การประเมินค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมข้าวโพดและการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพด

Estimation of Genetic Coefficients of Maize and Validation of the CERES-Maize model

สมชาย บุญประดับ[1] และ ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา[2]

Somchai Boonpradub[1] and Sakda Jongkaewwattana[2]

Abstract

The CERES-Maize model could be also used as a tool for predictive capacity of phenological events, crop growth and yield of maize genotype. However, this model incorporated coefficients that account for the way in which genotype differ either in the duration of different development phases in their response to specific environmental factors or morphological characteristics. These coefficients which are requires as model inputs are referred as genetic coefficients. The genetic coefficients incorporated in the exiting models from variety to variety. However, there is very little information available in genetic coefficients of Thai maize varieties for validation of the CERES-Maize model under irrigated conditions.

Three maize genotypes were used to estimate the genetic coefficients for validation of the CERES-Maize model under different planting dates at PSL FCES during 1997-1999. It was indicated that the CERES-Maize model could illustrated satisfactory simulation of the phenological events particularly at silking and maturity dated. Results illustrated that the model was capable of simulation phenological events but overestimated for crop growth and kernel yield. Results also confirmed that the large discrepancy between simulated and observed was associated with the yield loss that caused by bird, rat, insect, disease and harvesting. The CERES-Maize model could help maize grower for crop management schedule in terms of the timing for fertilizer application, pesticide, irrigation and harvesting time. This also could help maize grower to predict the potential yield at a particular area.

บทคัดย่อ

แบบจำลองการเจริญเติบโต CERES-Maize ถูกพัฒนาเพื่อเป็นเครื่องมือในการช่วยงานวิจัย ทำให้ช่วยลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำงานวิจัยในสภาพแปลงทดลองจริง อย่างไรก็ตามก่อนที่จะนำแบบจำลองดังกล่าวมาใช้ในงานวิจัยได้จำเป็นต้องศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวโพดแต่ละพันธุ์และจะต้องมีการทดสอบความแม่นยำของผลที่จะได้จากแบบจำลองก่อน จึงได้ทำการประเมินค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมและทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพดภายใต้สภาพช่วง

---

1 สถานีทดลองพืชไร่พิษณุโลก อ.วังทอง จ.พิษณุโลก

2 ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่

เวลาปลูกต่างกัน ในพื้นที่เขตชลประทาน ที่สถานีทดลองพืชไร่พิษณุโลก ในปี 2540-2542 ใช้พันธุ์ข้าวโพด 3 พันธุ์ คือ นครสวรรค์ 1 นครสวรรค์ 72 และ สุวรรณ 3601 ผลการทดลองพบว่า ได้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์ ประกอบด้วยค่าค่าสำประสิทธิ์การพัฒนาและการเจริญเติบโต พร้อมกับทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรม ผลปรากฏว่า แบบจำลองสามารถทำนายระยะการพัฒนาการ เช่น วันออกไหม และวันสุกแก่ของข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์ได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากแปลงทดลอง ส่วนค่าทำนายผลผลิตมีค่าสูงกว่าค่าจากแปลงทดลอง เนื่องจากค่าทำนายที่ได้จากแบบจำลองไม่ได้รวมความเสียหายของผลผลิตอันเนื่องมาจากโรคและแมลงตลอดจนการเก็บเกี่ยว จากผลการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ผลปรากฏว่าแบบจำลองสามารถทำนายระยะการออกไหม และวันสุกแก่รวมทั้งผลผลิตของข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์ ได้ค่อนข้างแม่นยำ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากแปลงทดลอง ดังนั้นการจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพดสามารถช่วยเหลือเกษตรกรและนักวิจัยเกี่ยวกับตารางการจัดการเพาะปลูกข้าวโพดตั้งแต่ช่วงเวลาปลูก การใส่ปุ๋ย การให้น้ำ การกำจัดโรคและแมลง รวมทั้งเวลาเก็บเกี่ยว และสามารถช่วยในการทำนายศักยภาพในการให้ผลผลิตของข้าวโพดที่ปลูกในแต่ละพื้นที่ได้

คำนำ

การผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยเพื่อให้ได้ผลตอบแทนคุ้มทุนนั้น ขึ้นอยู่กับความรู้และประสบการณ์ในการตัดสินใจเลือกพื้นที่ พันธุ์ และการจัดการที่เหมาะสม แต่เนื่องจากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ถูกต้องและเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่ได้จากการวิจัยในแต่ละท้องที่ โดยเฉพาะในสภาพไร่นา ทำให้สิ้นเปลืองทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายอย่างมาก ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพด ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถจำลองการพัฒนาและการเจริญเติบโตของข้าวโพด ซึ่งแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่เป็นที่ยอมรับและนำมาประยุกต์ใช้งานด้านงานวิจัย คือ แบบจำลอง CERES-Maize (Jones and Kiniry, 1986)

แบบจำลองการเจริญเติบโต CERES-Maize ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะใช้แบบจำลองนี้เป็นเครื่องมือในการช่วยงานวิจัยโดยเฉพาะในด้านการศึกษาการตอบสนองของข้าวโพดต่อสภาพแวดล้อมและการจัดการที่ต่างกัน ทั้งนี้แบบจำลอง CERES-Maize ประกอบไปด้วยระบบหลักๆ คือ ระบบการพัฒนาการและการเจริญเตบโต เช่น การสะสมน้ำหนักของต้น ใบ ราก และเมล็ด ระบบการสมดุลย์ของน้ำ (Water Balance) และการใช้น้ำของพืช รวมทั้งระบบการถ่ายเทธาตุไนโตรเจนในดินและในต้นพืช สำหรับการใช้แบบจำลอง CERES-Maize นี้ จะต้องใช้ข้อมูลนำเข้า (Input) 4 ชุด คือ 1) ข้อมูลภูมิอากาศ 2) ข้อมูลดิน 3) ข้อมูลเกี่ยวกับพันธุกรรมของข้าวโพดแต่ละพันธุ์ และ 4) ข้อมูลการจัดการ (Jones *et al.*, 1994) สำหรับการจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพด โดยใช้แบบจำลองนี้เปรียบเสมือนการทำการเพาะปลูกข้าวโพดในสภาพแปลงเพาะปลูก แต่แตกต่างกันที่การใช้แบบจำลองจะใช้คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ในการทดสอบการตอบสนองของข้าวโพดต่อสภาพแวดล้อม และการจัดการที่แตกต่างกัน ข้อดีของการใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพดเพื่อช่วยในการศึกษาและวิจัยนั้น คือ ใช้ระยะเวลาน้อย และไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการทำงานทดลองในสภาพแปลงทดลองจริง อย่างไรก็ตามก่อนที่จะนำแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพดมาใช้ในงานวิจัยได้จะต้องมีการทดสอบความแม่นยำของผล (Output) ที่จะได้จากแบบจำลองก่อน วัตถุประสงค์ของการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวโพดและทดสอบความแม่นยำของการจำลองการพัฒนาการและการให้ผลผลิตของแบบจำลองข้าวโพด CERES-Maize ภายใต้สภาพพื้นที่เขตชลประทานจังหวัดพิษณุโลก

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทดลองที่ 1 การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวโพด

ดำเนินการทดลองที่แปลงทดลองของสถานีทดลองพืชไร่พิษณุโลก อ.วังทอง จ.พิษณุโลก ในฤดูปี 2540-2541 ในสภาพดินนาชุดเพ็ญที่เป็นดินร่วนปนทราย

วางแผนการทดลองแบบ Split plot มี 4 ซ้ำ Main plot เป็นช่วงเวลาปลูก 5 ช่วง คือ พฤศจิกายน 2540, มกราคม, มีนาคม พฤษภาคม และ กรกฎาคม 2541 Subplot เป็นข้าวโพด 3 พันธุ์ คือ นครสวรรค์ 1, นครสวรรค์ 72 และสุวรรณ 3601 ขนาดแปลย่อย 4.5 x 6.0 เมตร พื้นที่เก็บเกี่ยว 3 x 3 เมตร

การทดลองที่ 2 การทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพด

ดำเนินการทดลองที่แปลงทดลองของสถานีทดลองพืชไร่พิษณุโลก อ.วังทอง จ.พิษณุโลก ในฤดูแล้งปี 2541-42 ในสภาพดินนาชุดเพ็ญที่เป็นดินร่วนปนทราย

วางแผนการทดลองแบบ Split plot มี 4 ซ้ำ Main plot เป็นช่วงเวลาปลูก 3 ช่วง คือ 27 พฤศจิกายน 2541, 28 มกราคม 2542 และ 26 กุมภาพันธ์ 2542 Subplot เป็นข้าวโพด 3 พันธุ์ คือ นครสวรรค์ 1, นครสวรรค์ 72 และสุวรรณ 3601 ขนาดแปลย่อย 4.5 x 6.0 เมตร พื้นที่เก็บเกี่ยว 3 x 3 เมตร

การเตรียมดิน การปลูก และปฏิบัติดูแลรักษา ตลอดจนการเก็บข้อมูลทั้งสองการทดลองกระทำเช่นเดียวกันดังนี้ เตรียมดินโดยไถพรวนตามปกติ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 50 กก./ไร่ เป็นปุ๋ยรองพื้น, ปลูกข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์ ใช้ระยะปลูก 0.75 x 0.25 เมตร จำนวน 1 ต้นต่อหลุม ฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืชเมโทลาคลอร์ อัตรา 240 กรัมของสารออกฤทธิ์ต่อไร่ทันทีหลังปลูก ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ เป็นปุ๋ยแต่งหน้าเมื่อข้าวโพดอายุได้ 1 เดือน ดายหญ้า 1 ครั้งเมื่อข้าวโพดอายุได้ 1 เดือน ให้น้ำชลประทานทุก 10-14 วัน ฉีดพ่นสารกำจัดแมลงศัตรูพืชตามความจำเป็น

การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์ ในการทดลองที่ 1 ใช้โปรแกรม GENCALC (Genotype Coefficient Calculator) อยู่ภายใต้ DSSAT Shell (DSSAT, 1994) สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวโพดนั้น ประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ทางพัฒนาการ (phenology coeffi cients) และค่าสัมประสิทธิ์ทางการเจริญเติบโต (growth coefficients) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1

บันทึกข้อมูลพัฒนาการ(phenology) ของข้าวโพดตามระยะการเจริญเติบโต ตามแบบฟอร์มของ IBSNAT (1988) และวัดผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต และบันทึกข้อมูลภูมิอากาศรายวันคือ ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด และปริมาณน้ำฝน โดยอาศัยเครื่องวัดภูมิอากาศอัตโนมัติ (Data Logger) ซึ่งตั้งอยู่ห่างจากแปลงทดลองประมาณ 500 เมตร

ทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (observed data) กับข้อมูลที่ได้จากการจำลอง (simulated data) โดยวิธีเขียนกราฟ 1:1 line (Jongkaewwattana, 1995)

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การทดลองที่ 1

ในการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์ โดยใช้โปรแกรม GenCalc แสดงในตารางที่ 2 ซึ่งได้ทำการทดสอบแบบจำลองโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมที่ผ่านการประเมิน ผลปรากฏว่า ค่าจำลองวันออกไหมและวันสุกแก่ของข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์1, พันธุ์นครสวรรค์ 72 และพันธุ์สุวรรณ 3601 สูงกว่าค่าสังเกต โดยเฉลี่ย 1-2 วัน และแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพดสามารถทำนายผลผลิตได้ใกล้เคียงกับค่าสังเกตุที่ได้จากการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพดสามารถทำนายระยะการพัฒนาการของข้าวโพด โดยเฉพาะวันออกไหมและวันสุกแก่ และผลผลิตได้ค่อนข้างแม่นยำมาก (data not shown)

การทดลองที่ 2

ระยะการพัฒนาของข้าวโพด

การเปรียบเทียบระหว่างค่าสังเกต(observed)และค่าจำลอง (simulated) ของจำนวนวันออกไหม (silking) และสุกแก่ (maturity) ของข้าวโพด 3 พันธุ์ แสดงในภาพที่ 1 ผลการทดลอง พบว่า ค่าจำลองวันออกไหมและวันสุกแก่ของข้าวโพดพันธุ์นครสวรรค์1, พันธุ์นครสวรรค์ 72 และพันธุ์สุวรรณ 3601 สูงกว่าค่าสังเกต โดยเฉลี่ย 1 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพดสามารถทำนายระยะการพัฒนาการของข้าวโพด โดยเฉพาะวันออกไหมและวันสุกแก่แม่นยำมาก

น้ำหนักเมล็ดแห้งของข้าวโพด

การจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพดทั้ง 3 พันธุ์ ให้น้ำหนักเมล็ดแห้งสูงกว่าค่าสังเกตที่ได้จากการทดลองในทุกวันปลูก (ภาพที่ 2) โดยพันธุ์นครสวรรค์ 1 ให้ค่าจำลองน้ำหนักเมล็ดแห้งสูงสุด 768 กก./ไร่ เปรียบเทียบกับค่าสังเกต ซึ่งให้ค่าน้ำหนักเมล็ดแห้ง 750 กก./ไร่ ส่วนพันธุ์นครสวรรค์ 72 ให้ค่าจำลองและค่าสังเกตของน้ำหนักเมล็ดแห้งสูงสุด 875 และ 739 กก./ไร่ ตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์สุวรรณ 3601 ให้ค่าจำลองและค่าสังเกตของน้ำหนักเมล็ดแห้งสูงสุด เท่ากับ 1014 และ 873 กก./ไร่ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพดสามารถทำนายผลผลิตได้ใกล้เคียงกับค่าสังเกตุที่ได้จากการทดลอง โดยแบบจำลองให้ผลผลิตสูงกว่าเนื่องจากค่าที่ได้เป็นศักยภาพของผลผลิต (yield potential) ของข้าวโพดที่ปลูกในสภาพที่ได้รับปัจจัยต่าง ๆอย่างเพียงพอ ปราศจากการเข้าทำลายของโรคและแมลง ตลอดจนปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิต

สรุปผลการทดลอง

แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพด CERES-Maize สามารถใช้ทำนายการเจริญเติบโตของข้าวโพดได้ค่อนข้างแม่นยำ โดยเฉพาะระยะการพัฒนาของข้าวโพด เช่น วันออกไหมและวันแก่ โดยแบบจำลองนี้น่าจะเป็นเครื่องมือที่ช่วยสนับสนุนการพิจารณาตัดสินใจในการวิจัยและการจัดการให้กับเกษตรกร นักวิชาการ ตลอดจนนักส่งเสริมการเกษตร นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดที่เหมาะสมกับประเทศไทย ซึ่งเป็นการตอบสนองนโยบายเพิ่มปริมาณการผลิตข้าวโพดให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ แต่อย่างไรก็ตามในการพัฒนาและทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพดควรจะดำเนินการต่อไปทั้งในสภาพไร่และสภาพนา โดยเน้นการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุ์กรรมของข้าวโพดลูกผสมของทางราชการพันธุ์ใหม่ ๆ รวมทั้งศึกษาความต้องการธาตุอาหารที่สำคัญ โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน ตลอดจนทดสอบความถูกต้องและความแม่นยำของแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพดในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เป็นพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่สำคัญของประเทศไทยทั้งในสภาพไร่และสภาพนา ซึ่งข้อมูลที่ได้ยังเป็นประโยชน์สำหรับการจัดทำเขตพื้นที่ปลูกข้าวโพด (zoning) ที่เหมาะสมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

DSSAT. 1994. A decision support system for agrotechnology transfer version 3. *In* G.Y. Tsuji *et al.* (eds.), University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, USA.

IBSNAT. 1988. Experimental Design and Data Collection Procedures for INBNAT. IBSNAT Technical Report 1, Third Edition, Revised 1988. INSNAT, Univ. of Hawaii, U.S.A.

Jones, C.A., and Kiniry. 1986. CERES-Maize. A Simulation Model of Maize Growth and Development. Texas A&M Univ. Press.

Jones, J.W., L.A. Hunt, G. Hoogenboom, D.C. Godwin, U. Singh, G.Y. Tsuji, N.B. Pickering, P.K. Thornton, W.T. Bowen, K.J. Boote, and J.T. Ritchie. 1994. Input and output files. p. 1-94. *In* G.Y. Tsji, J.W. Jones and S. Balas (eds.) DSSAT v3 vol.2. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

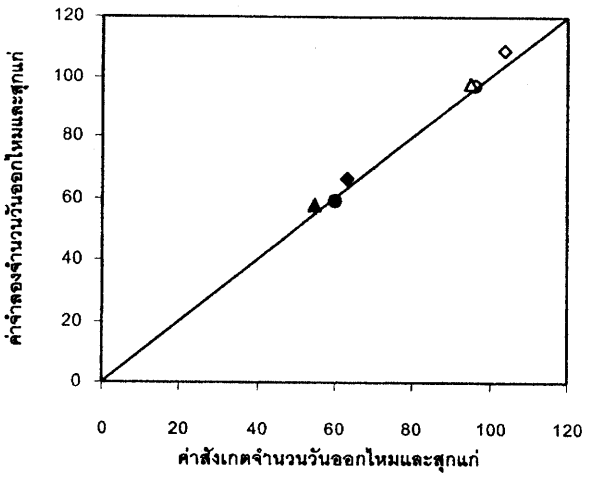
Jongkaewwattana, S. 1995. Systems, simulation and modeling. MCC. CMU, Thailand. 199 pp.

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ทางพัฒนาการ (phenology coefficients) และค่าสัมประสิทธิ์ทางการเจริญเติบโต (Growth coefficients) ภายใต้โปรแกรม DSSAT Version 3.5 (DSSAT, 1994).

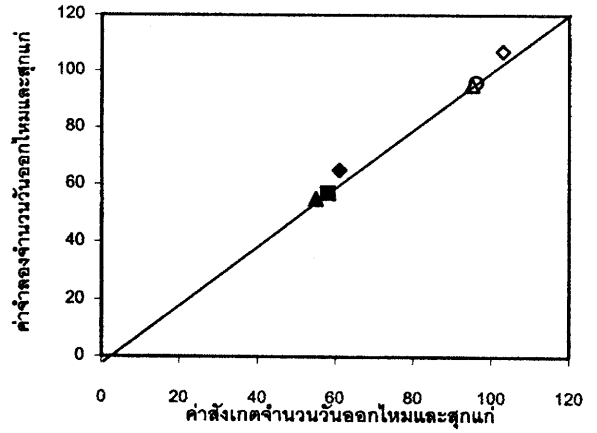
Genetic coefficients	**Definitions**
	Phenology coefficients
P1	Termal time from seedling emergence to the end of the juvenile phase (expressed in degree days above a base temperature of 8 °C) during which the plant is not responsive to changes in photoperiod.
P2	Extent to which development (expressed as days) is delayed for each hour increase in photoperiod above the longest photoperiod at which development proceeds at a maximum rate (which is considered to be 12.5 hour).
P5	Thermal time from silking to physiological maturity (expressed in degree days above a base temperature of 8 °C).
	Growth coefficients
G2	Maximum possible number of kernels per plant.
G3	Kernel filling rate during the linear grain filling stage and under optimum conditions (mg/day).

ตาราที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวโพด 3 พันธุ์ ที่ประเมินจากโปรแกรม GenCalc.

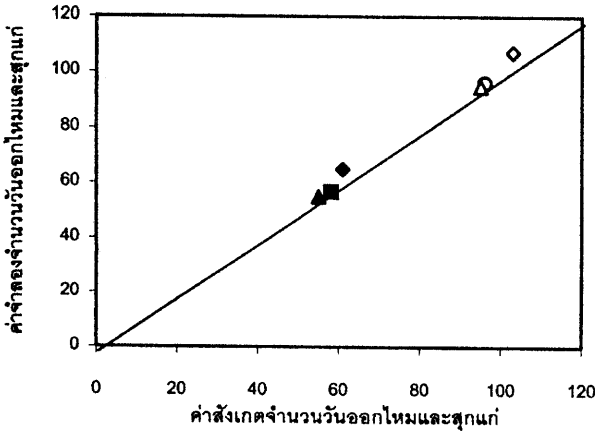
Variety	P1	P2	P5	G2	G3
NS 1	364.0	0.600	840.0	710.3	6.66
NS 72	372.0	0.600	863.2	784.8	6.75
SW 3601	352.0	0.600	845.0	824.8	6.87



(ก) พันธุ์นครสวรรค์ 1

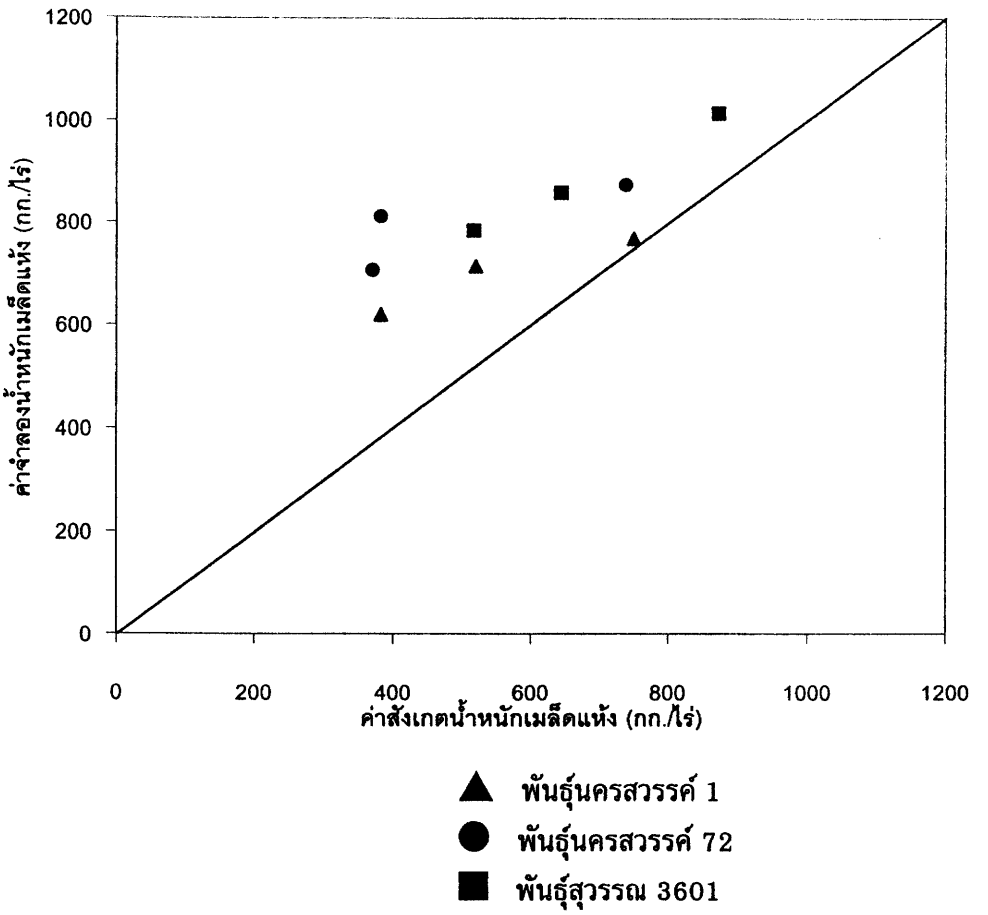


(ข) พันธุ์นครสวรรค์ 72



(ค) พันธุ์สุวรรณ 3601

ภาพที่ 1 เปรียบเทียบพัฒนาการระหว่างค่าสังเกตกับค่าจำลองของข้าวโพด 3 พันธุ์ที่ปลูกในสภาพช่วงเวลาปลูกต่างกัน ในพื้นที่เขตชลประทาน ที่สถานีทดลองพืชไร่พิษณุโลก



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบน้ำหนักเมล็ดแห้งระหว่างค่าสังเกตกับค่าจำลองของข้าวโพด 3 พันธุ์ที่ปลูกในสภาพช่วงเวลาปลูกต่างกัน ในพื้นที่เขตชลประทาน ที่สถานีทดลองพืชไร่พิษณุโลก ปี 2541-2542