

ความท้าทายของนักปรับปรุงพันธุ์พืชภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก: กรณีศึกษา การปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงทนแล้งของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

Climate Changes a Challenge for Plant Breeders: A Case Study in Breeding Peanut for Drought Resistance of Khon Kaen University

พัชริน ส่องศรี^{1*}, สนัน จอกลอย², นิมิตร วรสูต¹ และอรันต์ พัฒโนทัย¹

Patcharin Songsri^{1*}, Sanun Jogloy², Nimitr Vorasoot¹ and Aran Patanothai¹

บทคัดย่อ: การปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงให้ทนต่อความแห้งแล้ง ช่วยรักษาผลผลิต และลดการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินได้นับเป็นแนวทางที่เพิ่มทั้งปริมาณ และคุณภาพของวัตถุดิบที่จะนำไปใช้แปรรูปของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงได้อย่างยั่งยืน โครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้มีการศึกษาวิจัยการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงให้ทนแล้ง ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจในเชิงบูรณาการเกี่ยวกับ 1) กลไกการทนแล้งจากการตอบสนองของลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสรีรวิทยาของพืชในสภาวะขาดน้ำ รวมทั้ง 2) ข้อมูลด้านพันธุกรรมการถ่ายทอดลักษณะการทนแล้ง เพื่อเป็นการสนับสนุนการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงทนแล้ง และลดการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินให้มีความก้าวหน้าและประสบผลสำเร็จเร็วขึ้น โดยโครงการฯ ได้มีการศึกษาและทดสอบพันธุ์ถั่วลิสงในสภาวะการกระทบแล้งในช่วงการเจริญเติบโตต่างๆ ได้แก่ ช่วงต้น ช่วงกลาง ช่วงปลายของการเจริญเติบโต และตลอดอายุการเจริญเติบโต ทำให้สามารถระบุกลไกการทนแล้ง และข้อมูลด้านพันธุกรรมการถ่ายทอดลักษณะการทนแล้ง เพื่อใช้ประโยชน์สำหรับการวางแผนปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงทนแล้ง ทั้งนี้วิจัยในกลุ่ม และนอกกลุ่มงานวิจัยถั่วลิสงทนแล้ง จากผลการดำเนินงานวิจัยตั้งแต่ พ.ศ. 2545 เป็นต้นมา งานวิจัยปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงทนแล้งได้สร้างนักวิจัยใหม่จำนวน 12 คน (ปริญญาโท 5 คน และปริญญาเอก 7 คน) สร้างเครือข่ายการวิจัยระดับนานาชาติ และตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการระดับนานาชาติมากกว่า 30 เรื่อง และผลงานวิจัยถูกอ้างอิงในวารสารวิชาการระดับนานาชาติมากกว่า 105 ครั้ง ในอนาคตโครงการฯ มีแนวทางการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงทนแล้ง โดยจะศึกษาในประเด็น 1) กลไกระดับ metabolic pathway ของการปรับตัวเมื่อเกิดการกระทบแล้งที่มีผลต่อการให้ผลผลิต 2) ใช้แบบจำลองพืชในการทำนายการตอบสนองของรากเมื่อกระทบแล้ง และ 3) การตอบสนองของรากเมื่อกระทบแล้งในช่วงปลายของการเจริญเติบโต

คำสำคัญ: *Arachis hypogaea* L., พันธุ์ทนแล้ง, การปนเปื้อนอะฟลาทอกซิน, การตรึงไนโตรเจน

ABSTRACT: Breeding for drought resistance in peanut can reduce aflatoxin contamination. It is also a sustainable strategy to improve both crop productivity and peanut quality under drought conditions for use as a raw material in peanut industry. Peanut breeding program for drought resistance is ongoing at the Faculty of Agriculture, Khon Kaen

¹ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Department of Plant Science and Agricultural Resources, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University

² ศูนย์วิจัยปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

Plant Breeding Research Center of Sustainable Agriculture, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002.

* Corresponding author: patcharinso@kku.ac.th

University. The research project aimed to generate the integrated knowledge about 1) drought resistance mechanisms based on the responses for physiological and morphological characters and 2) the information on the inheritance of drought resistance in peanut. The information obtained will support the peanut breeding program for a more rapid progress in the selection schemes. The project has tested the peanut lines under drought conditions that can occur at all peanut growth stages including early season drought, mid season drought, late season drought and long term drought. The project could identify drought mechanisms and provide the information on the inheritance of drought resistance that will be useful for planning peanut breeding programs for drought resistance. The information can be used for designing breeding strategies for more effective breeding programs. The project was initiated since 2002. As a result of the project, twelve new researchers (5 master degree students and 7 PhD students) have been trained. The collaborative net work was set up and more than 30 publications have been published in the international scientific journals. The research papers have been cited more than 105 times. The further investigations will be focused on 1) the metabolic pathways of adaptation to drought 2) the use of simulation models to predict the responses of roots to drought and 3) the responses of roots to late season drought.

Key words: *Arachis hypogaea* L., Drought resistance variety, Aflatoxin contamination, Nitrogen fixation

บทนำ

ระบบการผลิตถั่วลิสงส่วนใหญ่ทั่วโลกและในประเทศไทยมากกว่าสองในสามเป็นการผลิตในเขตเกษตรอาศัยน้ำฝนซึ่งมักจะกระทบแล้งอันเนื่องมาจากปริมาณน้ำฝนน้อยและมีความแปรปรวนของการกระจายตัวที่คาดเดาไม่ได้ ทำให้ถั่วลิสงมีผลผลิตลดลงอย่างมากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ (Songsri et al., 2008a; 2009b; Vorasoot et al., 2003) การกระทบแล้งยังทำให้มีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งเพิ่มขึ้น (Arunyanark et al., 2009b; 2010; Girdthai et al., 2010b; 2010c) และทำให้มีประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนลดลงด้วย (Pimratch et al., 2008a; 2008b) การแก้ปัญหาการลดลงของผลผลิตและการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน โดยการจัดการน้ำนั้นมักมีข้อจำกัดหลายอย่างที่ทำได้ยาก เช่น มีต้นทุนสูงรวมทั้งมีปัญหการแก่งแย่งน้ำระหว่างภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมตลอดจนการใช้เพื่ออุปโภค บริโภค ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงให้มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงและ/หรือทนต่อความแห้งแล้งจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาความรุนแรงทั้งในแง่ของผลผลิตและคุณภาพได้อย่างยั่งยืน แต่ที่ผ่านมากการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงทนแล้งนั้นทำได้ยาก มีความก้าวหน้าต่ำและล่าช้า เนื่องมาจากลักษณะการทนแล้งของพืชนั้น ประกอบด้วยหลายๆ ลักษณะ (Complex traits) รวมทั้งการวัดลักษณะต่างๆ

เหล่านั้นทำได้ยาก ต้องใช้เวลา และแรงงานมาก ซึ่งงานวิจัยที่ทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจในเชิงบูรณาการเกี่ยวกับ 1) กลไกการทนแล้งที่ศึกษาจากการตอบสนองของลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของพืชในสภาวะขาดน้ำ รวมทั้ง 2) ข้อมูลด้านพันธุกรรม การถ่ายทอดลักษณะการทนแล้งจะช่วยให้การปรับปรุงพันธุ์ทนแล้งในถั่วลิสงมีความก้าวหน้าและประสบผลสำเร็จรวดเร็วยิ่งขึ้น เพื่อเป็นการสนับสนุนการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงทนแล้งและลดการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน มีความก้าวหน้าและประสบผลสำเร็จเร็วขึ้น ดังนั้น โครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จึงมีแนวทางการวิจัยเกี่ยวกับการตอบสนองของลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของถั่วลิสงพันธุ์ต่างๆ และ พันธุกรรมการถ่ายทอดลักษณะทนแล้งและสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมและลักษณะที่ปรากฏของลักษณะทนแล้งและลักษณะทางการเกษตร ภายใต้สภาวะที่มีความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินที่แตกต่างกัน โดยการเขียนบทความในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อบรรยายภาพรวม และหลักแนวคิดของการการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงทนแล้งของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

1. สภาพการเพาะปลูกของถั่วลิสง

ในระบบการปลูกถั่วลิสง ซึ่งอยู่ในเขตร้อนกึ่งแห้งแล้งนั้นมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ เป็นการปลูกโดยอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก มักจะเกิดการกระทบแล้งอันเนื่องจาก

ความแปรปรวนของปริมาณ และการกระจายตัวของฝน (Wright and Nageswara Rao, 1994) โดยในประเทศไทยก็มีรายงานไว้เช่นเดียวกัน (Patanothai, 1987) นอกจากนี้แล้ว สภาพดินที่ปลูกมักจะเป็นดินทรายที่มีธาตุอาหาร และความสามารถในการอุ้มน้ำได้ต่ำ จึงมักจะทำให้ความรุนแรงของการขาดน้ำนั้นเพิ่มขึ้นด้วย

โดยทั่วไปการผลิตถั่วลิสงในระบบปลูกพืชของประเทศไทย/ประเทศในเขตร้อนนั้น มีการปลูกทั้งในสภาพพื้นที่ไร่ และพื้นที่นา โดยการผลิตในพื้นที่ไร่ มักจะปลูกเป็นพืชแรก (เมษายน-กรกฎาคม) และปลูกเป็นพืชสองในเดือนสิงหาคม ถึง พฤศจิกายน ซึ่งเป็นเขตการผลิตโดยอาศัยน้ำฝน ส่วนในพื้นที่นานั้น จะปลูกหลังเก็บเกี่ยวข้าว ช่วงเดือนมกราคม ถึง เมษายน แต่จะเป็นเขตการผลิตในระบบชลประทาน ซึ่งในระบบการปลูกถั่วลิสงต่างๆ มีรูปแบบของการกระทบแล้งที่แตกต่างกันออกไป โดยในการที่จะพัฒนาพันธุ์ถั่วลิสงให้ทนต่อความแห้งแล้งนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าใจในสภาวะแห้งแล้งที่เกิดขึ้นกับถั่วลิสงในระบบการผลิตต่างๆ เนื่องจากผลกระทบของการกระทบแล้งต่อถั่วลิสงขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาพแวดล้อมหลัก 3 ประการ ได้แก่ (1) เวลา (Time or growth stage) ที่เกิดการกระทบแล้ง (2) ความยาวนาน (Duration) ในการกระทบแล้ง และ (3) ความรุนแรง (Intensity) ของการกระทบแล้ง โดยในพื้นที่ไร่มักจะเกิดการกระทบแล้งก่อนการออกดอก (Early drought) และการกระทบแล้งช่วงปลายของการเจริญเติบโต (Terminal drought or late season drought) ส่วนในพื้นที่นาที่อาศัยน้ำชลประทานนั้น อาจมีปัญหาเรื่องน้ำมีไม่พอใช้ตลอดฤดูปลูก ดังนั้น กลยุทธ์การประหยัดน้ำใช้ หรือการคัดพันธุ์ให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงต่อสภาวะการขาดน้ำระยะยาว

2. ผลกระทบของการประสบภาวะแห้งแล้งต่อถั่วลิสง

มีการรายงานไว้จำนวนมากเกี่ยวกับการขาดน้ำของถั่วลิสงต่อการให้ผลผลิตฝัก โดยพบว่าการกระทบ

แล้งนั้นมีผลทำให้ผลผลิตถั่วลิสงลดลงได้ตั้งแต่ 15 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ (Songsri et al., 2008a; 2009b; Boontang et al., 2010a) ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อขนาดเมล็ด คุณภาพลดลง เนื่องจากมีการปนเปื้อนของสารอะฟลาทอกซินสูงขึ้น (Arunyanark et al., 2009b; 2010; Girdthai et al., 2010b; 2010c) รวมทั้งทำให้ประสิทธิภาพ และกิจกรรมการตรึงไนโตรเจนลดลง (Pimratch et al., 2008a; 2008b; 2009; 2010) ซึ่งมีผลต่อคุณภาพซากที่จะนำไปใช้ปรับปรุงบำรุงดิน เมื่อมีการขาดน้ำเกิดขึ้นในช่วงการเจริญเติบโตของถั่วลิสง การแก้ปัญหาการกระทบแล้งในการผลิตถั่วลิสงด้วยการจัดการให้น้ำชลประทานนั้น อาจจะทำได้ยากเนื่องจากการแข่งขันการใช้น้ำภาคอุปโภคบริโภค และภาคอุตสาหกรรม รวมทั้งการจัดการน้ำสำหรับการผลิตพืชมักจะทำให้มีต้นทุนสูง ไม่คุ้มกับพืชให้ผลตอบแทนต่ำ ดังนั้น จึงทำให้การใช้พันธุ์ทนแล้งจึงน่าจะเป็นเป้าหมายในการแก้ปัญหาได้อย่างยั่งยืน

3. งานวิจัยพื้นฐานที่สนับสนุนการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงทนแล้งของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

การปรับปรุงพันธุ์เพื่อต้านทานต่อสภาวะแห้งแล้งให้ประสบผลสำเร็จนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการวิจัยพื้นฐานด้านต่างๆ สนับสนุน โดยโครงการถั่วลิสง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นได้ดำเนินการวิจัยไปแล้วนั้น ได้แก่ (1) สภาวะความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นจริงในแหล่งผลิตถั่วลิสง และโอกาสการเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของสารอะฟลาทอกซิน (2) เทคนิควิธีการในการทดสอบเพื่อประเมินลักษณะทนแล้ง (3) กลไกการตอบสนองของพืช/ลักษณะของการทนแล้ง และ (4) พันธุกรรมการถ่ายทอดลักษณะทนแล้ง

3.1 การศึกษาภาวะความแห้งแล้งที่เกิดกับพืช

Dangthaisong et al., (2007) ได้ใช้ แบบจำลองพืช CSM-CROPGRO-Peanut มาใช้ในการทำนายผลจากการกระทบแล้งโดยประเมินจาก ระยะพัฒนาการการให้ผลผลิตชีวมวล และผลผลิตฝัก ผลจากการศึกษานี้พบว่าแบบจำลองการเจริญเติบโตสามารถ

ทำนายผลได้ใกล้เคียงกับการเก็บข้อมูลจริง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงทนแล้งได้ โดยที่สามารถนำข้อมูลฟ้าอากาศ และประกอบกับข้อมูลดินในแหล่งปลูกต่างๆ เพื่อประเมินพันธุ์เบื้องต้นในหลายๆ สถานที่ หลายฤดู และหลายปีได้โดยไม่ต้องปลูกจริง ซึ่งจะทำให้ประหยัดงบประมาณ และย่นระยะเวลาในการทำงานวิจัยได้

3.2. การศึกษาเพื่อค้นหาลักษณะกลไกการทนแล้ง

ได้มีการประเมินลักษณะการทนแล้งของถั่วลิสงทั้งในสภาพโรงเรือนทดลอง (ภาพที่ 1) สภาพแปลงทดลอง (ภาพที่ 2) และสภาพเรือนป้องกันน้ำฝน (ภาพที่ 3ข) โดยลักษณะการทนแล้งหลักที่พบจากการศึกษา ได้แก่ 1) พื้นที่ใบจำเพาะ (Specific leaf area ; SLA) (Songsri et al., 2009a; Puangbut et al., 2009b) 2) ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง SPAD chlorophyll

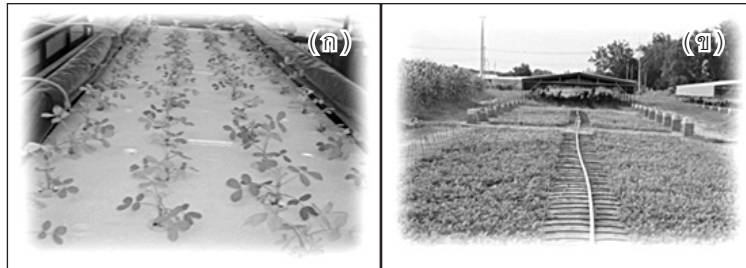
meter (SPAD chlorophyll meter reading ; SCMR) (Arunyanark et al., 2008; 2009a) 3) ดรรชนีเก็บเกี่ยว (Harvest index ; HI) (Songsri et al., 2008) 4) การกระจายตัวของราก (Root distribution) (ภาพที่ 4) (Songsri et al., 2008b; Jongrunklang et al., 2011) 5) การชักนำของปากใบ หรือการแลกเปลี่ยนก๊าซผ่านปากใบ (stomatal conductance) (Jongrunklang et al., 2011) และ 6) ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Transpiration efficiency, water use efficiency; TE, WUE) (Songsri et al., 2009a; Puangbut et al., 2009b) รวมทั้งได้ประเมิน และจำแนกพันธุ์ทนแล้งในถั่วลิสง 60 พันธุ์ ด้วยระบบ line source sprinkler (ภาพที่ 5) (Jongrunklang et al., 2008) และนอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาลักษณะรากในสภาพการปลูกพืชไร่ดิน ที่สามารถประเมินได้ง่ายกว่าการปลูกในแปลงด้วย (ภาพที่ 3ก) (Girdthai et al., 2010a)



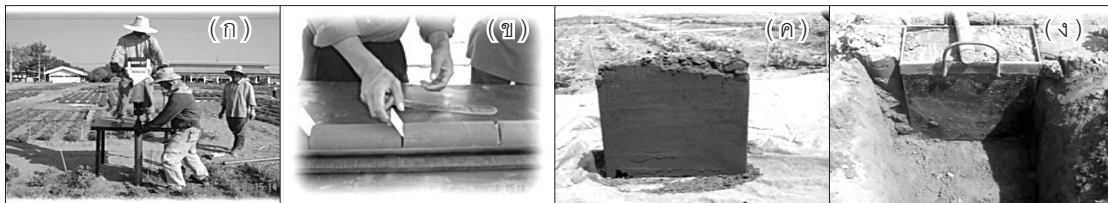
ภาพที่ 1 การประเมินถั่วลิสงทนแล้งในกระถางทรงสูงภายใต้สภาพเรือนทดลองในโครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



ภาพที่ 2 การประเมินถั่วลิสงทนแล้งในสภาพแปลงทดลองในโครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



ภาพที่ 3 การศึกษารากถั่วลิสงใน Hydroponics (ก) และ การประเมินถั่วลิสงทนแล้งในสภาพแปลง Rainout shelter (ข) ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



ภาพที่ 4 การเก็บข้อมูลราก โดยกาใช้ augor เพื่อวัดความหนาแน่นรากในชั้นความลึกดินต่างๆ (ก, ข) และ การใช้ monolith เพื่อวัดปริมาณราก (ค, ง) เพื่อประเมินถั่วลิสงทนแล้งในสภาพแปลงทดลอง ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



ภาพที่ 5 การประเมินถั่วลิสงทนแล้งโดยใช้ระบบ line source sprinkler ในสภาพแปลงทดลอง ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พันธุ์ถั่วลิสงที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนั้น ได้แก่ พันธุ์ที่ได้มาจาก ICRISAT ประเทศอินเดีย 8 พันธุ์ (ICGV 98300, ICGV 98303, ICGV 98305, ICGV 98308, ICGV 98324, ICGV 98330, ICGV 98348, ICGV 98353) ที่มีรายงานว่าให้ผลผลิตสูงในสภาพแล้งแต่ยังไม่ทราบกลไกการทนแล้ง และ พันธุ์ Tifton-8 ที่มีรายงานว่ามึระบบรากขนาดใหญ่จาก USDA ประเทศสหรัฐอเมริกา ร่วมทดสอบเปรียบเทียบกับพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศ ได้แก่ พันธุ์ ไทนานัน 9 และ ขอนแก่น

60-3 ในการขาดน้ำในช่วงต่างๆ ของการเจริญเติบโต ได้แก่ ขาดน้ำตลอดการเจริญเติบโต (Songsri et al., 2008a; 2008b; 2009a; 2009b; Arunyanark et al., 2008; 2009a; 2009b; Pimratch et al., 2008a; 2008b; 2010) ขาดน้ำช่วงก่อนออกดอก (Puangbut et al., 2009a; 2009b; 2010; Jongrunklang et al., 2011; Wunna et al., 2009a) และขาดน้ำช่วงท้ายของการเจริญเติบโต (Girdthai et al., 2010b)

3.2.1 การขาดน้ำในช่วงก่อนการออกดอก (Pre-flowering drought or early-season drought) การกระทบแล้งในช่วงต้นของการเจริญเติบโต มีผลทำให้ถั่วลิสงบางพันธุ์มีผลผลิตเพิ่มขึ้น แต่บางพันธุ์ลดลง (Puangbut et al., 2009a) โดยลักษณะทางสรีรวิทยาที่มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของผลผลิตภายใต้สภาพการกระทบแล้งในช่วงต้นของการเจริญเติบโต ได้แก่ การรักษาระดับการตรึงไนโตรเจน, พื้นที่ใบ, อัตราการเจริญเติบโตของราก น้ำหนักรากแห้ง และประสิทธิภาพการใช้น้ำ เมื่อกระทบแล้งและฟื้นตัว (Recovery) ได้เร็วเมื่อได้รับน้ำกลับคืนมา (Puangbut et al., 2009b; 2010) นอกจากนี้ยังพบว่าความหนาแน่นของรากชั้นลึกเพิ่มขึ้น เมื่อกระทบแล้งในช่วงต้นของการเจริญเติบโต ซึ่งจะมีต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิตฝัก รวมทั้งรากมีรูปแบบของการกระจายตัวแตกต่างกัน เมื่อกระทบแล้ง โดยความหนาแน่นรากของดินชั้นล่างมีความสัมพันธ์กับผลผลิตฝัก (Jongrunklang et al., 2011)

3.2.2 การขาดน้ำในช่วงปลายของการเจริญเติบโต (Terminal drought) การกระทบแล้งในช่วงปลายของการเจริญเติบโต ทำให้ผลผลิตลดลง (Boontang et al., 2010b) และยังมีการปนเปื้อนของสารอะฟลาทอกซินเพิ่มขึ้น (Girdthai et al., 2010b) ลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการทนแล้ง โดยเฉพาะลักษณะ SCMR และ SLA สามารถลดการปนเปื้อนของ สารอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงได้ ดังนั้นการปรับปรุงปรับปรุงพันธุ์ให้มีลักษณะ SCMR สูง และ SLA ต่ำจึงทำให้สามารถรักษาระดับของผลผลิตให้อยู่ในเกณฑ์ที่ดีภายใต้สภาพความแห้งแล้งในช่วงปลายของการเจริญเติบโต (Girdthai et al., 2010c)

3.2.3 การขาดน้ำระยะยาว (long period drought) การกระทบแล้งระยะยาว ทำให้ผลผลิตลดลง (Songsri et al., 2008a; 2009b) การตรึงไนโตรเจนลดลง (Pimratch et al., 2008a; 2008b; 2010) และมีการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินเพิ่มขึ้น (Arunyanark et al., 2009b) ซึ่งจะแปรผันตามระดับความรุนแรงของการกระทบแล้ง การคัดเลือกพันธุ์นั้น สามารถคัดเลือก

ได้ทั้งกลไกการมีศักยภาพการให้ผลผลิตสูงในสภาพได้รับน้ำปกติ และการรักษาระดับการลดลงของผลผลิตต่ำ เช่น การรักษาระดับการให้ผลผลิตสูงเมื่อกระทบแล้งของพันธุ์ ICGV 98348 และ ICGV 98353 เนื่องจากมีศักยภาพการให้ผลผลิตสูงในสภาพได้รับน้ำปกติ (Potential yield) ส่วน พันธุ์ ICGV 98305, ICGV 98303 และ ICGV 98300 เกิดจากมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของผลผลิตต่ำ (Songsri et al., 2008a; 2009b) การเพิ่มความหนาแน่นรากในระดับลึกทำให้ถั่วลิสงทนแล้งได้ดี โดยมีความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิตฝัก และดรชสีการทนแล้งของผลผลิตฝัก และดรชสีเก็บเกี่ยว โดยถั่วลิสงพันธุ์ ICGV 98300, ICGV 98303 และ ICGV 98305 มีกลไกการทนแล้งด้วยการเพิ่มความหนาแน่นรากในดินระดับลึก และรักษาระดับการให้ผลผลิตฝักไว้ได้ดีเมื่อกระทบแล้ง (Songsri et al., 2008b) การส่งเสริมของลักษณะทางสรีรวิทยาต่างๆที่มีต่อการเพิ่ม WUE ในแต่ละระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินนั้นมีระดับความสำคัญที่แตกต่างกัน โดยการขาดน้ำในระดับสองในสามของความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน และได้รับน้ำเต็มที่ในระดับความจุสนามนั้น การมีระบบรากขนาดใหญ่เป็นบทบาทที่สำคัญที่สุดต่อการมีค่า WUE สูง ในขณะที่การกระทบแล้งที่รุนแรงขึ้นในระดับหนึ่งในสามของความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน การมีใบหนาหรือมีค่า SLA ต่ำนั้น จะเป็นบทบาทที่สำคัญที่สุดต่อการรักษาระดับ WUE สูง โดยถั่วลิสงพันธุ์ ICGV 98300 มีระบบรากขนาดใหญ่ และ ICGV 98324 มีค่า SLA ต่ำ และ SCMR สูง ส่วนพันธุ์ Tifton-8 มีระบบรากขนาดใหญ่และ SLA ต่ำ ที่ช่วยส่งเสริมให้มีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงเมื่อกระทบแล้ง เนื่องจากมีความสามารถนำน้ำขึ้นมาใช้ได้ดีและมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงได้ดีถึงแม้ในดินมีปริมาณน้ำอยู่น้อย (Songsri et al., 2009a)

SCMR สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินสถานะของคลอโรฟิลล์ในถั่วลิสงได้อย่างสะดวกรวดเร็ว และสามารถใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ทนแล้งในถั่วลิสงได้ การประเมิน chlorophyll density

โดยใช้ SCMR ควรวัดในใบตำแหน่งที่ 2 หรือ 3 หลังจากพืชอายุ 40 วันเป็นต้นไป (Arunyanark et al., 2008; 2009a) ลักษณะความทนแล้ง ได้แก่ ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง (พื้นที่ใบจำเพาะต่ำ หรือใบหนา) และความสามารถในการหาน้ำของ ถั่วลิสง (ความหนาแน่นรากมากในดินชั้นล่าง) มีผล ทำให้ถั่วลิสงสามารถต้านทานต่อการปนเปื้อนสาร อะฟลาทอกซินเมื่อกระทบแล้ง (Arunyanark et al., 2009b) นอกจากนี้ยังพบว่า พันธุ์ที่ตรึงไนโตรเจนได้สูง ในสภาพแล้ง มีความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิต การตรึงไนโตรเจนได้สูงในสภาพแล้ง อาจจะมีผลมาจากน้ำหนักปมแห้งที่เพิ่มขึ้น การคัดเลือกพันธุ์ที่ตรึงไนโตรเจนสูงในสภาพแล้ง จะช่วยส่งเสริมให้ถั่วลิสง มีผลผลิตที่สูงได้ (Pimratch et al., 2008a; 2008b; 2010)

3.3 พันธุกรรมการถ่ายทอดลักษณะ การทนแล้งของถั่วลิสง

การศึกษาพันธุกรรมการถ่ายทอดลักษณะ การทนแล้งนั้น ได้ประเมินจากความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะ (Heritability; h^2) การทนแล้ง การปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน และการตรึงไนโตรเจน และสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมและลักษณะ ที่ปรากฏ (Genotypic and phenotypic correlation; r_G and r_p) ระหว่างลักษณะการทนแล้ง กับลักษณะ ทางการเกษตร การปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน และ การตรึงไนโตรเจน ภายใต้สภาพการขาดน้ำในช่วงต่างๆ ของการเจริญเติบโตได้แก่ การขาดน้ำในช่วง ก่อนการออกดอก (Puangbut et al., 2011; Wunna et al., 2009b) การขาดน้ำในช่วงกลางของการเจริญเติบโต (Painawadee et al., 2009b) การขาดน้ำ ในช่วงปลายของการเจริญเติบโต (Girdthai et al., 2010c) การขาดน้ำระยะยาว (Songsri et al., 2008c; Arunyanark et al., 2010; Pimratch et al., 2009)

ลักษณะทนแล้ง (ดรชนี้ทนแล้งของมวลชีวภาพ และผลผลิตฝัก ดรชนี้เกี่ยวกับ SLA และ SCMR) มีความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะสูงแตกต่างกัน ทั้งในสภาพที่ขาดน้ำและไม่ขาดน้ำ SLA และ SCMR

มีค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมและลักษณะที่ปรากฏ สูงในทางลบ SCMR มีค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม และลักษณะที่ปรากฏกับผลผลิตในทางบวก ทำให้ การคัดพันธุ์ให้มีลักษณะ SCMR สูง ก็จะทำให้ได้ ถั่วลิสงที่มีผลผลิตสูงและ ลักษณะทางการเกษตรอื่นๆ ที่ดีด้วย และยังพบว่าลักษณะดรชนี้เกี่ยวกับ SLA และ SCMR ความสัมพันธ์สูงระหว่างสภาพขาดน้ำและไม่ขาดน้ำ ซึ่งได้ชี้ให้เห็นว่าการคัดเลือกลักษณะเหล่านี้ สามารถทำได้ทั้งในสภาพที่ขาดน้ำ และไม่ขาดน้ำได้ (Songsri et al., 2008c)

นอกจากนี้ยังพบว่า ความต้านทานการปนเปื้อน สารอะฟลาทอกซินมี G x E interaction สูง และมี h^2 ต่ำ จึงเป็นอุปสรรคต่อการปรับปรุงลักษณะดังกล่าว แต่มี r_G ระหว่างลักษณะต้านทานสารอะฟลาทอกซิน และลักษณะทนแล้ง โดยเฉพาะผลผลิตฝักภายใต้ สภาพความแห้งแล้ง จึงเป็นไปได้สูงที่จะปรับปรุง ลักษณะผลผลิตฝักไปพร้อมๆ กับความต้านทาน ต่อสารอะฟลาทอกซิน ลักษณะทางสรีระวิทยาของ ความทนแล้ง คือ HI, SCMR และ SLA มีความสัมพันธ์สูงกับความต้านทานสารอะฟลาทอกซิน ดังนั้นลักษณะเหล่านี้จึงสามารถใช้เป็นลักษณะ ทางอ้อมในการคัดเลือกความต้านทานต่อสาร อะฟลาทอกซินได้ การปรับปรุงความต้านทานต่อ สารอะฟลาทอกซินทำได้ยาก แต่สามารถปรับปรุง พันธุ์ทนแล้งเพื่อช่วยให้ต้านทานสารอะฟลาทอกซิน ได้ (Arunyanark et al., 2010)

ลักษณะ SCMR เป็นลักษณะที่ใช้คัดพันธุ์ทนแล้ง ได้ดี เพราะมีความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะ สูงและตรวจวัดได้ง่าย SCMR เป็นลักษณะที่ใช้คัดพันธุ์ ทนแล้งได้ดี เพราะว่าตรวจวัดได้ง่าย เหมาะสมที่จะ นำใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ได้เร็ว ในประชากรจำนวนมาก ในช่วงต้นๆของการปรับปรุงพันธุ์ (Songsri et al., 2008c) พอคัดเลือกพันธุ์ได้จำนวนน้อยลง แล้วค่อย วัดลักษณะทนแล้งที่วัดยาก แต่มีความสำคัญสำหรับ กลไกการทนแล้ง เช่น การกระจายตัวของรากในดิน ชั้นล่าง

3.4 การวิเคราะห์แบบแผนของโปรตีนในใบถั่วลิสงภายใต้สภาพการขาดน้ำ

จากการวิเคราะห์แบบแผนของโปรตีนในใบถั่วลิสงที่ขาดน้ำ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนที่ควบคุมโดยสภาวะการขาดน้ำ ซึ่งมี 2 กลุ่ม คือ โปรตีนที่มีปริมาณลดลง (Down-regulated proteins) และโปรตีนที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น (Up-regulated proteins) โดยสามารถระบุชนิดโปรตีนได้ 6 ชนิด ภายใต้สภาวะการขาดน้ำ คือพบโปรตีน 3 ชนิด ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการป้องกันอันตรายไม่ให้เซลล์ได้รับความเสียหายจากการกระทบแล้ง (Akkasaeng et al., 2007)

3.5 การพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุลเพื่อเป็นเครื่องบ่งชี้ความหลากหลายทางพันธุกรรมของถั่วลิสง

Boontang (2010) ได้ศึกษาในประชากรที่สร้างขึ้นจากการผสมข้ามระหว่างถั่วลิสงพันธุ์ KK4 (ค่า SLW และ RWC ต่ำ) กับพันธุ์ ICGV 98324 (ค่า SLW และ RWC สูง) จากนั้นเก็บเมล็ดปลูกต่อเพื่อสร้างประชากรชั่วรุ่นที่ 2 สำหรับใช้ปลูกเป็นประชากรกระจายตัวเพื่อประเมินค่า SLW, RWC และใช้ในการตรวจสอบความแตกต่างลายพิมพ์ดีเอ็นเอด้วยเครื่องหมายดีเอ็นเอชนิด SSR ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้สร้างแผนที่ ลิงค์เกจ โดยใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอชนิด Simple Sequence Repeats (SSR) และระบุตำแหน่งยีนที่ควบคุมลักษณะน้ำหนักใบจำเพาะ (Specific leaf weight ; SLW) และปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (Relative water content ; RWC) ซึ่งเป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับการต้านทานต่อการขาดน้ำในถั่วลิสง สำหรับพัฒนาเป็นเครื่องหมายดีเอ็นเอสำหรับช่วยคัดเลือกสายพันธุ์ถั่วลิสงเพื่อต้านทานต่อการขาดน้ำต่อไป เครื่องหมาย SSR มีประสิทธิภาพในการจำแนกความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์ถั่วลิสงพันธุ์ปลูกได้จากการทดลองครั้งนี้สามารถใช้เครื่องหมาย SSR สร้างแผนที่โครโมโซมของถั่วลิสงพันธุ์ปลูกได้จำนวน 12 ลิงค์เกจ ครอบคลุมระยะ 303 cM และสามารถระบุได้ว่าเครื่องหมาย TC06H03 เชื่อมอยู่กับลักษณะค่า SLW และเครื่องหมาย Ah4-04 วางตัวอยู่กับ

ลักษณะ RWC ซึ่งเครื่องหมายดีเอ็นเอที่พบนี้สามารถใช้เป็นเครื่องหมายดีเอ็นเอสำหรับช่วยคัดเลือกสายพันธุ์ถั่วลิสง (MAS) เพื่อดำเนินงานต่อการขาดน้ำต่อไป

4. ผลการดำเนินงานวิจัย และแนวทางการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงทนแล้งของมหาวิทยาลัยขอนแก่นในอนาคต

ผลการดำเนินงานวิจัยที่ผ่านมาทางงานวิจัยด้านการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงทนแล้ง ของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ดำเนินการมาตั้งแต่ 2554 ถึง ปัจจุบันนั้น ได้สร้างนักวิจัยใหม่ทั้งหมด 12 คน เป็นนักวิจัยระดับปริญญาโท 5 คน และระดับปริญญาเอก 7 คน รวมทั้งได้มีการสร้างเครือข่ายการวิจัยกับองค์กรระดับนานาชาติ ได้แก่ USDA-ARS, ICRIASAT, University of Georgia, University of Florida, University of Queensland และ Peanut Company of Australia งานวิจัยได้มีการเผยแพร่ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ 30 เรื่อง ซึ่งผลงานการวิจัยนี้ได้ตีพิมพ์ไปแล้วถึงปัจจุบันได้ถูกอ้างอิงในวารสารนานาชาติ จำนวน 105 ครั้ง

โครงการวิจัยฯ ได้กำหนดแนวทางการวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ด้านการทนแล้งในถั่วลิสงให้ครอบคลุมในเชิงบูรณาการยิ่งขึ้น ที่สามารถร้อยเรียงเพื่ออธิบายในเชิงระบบให้ได้ จึงทำให้ได้วางแนวทางการศึกษาต่อไปไว้ ดังนี้ 1) ศึกษากลไกระดับ metabolic pathway ของการปรับตัวเมื่อเกิดการกระทบแล้งที่มีผลต่อการให้ผลผลิต 2) ศึกษาการใช้แบบจำลองพืชในการทำนายการตอบสนองของรากเมื่อกระทบแล้ง และ 3) ศึกษาการตอบสนองของรากเมื่อกระทบแล้งในช่วงปลายของการเจริญเติบโต

สายพันธุ์ถั่วลิสงที่ใช้ในการศึกษาพันธุกรรม การถ่ายทอดลักษณะทนแล้งนั้น ได้ใช้ประโยชน์ต่อเนื่อง โดยได้คัดเลือกพันธุ์ทนแล้งโดยใช้ลักษณะสรีรวิทยาและกลไกการทนแล้งที่ทำการศึกษา และมีการทดสอบสายพันธุ์ตามมาตรฐานการเปรียบเทียบพันธุ์พืชและ จะได้มีการปลูกทดสอบในระดับไร่นาเกษตรกรเพื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ปลูกทั่วไป ซึ่งคาดว่า

จะมีการแนะนำพันธุ์ถั่วลิสงทนแล้งและมีผลผลิตสูงต่อไป

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก และโครงการเมธีวิจัยอาวุโส ศ.ดร. อารันต์ พัฒนอินทร์ ภายใต้งานสนับสนุนของ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสง และศูนย์ปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

- Akkasaeng, C., N. Tantisuwichwong, I. Chairam, C. Prakrongrak, S. Jogloy, A. Patanothai. 2007. Isolation and identification of peanut leaf proteins regulated by water stress. *Pakistan J. Biol. Sci.* 10: 1611-1617.
- Arunyanark, A., S. Jogloy, C. Akkasaeng, N. Vorasoot, T. Kesmla, R.C. Nageswara Rao, G.C. Wright, A. Patanothai. 2008. Chlorophyll stability is an indicator of drought tolerance in peanut. *J. Agron. Crop Sci.* 194, 113-125.
- Arunyanark, A., S. Jogloy, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, T. Kesmla, A. Patanothai. 2009a. Stability of relationship between chlorophyll density and soil plant analysis development chlorophyll meter readings in peanut across different drought stress conditions. *Asian J. Plant Sci.* 8: 102-110.
- Arunyanark, A., S. Jogloy, S. Wongkaew, C. Akkasaeng, N. Vorasoot, G.C. Wright, R.C.N. Rachaputi, A. Patanothai. 2009b. Association between aflatoxin contamination and drought tolerance traits in peanut. *Field Crops Res.* 114: 14-22.
- Arunyanark, A., S. Jogloy, S. Wongkaew, C. Akkasaeng, N. Vorasoot, T. Kesmla, A. Patanothai, 2010. Heritability of aflatoxin resistance traits and correlation with drought tolerance traits in peanut. *Field Crops Res.* 117: 258-264.
- Boontang, S., P. Songsri, S. Jogloy, C. Akkasaeng, N. Vorasoot, N. Tantisuwichwong, A. Patanothai, 2010a. Evaluation of peanut cultivars commonly grown in Thailand under water limited conditions. *Asian J. Plant Sci.* 9: 320-328.
- Boontang, S., T. Girdthai, S. Jogloy, C. Akkasaeng, N. Vorasoot, A. Patanothai, N. Tantisuwichwong. 2010b. Responses of released cultivars of peanut to terminal drought for traits related to drought tolerance. *Asian J. Plant Sci.* 9: 423-431.
- Boontang, S. 2010. Identification of physiological traits and SSR markers linking to drought tolerance in peanut. PhD Thesis. Khon Kaen University, Khon Kaen.
- Dangthaisong, P., P. Banterng, S. Jogloy, N. Vorasoot, A. Patanothai, G. Hoogenboom. 2006. Evaluation of the CSM-CROPGRO-peanut model in simulating responses of two peanut cultivars to different moisture regimes. *Asian J. Plant Sci.* 5: 913-922.
- Girdthai, T., S. Jogloy, T. Kesmla, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, S. Wongkaew, C.C. Holbrook, A. Patanothai. 2010a. Relationship between root characteristics of peanut in hydroponics and pot studies. *Crop Sci.* 50: 159-167.
- Girdthai, T., S. Jogloy, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, S. Wongkaew, C.C. Holbrook, A. Patanothai. 2010b. Associations between physiological traits for drought tolerance and aflatoxin contamination in peanut genotypes under terminal drought. *Plant Breed.* 129: 693-699.
- Girdthai, T., S. Jogloy, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, S. Wongkaew, C.C. Holbrook, A. Patanothai. 2010c. Heritability of, and genotypic correlations between, aflatoxin traits and physiological traits for drought tolerance under end of season drought in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Field Crops Res.* 118: 169-176.
- Jongrunklang, N., B. Toomsan, N. Vorasoot, S. Jogloy, T. Kesmla, A. Patanothai. 2008. Identification of peanut genotypes with high water use efficiency under drought stress conditions from peanut germplasm of diverse origins. *Asian J. Plant Sci.* 7: 628-638.
- Jongrunklang, N., B. Toomsan, N. Vorasoot, S. Jogloy, K.J. Boote, G. Hoogenboom, A. Patanothai. 2011. Rooting traits of peanut genotypes with different yield responses to pre-flowering drought stress. *Field Crops Res.* 120: 262-270.
- Painawadee, M., S. Jogloy, T. Kesmla, C. Akkasaeng, and A. Patanothai. 2009a. Identification of traits related to drought resistance in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Asian J. Plant Sci.* 8: 120-128.

- Painawadee, M., S. Jogloy, T. Kesmala, C. Akkasaeng, and A. Patanothai. 2009b. Heritability and correlation of drought resistance traits and agronomic traits in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Asian J. Plant Sci.* 8: 325-334.
- Patanothai, A., S. Toomsan, and A. Warunyuwat. 1987. Progress of peanut breeding work in Thailand, pp.8–14. In: Proceedings of the peanut CRSP workshop. August 19–21, 1986. Khon Kaen, Thailand.
- Pimratch, S., S. Jogloy, N. Vorasoot, B. Toomsan, A. Patanothai, and C.C. Holbrook. 2008a. Relationship between biomass production and nitrogen fixation under drought-stress conditions in peanut genotypes with different levels of drought resistance. *J. Agron. Crop Sci.* 194: 15-25.
- Pimratch, S., S. Jogloy, N. Vorasoot, B. Toomsan, T. Kesmala, A. Patanothai, and C.C. Holbrook. 2008b. Effect of drought stress on traits related to N₂ fixation in eleven peanut (*Arachis hypogaea* L.) genotypes differing in degrees of resistance to drought. *Asian J. Plant Sci.* 7: 334-342.
- Pimratch, S., S. Jogloy, N. Vorasoot, B. Toomsan, T. Kesmala, A. Patanothai, and C.C. Holbrook. 2009. Heritability of n₂ fixation traits, and phenotypic and genotypic correlations between n₂ fixation traits with drought resistance traits and yield in peanut. *Crop Sci.* 49: 791-800.
- Pimratch, S., S. Jogloy, N. Vorasoot, B. Toomsan, T. Kesmala, A. Patanothai, and C.C. Holbrook. 2010. Effects of drought on characters related to Nitrogen fixation in peanut. *Asian J. Plant Sci.* 9: 402-413.
- Puangbut, D., S. Jogloy, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, T. Kesmala, and A. Patanothai. 2009a. Variability in yield responses of peanut (*Arachis hypogaea* L.) genotypes under early season drought. *Asian J. Plant Sci.* 8: 254-264.
- Puangbut, D., S. Jogloy, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, T. Kesmala, R.C.N. Rachaputi, G.C. Wright, and A. Patanothai. 2009b. Association of root dry weight and transpiration efficiency of peanut genotypes under early season drought. *Agric. Water Manage.* 96: 1460-1466.
- Puangbut, D., S. Jogloy, B. Toomsan, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, T. Kesmala, R.C.N. Rachaputi, G.C. Wright, and A. Patanothai. 2010. Physiological basis for genotypic variation in tolerance to and recovery from pre-flowering drought in peanut. *Journal of Agronomy and Crop Sci* 196. 358-367.
- Songsri, P., S. Jogloy, T. Kesmala, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, A. Patanothai, and C.C. Holbrook. 2008a. Response of reproductive characters of drought resistant peanut genotypes to drought. *Asian J. Plant Sci.* 7: 427-439.
- Songsri, P., S. Jogloy, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, A. Patanothai, and C.C. Holbrook. 2008b. Root distribution of drought-resistant peanut genotypes in response to drought. *Journal of Agronomy and Crop Sci* 194. 92-103.
- Songsri, P., S. Jogloy, T. Kesmala, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, A. Patanothai, and C.C. Holbrook. 2008c. Heritability of drought resistance traits and correlation of drought resistance and agronomic traits in peanut. *Crop Sci.* 48: 2245-2253.
- Songsri, P., S. Jogloy, C.C. Holbrook, T. Kesmala, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, and A. Patanothai. 2009a. Association of root, specific leaf area and SPAD chlorophyll meter reading to water use efficiency of peanut under different available soil water. *Agric. Water Manage.* 96: 790-798.
- Songsri, P., N. Vorasoot, S. Jogloy, T. Kesmala, C. Akkasaeng, A. Patanothai, and C.C. Holbrook. 2009b. Evaluation of yield and reproductive efficiency in peanut (*Arachis hypogaea* L.) under different available soil water. *Asian J. Plant Sci.* 8: 465-473.
- Vorasoot, N., P. Songsri, C. Akkasaeng, S. Jogloy, and A. Patanothai. 2003. Effect of water stress on yield and agronomic characters of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Songklanakarin J. Sci. Tech.* 25: 283–288.
- Wright, G.C. and R.C. Nageswara Rao. 1994. Groundnut water relations, P. 281–325. In: J. Smartt (ed.), *The groundnut crop*. Chapman & Hall: London.
- Wunna, H., S. Jogloy, B. Toomsan, and J. Sanitchon. 2009a. Response to early drought for traits related to nitrogen fixation and their correlation to yield and drought tolerance traits in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Asian J. Plant Sci.* 8: 138-145.
- Wunna, H., S. Jogloy, B. Toomsan, and J. Sanitchon. 2009b. Inheritance of traits related to biological nitrogen fixation and genotypic correlation of traits related to nitrogen fixation, yield and drought tolerance in peanut (*Arachis hypogaea* L.) under early drought. *Asian J. Plant Sci.* 8: 265-275.