ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
E41050

EFFECT OF WATERLOGGING ON GROWTH, YIELD AND QUALITY OF SWEET SORGHUM GROWN BEFORE RICE UNDER RAINFED AND IRRIGATED CONDITIONS

MISS ARUNEE PROMKHAMBUT

A THESIS FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
KHON KAEN UNIVERSITY
2010

b00255474

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
E41050

EFFECT OF WATERLOGGING ON GROWTH, YIELD AND QUALITY OF SWEET SORGHUM GROWN BEFORE RICE UNDER RAINFED AND IRRIGATED CONDITIONS

THE NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THAILAND
RESEARCH LIBRARY

MISS ARUNEE PROMKHAMBUT

A THESIS FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
KHON KAEN UNIVERSITY
2010

EFFECT OF WATERLOGGING ON GROWTH, YIELD AND QUALITY OF SWEET SORGHUM GROWN BEFORE RICE UNDER RAINFED AND IRRIGATED CONDITIONS

MISS ARUNEE PROMKHAMBUT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN AGRONOMY
GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY
2010

THESIS APPROVAL
KHON KAEN UNIVERSITY
FOR
DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN AGRONOMY

Thesis Title: Effect of waterlogging on growth, yield and quality of sweet sorghum grown before rice under rainfed and irrigated conditions

Author: Miss Arunee Promkhambut

Thesis Examination Committee:

Assoc. Prof. Dr. Vidhaya Trelo-ges	Chairperson
Assoc. Prof. Dr. Anan Polthanee	Member
Assoc. Prof. Dr. Chutipong Akkasaeng	Member
Assoc. Prof. Dr. Viriya Limpinuntana	Member

Thesis Advisors: ..... Advisor

(Assoc. Prof. Dr. Anan Polthanee)

.....Co-Advisor

(Assoc. Prof. Dr. Chutipong Akkasaeng)

.....	.....
(Assoc. Prof. Dr. Lampang Manmart)	(Assoc. Prof. Dr. Anan Polthanee)
Dean, Graduate School	Dean, Faculty of Agriculture

Copyright of Khon Kaen University

อรุณี พรมคำบุตร. 2553. ***อิทธิพลของน้ำท่วมขังที่มีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของข้าวฟ่างหวานที่ปลูกก่อนข้าวภายใต้สภาพน้ำฝนและการชลประทาน.*** วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาพืชไร่ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รศ.ดร อนันต์ พลธานี, รศ.ดร. ชุติพงศ์ อรรคแสง

บทคัดย่อ

E 41050

พื้นที่นาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือครอบคลุมพื้นที่เกือบ 65 % ของพื้นที่ทำการเกษตรทั้งหมดของภาคโดยเกือบ 90% อยู่ในเขตอาศัยน้ำฝนและ 10% อยู่ในเขตชลประทาน เกษตรกรในเขตอาศัยน้ำฝนส่วนใหญ่ปลูกข้าวเพียงชนิดเดียวในช่วงกลางฤดูฝนหรือปลายเดือนกรกฎาคมถึงต้นสิงหาคม ในขณะที่เกษตรกรในเขตชลประทานปลูกพืชหลังข้าวทั้งข้าวนาปรังและพืชไร่อื่นๆ โดยปลูกในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคมและเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนเมษายน ดังนั้นจึงมีพื้นที่ว่างที่ไม่มีการเพาะปลูกระหว่างเดือนเมษายนถึงเดือนสิงหาคมก่อนที่จะมีการเริ่มฤดูปลูกใหม่ การปลูกข้าวฟ่างหวาน *(Sorghum bicolor* L. Moench) ซึ่งเป็นพืชที่ทนแล้ง เจริญเติบโตเร็ว (3-5 เดือน) เป็นพืช C4 ที่ลำต้นมีความหวานและเป็นพืชฤดูเดียว รวมทั้งเป็นพืชที่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล เป็นพืชก่อนข้าวในเขตอาศัยน้ำฝนและในเขตชลประทาน ในช่วงที่พื้นที่นาไม่มีการใช้ประโยชน์ในระหว่างต้นฤดูฝนถึงกลางฤดูฝน เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ดิน และอาจลดความเสี่ยงระบบการปลูกพืชในปัจจุบันในเขตชลประทาน และเปิดโอกาสให้เกษตรกรรายย่อยมีส่วนร่วมในตลาดอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ในการผลิตเอทานอล แต่อย่างไรก็ตาม น้ำท่วมขังเป็นปัญหาที่สำคัญในการปลูกพืชก่อนข้าว ดังนั้น การเข้าใจการตอบสนองของข้างฟ่างหวานต่อน้ำท่วมขังที่ระยะการเจริญเติบโตและระยะเวลาในการขังน้ำต่างๆ รวมทั้งลักษณะการปรับตัวเพื่อให้ทนต่อสภาพน้ำขังในพันธุ์ต่างๆ จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดการการปลูกข้าวฟ่างหวานก่อนข้าวโดยการคัดเลือกพันธุ์ที่ทนสภาพน้ำท่วมขังและการเลือกวันปลูกที่เหมาะสมได้

การวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ส่วนแรกมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความทนทานต่อสภาพน้ำท่วมขังของข้าวฟ่างหวาน 4 สายพันธุ์ โดยทำการทดลองในสภาพเรือนทดลองที่ Moorbank Botanical Garden ที่ the University of Newcastle ประเทศอังกฤษ ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เมษายน ปี 2551 ใช้แผนการทดลองแบบ 2 x 4 factorial in randomized complete block design ปัจจัยที่ศึกษาคือ กรรมวิธีการให้น้ำ 2 กรรมวิธี (กรรมวิธีที่ไม่มีการขังน้ำ

E 41050

และกรรมวิธีที่มีการขังน้ำนาน 20 วัน) และพันธุ์ข้าวฟ่างหวาน 4 พันธุ์ (Bailey, Keller, Wray และ สุพรรณบุรี 1) โดยกรรมวิธีที่มีการให้น้ำท่วมขังมีจำนวน 4 ซ้ำ และกรรมวิธีที่ไม่มีการขังน้ำมีจำนวน 2 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่า น้ำท่วมขังมีผลทำให้การเจริญเติบโตของลำต้นและรากลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ไม่มีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้นและรากระหว่างพันธุ์มีความแตกต่างกันทางสถิติ อัตราการยืดยาวของใบในทุกพันธุ์ลดลงเมื่อได้รับน้ำท่วมขังแต่พันธุ์ Wray ได้รับผลกระทบน้อยที่สุดและพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ได้รับอิทธิพลของน้ำท่วมขังมากที่สุด น้ำท่วมขังทำให้มีการสะสมน้ำหนักแห้งที่ส่วนเหนือดินในข้าวฟ่างหวานพันธุ์ Wray แต่ในพันธุ์สุพรรณบุรี 1 น้ำขังทำให้มีการสะสมน้ำหนักแห้งในราก ภายใต้สภาพน้ำท่วมขังพันธุ์สุพรรณบุรี 1 มีการสร้างราก (nodal root)ใหม่ ในขณะที่ พันธุ์ Wray เพิ่มความยาวของรากและพัฒนารากใกล้ผิวดิน อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ค่าการนำของปากใบ (stomatal conductance) และอัตราการคายน้ำ ลดลงอย่างมากภายใต้สภาพน้ำท่วมขังในข้าวฟ่างหวาน 3 พันธุ์แรก แต่ในพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ค่าดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้นมากกว่ากรรมวิธีที่ไม่มีการขังน้ำ จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ข้าวฟ่างหวานพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เหมาะที่จะนำไปศึกษาต่อในแง่ของการปรับปรุงพันธุ์ให้ทนต่อสภาพน้ำขัง ในขณะที่พันธุ์ Wray อาจจะเป็นพันธุ์ที่เหมาะกับการนำไปใช้เพาะปลูกได้โดยตรง

ส่วนที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของน้ำท่วมขังที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต รวมทั้งลักษณะที่ทำให้ข้าวฟ่างหวานทนต่อสภาพน้ำท่วมขังในข้าวฟ่างหวาน 2 สายพันธุ์โดยทำการทดลองในสภาพเรือนทดลองที่หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึง สิงหาคม ปี 2548 ใช้แผนการทดลองแบบ 4 x 2 factorial in a randomized complete block design จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัยที่ศึกษาคือ กรรมวิธีการให้น้ำ 4 กรรมวิธี (กรรมวิธีที่ไม่มีการขังน้ำ กรรมวิธีขังน้ำที่ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นช่วงแรก 20 วัน กรรมวิธีขังน้ำที่ระยะสืบพันธุ์ช่วงแรก 20 วัน และ กรรมวิธีขังน้ำที่ระยะสืบพันธุ์ช่วงกลาง 20 วัน) และข้าวฟ่าง 2 พันธุ์ (Wray และสุพรรณบุรี 1) ผลการทดลองพบว่า การเจริญเติบโตส่วนเหนือดิน ความยาวรากและน้ำหนักแห้งรากที่อยู่ในดินของข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ลดลงเมื่อขังน้ำที่ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นช่วงแรกและระยะสืบพันธุ์ช่วงแรก แต่ลักษณะดังกล่าวไม่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ไม่มีการขังน้ำเมื่อขังน้ำที่ระยะระยะสืบพันธุ์ช่วงกลาง น้ำท่วมขังยับยั้งการพัฒนาของรากที่ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นช่วงแรก แต่กระตุ้นการพัฒนารากที่ระยะสืบพันธุ์ช่วงแรกและช่วงกลางของทั้ง 2 พันธุ์ พันธุ์ Wray มีความยาวรากและน้ำหนักแห้งรากที่พัฒนาในน้ำมากที่สุดเมื่อได้รับน้ำขังที่ระยะสืบพันธุ์ช่วงแรก และพันธุ์ Wray พัฒนาช่องว่างอากาศ (aerenchyma) ในรากและโคนต้นมากกว่า พันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ระยะเก็บเกี่ยว ผลผลิตต้นสดของทั้ง 2 พันธุ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อได้รับน้ำท่วมขังที่ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นช่วงแรกและระยะสืบพันธุ์

E 41050

ช่วงแรก ในขณะที่ผลผลิตต้นสดของพันธุ์ Wray ลดลงน้อยสุดเมื่อได้รับน้ำท่วมขังที่ระยะสืบพันธุ์ช่วงกลาง ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ข้าวฟ่างหวานอ่อนแอต่อน้ำท่วมขังที่ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นช่วงแรก การพัฒนารากและช่องว่างอากาศ ในรากและโคนต้นอาจจะเป็นปัจจัยที่ทำให้ข้าวฟ่างทนต่อสภาพน้ำท่วมขัง

ส่วนที่ 3 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของน้ำท่วมขังที่ระยะเวลาต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดิน ผลผลิต และปริมาณน้ำตาล รวมทั้งลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากและลำต้นของข้าวฟ่างหวาน และเพื่อจำแนกลักษณะที่ทำให้ข้างฟ่างหวานทนต่อสภาพน้ำท่วมขัง โดยทำการทดลองในสภาพเรือนทดลองที่หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึง สิงหาคม ปี 2549 ใช้แผนการทดลองแบบ 5 x 3 factorial in a randomized complete block design จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย กรรมวิธีการให้น้ำ 5 กรรมวิธี (กรรมวิธีที่ไม่มีการขังน้ำ กรรมวิธีขังน้ำที่ 30 45 60 และ 75 วันหลังงอก) และ พันธุ์ข้าวฟ่างหวาน 3 พันธุ์ (Bailey, Keller และ Wray) ผลการทดลองพบว่า น้ำท่วมขังทำให้ น้ำหนักแห้งใบ พื้นที่ใบ จำนวนปล้องต่อต้น น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และผลผลิตต้นสดลดลงมากที่สุดเมื่อเริ่มขังน้ำที่อายุ 30 วันหลังงอก การขังน้ำเมื่อข้าวฟ่างหวานอายุมากกว่า 30 วันหลังงอกไม่มีผลทำให้การเจริญเติบโตของส่วนเหนือดิน ผลผลิตต้น และองค์ประกอบผลผลิตลดลงอย่างมีนัยทางสถิติ น้ำท่วมขังไม่มีผลทำให้ ค่า Brix value ปริมาณน้ำตาล sucrose และ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด แตกต่างกันทางสถิติ

พันธุ์ที่ศึกษาไม่มีผลทำให้ผลผลิตมีความแตกต่างกันทางสถิติ การขังน้ำทำให้มีการพัฒนารากในน้ำ ทั้งความยาวราก น้ำหนักแห้งราก จำนวน nodal root และ lateral root รวมทั้งกระตุ้นการสร้างช่องว่างอากาศต่อเนื่องกันจากรากที่อยู่ในดินจนถึงโคนต้นที่อยู่เหนือระดับผิวน้ำ แต่น้ำขังยับยั้งการเจริญเติบโตของรากในดิน ลักษณะการปรับตัวของรากพบมากที่สุดในพันธุ์ Keller ที่ได้รับน้ำท่วมขังเมื่ออายุ 30 วันหลังงอก แต่การปรับตัวดังกล่าวลดลงเมื่อมีการขังน้ำที่อายุ 75 วันหลังงอก ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า อิทธิพลของน้ำท่วมขังต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวฟ่างหวานขึ้นกับระยะการเจริญเติบโตที่มีการขังน้ำ การพัฒนารากทั้ง nodal root และ lateral root การสร้างช่องว่างอากาศที่ต่อเนื่องจากรากที่อยู่ในดินถึงโคนต้นที่อยู่เหนือระดับผิวน้ำอาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวฟ่างหวานทนต่อสภาพน้ำท่วมขัง

ส่วนที่ 4 มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดวันปลูกที่เหมาะสมและเลือกพันธุ์หรือลักษณะพันธุ์ที่ทำให้ได้ผลผลิตต้นสดและศักยภาพในการผลิตเอทานอลสูง เมื่อปลูกก่อนข้าวภายใต้สภาพน้ำฝนและการชลประทาน ทำการทดลองในในแปลงนาเกษตรกร 2 แปลง ที่บ้านม่วง ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่นาในเขตอาศัยน้ำฝน และบ้านอัมพวัน ซึ่งเป็นตัวแทนของแปลงนาในเขตชลประทาน จังหวัด

E41050

ขอนแก่น ทำการทดลองในฤดูฝน ปี 2550 ใช้แผนการทดลองแบบ Split plot design จำนวน 4 ซ้ำ โดย main plot ประกอบด้วย วันปลูก 3 วัน (early, mid, และ late) และ sub plot คือพันธุ์ข้าวฟ่างหวาน 3 พันธุ์ ประกอบด้วย Bailey, Keller และ Wray ผลการทดลองพบว่า การปลูกข้าวฟ่างหวานเร็ว เพิ่มความสูง ดัชนีพื้นที่ใบ ผลผลิตต้นสด และ ปริมาณเอทานอลในทางทฤษฎี ในทั้งสองพื้นที่ แต่ข้าวฟ่างหวานที่ปลูกในเขตชลประทานมีน้ำหนักแห้ง ผลผลิตต้นสดและปริมาณเอทานอลสูงกว่าข้าวฟ่างหวานที่ปลูกในเขตน้ำฝน ข้าวฟ่างหวานพันธุ์ Bailey มีผลผลิตต้นสดและปริมาณเอทานอลมากที่สุดในทั้งสองพื้นที่ เนื่องมีลำต้นยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นสูง การปลูกข้าวฟ่างหวานล่าช้าทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง เนื่องจากความไวต่อแสงของข้าวฟ่างหวานและการเกิดน้ำท่วมขังในช่วงกลางฤดูฝน ดังนั้น การปลูกข้าวฟ่างหวานให้เร็วและการใช้พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงซึ่งมีวันเก็บเกี่ยวไม่เกิน 103 วันหลังงอก เป็นวิธีที่จะทำให้ได้ผลผลิตต้นสดและเอทนอลสูงสุดเมื่อปลูกก่อนข้าว

Arunee Promkhambut. 2010. ***Effect of Waterlogging on Growth, Yield and Quality of Sweet Sorghum Grown before Rice under Rainfed and Irrigated Conditions***. Doctor of Philosophy Thesis in Agronomy, Graduate School, Khon Kaen University.

Thesis Advisors: Assoc. Prof. Dr. Anan Polthanee,
Assoc. Prof. Dr. Chutipong Akkasaeng

ABSTRACT

E 41050

Paddy fields occupy approximately 65% of arable areas in Northeast Thailand, with nearly 90% under rainfed conditions and 10% in irrigated areas. In rainfed areas, rice is planted as a mono-crop during the peak rainfall between late-July and early-August. Thus, land is left fallow for several months during the dry-wet transition period. In irrigated lowland areas farmers usually adopt a double cropping system by growing second rice and field crops after major rice. Crops are usually grown between December and January and harvested in April. Fields lay fallow before starting the new crop season between April and August. Production of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench), a drought tolerant, rapid growth (3-5 months), C4 sweet-stemmed annual crop and a promising ethanol feedstock, as a pre-rice crop during the fallow period in rainfed and irrigated paddy fields could increase land use efficiency and may reduce the risks of existing cropping systems in irrigated areas. This would allow small farmers to access huge agro-bioethanol markets which ultimately could improve farmers' income. However, waterlogging and flooding are the major constraints in these areas. Therefore, understanding sweet sorghum's responses to waterlogging at different growth stages and durations as well as acclimation traits associated with flooding stress among diverse genotypes will prove helpful in the management of pre-rice sorghum by allowing for the selection of high flooding tolerant cultivar(s) and optimum planting dates.

This research was organized into four parts. The first part investigated and compared the waterlogging tolerance of four sorghum cultivars. A pot experiment was conducted at the Moorbank Botanical Garden at the University of Newcastle (UK) from February to April 2008. A 2 x 4 factorial in randomized complete block design

E41050

with four replications of waterlogging treatment and two replications of control treatment were used. Treatments included two water regimes; control and waterlogging for 20 days, and 4 sorghum cultivars; cv. Bailey, Keller, Wray and Suphanburi 1 (SP1). The results showed that waterlogging significantly reduced all shoot and root growth traits but did not result in a significant difference in shoot and root biomass among cultivars. Leaf expansion rate of the youngest leaves was reduced in all cultivars but was less affected in Wray and severely affected in SP1. Flooding promoted biomass allocation to shoots in three former cultivars with the greatest noted in Wray, but increased biomass partitioning to root in SP1. The initiation of new nodal root was noted in SP1, whereas Wray increased the longest root length and developed nodal root near the soil surface. Photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate were severely reduced under waterlogging conditions in all three former cultivars, but enhanced over the control in SP1. Based on the results, cv. SP1 may be the most valuable cultivar for use in further breeding programs while cv. Wray may be the most suitable for immediate implementation by farmers.

The objectives of the second part were to investigate the effect of flooding at different growth stages on plant growth and yield as well as the characteristics related to flooding tolerance between the two sorghum cultivars. A pot experiment was conducted from May to August 2005 under greenhouse conditions at the Department of Plant Science and Agricultural Resources, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University. The experiment was a 4 x 2 factorial in a randomized complete block design with four replications. The four water treatments were assigned as factor A, which including (i) control, 20 d of flooding treatments applied at (ii) early- vegetative stage (EV) (iii) early- reproductive stage (ER) and (iv) mid- reproductive stage (MR), and factor B which included the two sorghum cultivars (cv. Wray and SP1). The results showed that all shoot traits, including primary root length and root dry weight of both cultivars were significantly reduced by flooding at EV and ER but showed no significant difference from the control at MR. Nodal root number were restricted when flooding was applied at EV but increased over the control at ER and MR in both cultivars. Root length and root dry weight developed in water were significantly higher in Wray flooded at ER. Wray also developed higher aerenchyma spaces in roots and stalk bases than SP1. At harvest, flooding applied at EV and ER

E41050

significantly reduced stalk yield of both cultivars but stalk yield of Wray was least affected by flooding at MR. These findings indicate that sorghum is susceptible to flooding at EV. Nodal root development and aerenchyma formation in roots and stalk bases may be important acclimation responses to flooding.

The objectives of the third part were to investigate the effects of flooding of different durations on the growth of shoot, yield and sugar content; root and stalk morphology of sweet sorghum; and to identify characteristic associated with flooding tolerance in sweet sorghum. The greenhouse experiment was conducted from May to August 2006. The experiment was a 5 x 3 factorial in a randomized complete block design with four replications. The five water treatments were assigned as factor A, including control, flooding from 30 DAE, flooding from 45 DAE, flooding from 60 DAE and flooding from 75 DAE. The three sweet sorghum cultivars (Bailey, Keller and Wray) were assigned as factor B. The results showed that flooding decreased leaf dry weight, leaf area, number of nodes per stalk, shoot dry weight and stalk yield with the highest reduction occurring in 30 days after emergence (DAE) flooding treatment. Flooding later than 30 DAE did not significantly affect shoot growth, yield and yield components. Brix value, sucrose content and total sugar content were not also significantly affected.

All studied cultivars had similar shoot growth response. Flooding induced development of roots in water; root length, root dry weight, nodal root and lateral root number and interconnection of aerenchyma spaces in roots located in flooded soil to stalk base above water level but suppressed root growth in flooded soil. The acclimation traits were highest in Keller when flooded from 30 DAE but there was a lack of root development in 75 DAE flooding treatments. These findings indicate the effect of waterlogging on sweet sorghum growth and that yield depends upon the growth stage at which it occurs. The development of nodal and lateral roots and aerenchyma formation in flooded plant parts to stalk bases above water level may contribute to flooding tolerance in sweet sorghum.

The objectives of the fourth part were to indentify optimum sowing time and suitable sweet sorghum cultivar/characters for achieving high stalk yield. In addition, the research sought to estimate ethanol production when grown as a pre-rice crop under rainfed and irrigated conditions. Two field experiments were conducted at

E 41050

Mouang village, presently a rainfed paddy field, and at Ampawan village, presently an irrigated paddy field in Khon Kaen province. The study was conducted during the rainy season of 2007. The experimental design for each location was a randomized complete block in a split plot arrangement with four replications. Planting date was the main factor and cultivars were assigned to the subplots. Three planting dates (early-, mid- and late) and sweet sorghum cultivars (Bailey, Keller and Wray) were used. Results indicated that an early planting date increased plant height, LAI, stalk yield and calculated ethanol yield in both locations. The irrigated field produced more plant dry matter, stalk and calculated ethanol yield than the rainfed field. In both fields, Bailey gave the highest stalk and calculated ethanol yield due to its long stem and high stem diameter. Delayed planting date significantly reduced growth and yields due to photosensitivity of sweet sorghum and flooding at mid- rainy season. Therefore, an early planting date and high stalk yielding cultivar with a harvesting date not greater than 103 DAE are desirable. In addition, high flooding tolerance is recommended to maximize stalk and ethanol yields under pre-rice growing conditions.

ACKNOWLEDGEMENTS

I wish to express my deep gratitude to the people who supported and inspired my work. Without them my research could not have been completed. First of all, I would like to express my deepest gratitude to my advisor, Associate Professor Dr. Anan Polthanee for his excellent, continuous and kind guidance, encouragement, patience, understanding and endless support during my study. I would also like to extend my gratitude to my advisory committees, Associate Professor Dr. Chutipong Akkasaeng, Associate Professor Dr. Jaroon Promchum and Associate Professor Dr. Viriya Limpinuntana, for their excellent assistance, useful suggestion and kind encouragement. In addition I would also like to thank my oversea co-advisor, Dr. Alan Younger, and technical manager, Mr. Brian Brown, for their valuable guidance, keen supervision and constructive suggestions, throughout my stay at the School of Agriculture, Food and Rural Development, Faculty of Science, Agriculture and Engineering, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, UK.

I am grateful for the support of the staff of Agronomy Division, with a special thanks are to Mr. Krittichai Thongpoon for his kind support and encouragement during my stay at Newcastle, and Dr. Pontip Srimongkol, Dr. Suchada Sanusan, Dr. Tepwadee Changdee, Miss Santira Chaidee, Miss Khanistha Promsena, Miss Sopha Pitsawongprakarn, Miss Rattiyaporn Jaidee and Mr. Anucha Loaken for their help and cheerfulness during my research works.

Grateful acknowledgements are expressed to the Thailand Research Fund for financial supports through the Royal Golden Jubilee Ph. D. Program.

Finally, I would like to thank my parents, my sister, my brother and my family for their unconditional love, support, help and understanding.

Arunee Promkhambut

TABLE OF CONTENTS

	Page
ABSTRACT (IN THAI)	i
ABSTRACT (IN ENGLISH)	v
ACKNOWLEDGEMENTS	ix
LIST OF TABLES	xi
LIST OF FIGURES	xiii
LIST OF ABBREVIATIONS	xvi
CHAPTER I INTRODUCTION	1
CHAPTER II LITERATURE REVIEW	3
CHAPTER III MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF SORGHUM (*Sorghum bicolor* L. Moench) TO WATERLOGGING	32
CHAPTER IV GROWTH, YIELD AND AERENCHYMA FORMATION OF TWO SORGHUM CULTIVARS (*Sorghum bicolor* L. Moench) SUBJECTED TO FLOODING AT DIFFERENT GROWTH STAGES	55
CHAPTER V A FLOOD-FREE PERIOD COMBINED WITH EARLY PLANTING IS REQUIRED TO SUSTAIN YIELD OF PRE-RICE SWEET SORGHUM (*Sorghum bicolor* L. Moench)	83
CHAPTER VI EFFECTS OF PLANTING DATE AND CULTIVAR ON GROWTH, STALK YIELD AND ETHANOL PRODUCTION POTENTIAL OF SWEET SORGHUM GROWN AS A PRE-RICE CROP UNDER RAINFED AND IRRIGATED CONDITIONS	109
CHAPTER VII GENERAL DISCUSSION AND CONCLUSION	134
REFERENCES	137

LIST OF TABLES

Page

CHAPTER III

Table 1 Effects of 20 days of waterlogging on aboveground and belowground growths of 4 sweet sorghum cultivars. 49

CHAPTER IV

Table 1 ANOVA table of individual flooding treatment at different growth stages and cultivars of shoot and root growth. 73

Table 2 Effects of flooding treatments at different growth stages and cultivars on shoot growth and yield of sweet sorghum at final sampling (recovery). 74

Table 3 Effects of flooding treatments at different growth stages and cultivars on root growth of sorghum at final sampling (recovery). 75

Table 4 Effects of flooding treatments at different growth stages and cultivars on root length, root dry weight and root aerenchyma scores after 20 days of flooding. 76

Table 5 Stalk yield (stalk fresh weight, g plant^{-1}) of sweet and forage sorghum at final sampling. 77

CHAPTER V

Table 1 Soil physiochemical characteristics of the experiment. 102

Table 2 Effects of flooding of different durations and cultivars on shoot dry weight, stalk dry weight, stalk yield, number of nodes per stalk, leaf area and leaf dry weight of sweet sorghum evaluated at final harvest. 103

Table 3 Effects of flooding of different durations and cultivars on nodal root number per plant, root length in flooded soil, root length in water, root dry weight in flooded soil and root dry weight in water of sweet sorghum evaluated at final harvest. 104

LIST OF TABLES (Cont.)

Page

Table 4 Effects of flooding of different durations and cultivars on aerenchyma formation score of sweet sorghum measured in nodal roots, lateral roots, axes and stalks evaluated at final harvest. 105

CHAPTER VI

Table 1 Soil physiochemical characteristics of the experimental field. 125

Table 2 Means of calculated ethanol yield and factors directly affecting ethanol production as influenced by planting date and cultivar grown in irrigated paddy field at harvest. 126

Table 3 Means of calculated ethanol yield and factors directly affecting ethanol production as influenced by planting date and cultivar grown in rainfed paddy field at harvest. 127

Table 4 Stalk dry weight (tonnes ha^{-1}) responses of three sweet sorghum cultivars grown at three planting dates between irrigated and rainfed paddy fields at harvest. 128

LIST OF FIGURES

Page

CHAPTER III

Figure 1 Effect of waterlogging on plant height (a, c, e, g) and youngest leaf expansion rate (YLER) (b, d, f, h) of 4 sorghum cultivars. 50

Figure 2 Effect of waterlogging on leaf area, LA, (a, c, e, g) and leaf senescent number (b, d, f, h) of 4 sorghum cultivars. 51

Figure 3 Effects of 20 days of waterlogging on nodal root number per plant (a), longest root length (b) and shoot/root ratio (c) of 4 sorghum cultivars. 52

Figure 4 Effect of waterlogging on photosynthetic rate (A) (a, c, e, and g) and stomatal conductance (gs) (b, d, f, and h) of 4 sorghum cultivars. 53

Figure 5 Relationships between photosynthetic rate (A) and stomatal conductance (gs) of sorghum. 54

Figure 6 Relationships between NR number per plant and photosynthetic rate (A) under waterlogging conditions. 54

CHAPTER IV

Figure 1 Change in plant height (a) and stem diameter (b) for cv. Wray and cv. SP1 after 20 days of flooding at different growth stages and at harvest. 78

Figure 2 Change in leaf area (a), leaf dry weight (b) and shoot dry weight (c) for cv. Wray and cv. SP1 after 20 days of flooding at different growth stages and at harvest. 79

Figure 3 Change in root length (a), root dry weight (b) and nodal root number (c) for cv. Wray and cv. SP1 after 20 days of flooding at different growth stages and at harvest. 80

LIST OF FIGURES (Cont.)

Page

Figure 4 Root growth parameters developed in standing water after 20 d of flooding, root length ($p \leq 0.01$) (a), and root dry weight ($p \leq 0.05$) (b) and scored aerenchyma of nodal roots developed in water (c). 81

Figure 5 Cortical aerenchyma in nodal root (NR) and lateral root (LR) that penetrated in flooded soil of cv. Wray (a and c) and cv. SP1 (b and d) when 20 d of flooding was applied at early vegetative growth stage. 82

CHAPTER V

Figure 1 Effect of flooding treatments on total root length (TRL) (a) and root dry weight (b) of three sweet sorghum cultivars in water. Keller did not produced root at late growing season flooding. 106

Figure 2 Effect of flooding treatments on aerecnhyma score of nodal root (a) and lateral root (b) located in water of three sweet sorghum cultivars. No aerenchyma space was observed in Bailey in all flooding treatments. 107

Figure 3 Cross sections of adventitious root or nodal root and lateral root developed in water. (a) well- developed aerenchyma formed in nodal root, bar = 200 μm, (b) well- developed aerenchyma formed in 1st lateral root, bar = 39.9 μm (c) many first order lateral roots formed on nodal root (arrows), bar = 200 μm and (d) small later root developed in aerenchyma channels of later root (arrow), bar = 39.9 μm. 108

LIST OF FIGURES (Cont.)

Page

CHAPTER VI

Figure 1 Water table depth, weekly mean temperature and weekly rainfall distribution in (A) irrigated field and (B) in rainfed field. Growing period; planting -harvest dates were different between fields. In irrigated field; PD1: 19 April- 03 Aug, PD2: 03 May- 10 Aug and PD3: 24 May-11 Sep and in rainfed field; PD1: 04 May-08 Aug, PD2: 29 May- 30 Aug and PD3: 15 June- 17 Sep in 2007. 129

Figure 2 Soil moisture content at 0-15 and 25-30 cm depth during growing season before flooding in filed at A) irrigated paddy field and B) rainfed paddy field. 130

Figure 3 Effects of planting dates and cultivars on plant height of sweet sorghum grown in irrigated field (A and C) and rainfed field (B and D). 131

Figure 4 Effects of planting dates and cultivars on LAI of sweet sorghum grown in irrigated field (A and C) and rainfed field (B and D). 132

Figure 5 Effects of planting dates and cultivars on total top dry weight of sweet sorghum grown in irrigated field (A and C) and rainfed field (B and D). 133

LIST OF ABBRIVIATIONS

A	photosynthetic rate
ABA	abscisic acid
AC	aerenchyma
ACC	1-amino-cyclopropane-1 carboxilic acid
ADP	Adenosine Di Phosphate
ATP	Adenosine tri phosphate
C	cultivar
◦C	degree celcius
Ca^{2+}	calcium calmudalin
Ci	sub-stomatal carbon dioxide
CK	control
cm	centimeter
cm^2 $plant^{-1}$	centimetersper plant
cm^2	square centimeter
cv.	cultivar
CO_2	carbon dioxide
d	day
DAE	days after emergence
DAP	days after planting
DAW	days after waterlogging
DEDE	Department of Alternative Energy Development and Efficiency Ministry, Thailand
DW	dry weight
E	transpiration rate
Eh	redox potential
EN	epidermis
EP	epidermis
ER	early-reproductive stage
EV	early-vegetative stage

LIST OF ABBRIVIATIONS (Cont.)

g	gram
G x E	genotype by environment interaction
GJ	giga jules
g m^{-2} day^{-1}	gram per square meter per day
g $plant^{-1}$	gram per plant
gs	stomatal conductance
F	flowering
FAA	formalin, acetic acid
FAO	Food and Agriculture Organization, the United Nations
FC	field capacity
Fe^{2+}	ferrous ion
Fe^{3+}	ferric iron
h	hour
ha^{-1}	per hectare
HPLC	high performance liquid crhromatography
HV	harvest
ICRISAT	International Crops Institute for the Semi-Arid tropics
K	potassium
kg ha^{-1}	kilogram per hectare
KKU	Khon Kaen University
kl ha^{-1}	kilo litre per hectare
l	liter
lbs	pound
l ha^{-1}	liters per hectare
LA	leaf area
LAI	leaf area index
LR	lateral root
LRL	longest root length
LSD	least significant difference

LIST OF ABBRIVIATIONS (Cont.)

m^{-2}	per square meter
m^3	cubic meter
max	maximum
mm	millimeter
mm day^{-1}	millimeters per day
mm $plant^{-1}$	millimeters per plant
mmol m^{-2} s^{-1}	milli mole per square meter per second
min	minimum
mol m^{-2} s^{-1}	mole per square meter per second
MR	mid-reproductive stage
mV	milli Volt
N	nitrogen
NA	data is not available
NAD+	nicotinamide adenine dinucleotide
no.	number
NR	nodal root
N-S	north to south
O_2	oxygen gas
OM	organic matter
P	pith
PAR	Photosynthetically active radiation
PCD	program cell death
PD	planting date
PH	phloem
PR	pericycle
Pol	polarity
ppm	part per million
PVC	polyvinyl chloride
PWP	permanent wilting point
RLWC	relative leaf water content

LIST OF ABBRIVIATIONS (Cont.)

RNA	ribonucleic acid
ROL	radial oxygen loss
ROS	reactive oxygen species
RuBisco	ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase oxygenase
SCMR	SPAD chlorophyll meter reading
SD	soft dough
SE	standard error
SO_4^{2-}	sulfate
SOD	superoxide dismutase
S/R	shoot/root biomass ratio
SP1	Supanburi1
stem dia.	Stem diameter
t	ton
t ha^{-1}	tons per hectare
TDM	total dry matter
TDW	top dry weight
TRL	total root length
TSC	total sugar content
µmol m^{-2} s^{-1}	micro mol per square meter per second
UK	United Kingdom
US	United States
USA	United States of America
v/v	volume per volume
W	waterlogging
X	xylem
YLER	youngest leaf expansion rate