ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าวบาร์เลย์ภายใต้สภาพน้ำท่วมขัง

ชื่อผู้เขียน นายสาวิตร มีจุ้ย

วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชา พืชไร่

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ศาสตราจารย์ ดร. จักรี เส้นทอง	ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร. คนัย บุณยเกียรติ	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดำเนิน กาละดี	กรรมการ
ดร.บริบูรณ์ สมฤทธิ์	กรรมการ

บทคัดย่อ

การปลูกข้าวบาร์เลย์ (*Hordeum vulgare* L.) ในพื้นที่นาของประเทศไทย มักจะพบกับปัญหาของสภาพน้ำท่วมขัง ที่มีผลทำให้ดินขาดออกซิเจน และจะมีผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของข้าวบาร์เลย์ ดังนั้นจึงได้ศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าวบาร์เลย์ภายใต้สภาพน้ำขัง เป็นจำนวน 5 การทดลอง ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง จ.ลำปาง ในช่วงปี พ.ศ. 2540 - 2543

ใน ปี พ.ศ. 2540-2541 ได้ศึกษาผลกระทบของสภาพการให้น้ำต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวบาร์เลย์จำนวน 9 สายพันธุ์ ในสภาพแปลงนา ซึ่งพบว่า การให้น้ำท่วมแปลงแล้วระบายออกโดยเริ่มตั้งแต่ข้าวบาร์เลย์มี 3-4 ใบจนถึงระยะสุกแก่ มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของใบ และของเมล็ดลดลง น้ำหนักแห้งรวมทั้งต้นที่ระยะสุกแก่จะลดลง จำนวนรวงต่อตารางเมตรและผลผลิตที่ได้จะน้อยลง แม้ว่าข้าวบาร์เลย์ทุกสายพันธุ์ยกเว้นกลุ่มที่ทนทาน จะมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง (อัตราการสังเคราะห์แสง อัตราการคายน้ำและความต้านทานของปากใบ) เพิ่มขึ้นในสภาพของการให้น้ำดังกล่าว พันธุ์ SMG1 ทนต่อสภาวะน้ำขังระยะสั้นมากที่สุด เพราะมีอัตราการเจริญเติบโตคงที่ มีประสิทธิภาพการถ่ายเทน้ำหนักแห้งสูง และสร้างจำนวนรวงต่อตารางเมตรที่มากกว่า สำหรับสายพันธุ์ FNBLS#140 จะทนต่อสภาวะน้ำขังระยะสั้นได้ในระดับปานกลาง ส่วนสายพันธุ์ BRBRF9629 อ่อนแอต่อสภาวะน้ำขังมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า ลักษณะน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้นที่ระยะสุกแก่ มีความสัมพันธ์ทางบวกกับศักยภาพการสร้างผลผลิตในทุกระดับของสภาพการให้น้ำ สำหรับจำนวนรวงต่อตารางเมตร เป็นองค์ประกอบผลผลิตที่สำคัญที่มีอิทธิพลโดยตรงกับการสร้างผลผลิตเมล็ด

ในปี พ.ศ. 2542-2543 ได้ศึกษาผลกระทบของสภาวะน้ำขังระยะสั้นต่อคุณภาพเมล็ดเพื่อการผลิตมอลท์ โดยใช้พันธุ์และสายพันธุ์ข้าวบาร์เลย์ที่ได้มาจากการคัดเลือกของการทดลองที่ 1 คือ SMG1, FNBLS#140 และ BRBRF9629 ปลูกในกระถางทดลอง พบว่า ข้าวบาร์เลย์ทั้ง 3 สายพันธุ์ ใช้ปริมาณน้ำตาลและไนโตรเจนในส่วนยอด เพื่อการปรับตัวให้ระบบรากอยู่รอดได้ในระยะแรกของการเจริญเติบโต หลังจากนั้นจึงเร่งเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง และกิจกรรมเอนไซม์ nitrate reductase (NR) เพื่อรักษาการเจริญเติบโตของเมล็ดให้เป็นปกติ พันธุ์ SMG1 สามารถปรับตัวให้อยู่รอดในสภาพน้ำขังได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ สายพันธุ์ FNBLS#140 และ BRBRF9629 ตามลำดับ ปริมาณการสะสมน้ำตาลและแป้งในเมล็ดจะลดลง ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดจะสูงขึ้นกว่าปกติ โดยเฉพาะในสภาพที่มีน้ำขัง 3 วัน พันธุ์ SMG1 สามารถปลูกได้ดีในสภาพน้ำขัง โดยมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดและเปอร์เซ็นต์ความงอกภายใน 3 วัน ที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการผลิตมอลท์ แต่จะมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนในเมล็ดสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

ในปีพ.ศ.2542 ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมของเอนไซม์ alcohol dehydrogenase (ADH) ปริมาณเอทธิลีน และขนาดช่องโพรงอากาศในราก ของต้นกล้าข้าวบาร์เลย์สายพันธุ์ SMG1, FNBLS#140 และ BRBRF9629 โดยปลูกข้าวบาร์เลย์ในสารละลายอาหารที่ปั๊มอากาศให้ตลอดเวลา และในสารละลายอาหารที่เป็นสภาวะ hypoxia แล้วนำไปเพาะเลี้ยงในตู้ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ ADH ของทั้ง 3 สายพันธุ์ เพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาที่เกิดสภาวะ hypoxia สายพันธุ์ BRBRF9629 และ FNBLS#140 มีกิจกรรมของเอนไซม์ ADH ลดลงในช่วงหลัง เนื่องจากมีโพรงอากาศในรากเพิ่มขึ้น ส่วนพันธุ์ SMG1 มีกิจกรรมของเอนไซม์ ADH เพิ่มขึ้นช้าๆ และอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าสายพันธุ์อื่น ข้าวบาร์เลย์จะมีการสร้างปริมาณเอทธิลีน และสร้างโพรงอากาศในรากในวันที่ 5 หลังจากเริ่มการทดลอง ปริมาณเอทธิลีนในรากจะมีมากขึ้นพร้อมกับมีการขยายตัวของโพรงอากาศในราก ในช่วงระยะเวลา 7-9 วันหลังจากที่เกิดสภาวะ hypoxia พันธุ์ SMG1 มีปริมาณเอทธิลีนในรากมาก แต่มีโพรงอากาศน้อยกว่าสายพันธุ์อื่น สำหรับสายพันธุ์ BRBRF9629 มีปริมาณเอทธิลีนในรากน้อยกว่าสายพันธุ์ FNBLS#140 แต่มีโพรงอากาศในรากที่มากกว่า

ในปี พ.ศ. 2542 ได้ศึกษาการปรับตัวแบบการสร้างความต้านทาน (acclimatic adaptation) ของต้นกล้าข้าวบาร์เลย์ ที่ได้รับอิทธิพลร่วมกันระหว่างสภาวะ hypoxia กับอุณหภูมิที่สูงในรอบวัน โดยการปลูกข้าวบาร์เลย์พันธุ์และสายพันธุ์ SMG1, FNBLS#140 และ BRBRF9629 ในสารละลายอาหารที่ปั๊มอากาศให้ตลอดเวลา และในสารละลายอาหารที่เกิดสภาวะ hypoxia สองครั้ง โดยมีช่วงฟื้นตัว 7 วัน หลังจากสิ้นสุดสภาวะ hypoxia ครั้งแรก ทั้งนี้ได้ทดลองในตู้ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ที่กำหนดอุณหภูมิในรอบวันแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 25/15, 30/15 และ 40/15 °ซ (อุณหภูมิกลางวัน /กลางคืน) ผลการทดลองพบว่า สภาวะ hypoxia ที่เกิดขึ้นครั้งแรก จะทำให้ข้าวบาร์เลย์สร้างรากชุดที่สองเพิ่มมากขึ้น และจะเพิ่มขึ้นอีกเมื่อมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น แต่ไม่มีผลต่อความยาวรวมของราก สำหรับสภาวะ hypoxia ที่เกิดขึ้นในครั้งที่สอง จะทำให้จำนวนรากชุดที่สองและ ความยาวรวมของรากต่อต้นลดลงโดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 40/15 °ซ ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูงจะมีอิทธิพลต่อความยาวรวมของรากชุดที่สองมากกว่าผลที่เกิดจากสภาวะ hypoxia กิจกรรมของเอนไซม์ ADH จะเพิ่มมากขึ้นในช่วงที่เกิดสภาวะ hypoxia โดยเฉพาะเมื่อเกิดเป็นครั้งที่สองที่อุณหภูมิ 40/15 °ซ สายพันธุ์ BRBRF9629 มีกิจกรรมของเอนไซม์ ADH ที่ต่ำกว่าพันธุ์อื่น และจะเกิดต่อเนื่องยาวนานกว่า กิจกรรมของเอนไซม์ NR จะลดลงทุกครั้งที่เกิดสภาวะ hypoxia ร่วมกับอุณหภูมิที่สูง พันธุ์ SMG1 เป็นพันธุ์เดียวที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ NR ที่

สูงขึ้นในสภาวะ hypoxia ที่เกิดขึ้นเป็นครั้งที่สองที่อุณหภูมิ 40/15 °ซ กิจกรรมของเอนไซม์ NR จะมีความสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์แสง ข้าวบาร์เลย์ทั้ง 3 สายพันธุ์จะมีอัตราการสังเคราะห์แสง และประสิทธิภาพการทำงานของคลอโรฟิลล์ ที่ลดลงในสภาวะที่เกิด hypoxia ร่วมกับสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง สำหรับสภาวะ hypoxia ที่เกิดเป็นครั้งที่สอง มีผลกระทบต่ออัตราการสังเคราะห์แสงที่น้อยกว่าสภาวะ hypoxia ที่เกิดในครั้งแรก ปริมาณน้ำหนักแห้งในส่วนยอดของสายพันธุ์ FNBLS#140 และ BRBRF9629 จะลดลงถึง 60% เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ SMG1 ที่ลดลงเพียง 40% ในสภาวะ hypoxia ที่เกิดขึ้นเป็นครั้งที่สองที่อุณหภูมิ 40/15 °ซ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณน้ำตาลในส่วนยอดขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสภาวะ hypoxia มากกว่าสภาวะที่เกิดจากอุณหภูมิสูง ปริมาณน้ำหนักแห้งในรากของข้าวบาร์เลย์ทั้ง 3 สายพันธุ์ จะเพิ่มสูงขึ้นในสภาวะ hypoxia ที่เกิดขึ้นในครั้งที่สองที่อุณหภูมิ 25-30/15 °ซ พันธุ์ SMG1 มีปริมาณน้ำตาลและไนโตรเจนที่พอเพียงสำหรับการรักษาระบบรากให้อยู่รอด และสามารถปรับประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงได้ใกล้เคียงกับสภาพปกติได้ดีที่สุด

การจำลองแบบการสะสมและถ่ายเทน้ำหนักแห้งของข้าวบาร์เลย์ 3 สายพันธุ์ ในสภาวะที่เกิด hypoxia ที่มีอุณหภูมิอากาศแตกต่างกัน โดยใช้ข้อมูลอัตราการสังเคราะห์แสง และปริมาณน้ำหนักแห้งของส่วนยอดและราก ที่ได้จากผลการทดลองในตู้ควบคุมการเจริญเติบโต นำมาสร้างเป็นแบบจำลอง ซึ่งพบว่า แบบจำลองการสะสมน้ำหนักแห้งของข้าวบาร์เลย์ทั้ง 3 สายพันธุ์ภายใต้สภาวะที่เกิด hypoxia ที่มีอุณหภูมิอากาศที่แตกต่างกัน สามารถทำนายปริมาณการสะสมน้ำหนักแห้งระหว่างส่วนยอดและรากได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง แม้ว่าการทำนายปริมาณน้ำหนักแห้งที่สะสมในส่วนของรากที่อยู่ในสภาวะของ hypoxia และมีอุณหภูมิสูงเกิน 30/15 °ซ นั้น ค่อนข้างจะสูงกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย

Thesis Title: Physiological Responses of Barley under Waterlogging Condition

Author: Mr. Sawit Meechoui

Ph.D. Agronomy

Examining Committee

Professor Dr. Chuckree Senthong	Chairman
Associate Professor Dr. Danai Boonyakiat	Member
Assistant Professor Dr. Sakda Jongkaewwattana	Member
Assistant Professor Dr. Dumnern Karladee	Member
Dr. Boriboon Somrith	Member

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ABSTRACT

Barley (*Hordeum vulgare* L.) production in Thailand is often limited by transient waterlogging. Under this condition, there is inadequate soil oxygen supply which can affected the physiological processes of barley. Five experiments were conducted in order to study physiological responses of barley under such condition. This study was conducted at Lampang Agricultural Research and Training Center, Thailand in 1997-2000.

In the 1997-1998 field experiment, nine barley genotypes were selected in order to determine the effect of three moisture regimes on growth and grain yield. It was found that transient waterlogging after 3-4 leaf stage reduced leaf and grain growth rate, total dry matter at maturity, the ability of spikes /m^2 production and final grain yield. The photosynthetic efficiency (i.e. photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal resistance) of all genotypes, except the tolerant genotypes, increased under waterlogging after 3-4 leaf stage. Among the nine genotypes, SMG1 was the best waterlogged tolerant genotype which had consistently in growth rates, high partitioning of assimilate to seeds and high number of spikes /m^2. FNBLS#140 and BRBRF9629 were considered to be a moderately tolerant and a susceptible genotypes, respectively. Total dry matter at maturity had positive effect on grain yield under different water regimes. Among yield

components, spikes /m^2 was most sensitive to transient waterlogging and in consequence, affected directly on grain yield.

In the 1999-2000 pot experiment, seed malting quality under transient flooding of three barley genotypes (SMG1, FNBLS#140 and BRBRF9629) were determined. It was found that total soluble sugar and total nitrogen in the shoots of all genotypes were the basis for maintaining their root efficiency. In correspondence, the photosynthetic efficiency and nitrate reductase activity were the basis for maintaining the normal grain growth. SMG1 under transient flooding had a good seed size and well germinated within 3 days. However, due to high seed protein content, it could not meet the standard for seed malt quality.

In the 1999 experiment, the relationship among alcohol dehydrogenase (ADH) activity, internal ethylene production and the aerenchyma formation on root adaptation under hypoxic condition were investigated. Three barley genotypes; SMG1, FNBLS#140 and BRBRF9629, were grown in aerated (as control) and stagnant agar nutrient solution (hypoxia) in plant growth chambers. Results showed that ADH activity of all barley genotypes increased after transferring to hypoxia. ADH activity of BRBRF9629 and FNBLS#140 decreased after the extension of aerenchyma formation in the roots. Internal ethylene production and aerenchyma formation in the roots occurred at the fifth days of hypoxia. The more internal ethylene production, the higher aerenchyma formation was found in the roots during 7-9 days after hypoxia. Hypoxic roots of SMG1, tolerance genotype had high internal ethylene but produced smaller aerenchyma as compared with the other genotypes. Moreover, it slowly increased in ADH activity at low level. Whereas BRBRF9629, the susceptible genotype had higher aerenchyma and produced the lowest internal ethylene.

Physiological and morphological responses of barley seedlings to hypoxic pre-treatment and high air temperature levels were investigated in 1999. The plants were grown in plant growth chambers which varied in diurnal air temperature; 25/15, 30/15, and 40/15 °C (day /night temperature). All barley seedlings were subjected to aerated (as control) and stagnant agar nutrient solution (as hypoxia). Hypoxic pre-treatment were exposed two times and interrupted with recovery period for 7 days. The results showed that the nodal roots /plant increased under the 1^{st} hypoxia and had a greater value as air temperature increased. But those decreased under the 2^{nd} hypoxia with 40/15°C. The ability of nodal root formation was greatly affected by high temperature compared with hypoxic condition. Total nodal root length of all barley genotypes stunted at 40/15 ° C in both conditions. ADH activity of all genotypes sharply increased under hypoxia with 40/15 °C. Nitrate reductase (NR) activity apparently decreased during the hypoxic with high temperature

stress occurred, except for SMG1 genotype. The activity of NR enzyme was related to the photosynthetic rate under the stress effects. Leaf chlorophyll fluorescence under hypoxia decreased with increasing temperature. Photosynthetic rate under the 2nd hypoxia was lower than the 1st hypoxia. The shoot dry matter of FNBLS#140 and BRBRF9629 under the 2nd hypoxia and high temperature decreased greater than SMG1. While the root dry matter of all genotypes increased under the 2nd hypoxia with 25-30 /15 °C. High temperature affected total soluble sugar in the shoots greater than hypoxia. The changes of total sugar and total nitrogen in barley shoots could be used as a substrate for maintaining their root survival and producing a higher photosynthetic efficiency. It was clear that the acclimatic adaptation of barley genotypes to hypoxia and high temperature related to the increasing of ADH and NR activities. SMG1 genotype was the most highly acclimatic adaptation to the combining effect of hypoxia and high temperature.

Simulation model for dry matter accumulation of three barley genotypes was constructed and validated. The photosynthetic rate and plant growth data under aerated and hypoxic conditions and ambient temperatures (20, 25, 30, and 40 °C), were taken to construct the mechanistic model. It was found that the model could be used to estimate the combined effects on the shoot and root dry matter accumulation. The model slightly overestimated the root dry matter under hypoxia at over 30 °C compared to the observed data.