.7	23.7	60.8	33.6	1.49	66.1	48.2	17.9
3	21 วัน	3,900	23.6	23.9	64.7	33.0	1.52	66.4	49.3	17.1
4	น้ำขังตลอด	4,073	21.9	23.4	61.8	32.4	1.55	66.0	50.5	15.5
5%LSD		499	6.2	1.9	6.1	1.5	0.23	0.5	3.8	3.7

V	D	วันสุกแก่	ผลผลิต กก./ha	% เมล็ด ลีบ	% ความชื้น	%RH 4:00 น.	อุณหภูมิ 14:00 น.	% N เมล็ด	% ข้าวสาร	% ต้นข้าว	% ข้าวหัก
1	1	02-ต.ค.-98	3,436	31.6	23.5	58.3	34.8	1.49	65.7	46.2	19.4
1	2	02-ต.ค.-98	3,587	28.9	24.4	58.8	33.2	1.50	66.0	46.6	19.4
1	3	04-ต.ค.-98	3,578	28.2	25.1	62.2	32.8	1.49	66.2	46.4	19.8
1	4	04-ต.ค.-98	3,586	22.6	23.5	56.8	32.5	1.51	66.1	48.2	17.9
2	1	15-ต.ค.-98	4,643	23.0	21.3	65.6	34.3	1.58	65.8	48.8	17.0
2	2	15-ต.ค.-98	4,442	22.6	22.9	62.8	34.0	1.49	66.2	49.8	16.4
2	3	15-ต.ค.-98	4,223	19.0	22.8	67.3	33.3	1.55	66.7	52.2	14.5
2	4	17-ต.ค.-98	4,561	21.1	23.2	66.9	32.2	1.58	65.8	52.7	13.1
5%LSD			706	8.8	2.6	8.6	2.1	0.33	0.8	5.4	5.3

V1 = กข 25 V2 = ชัยนาท 1

D : ระยะเวลาระบายน้ำ 7, 14, 21 วันหลังออกคอก และไม่ระบายน้ำ

นอกจากนั้นการทดลองในปี 2540 พบว่า และระยะเวลาการระบายน้ำที่ต่างกันนี้มีผลมีการยืดเวลาสุกแก่หรือเวลาที่ให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงสุดออกไป โดยแปลงที่ขังน้ำตลอดสุกแก่ช้ากว่าแปลงที่ระบายน้ำหลังออกดอก 5 ถึง 7 วัน (โดยวัดจากวันที่ให้เปอร์เซ็นต์ข้าวสารสูงสุด) สอดคล้องกับที่รายงานโดย Jongkaewwattana (1990) และยังพบว่าระยะเวลาการระบายน้ำมีผลต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่วัดในเวลา 14:00 น ที่บริเวณรวงข้าว เฉลี่ย 7 วันก่อนสุกแก่ โดยที่อุณหภูมิต่ำลงและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นในแปลงที่ยืดเวลาการระบายน้ำออกไป (ตาราง 19) แสดงถึงอิทธิพลของน้ำขังที่มีต่อสภาพการคายน้ำของเมล็ด แต่อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างระหว่างความชื้นเมล็ดขณะสุกแก่ ขณะที่ Counce *et al.* (1990) พบว่าความชื้นเมล็ดลดลงอย่างมากเมื่อระบายน้ำก่อน และแม้ว่าระยะเวลาจะไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์ในโตรเจนของเมล็ดต่างกัน และมีแนวโน้มที่ในโตรเจนของข้าวชัณษา 1 สูงขึ้น จาก 1.29 เป็น 1.74 เปอร์เซ็นต์ เมื่อยืดเวลาการระบายน้ำออกไป ซึ่งเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวนี้ น่าจะสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนที่ดูดซึมเข้าในเมล็ดด้วย ทำนองเดียวกับที่ Jongkawwattana (1990) พบว่าอิทธิพลของการระบายน้ำสัมพันธ์กับอัตราปุ๋ยไนโตรเจน

ในปี 2541 ที่ทดสอบระยะเวลาการระบายน้ำกับข้าวพันธุ์ กข 25 และ ชัณษา 1 ที่เก็บเกี่ยวต้นเดือนตุลาคม พบว่าระยะเวลาการระบายน้ำไม่มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสำหรับทั้งพันธุ์ชัณษา 1 และ กข 25 แต่ก็มีแนวโน้มที่การระบายน้ำที่ช้ากว่าทำให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงสุดมากกว่า สำหรับพันธุ์ชัณษา 1 ทำนองเดียวกับที่ปลูกในปี 2541 (ตาราง 19) ซึ่งน่าจะเป็นเพราะความชื้นอากาศที่สูงและมีฝนตกขณะข้าวสุกแก่ ทำให้อิทธิพลของระยะเวลาการระบายน้ำไม่มากพอที่จะทำให้คุณภาพการสีแตกต่างกัน

ในปี 2541 ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 7 วันก่อนสุกแก่ทางศรีวิทยาไม่แตกต่างกัน น่าจะเป็นเพราะเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ที่ความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูง และมีฝนตกหลายวันในระยะสุกแก่ ทำให้อิทธิพลจากการขังน้ำหรือระยะเวลาการระบายน้ำน้อยกว่าที่พบในปี 2540 ที่วัดในต้นฤดูหนาวที่ไม่มีฝนตก และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ แต่ยังพบว่าอุณหภูมิในแปลงน้ำขัง ต่ำกว่าในแปลงที่ระบายน้ำออกเช่นเดียวกับในปี 2540 (ตาราง 19) ซึ่งน่าจะเป็นไปได้ว่า น้ำที่ขังในแปลงขณะสุกแก่ มีผลต่อการลดอุณหภูมิของเมล็ดข้าวในตอนกลางวัน ซึ่งน่าจะมีผลต่อการลดความเครียดความชื้นที่ทำให้เมล็ดข้าว

นอกจากเรื่องระยะเวลาการระบายน้ำแล้ว ยังมีงานศึกษาการจัดการน้ำโดยชุดิวัฒน์ และคณะ (2537) ที่พบว่าข้าวที่ปลูกในระดับน้ำสูง 20 เซนติเมตร ให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวที่ต่ำกว่าข้าวที่ปลูกในระดับน้ำ 0-12 เซนติเมตร แต่ให้เปอร์เซ็นต์ข้าวสารไม่ต่างกัน และโดย Sajwan

(1990) ที่รายงานว่า การให้น้ำแบบขังตลอด กับให้น้ำเมื่อแปลงแห้งไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว และเปอร์เซ็นต์เมล็ดข้าว ต่างกัน

สรุปได้ว่าอิทธิพลของระยะเวลาการระบายน้ำต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวจึงน่าจะมีหลายกระบวนการร่วมกัน ได้แก่โดยลดโอกาสของเมล็ดที่แตกหัก โดยลดอุณหภูมิเมล็ด เพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ อากาศกลางวัน ทำให้ลดการเสียดความชื้นเมล็ด หรือลดความเครียดที่ทำให้ข้าว ทำให้เปอร์เซ็นต์ในโตรเจนในเมล็ดเพิ่มขึ้นลดโอกาสการแตกหัก ดังที่กล่าวในเรื่องอิทธิพลในโตรเจนข้างต้น ทำให้ความชื้นในอากาศรอบเมล็ดสูงขึ้น และรักษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศรอบๆ ทำให้เมล็ดแห้งช้าลง และมีโอกาสแตกน้อย

2.3 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวตามระยะเวลาเก็บเกี่ยว

จากการศึกษาพบว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวที่สัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร และความชื้นเมล็ด ดังแสดงตัวอย่างในภาพ 3 นั้น สอดคล้องกับที่รายงานในหลายงานวิจัย โดยเฉพาะงานที่ศึกษาระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ที่ให้ได้ผลผลิตและคุณภาพการสีที่ดีที่สุด (Steffe *et al.*, 1980; Jongkaewwattana, 1990; Ali *et al.*, 1993; Nanju and De Datta, 1970; Seetanun and De Datta, 1973) สามารถวิเคราะห์ได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวก่อนการเก็บเกี่ยว นั้น แบ่งได้ตามพัฒนาการของเมล็ดเป็นสองระยะคือ ส่วนแรกเป็นระยะก่อนสุกแก่ที่เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ข้าวสารที่เพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีการสะสมน้ำหนักเมล็ดสูงสุด ขณะที่ความชื้นเมล็ดก็ลดลง เนื่องจากมีสัดส่วนของแป้งในเมล็ดมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวในระยะนี้เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนขององค์ประกอบของข้าวหักที่ได้แก่ เมล็ดที่มีรอยร้าว เมล็ดที่เป็นท้องไข่ เมล็ดอ่อน ที่จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดเมื่อสิ้นสุดการสะสมน้ำหนักเมล็ด และส่วนที่สองคือระยะที่เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวที่ระดับสูงสุดนั้นลดลงตามระยะเวลาที่ผ่านไป เนื่องมาจากเปอร์เซ็นต์เมล็ดที่ร้าวที่เป็นองค์ประกอบของการเป็นข้าวหักที่สำคัญที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามการลดลงของความชื้นเมล็ด ที่ลดลงหรือเปลี่ยนแปลงเพื่อให้สมดุลกับความชื้นอากาศ

ในสภาพที่การเจริญเติบโตตามรูปแบบปกติแล้วระยะเวลาที่ให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงสุดจะเป็นตรงกับระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา หรือที่เมล็ดสุกแก่ประมาณ 80เปอร์เซ็นต์ (Steffe *et al.*, 1980; De Datta, 1981) ที่ผลผลิตเพิ่มถึงระดับสูงสุดหรือเป็นระยะที่ให้เปอร์เซ็นต์ข้าวสารสูงสุด แต่อาจมีบางกรณีที่ระยะเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงสุดจะถึงก่อนระยะให้ผลผลิตสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับหลายงานวิจัยโดย Matsubayashi *et al.* (1965) และ Steffe *et al.* (1980) ที่อธิบายได้ว่า เมื่อผลผลิตสูงสุดหรือการสะสมน้ำหนักเมล็ดถึงจุดสูงสุดนั้น มีเมล็ดบางส่วนที่สุกแก่ก่อนแตกข้าวเนื่องจาก

ความเครียดของความชื้น ทำให้โอกาสเมล็ดหักมากขึ้น ซึ่งถ้าเปอร์เซ็นต์เมล็ดหักที่มากขึ้นเนื่องจากสาเหตุนี้มากกว่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวที่เพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร ในขณะที่ผลผลิตเพิ่มขึ้นสูงสุดแล้ว เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวขณะผลผลิตสูงสุดที่ระยะสุกแก่ก็จะน้อยลงได้

การลดลงของเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวในทุกๆ พันธุ์ ทุกๆ วันปลูกนั้น ตามระยะเวลาหลังการสุกแก่ ขณะที่เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวค่อนข้างคงที่ มีสาเหตุมาจากการเกิดความเครียดจากความชื้นเมล็ดเป็นหลัก เพราะเป็นเพียงองค์ประกอบเดียวของเปอร์เซ็นต์ข้าวหักที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาหลังจากสุกแก่ โดยสัมพันธ์กับความชื้นเมล็ดที่ลดลงเรื่อยๆ และแม้ว่าความชื้นเมล็ดจะลดลงถึงระดับที่ค่อนข้างคงที่หรือสมดุลกับอากาศแล้ว เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวก็ยังลดลงไปเรื่อยๆ แสดงให้เห็นว่าการเกิดความเครียดเนื่องจากความชื้นเกิดขึ้นได้ตลอด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความชื้นและอุณหภูมิอากาศในรอบวัน นอกจากนี้ยัง พบว่าอัตราการข้าวญี่ปุ่น ก.วก.1 มีอัตราการการลดของเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวต่ำกว่าข้าวเมล็ดยาวพันธุ์อื่น สอดคล้องกับเรื่องอิทธิพลของพันธุกรรมต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวดังที่ได้อธิบายมาแล้ว (ภาพ 3)

สรุป

จากภาพรวมของอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่กำหนดคุณภาพการสี สรุปได้ว่าปัจจัยในระบบการปลูกข้าวที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพการสีอยู่ภายใต้ระบบที่สำคัญ คือ ระบบการสะสมเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร และระบบที่กำหนดเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวที่ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ข้าวสารและเปอร์เซ็นต์การหักของข้าวสาร ซึ่งแยกได้เป็นสองระยะคือระยะที่เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเพิ่มขึ้นถึงระดับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงสุด และระยะที่มีการลดลงของเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวจากการเพิ่มของเปอร์เซ็นต์เมล็ดร้าวที่สัมพันธ์กับการลดลงของความชื้นเมล็ดให้สมดุลกับอากาศ

เปอร์เซ็นต์ข้าวสารนั้นขึ้นอยู่กับกระบวนการสะสมน้ำหนักเมล็ด ถูกจำกัดโดยสัดส่วนของน้ำหนักเมล็ดสูงสุด แกลบและรำ ซึ่งสัมพันธ์กับรูปร่างและขนาดเมล็ด ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะพันธุ์ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร คือปัจจัยทางพันธุกรรมของรูปร่าง ขนาดและน้ำหนักรวม และปัจจัยสิ่งแวดล้อมหรือการจัดการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสะสมน้ำหนักเมล็ด ได้แก่อุณหภูมิและอัตราปุ๋ยไนโตรเจน

เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร และเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก โดยการหักเกี่ยวข้องกับซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างเมล็ด และสัดส่วนของเมล็ดที่มีโอกาสแตกหักสูงที่ได้แก่เมล็ดที่เป็นท้องไขเมล็ดอ่อน และเมล็ดที่มีรอยร้าว

ความเป็นท้องไข และเมล็ดอ่อน สัมพันธ์กับปัจจัยจำกัดการสะสมน้ำหนักเมล็ด ที่ได้แก่อุณหภูมิต่ำสุด หรือสูงสุด สัดส่วนเมล็ดที่มีรอยร้าว สัมพันธ์กับสัดส่วนของเมล็ดที่มีความชื้นต่ำ ที่ขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของการสุกแก่ และขึ้นอยู่กับความชื้นอากาศ

ปัจจัยการจัดการที่ได้แก่ อัตราปุ๋ยไนโตรเจน มีผลในทางบวกต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว ยกเว้นในระดับที่สูงเกินไปทำให้ข้าวหักล้ม น้ำหนักเมล็ดไม่สมบูรณ์ และเปอร์เซ็นต์ข้าวสารต่ำ โดยที่เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ดมีแนวโน้มที่สัมพันธ์ทางบวกกับเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวด้วย ขณะที่การยืดระยะเวลาระบายน้ำ น่าจะมีผลหลายทางต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว ได้แก่ ลดความเครียดอุณหภูมิและความชื้นของเมล็ด หรือเพิ่มเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในเมล็ด

ความเข้าใจและภาพรวมของกระบวนการกำหนดคุณภาพการสีของข้าวนี้ สามารถนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหาคุณภาพการสีทั้งในระดับปฏิบัติในแปลงและระดับนโยบาย เป็นความรู้และทิศทางในการวางแผนการวิจัยและพัฒนาในผลิตข้าวที่คำนึงถึงผลผลิตและคุณภาพการสีอย่างเป็นระบบ และเป็นพื้นฐานในการสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายคุณภาพการสีจากปัจจัยการจัดการสภาพแวดล้อม ในแปลงปลูก และลักษณะพันธุกรรม ดังที่เสนอนใน จิรวัดน์ (2544 ค)

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงพาณิชย์ 2540. มาตรฐานข้าวไทย พ.ศ.2540 กระทรวงพาณิชย์. 142 หน้า.
- กรมวิชาการเกษตร. 2539. งานวิจัยและพัฒนาข้าว การประชุมวิชาการประจำปี 2539. 22-26 เมษายน 2539
- กิตติยา กิจควรวดี ไพฑูรย์ อุไรวงศ์ นิพนธ์ มาฆทาน ศิริวรรณ ตั้งวิสุทธิจิต บัวดา เกิดโกมุตี เครือวัลย์ อัดตะวีริยะสุข และกัมปนาท มุขดี. 2539. คุณภาพเมล็ดข้าวโคชชิการิเมื่อเก็บเกี่ยวอายุต่าง ๆ รายงานการประชุมทางวิชาการปี 2539. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี. 21-22 กุมภาพันธ์ 2539 . สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร .
- แขสมาลย์ จันทร์เครือญาติ. 2543. อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมไอโอไดด์ที่มีต่อคุณภาพการสีและคุณภาพทางโภชนาการของข้าว วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 2543.
- เครือวัลย์ อัดตะวีริยะสุข ศรีสุดา อนุสรณ์พานิช ศรีศักดิ์ ธานี สุภวัตร ทิพย์รักษ์ รุจี กุลประสูติ และศิริพร ลืมปีติกุล 2528 ก. อิทธิพลของความชื้นขณะเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพการสีของข้าว ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี . สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร .
- เครือวัลย์ อัดตะวีริยะสุข สุขภาพ สุนทรศรีสุดา สมาชิกธน์ สุภคิลปี รุจี กุลประสูติ สัณญา โรจนรักษ์ และ ศิริพร ลืมปีติกุล 2528 ข. คุณภาพการสีของเมล็ดข้าวที่มีระดับท้องไขต่างกัน ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี . สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร.
- เครือวัลย์ อัดตะวีริยะสุข อังคณา เหลืองศิริโรจน์ รุจี กุลประสูติ สุนันทา หมั่นพล ภัทธธนา พุดเพ็ง กิ่งแก้ว คุณเขต และกัมปนาท มุขดี. 2539 . คุณภาพการสีและคุณสมบัติเมล็ดทางกายภาพของข้าวญี่ปุ่น การประชุมวิชาการปี 2539 ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี วันที่ 21-22 กุมภาพันธ์ 2539. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร.
- เง็กเซ่งฮวด, ห้างหุ้นส่วนจำกัด. 2541 คู่มือการใช้งานเครื่องสี เครื่องขัดขาว และเครื่องแยกเมล็ดข้าว ห้างหุ้นส่วนจำกัด เง็กเซ่งฮวด กรุงเทพฯ.
- จิรวัดน์ เวชแพศย์ 2544 ก. วิเคราะห์การใช้แบบจำลอง CERES-Rice 3.5 เพื่อศึกษาอิทธิพลของภูมิอากาศและพันธุกรรมที่มีต่อผลผลิตข้าว ใน “การใช้วิธีวิจัยเชิงระบบวิเคราะห์อิทธิพลปัจจัยต่อผลผลิตและคุณภาพการสีของข้าว” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

- จิรวัดน์ เวชแพศย์ 2544 ข. การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยการจัดการต่อผลผลิตข้าวโดยใช้แบบจำลอง CERES-Rice 3.5 ใน “การใช้วิธีวิจัยเชิงระบบวิเคราะห์อิทธิพลปัจจัยต่อผลผลิตและคุณภาพการสีของข้าว” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรศษุภีบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- จิรวัดน์ เวชแพศย์ 2544 ค. การจำลองระบบของปัจจัยก่อนเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อคุณภาพการสีของข้าว ใน “การใช้วิธีวิจัยเชิงระบบวิเคราะห์อิทธิพลปัจจัยต่อผลผลิตและคุณภาพการสีของข้าว” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรศษุภีบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- จารุวรรณ บางแวก และ ประโยชน์ เจริญธรรม. 2542 . ความสำคัญของ Secondary branches บนรวงในการปรับปรุงคุณภาพท้องไขของเมล็ดข้าว. วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน 2542. หน้า 52-56.
- จำนง ค์ พูลสวัสดิ์. 2533. ข้าวญี่ปุ่นในประเทศไทย. หนังสือพิมพ์กสิกร ปีที่ 63 ฉบับที่ 1 มกราคม-กุมภาพันธ์ 2533. หน้า 11-16.
- ชุตีวัฒน์ วรรณสาย นิวัฒน์ นภีรงค์ ดิเรก อินตาพรหม สุพัตรา สุวรรณธาดา สออง ไชยรินทร์ 2537 อิทธิพลของระดับน้ำต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของข้าวดอกมะลิ 105 การสัมมนาเรื่องการพัฒนาข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ครั้งที่ 6 8-9 มีนาคม 2537 ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก
- ชุตีวัฒน์ วรรณสาย นิวัฒน์ นภีรงค์ ดิเรก อินตาพรหม ดิเรก อินตาพรหม สุพัตรา สุวรรณธาดา และ สออง ไชยรินทร์ 2538 อิทธิพลของอายุกล้าและอัตราปุ๋ยในโตรเจนต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของข้าวดอกมะลิ 105 วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2538 หน้า 96-101
- ตติย สีหราช. 2538. สมบัติทางชีวเคมีของข้าวไทย *Oryza sativa* L. ในสภาพการปลูกที่แตกต่างกัน และความสัมพันธ์กับคุณภาพการสีและการหุง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุญลักษณ์ วงศ์สุทธาชิน ชอบ คณะฤกษ์ งามชื่น กงเสรี และ เครือวัลย์ อัดตะวีริยะสุข 2517. อิทธิพลของปุ๋ยในโตรเจนอัตราต่างๆ ต่อคุณภาพของเมล็ดข้าว. รายงานผลการค้นคว้าวิจัย ปี 2517. กองการข้าวและกองแผนงาน กรมวิชาการเกษตร
- ไพบตรี แนวพนิช . 2539. ความชื้นข้าวเปลือก. ใน สัมมนาเชิงปฏิบัติการคุณภาพข้าว. 17-20 ธันวาคม 2539. กองเกษตรวิศวกรรม. กรมวิชาการเกษตร

- เขาวเรศ ไชยกันทา. 2541. ผลของวิธีการลดความชื้นก่อนการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวคัน
ฝน วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาพืชไร่ มหาวิทยาลัย
เชียงใหม่.
- วิวัฒน์ มัชยกุล. 2531. การศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการระบายน้ำออกต่อผลผลิต และคุณภาพ
ของเมล็ดข้าว. การสัมมนาทางวิชาการกลุ่มข้าวและธัญพืชเมืองหนาว. สถาบันวิจัยข้าว.
กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ น.126-129
- สุภศักดิ์ ลิ้มปิติ และ วิบูลย์ ช่างเรือ. 2535. การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวของข้าวญี่ปุ่นในฤดูนาปี. ศูนย์
วิจัยและฝึกอบรมมหาวิทยาลัยหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- สุภศักดิ์ ลิ้มปิติ และพรชัย เหลืองอากาศ. 2539. ผลของสารเร่งการสุกแก่ต่อการเก็บเกี่ยวข้าวและ
คุณภาพการสี. วารสารเกษตรศาสตร์ 12(2) : 115-124 (2539).
- สุพัตรา สุวรรณชาติ สออง ไชยรินทร์ สุมาลี สุทรายยศ จิตกร นวลแก้ว และอนันต์ ผลวัฒน์.
2537. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและคุณภาพการสีของข้าวญี่ปุ่นเมื่อปลูกในระยะเวลา
ต่างกัน. การสัมมนาเรื่องการพัฒนาข้าว และธัญพืชเมืองหนาว ครั้งที่ 6 8-9 มีนาคม 2537
ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร
- สมพร คำยศ. 2532. อิทธิพลของวันปลูกที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพเมล็ดของข้าวหอมในภาคใต้.
วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- อำนาจ สุวรรณฤทธิ์ สมชาย กริธาภิรมย์ สุภาพ บูรณากาญจน์ วารุณี วารัญญานนท์ พชร ตั้ง
ตระกูล ศิริชัย สมบูรณ์พงษ์ ทรงศักดิ์ รัฐปัติย์ สัมพันธ์ รัตนสุภา ปัญญา ร่มเย็น ทรงชัย
วัฒนพ่ายพกุล กรรณิกา นากลาง สว่าง โรจนกุศล และพิทักษ์ พรอุไรสนธิ 2540. ผลของ
ปุ๋ยในโตรเจนต่อคุณภาพเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105. ใน การประชุมวิชาการของมหา-
วิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 3-5
กุมภาพันธ์ 2540. หน้า 129-144.
- Ali, A., M.A.Karim, L.Ali, S.S. Ali, M.Jamil, G.Hassan and A.Majid. 1991. Relationship of
transplanting time to grain quality in Basmati 385.IRRN 16:5 (October 1991).
- Ali, A., M.A.Karim, L.Ali, S.S. Ali, M.Jamil, G.Hassan and A.Majid. 1992a. Relation between
rice grain quality and land preparation methods.. IRRN 17:3 (June 1992) p.7
- Ali, A., M.A.Karim, L.Ali, S.S.Ali, M.Jamil, G.Hassan and A.Majid. 1992b. Rice grain quality
as influenced by split application of nitrogenous fertilizer. IRRN 17:3 (June 1992) p.7

- Ali, A., M.A. Karim, A. Majid, G. Hassan, L. Ali and S.S. Ali. 1993. Grain quality of rice harvested at different maturities. IRRN 18: 2 (June 1993).
- Ahmed, J. 1990. Influence of low light intensity on production of high density (HD) grain. IRRN 15:4 (August 1990). p.7.
- Bay, N.D. 1994. Stability of rice grain quality under different fertilizer levels . IRRN 19:4 (December 1994).
- Bangwaek, C. 1994. Factors affecting grain chalkiness in deepwater and floating rices (*Oryza sativa* L.) Ph.D. Dissertation. University of the Philippines. Los Baños .
- Banaszek, M.M. and T.J. Siebenmorgen. 1990a. Adsorption equilibrium moisture of long-grain rough rice. Transactions of ASAE Vol.33 (4)
- Banaszek, M.M. and T.J. Siebenmorgen. 1990b. Moisture adsorption rates of rough rice. Transactions of ASAE Vol.33 (4)
- Chau, N.N. and O.R.Kunze. 1982. Moisture content variation among harvested rice grains. Transaction of ASAE, 28(4):1037.
- Counce, P.A., T.J. Siebenmorgen, E.D. Vories and D.J. Pitts. 1990. Time of drainage and harvest effects on rice grain yield and quality. J.Prod. Agric., 3(4):436
- De Datta, S.K.. 1981. Principles and Practices of Rice Production. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons, Inc. Printed in Singapore. 619 pp.
- Efferson, J.N. 1985. Rice quality in world markets. *In* Rice Grain Quality and Marketing. Paper presented at the International Rice Research Conference 1-5 June 1985.
- Fagade, S.O. and A.A. Ojo. 1977. Influence of plant density and nitrogen on yield and milling quality of lowland rice in Nigeria. Expl. Agric.13 : 17-24.
- Fujita, K., V.P. Coronel and S. Yoshida. 1984. Grain filling characteristic of rice varieties (*Oryza sativa* L.) differing in grain size under controlled environmental conditions. Soil Sci. Plant Nutr., 30(3), 445-454
- Geng, S. , J.F. Williams and J.E. Hill. 1984. Harvest moisture effects on rice milling quality. California Agriculture. 38: 11-12.

- Goodman, D.E. and R.M. Rao. 1985. Effect of grain type and milled rice kernel hardness on the head rice yields. *J. Food Sci.* 50: 840-842.
- Henderson, S.M. 1954. The causes and characteristics of rice checking. *Rice J.* 57(5): 16-18.
- Hunt, L.A., J.W. Jones, J.T. Ritchie and P.S. Teng. 1989. Genetic Coefficients for the IBSNAT Crop Models. p15-29. In IBSNAT Symposium Part I: Symposium Proceedings. Decision Support System for Agrotechnology Transfer. 81st Annual Meeting of the American Society of Agronomy, Lasvagas, Nevada, Sites Network for Agrotechnology Transfer.
- Huysmans, A.A.C. 1965. Milling quality of paddy as influenced by timing of the harvest. *IRCN.* Vol. XIV, No.3. September 1965.
- International Rice Research Institute. (IRRI) 1992. Rice grain marketing and quality Issues. International Rice Research Institute. Philippines 66 p
- Jones, D.B., M.L. Peterson and S. Geng. 1979. Association between grain filling rate and duration and yield components in rice. *Crop Sci.* 19:641-644.
- Jongkaewwattana, S. 1990. A Comprehensive Study of Factors Influencing Rice (*Oryza sativa*) Milling Quality. Ph.D. Dissertation. Department of Agronomy and Range Science. College of Agricultural and Environmental Sciences. University of California at Davis. USA.
- Jongkaewwattana, S., S.Geng, J.E.Hill and B.C.Miller. 1993. Within-panicle variability of grain filling in rice cultivars with different maturities. *J. Agro & Crop Sci.* 171, 236-242.
- Juliano, B.O. and L. Bechtel. 1985. The rice grain and its gross composition. *In Rice Chemistry and Technology.* Minnesota. USA. p.17-57
- Kamijima, O. 1997. White core and white belly. *In Science of the Rice Plant.* Volume 3 Genetics. Matsuo *et al.* (eds) Food and Agriculture Policy Research Center. Tokyo. p.463-469.
- Karim, M.A., A.Ali, L.Ali, S.S. Ali, A. Mhmood, A. Majid and T.A. Akhar. 1992. Effect of plant density on rice grain quality. *IRRN* 17:6(December 1992) p.12.
- Kocher, M.F., T.J. Siebenmorgen, R.J. Norman, B.R. Wells. 1990. Rice kernel moisture variation at harvest. *Transaction of ASAE.* Vol.33(2)

- Kunze, O.R. and C.W. Hall. 1965. Relative humidity changes that cause brown rice to crack. Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 8:396
- Kunze, O.R. and S. Prasad. 1978. Grain fissuring potentials in harvesting and drying of rice. Transaction of ASAE ,21(2):361
- Kunze, 1985. Effect of environment and variety on milling qualities of rice *In Rice Grain Quality and Marketing*. International Rice Research Institute. Philippines. pp.37-47.
- Kunze, O.R. and D.L. Calderwood. 1985. Rough rice drying. Chapter 6 *In Rice: chemistry and technology*. Rev.edition. B.O. Juliano, ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.
- Lan, Y. and Kunze. 1996. Fissure characteristics related to moisture adsorption stresses in rice. Transaction of ASAE. Vol.39(6):2169-2174.
- Lijuan, C. 1995. Rice Quality in Relation to Fertilizer: Management and Market Prices in Yunnan. M.S.Thesis (Agriculture). Chiang Mai University. Chiang Mai. Thailand.
- Matsubayashi, M., R. Ito, T.Takase, T. Nomoto and N.Yamada. 1965. Theory and Practice of Growing rice. Fuji Publishing Co.Ltd. Tokyo. p.428.
- Matsushima, S. 1957. Analysis of developmental factors determining yield and yield prediction in lowland rice. Bull. of National Institute of Agricultural Sciences Series A. No.5.
- Matthew, J., T.J. Abadie, H.J. Deobald, and C.C. Freeman. 1970. Relation between head rice yields and defective kernel in rough rice. Rice J. 73(10): 6-12.
- Muthukumarappan, K., V.K.Jindal, S. Gunasekaran. 1992. Volumetric changes in rice kernels during desorption and adsorption. Transaction of ASAE. Vol.35(1): January-February 1992.
- Nagato, K. 1973. On the quality of rice kernels. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 42:238-257.
- Nakatat, S. and B.R. Jackson. 1973. Inheritance of some physical grain quality characteristics in a cross between a Thai and Taiwanese rice. Tha J. Agr. Sci. 6:223-235.
- Namuco, O.S. and K.T. Ingram. Changes in water content of rice grain during water deficit. IRRN 19:2 (June 1994).

- Nangju, S. and S.K. De Datta. 1970. Effect of time of harvest and nitrogen level on yield and grain breakage in transplanted rice. *Agron. J.* 62: 468-474.
- Namuco, O.S. and K.T. Ingram. 1994. Changes in water content of rice grain during water deficit. *IRRN* 19:2 (June 1994).
- Palapac, A.C. 1982. World rice statistics. International Rice Research Institute, Philippines. 152 pp.
- Rhind, D. 1962. Breakage of rice in milling: A review. *Trop. Agric. (West-Indies)* 39(1):19-28.
- Sajawan, K.D., D.I. Kaplan, B.N. Mitra, and H.K. Pande . 1990. Effects of nitrogen and water management practices on yield, grain quality, and milling out-turn of rice. *Applied Agricultural Research* Vol.5, No.3 :198-204.
- Seetanun, W. and S.K. De Datta. 1973. Grain yield, milling quality, and seed viability of rice as influenced by time of nitrogen application and time of harvest. *Agron. J.* 65: 390-394.
- Seo, S.W. and Y. Ota. 1982. Role of the hull in the ripening of rice plant. *Japan. Jour. Crop Sci.* 51(4) : 529-534.
- Siebenmorgen, T.J. and V.K. Jindal. 1986. Effects of moisture adsorption on the head rice yields of long-grain rice. *Transaction of the ASAE*: 29(6):1767-1771.
- Siebenmorgen, T.J. , P.A. Counce, R.Lu and M.F.Kocher. 1991. Correlation of head rice yield to individual kernel moisture content distribution at harvest. ASAE Paper No.91-6060. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI
- Siebenmorgen, T.J. 1994. Role of moisture content in affecting head rice yield. *Rice science and technology*. Edited by W.E.Marshall and J.I.Wadsworth. Marcel Dekker, Inc. New York. p.341-380.
- Singh, B.P.N. 1989 Model for absorption of liquid water by grains. . *Transactions of ASAE* Vol.32 (6)
- Somrith, B.1974. Genetic analysis of traits related to grain yield and quality in two crosses of rice. Ph.D.Dissertation. Indian Agric.Res.Inst., New Delhi.
- Srinivas, T., and M.K. Bhashyam. 1985. Effect of variety and environment on milling quality of rice. *In Rice Quality and Marketing*. International Rice Research Institute. pp.49-58

- Stansel, J. W. 1975. The rice plant - its development and yield. Texas Agr. Expt. Sta. Research Monograph 4:9-21.
- Steffe, J.F., R.P. Singh, and G.E. Miller, Jr. 1980. Harvest, Drying and Storage. Rice: Production & Utilization. AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut. USA.
- Tanaka, A. 1976. Comparisons of rice growth in different environments. Proceedings of the symposium on climate and rice. International Rice Research Institute. p.429-448
- Tashiro, T. and M. Ebata. 1979. Effect of nitrogen top dressing at heading stage on the occurrence of white-belly kernel. Japan. Jour. Crop Sci. 48(1):99-106.
- Webb, B.D. 1980. Rice quality and grades. In Rice: Production and Utilization. Bor S. Luh. ed. AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut. p.543-565
- Webb, B.D. and D.L. Calderwood. 1977. Relationship of moisture content to degree of milling in rice. Cereal Food World 22(9):484.
- Yoshida, S., and T. Hara. 1977. Effects of air temperature and light on grain filling of an Indica and a Japonica rice (*Oryza sativa* L.) Soil Sci. Plant Nutr., 23
- Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute, Philippines. 269 pp.

ตารางภาคผนวก 1 (ต่อ)

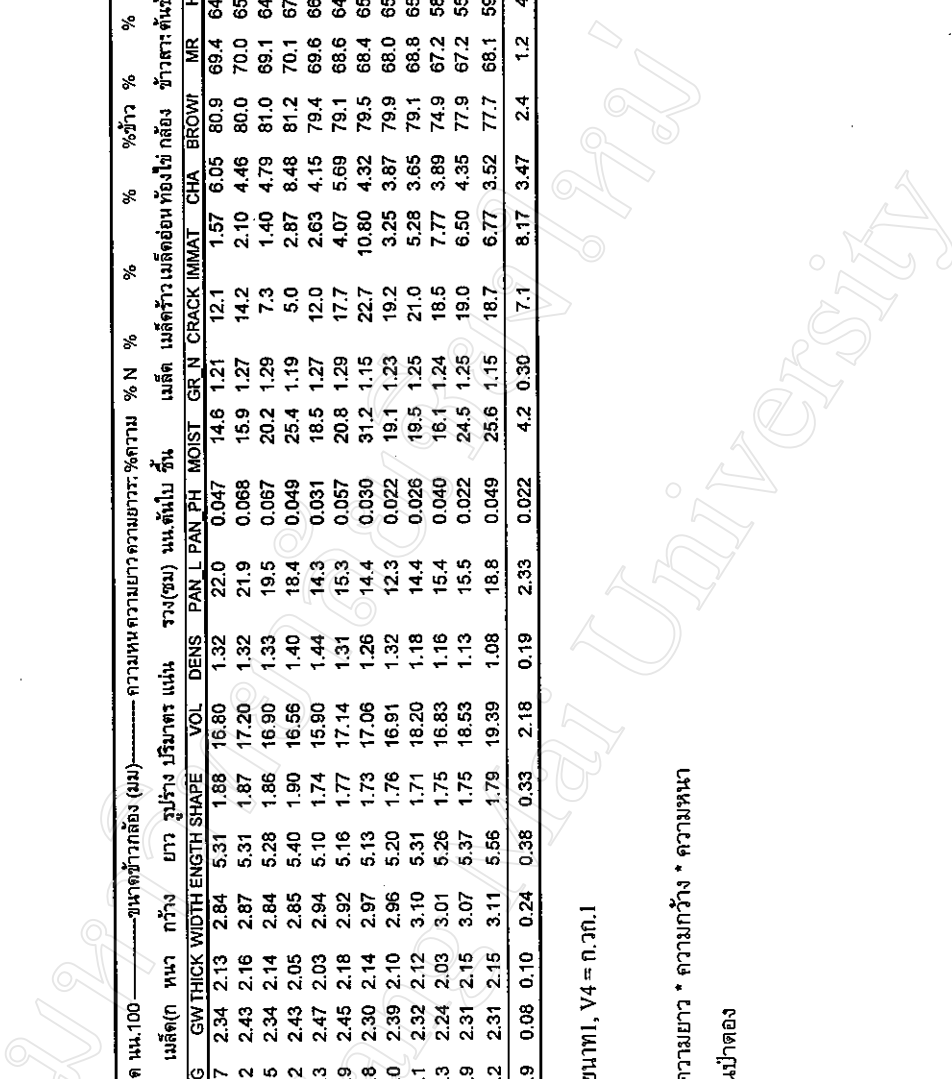
V P	PLANT	Maturity	GY	TDMY	HI	PAN#	SPK	UFG	GW	THICK	WIDTH	LENGTH	SHAPE	VOL	DENS	PAN L	PAN PH	MOIST	GR N	CRACK	IMMAT	CHA	BROWI	%ข้าว	%ข้าว	%ข้าว	%
4 1	21-Jun-97	10-Sep-97	1,458	6,101	0.24	281	39.9	51.7	2.34	2.13	2.84	5.31	1.88	16.80	1.32	22.0	0.047	14.6	1.21	12.1	1.57	6.05	80.9	69.4	64.5	4.9	
4 2	23-Jul-97	14-Oct-97	2,748	6,078	0.45	272	48.8	26.2	2.43	2.16	2.87	5.31	1.87	17.20	1.32	21.9	0.068	15.9	1.27	14.2	2.10	4.46	80.0	70.0	65.9	4.1	
4 3	25-Aug-97	16-Nov-97	2,258	5,297	0.43	163	65.2	21.5	2.34	2.14	2.84	5.28	1.86	16.90	1.33	19.5	0.067	20.2	1.29	7.3	1.40	4.79	81.0	69.1	64.9	4.1	
4 4	25-Sep-97	27-Dec-97	3,194	6,972	0.46	208	63.4	14.2	2.43	2.05	2.85	5.40	1.90	16.56	1.40	18.4	0.049	25.4	1.19	5.0	2.87	8.48	81.2	70.1	67.3	2.8	
4 5	24-Oct-97	07-Feb-98	2,673	7,231	0.37	257	49.0	21.3	2.47	2.03	2.94	5.10	1.74	15.90	1.44	14.3	0.031	18.5	1.27	12.0	2.63	4.15	79.4	69.6	66.2	3.3	
4 6	24-Nov-97	10-Mar-98	2,441	5,321	0.46	228	54.0	29.9	2.45	2.18	2.92	5.16	1.77	17.14	1.31	15.3	0.057	20.8	1.29	17.7	4.07	5.69	79.1	68.6	64.1	4.5	
4 7	24-Dec-97	08-Apr-98	4,422	9,297	0.48	280	68.8	13.8	2.30	2.14	2.97	5.13	1.73	17.06	1.26	14.4	0.030	31.2	1.15	22.7	10.80	4.32	79.5	68.4	65.2	3.2	
4 8	24-Jan-98	02-May-98	4,417	10,454	0.44	300	56.4	6.0	2.39	2.10	2.96	5.20	1.76	16.91	1.32	12.3	0.022	19.1	1.23	19.2	3.25	3.87	79.9	68.0	65.0	3.0	
4 9	24-Feb-98	20-May-98	3,226	9,291	0.36	261	52.6	12.1	2.32	2.12	3.10	5.31	1.71	18.20	1.18	14.4	0.026	19.5	1.25	21.0	5.28	3.65	79.1	68.8	65.3	3.5	
4 10	24-Mar-98	09-Jun-98	1,969	6,200	0.33	243	78.5	58.3	2.24	2.03	3.01	5.26	1.75	16.83	1.16	15.4	0.040	16.1	1.24	18.5	7.77	3.89	74.9	67.2	58.1	9.1	
4 11	24-Apr-98	10-Jul-98	2,659	9,877	0.27	402	46.9	46.9	2.31	2.15	3.07	5.37	1.75	18.53	1.13	15.5	0.022	24.5	1.25	19.0	6.50	4.35	77.9	67.2	55.2	12.0	
4 12	25-May-98	21-Aug-98	1,877	5,750	0.32	334	49.7	57.2	2.31	2.15	3.11	5.56	1.79	19.39	1.08	18.8	0.049	25.6	1.15	18.7	6.77	3.52	77.7	68.1	59.1	9.0	
5%LSD			786	2832	0.10	64.1	28.0	9.9	0.08	0.10	0.24	0.38	0.33	2.18	0.19	2.33	0.022	4.2	0.30	7.1	8.17	3.47	2.4	1.2	4.8	4.5	

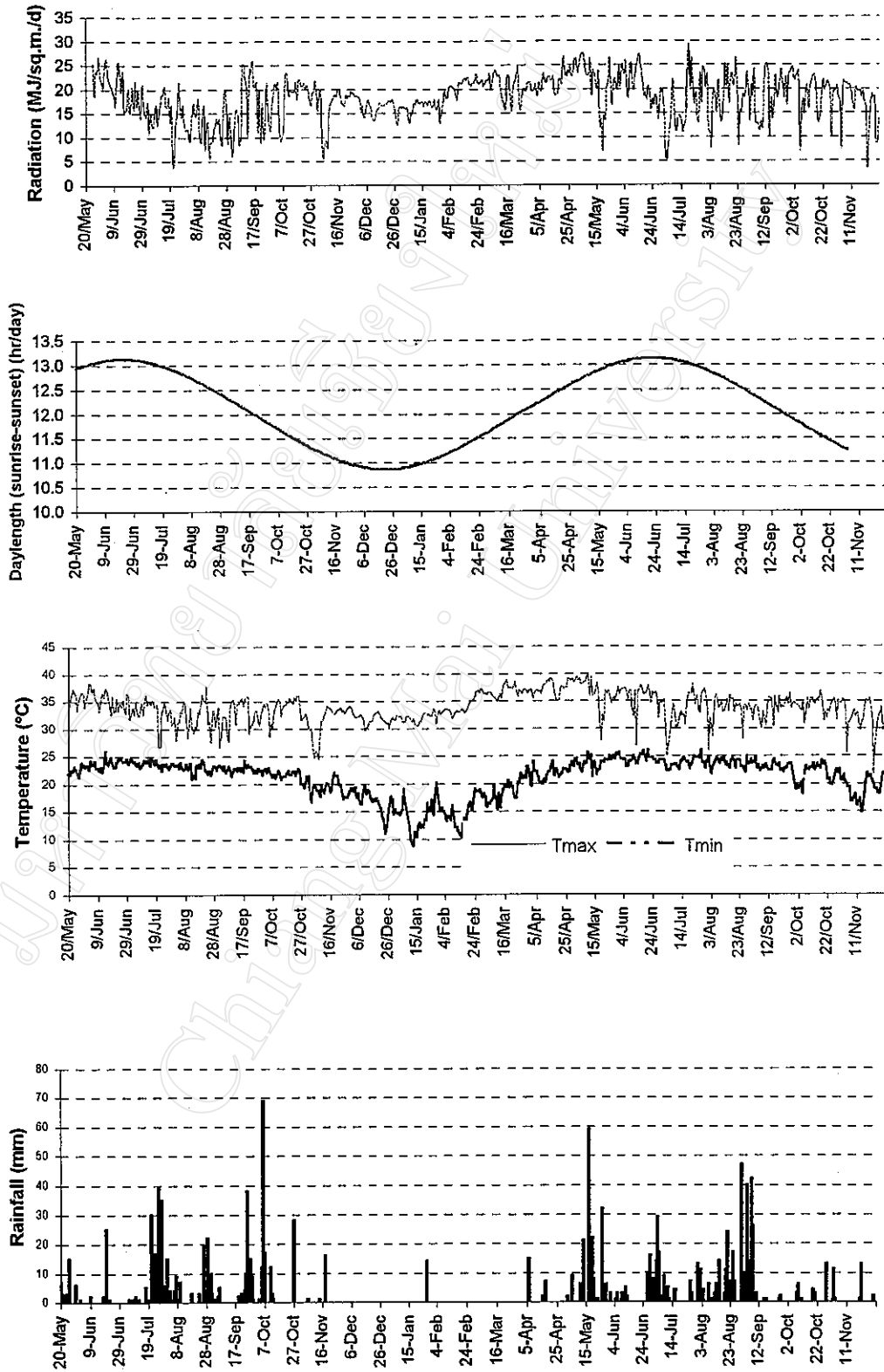
หมายเหตุ: V1 = ขาดดอกมะลิ105, V2 = หนิยาวเกินไปตอง, V3 = ขี้ชนทพ, V4 = ก.ภ.1

รูปร่าง = ความยาวความกว้าง

ปริมาตร ประมาณจากรูปร่างแบบ ellipsoid = $\frac{4}{3}\pi r^3$ * ความยาว * ความกว้าง * ความหนา

na = ไม่ได้เก็บข้อมูล 3 ตัวแปรนี้สำหรับข้าวเหนียวสามป่าตอง





ภาพภาคผนวก 1 ตัวแปรภูมิอากาศรายวัน ม.เชิงใหม่ (18.780° , 98.950°) มิ.ย. 40- พ.ย.41
 (หุ้กค่าบ้นทึ่กั้จาก Data Logger ชกเว้่นความยาววัน(Daylength) ที่คำนวณโดย CERES-Rice)