

อิทธิพลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและผลผลิตของข้าวอินดิกา

Influence of Nano-Zinc Oxide on Physiological and Productivity Change of *indica* Rice

สุทธชัย สามารต¹, นิตยา ผกามา² และ สุธี ชุตีไพจิตร^{1*}

¹วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

²คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Sutichai Samart¹, Nittaya Phakamas² and Sutee Chutipaijit^{1*}

¹College of Nanotechnology, King Mongkut's Institute of Technology

Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, THAILAND.

²Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,

Ladkrabang, Bangkok 10520, THAILAND. E-mail: natadee24@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (nano-ZnO) ที่มีผลต่อผลผลิตของข้าวอินดिकासายพันธุ์ชัยนาท 1 ในการทดลองนี้ได้ดำเนินการทดลอง ณ แปลงทดลองภาควิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตรสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2557 โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยทำการทดสอบอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ทั้งหมด 6 ความเข้มข้น ในอัตราส่วนความเข้มข้น 0, 100, 200, 400, 600 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์แต่ละความเข้มข้นทุก 14 วัน จนกระทั่งเก็บเกี่ยว ต้นข้าวจะถูกเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 72, 86, 100 และ 114 วัน ทำการวัดค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI), จำนวนรวงต่อกอ, น้ำหนัก 1,000 เมล็ด, เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ และค่าดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) ผลการศึกษาพบว่าการใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้นที่ต่างกัน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต และมีแนวโน้มว่าการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่อัตราความเข้มข้น 200-400 มิลลิกรัมต่อลิตรจะทำให้ข้าวมีค่าดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีเก็บเกี่ยวสูงกว่าอัตราความเข้มข้นอื่นๆ ดังนั้นการประยุกต์ใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จึงน่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับข้าวสายพันธุ์อื่น รวมทั้งพืชชนิดอื่นในอนาคตได้

คำสำคัญ: ข้าวอินดิกา, อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์, ดัชนีพื้นที่ใบ, ดัชนีเก็บเกี่ยว

Abstract

The objective of this study was to determine the effect of zinc oxide nanoparticles (nano-ZnO) on yield of *indica* rice cv. Chainat 1. The experiment was conducted in the field of the Department of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang during February to June, 2013. The experiment was laid out in Randomized Complete Block Design (RCBD) with 3 replications. Six rates of nano-ZnO were tested at the different concentrations i.e., 0, 100, 200, 400, 600 and 800 mg.L⁻¹. Each rate of nano-ZnO was supplemented for every 14 days-interval until harvesting. The rice plants were collected at 72, 86, 100 and 114 days old. Leaf area index (LAI), number of panicles/clump, 1,000 seed weights, percentage of unfilled grain and harvest index (HI) were measured. The results showed that, the different concentrations of nano-ZnO were effect on plant growth and yield of rice. The additions of nano-ZnO at a rate of 200-400 mg.L⁻¹ trended to promote leaf area index and harvest index greater than the other treatments. The application of nano-ZnO may be applied to other rice strains, including the other plant species in the future.

Keywords: *indica* rice, Nano-ZnO, Leaf area index, Harvest index

1. บทนำ

ข้าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย เนื่องจากสามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรซึ่งเป็นอาชีพหลักของคนไทยมาตั้งแต่อดีต โดยพื้นที่ปลูกข้าวส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภาคกลางและภาคเหนือของประเทศไทย [1] สภาพในการเพาะปลูกและอัตราการเจริญเติบโตของต้นข้าว จึงมีส่วนสำคัญต่อผลผลิตของข้าวที่เกิดขึ้นด้วย โดยทั่วไปการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์สารอาหารของพืชนั้น จำเป็นต้องอาศัยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเป็นกระบวนการหลัก ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดที่บริเวณใบของพืชเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นดัชนีพื้นที่ใบของพืช (Leaf area index; LAI) ซึ่งเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงปริมาณพื้นที่ใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ดิน จึงมีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช และส่งผลต่อการเจริญเติบโต รวมถึงการสร้างผลผลิตของพืชด้วย โดยที่การรับแสงของพืชจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับดัชนีพื้นที่ใบของพืช ในการศึกษาด้านพืชไร่จะให้ความสนใจหรือให้ความสำคัญของดัชนีพื้นที่ใบมากกว่าการวัดพื้นที่ใบต่อต้น โดยค่าดัชนีพื้นที่ใบจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอายุ ระยะเวลา สภาพในการเพาะปลูก และปัจจัยอื่นๆ โดยที่พืชจะมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดเมื่อมีค่าดัชนีพื้นที่ใบอยู่ในระดับที่เหมาะสม และค่าดัชนีพื้นที่ใบที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชตามสภาพแวดล้อม ตลอดจนความเข้มแสงที่พืชได้รับ จากการศึกษาของ Takai และคณะ [2] พบว่าข้าวพันธุ์ Takanari และพันธุ์ Nipponbare จะมีค่าดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวและจะมีค่าสูงสุดเมื่อถึงระยะ

ออกทรง และหลังจากนั้นค่าดัชนีพื้นที่ใบจะลดลงเป็นลำดับ เนื่องจากการร่วงหล่นของใบ หรือใบแห้งเหี่ยวตายไปตามอายุ นอกจากนี้ในการศึกษาทางด้านพืชไร่ยังสนใจถึงค่าดัชนีเก็บเกี่ยว (Harvest index; HI) ซึ่งเป็นสัดส่วนของผลผลิตทางชีวภาพที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลผลิตทางเศรษฐกิจ และเป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการลำเลียงและถ่ายเทสารที่เกิดจากระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (partitioning efficiency) ของพืช จากต้นและใบ (sources) ไปยังส่วนที่เจริญเป็นผลผลิตหรือส่วนที่ถูกเก็บเกี่ยว (sinks) สัดส่วนหรือปริมาณของผลผลิตทางชีวภาพจะเปลี่ยนแปลงมาเป็นผลผลิตมากขึ้น ค่าดัชนีเก็บเกี่ยวจะเพิ่มสูงขึ้นด้วย และจะส่งผลให้ผลผลิตของพืชเพิ่มขึ้น [3] ผลผลิตของข้าวนั้นจะเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มของน้ำหนักแห้งหรือค่าดัชนีเก็บเกี่ยว หรือทั้งสองอย่าง และยังมีงานวิจัยที่ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพการให้ผลผลิตของธัญพืชหลายชนิดระหว่างพันธุ์ใหม่กับพันธุ์พื้นเมือง พบว่าการเพิ่มของค่าดัชนีเก็บเกี่ยวจะมีผลต่อศักยภาพการให้ผลผลิตมากกว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้ง [4,5] แต่เมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มของสายพันธุ์พบว่าสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง ยังพบการสะสมของน้ำหนักแห้งที่สูงเช่นกัน [6-8]

และในปัจจุบันด้วยความก้าวหน้าทางนาโนเทคโนโลยี จึงเริ่มมีการประยุกต์ใช้อุณหภูมิในอุตสาหกรรมการผลิตหลาย รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน อีกทั้งยังมีการนำมาประยุกต์ใช้ในด้านเกษตรอีกด้วย และคาดว่าจะแพร่หลายมากขึ้นต่อไปในอนาคต เนื่องจากอนุภาคนาโนนั้นมีคุณสมบัติที่หลากหลาย จากการศึกษาของ Sedghi และคณะ [9] พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถปรับปรุงการออกของเมล็ดข้าวเหลือง ภายใต้สภาวะแห้งแล้งได้ แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีผลต่อการงอกของพืช ทั้งยังส่งผลต่อการเจริญเติบโต และมีแนวโน้มต่อการให้ผลผลิตไปในทางที่ดีขึ้นอีกด้วย

ในผลการทดลองนี้จะแสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนนั้นมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต และการเพิ่มผลผลิตของพืช ซึ่งในปัจจุบันยังมีการศึกษาผลของอนุภาคนาโนต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่มากนัก อีกทั้งข้าวซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศ จึงเป็นพืชที่น่าสนใจสำหรับการทดสอบอนุภาคนาโน จึงควรมีการศึกษาถึงผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อลักษณะการเจริญเติบโตของข้าว ซึ่งผลที่ได้ก็นำมาสู่การพัฒนาศักยภาพการให้ผลผลิตของข้าวต่อไปได้

2. วิธีการวิจัย

2.1 ตัวอย่างพืชและวิธีการปลูก

ในงานวิจัยนี้ใช้ข้าวอินทนิลสายพันธุ์ชัยนาท 1 (*Oryza sativa* L. cv. Chainat 1) โดยทำการทดลอง และดำเนินการทดลอง ณ แปลงทดลองภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2557 ใช้ดินในอัตรา 250 กิโลกรัมต่อ 1 บ่อซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง โดยเป็นดินเหนียว 2 ส่วน และดินทราย 1 ส่วน นำเมล็ดมาวางปลูกในบ่อปูนซีเมนต์ ทำการรดน้ำทุกวัน และทำการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-800 มิลลิกรัมต่อลิตร

(ขนาดอนุภาค 50-80 นาโนเมตร; Global Chemical Co., Ltd., Thailand) ทุก 14 วัน เมื่อข้าวมีอายุ 30 วัน ทำการใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 ในอัตราส่วน 50 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อข้าวเริ่มสร้างช่อดังถึงระยะตั้งท้อง ทำการเติมปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ในอัตราส่วน 15 กิโลกรัมต่อไร่

2.2 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผล

ทำการเก็บตัวอย่างต้นข้าวที่มีอายุ 72, 86, 100 และ 114 วัน นำมาวิเคราะห์หาค่า LAI ตามวิธีของ Phakamas และคณะ [10] และนำตัวอย่างที่มีอายุ 114 วัน มาทำการนับจำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดดี เมล็ดเสีย คำนวณหาพื้นที่ 1,000 เมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ และคำนวณหาดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) ตามวิธีของ Assefaa และคณะ [11]

2.3 การวางแผนการทดลอง และวิเคราะห์ผล

การวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) และเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (0 มิลลิกรัมต่อลิตร) กับชุดทดลองที่มีการเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 100-800 มิลลิกรัมต่อลิตร

3. ผลการศึกษาและการอภิปราย

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 พบว่าดัชนีพื้นที่ใบในแต่ละอายุของต้นข้าวจะมีค่าแตกต่างกัน โดยในช่วงวันที่ 86-100 จะมีค่าดัชนีพื้นที่ใบที่เพิ่มสูงขึ้น และจะลดลงในวันที่ 114 และพบว่าต้นข้าวที่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200-600 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าดัชนีพื้นที่ใบที่สูงในช่วงวันที่ 86-100 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่ต้นข้าวจะทำการสะสมสารอาหาร ผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เพื่อใช้ในการสารผลผลิตของพืชต่อไป จึงทำให้ต้นพืชที่มีค่าดัชนีพื้นที่ใบที่สูงในช่วงเวลาดังกล่าวนั้น จะส่งผลให้พืชมีปริมาณผลผลิตที่สูงต่อไป [12] และผลที่ได้ก็นั้นสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้อีกด้วย [13,14]

จากนั้นนำต้นข้าวที่อายุ 114 วัน มาทำการวิเคราะห์จำนวนรวงต่อกอ นับจำนวนหาน้ำหนัก 1,000 เมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ และคำนวณหาค่าดัชนีเก็บเกี่ยว ซึ่งเป็นองค์ประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตของข้าว [15] ในแต่ละความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ต้นข้าวได้รับ จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 2 พบว่าตัวอย่างต้นข้าวที่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200-400 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีจำนวนรวงต่อกอ (16.83 และ 15.58 ตามลำดับ) น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (29.45 และ 29.02 ตามลำดับ) และดัชนีเก็บเกี่ยวที่สูง (0.29 และ 0.25 ตามลำดับ) รวมทั้งยังมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบที่ต่ำ (30.17 และ 37.80 ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นข้าวที่ไม่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ หรือต้นข้าวที่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่

ความเข้มข้นอื่น โดยที่พืชที่มีแนวโน้มของค่าต่างๆ ในลักษณะดังกล่าวนี้ จะแสดงให้เห็นถึงปริมาณผลผลิตของพืชที่สูง และมีลักษณะที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก [16,17]

ตารางที่ 1 แสดงค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของต้นข้าวอินดิกาสายพันธุ์ชัชนาท 1 ที่อายุ 72, 86, 100 และ 114 วัน เมื่อได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-800 มิลลิกรัมต่อลิตร ในทุก 14 วัน

ความเข้มข้นของ nano-ZnO (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI)				เฉลี่ย
	72 วัน	86 วัน	100 วัน	114 วัน	
0	4.80 ±1.54	6.44 ±1.98	5.06 ±2.78	2.15 ±1.04	4.61 ±1.79
100	6.29 ±2.23	6.01 ±3.55	6.58 ±0.17	2.90 ±0.59	5.45 ±1.71
200	4.91 ±1.76	7.28 ±2.76	5.58 ±1.63	2.93 ±1.22	5.18 ±1.80
400	4.06 ±2.16	10.85 ±3.26	4.99 ±2.44	1.69 ±1.05	5.40 ±3.89
600	5.15 ±2.55	6.75 ±2.24	5.68 ±4.83	2.20 ±0.56	4.95 ±1.95
800	6.29 ±4.65	5.51 ±3.74	5.16 ±2.07	1.66 ±0.33	4.65 ±2.05

ตารางที่ 2 แสดงจำนวนรวงต่อกอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ และดัชนีเก็บเกี่ยว (HI) ของต้นข้าวอินดิกาสายพันธุ์ชัชนาท 1 ที่อายุ 114 วัน เมื่อได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0-800 มิลลิกรัมต่อลิตร ในทุก 14 วัน

ความเข้มข้นของ nano-ZnO (มิลลิกรัมต่อลิตร)	จำนวนรวง/กอ	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม)	% เมล็ดลีบ	ดัชนีเก็บเกี่ยว (HI)
0	16.25 ±1.00	28.79 ±2.34	44.96 ±16.54	0.20 ±0.08
100	18.33 ±4.19	27.30 ±2.44	46.08 ±10.51	0.24 ±0.10
200	16.83 ±6.05	29.45 ±2.08	30.17 ±6.70	0.29 ±0.04
400	15.58 ±4.07	29.02 ±3.10	37.80 ±10.22	0.25 ±0.07
600	17.67 ±3.06	27.87 ±3.30	38.43 ±9.20	0.21 ±0.09
800	16.42 ±4.48	29.21 ±2.56	38.76 ±6.50	0.21 ±0.07

4. สรุป

จากปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้น แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนซึ่งค็อกซ์ไนด์มีผลต่อค่าดัชนีพื้นที่ใบ จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และดัชนีเก็บเกี่ยว รวมถึงผลผลิตของข้าวสายพันธุ์ชัยนาท 1 และพบว่า การเติมอนุภาคนาโนซึ่งค็อกซ์ไนด์ในความเข้มข้นที่เหมาะสมนั้น (200-400 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีแนวโน้มการเพิ่มผลผลิตของข้าวให้สูงขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับข้าวสายพันธุ์อื่น รวมทั้งพืชชนิดอื่นต่อไปในอนาคตได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง และคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2556, สำนักงานเศรษฐกิจ การเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2557.
- [2] T. Takai, S. Matsuura, T. Nishio, A. Ohsumi, T. Shiaiwa And T. Horie, "Rice yield potential is closely related to crop growth rate during late reproductive period," Field Crops Research , Vol. 96, pp. 328-335, 2006.
- [3] S. Yoshida, "Fundamental of Rice Crop Science," International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, 296 p., 1981.
- [4] R. Austin, B.J. Bingham, R.D. Blackwell, L.T. Evans, M.A. Ford, C.L. Morgan and M. Taylor, "Genetic improvement in winter wheat yield since 1990 and associated physiological changes," Journal of Agricultural Science, Vol. 94, pp. 675-689, 1980.
- [5] T. Takeda , M. Oka and W. Agata, "Studies on the dry matter and grain production of rice cultivars in the warm area of Japan. I. Comparison of the dry matter production between old and new types of rice cultivars," Japanese Journal of Crop Science, Vol .52, pp. 299-306, 1983.
- [6] C.Z. Jiang, T. Hirasawa and K. Ishihara, "Physiological and ecological characteristics of high yielding varieties in rice plants : I. Yield and dry matter production," Japanese Journal of Crop Science, Vol. 57, pp. 132-138, 1988.
- [7] S. Akita, "Improving yield potential in tropical rice," In: Progress in Irrigate Rice Research, International Rice Research Institute, Los Basnos, Philippines, pp. 41-73, 1989.

- [8] T. Amano, Q. Zhu, Y. Wang, N. Inoue and H. Tanaka, "Case studies on high yield of paddy rice in Jiangsu Province, China: I. Characteristics of grain production," Japanese Journal of Crop Science, Vol. 62, pp. 267-274, 1993.
- [9] M. Sedghl, M. Hadi and S.G. Toluie, "Effect of nano zinc oxide on the germination parameters of soybean seed under drought stress," Annals of West University of Timisoara, ser. Biology, Vol. 16, pp. 73-78, 2013.
- [10] N. Phakamas, A. Patanothai, S. Jogloy, K. Pannangpetch, and G. Hoogenboom, "Physiological determinants for pod yield of peanut lines," Crop Science, Vol. 48, pp. 2351-2360, 2008.
- [11] T. Assefaa, S.E. Beebeb, I.M. Raob, J.B. Cuasquerb, M.C. Duqueb, M. Riverab, A. Battisti, M. Lucchinc, "Pod harvest index as a selection criterion to improve drought resistance in white pea bean," Field Crops Research, Vol. 148, pp. 24–33, 2013.
- [12] D. Arias, J. Calvo-Alvarado, A. Dohrenbusch, "Calibration of LAI-2000 to estimate leaf area index (LAI) and assessment of its relationship with stand productivity in six native and introduced tree species in Costa Rica," Forest Ecology and Management, Vol. 247, pp. 185–193, 2007.
- [13] S. Berrocal-Ibarra, J. Ortiz-Cereceres and C.B. Pena-Valdivia, "Yield components, harvest index and leaf area efficiency of a sample of a wild population and a domesticated variant of the common bean *Phaseolus vulgaris*," South African Journal of Botany, Vol. 68, pp. 205–211, 2002.
- [14] G. Jégo, E. Pattey and J. Liu, "Using Leaf Area Index, retrieved from optical imagery, in the STICS crop model for predicting yield and biomass of field crops," Field Crops Research, Vol. 131, pp. 63–74, 2012.
- [15] P.V.V. Prasad, K.J. Boote, L.H. Allen Jr., J.E. Sheehy and J.M.G. Thomas, "Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress," Field Crops Research, Vol. 95, pp. 398–411, 2006.
- [16] Y. Fang, L.Wang, Z. Xin, L. Zhao, X. An and Q. Hu, "Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in china," Journal of Agricultural and Food Chemistry, pp. 2079–2084, 2008.
- [17] K. Junga, T. Jang, H. Jeongc and S. Parkc, "Assessment of growth and yield components of rice irrigated with reclaimed wastewater," Agricultural Water Management, Vol. 138, pp. 17–25, 2014.