# อิทธิพลของความหนาแน่นประชากรต่อผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรของข้าวโพด

# Influence of Plant Density on Yield and Agronomic Traits of Corn (*Zea mays* L.)

ธนวัฒน์ เสนเผือก[1], สกุลกานต์ สิมลา[2*], พรชัย หาระโคตร[3]

Thanawat Seanpheug[1], Sakunkan Simla[2*], Bhornchai Harakotr[3]

Received: 28 August 2015; Accepted: 6 November 2015

## บทคัดย่อ

ข้าวโพด (*Zea mays* L.) เป็นธัญพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่นำรายได้มาสู่ประเทศไทยเป็นอย่างมาก แต่แนวโน้มพื้นที่การผลิตข้าวโพดของประเทศไทยลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเกษตรกรปรับเปลี่ยนไปปลูกพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น ดังนั้นการเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่โดยเพิ่มความหนาแน่นของประชากรเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ระยะปลูกและความหนาแน่นเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่ส่งผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา และผลผลิตของข้าวโพด โดยเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นข้าวโพดจะมีขนาดเล็กลง จำนวนใบน้อยลง และใบค่อนข้างตรงซึ่งเป็นผลดีสำหรับข้าวโพด เนื่องจากลดการแข่งขันเพื่อรับน้ำ ธาตุอาหาร และแสง ทำให้มีผลผลิตต่อต้นลดลง ในขณะที่ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้น ความหนาแน่นที่เหมาะสมที่ทำให้ผลผลิตสูงสุดอยู่ระหว่าง 71,000 ถึง 85,000 ต้นต่อเฮคตาร์ แต่ความหนาแน่นที่เหมาะสมนั้นยังขึ้นอยู่กับชนิดของข้าวโพด พันธุ์ และความอุดมสมบูรณ์ของปัจจัยที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต ซึ่งความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นมากจนเกินไปส่งผลให้ผลผลิตมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเกิดการแข่งขันเพื่อรับปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโตระหว่างต้นข้าวโพดด้วยกันเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่อพิจารณาผลตอบแทน พบว่าที่ระดับความหนาแน่นเฉลี่ย 56,000 ต้นต่อเฮคตาร์ ให้ค่าเฉลี่ยอัตรากำไรขั้นต้นสำหรับเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาพันธุ์ในอนาคตควรคัดเลือกพันธุ์โดยเพิ่มความทนทานต่อสภาพความหนาแน่นของประชากรสูง ซึ่งจะเพิ่มสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดต่อไป

**คำสำคัญ**: ระยะปลูก จำนวนประชากร การเจริญเติบโต ผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต *Zea mays* L.

## Abstract

Corn (*Zea mays* L.) is one of Thailand's most important grains. It provides an income for much of Thailands population. However, the growing area has continuously decreased because growers realize greater economic returns from other crops. Therefore, the increasing yield per area unit by increased plant population density is a way to solve this problem. Moreover, row spacing and plant density are of primary importance causing change in morphological physiological traits and yield of corn. As plant population density increases, the presence of smaller plants, with fewer and more erect leaves is positive because it decreases inter-plant competition for water, nutrients and solar radiation. The yield of a single corn plant decreases with increasing plant population whereas the yield per unit area increases. Optimum plant densities for high yield were approximately 71,000 to 85,000 plants ha$^{-1}$. Moreover, optimum plant densities were dependunt on type of corn, variety and other environmental parameters. Populations average 56,000-plant ha$^{-1}$, which was the average population for maximum gross profit margin for the corn grower. Results

[1] *ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรร้อยเอ็ด สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 4 กรมวิชาการเกษตร*

[2] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*

[3] *อาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*

[1] *Director of Agricultural Research and Development Center Roi Et, Office of Agricultural Research and Development Region 4, Department of Agriculture*

[2] *Asst. Prof., Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Maharasakham University*

[3] *Lecture of Department of Agricultural Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasart University*

* *Corresponding Author: sakunkan.s@msu.ac.th, sakunkans@gmail.com*

from this study indicate further improvements could be made by breeding for additional tolerance to higher populations in corn that would increase gross profit margin for corn grower.

**Keywords**: row spacing, plant population, growth, yield, yield component, *Zea mays* L.

## บทนำ

ข้าวโพด (*Zea mays* L.) เป็นธัญพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย และมีมูลค่าการส่งออกข้าวโพดและผลิตภัณฑ์จากข้าวโพดเพิ่มขึ้นแบบก้าวกระโดด โดยเฉพาะข้าวโพดหวานมีปริมาณการส่งออกสูงเป็นอันดับ 1 ของโลก แต่ในด้านมูลค่าเป็นอันดับที่ 2 รองจากฝรั่งเศส[1] จากรายงานประจำปี 2556 ของศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ พบว่าประเทศไทยมีมูลค่าการส่งออกข้าวโพดและผลิตภัณฑ์มากกว่า 13,159.6 ล้านบาท โดยแยกเป็นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 4,138.9 ล้านบาท ข้าวโพดหวาน 5,854.6 ล้านบาท ข้าวโพดฝักอ่อน 1,314.1 ล้านบาท เมล็ดพันธุ์ 1,807.3 ล้านบาท และอื่นๆ 44.7 ล้านบาท[2] ซึ่งรูปแบบการใช้ประโยชน์ของข้าวโพด นอกเหนือจากการบริโภคในรูปของฝักสด (ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดข้าวเหนียว และข้าวโพดเทียน) ยังมีการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวโพดในรูปแบบต่างๆ เช่น ข้าวโพดแช่แข็ง ข้าวโพดแปรรูปบรรจุกระป๋อง ครีมข้าวโพด น้ำมันปรุงอาหาร กาว แป้งและผลิตภัณฑ์จากแป้ง เป็นต้น นอกจากนี้ ข้าวโพดยังอุดมไปด้วยแป้ง ไขมัน และโปรตีนเมื่อเปรียบเทียบกับธัญพืชชนิดอื่นๆ เช่น ข้าว และข้าวสาลี เป็นต้น[3,4] และธัญพืชชนิดนี้ยังเป็นแหล่งของสารพฤกษเคมี (phytochemicals) และสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) ประกอบด้วยแคโรทีนอยด์ โทโคฟีรอลส์ สารประกอบฟีนอลิค และแอนโทไซยานิน[5,6,7] ซึ่งงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ พบว่าสารพฤกษเคมีดังกล่าวมีผลต่อสุขภาพหลายประการ เช่น ความสามารถในการต้านอ็อกซิเดชั่น ความสามารถในการต้านสารก่อมะเร็ง และลดความรุนแรงจากโรคไม่ติดต่อเรื้อรังต่างๆ (non-communicable diseases; NCDs) เช่น โรคอ้วน โรคเบาหวานชนิดที่ 2 โรคไขมันในเลือดสูง โรคหัวใจและหลอดเลือด และโรคมะเร็งบางชนิด โรคจอประสาทตาเสื่อม (aged-related macular degeneration; AMD) และโรคต้อกระจก เป็นต้น[3,4,6] จากความสำคัญข้างต้นและข้าวโพดเป็นพืชที่ปลูกง่าย อายุสั้น เกษตรกรและผู้บริโภคสามารถเข้าถึงได้ทุกชนชั้น[8] ส่งผลให้ข้าวโพดมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจทั้งในระดับภูมิภาคและระดับประเทศ

ปัจจุบันแนวโน้มปริมาณความต้องการใช้ข้าวโพดในประเทศไทยเพิ่มขึ้น เนื่องจากในแต่ละวันมีการบริโภคข้าวโพดและใช้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้าวโพดเป็นปริมาณมาก รวมถึงอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปที่ใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบ เช่น อุตสาหกรรมข้าวโพดหวานแช่แข็งและบรรจุกระป๋อง อุตสาหกรรมอาหารสัตว์และการเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น มีแนวโน้มขยายตัว นอกจากนี้ในประเทศสหรัฐอเมริกายังมีการปรับเปลี่ยนพื้นที่ปลูกข้าวโพดไปปลูกพืชพลังงานทดแทน และประเทศในสหภาพยุโรปและเอเชียบางประเทศ เช่น ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ และไต้หวัน มีความต้องการนำเข้าข้าวโพดและผลิตภัณฑ์จากประเทศไทยเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าแนวโน้มพื้นที่การปลูกข้าวโพดของประเทศไทยลดลงอย่างต่อเนื่อง เห็นได้จากรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรว่า ฤดูกาลปีเพาะปลูก 2555/56 มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 7.19 ล้านไร่ ลดลงจากปีที่แล้ว 60,610 ไร่ หรือ 0.84 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเกษตรกรปรับเปลี่ยนไปปลูกมันสำปะหลังและอ้อยโรงงานที่มีความเสี่ยงจากภัยแล้งต่ำกว่าและให้ผลตอบแทนที่ดีกว่า กอรปกับโอกาสในการขยายพื้นที่ปลูกในแหล่งผลิตข้าวโพดที่สำคัญของประเทศมีข้อจำกัด โดยเฉพาะในพื้นที่ชลประทานและพื้นที่ป่าต้นน้ำอันเนื่องจากพันธกรณีตามข้อตกลงขององค์การค้าโลก[9] ทำให้การเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว การใช้พันธุ์ข้าวโพดที่ผ่านการพัฒนาพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงควบคู่ไปกับการจัดการเขตกรรมที่ดีตลอดฤดูปลูกสามารถเพิ่มผลลิตข้าวโพดต่อพื้นที่ได้ โดยระยะปลูกและความหนาแน่นเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด[10,11,12] ความหนาแน่นของประชากรข้าวโพดที่เหมาะสมจะช่วยให้ข้าวโพดใช้ปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโต เช่น แสง น้ำ ธาตุอาหาร และปัจจัยอื่นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ถ้าปลูกข้าวโพดภายใต้ความหนาแน่นสูงเกินไปอาจจะเพิ่มการแย่งปัจจัยการเจริญเติบโต และทำให้ผลผลิตลดลงได้เช่นเดียวกัน[10,12] ปัจจุบันนี้ข้อมูลเกี่ยวกับการตอบสนองทางสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา และผลผลิตของข้าวโพดต่อระยะปลูกและความหนาแน่นยังมีจำกัด[11] ด้วยเหตุนี้รายงานนี้จึงรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอิทธิพลของความหนาแน่นของประชากร (ระยะปลูกและจำนวนต้นต่อพื้นที่) ที่มีต่อผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และลักษณะทางการเกษตรในข้าวโพด ซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับเกษตรกรเพื่อการผลิตข้าวโพดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะเพิ่มสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดต่อไป

**ระยะปลูกของข้าวโพด**

ระยะปลูกหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอัตราปลูก (spacing) คือ ระยะห่างระหว่างแถว (spacing between rows) และระยะห่างระหว่างต้น (spacing between trees) การจัดระยะปลูกและความหนาแน่นของประชากรข้าวโพดที่เหมาะสมเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งในการส่งเสริมการเจริญเติบโต เพิ่มผลผลิตและคุณภาพของข้าวโพด โดยที่กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้จัดทำเอกสารแนะนำ “เกษตรดีที่เหมาะสม” ได้แนะนำระยะปลูกที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพดแต่ละชนิด ดังนี้

ข้าวโพดหวาน ในกรณีที่ปลูกบนพื้นราบและเป็นแถวคู่ให้ปลูกข้าวโพดบนสันร่องแบบสลับฟันปลา ใช้ระยะระหว่างหลุม 25-30 เซนติเมตร อัตราปลูกที่เหมาะสมสำหรับการบริโภคประมาณ 8,500 ต้นต่อไร่ สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปประมาณ 8,500-11,000 ต้นต่อไร่ และในกรณีปลูกบนร่องสวนใช้ระยะระหว่างแถวและต้น 50 เซนติเมตร อัตราปลูกประมาณ 6,500-8,500 ต้นต่อไร่[13]

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในกรณีที่ปลูกด้วยแรงงานใช้ระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร และระหว่างต้น 25 เซนติเมตร หรืออัตราปลูก 8,500 ต้นต่อไร่ สำหรับกรณีปลูกด้วยเครื่องปลูกที่ลากจูงด้วยรถแทรกเตอร์ ปรับให้มีระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร ระหว่างหลุม 20 เซนติเมตร หรืออัตราปลูก 10,600 ต้นต่อไร่[14]

นอกจากนี้ยังมีรายงานวิจัยเกี่ยวกับระยะปลูกที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพดชนิดอื่น เช่น ระยะปลูกที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพดข้าวเหนียว คือ ระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร และระยะระหว่างต้น 25 เซนติเมตร[15] สำหรับระยะปลูกที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพดฝักอ่อนมี 2 แบบ คือ แบบที่ 1 ใช้ระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร และระยะระหว่างต้น 10 หรือ 25 เซนติเมตร[16] และแบบที่ 2 ใช้ระยะระหว่างแถวและต้น 40 เซนติเมตร[17]

**อิทธิพลของระยะปลูกและความหนาแน่นต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต**

การปลูกข้าวโพดเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง และสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 3 ประการ ได้แก่ พันธุ์ สภาพแวดล้อม และการจัดการ ดังนั้นการเลือกปลูกพันธุ์ข้าวโพดที่ดี ร่วมกับการเขตกรรมที่เหมาะสมจึงนับเป็นหัวใจหลักสำหรับการผลิตข้าวโพดเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง ก่อให้เกิดการใช้ปัจจัยการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกร การเลือกระยะปลูกและความหนาแน่นที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญยิ่งต่อความสำเร็จในการผลิตข้าวโพด ที่จะช่วยให้พันธุ์ข้าวโพดที่ดีแสดงศักยภาพออกมาได้เต็มที่ ซึ่งความหนาแน่นของประชากรข้าวโพดต่อพื้นที่นั้นมีความสัมพันธ์กับการสังเคราะห์ด้วยแสง และความหนาแน่นที่เป็นช่วงวิกฤติของข้าวโพดนั้นขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าวโพด Sangoi *et al*.[11] ทำการประเมินความหนาแน่นที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพด 3 พันธุ์ พบว่า ระดับความหนาแน่น 71,000 79,000 และ 85,000 ต้นต่อเฮคตาร์ มีความเหมาะสมสำหรับข้าวโพดพันธุ์ Ag12 Ag303 และ C929 ตามลำดับ (**Figure 1**) ซึ่งความหนาแน่นดังกล่าวนี้สูงกว่าอัตราปลูกที่เกษตรกรใช้ในประเทศบราซิล ที่ประมาณ 40,000 ถึง 60,000 ต้นต่อเฮคตาร์ แต่ถ้าหากความหนาแน่นสูงจนเกินไปจะทำให้ข้าวโพดได้รับแสงไม่เพียงพอ อาจส่งผลต่อการติดเมล็ด พัฒนาการของฝักและผลผลิตได้ โดยช่วงเวลาที่ข้าวโพดจะต้องได้รับแสงในปริมาณมาก คือ ช่วงก่อนการออกไหมประมาณ 3-4 วัน[18] นอกจากนี้ยังพบว่าในสภาพดินที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่ถ้าระยะปลูกและความหนาแน่นที่แตกต่างกันก็จะทำให้ได้ผลผลิตที่แตกต่างกันไปด้วย โดยทั่วไปแล้วอัตราการปลูกก็จะเพิ่มขึ้น ถ้าดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง และมีปริมาณน้ำฝนสม่ำเสมอหรืออยู่ในพื้นที่เขตชลประทาน[19] แต่อย่างไรก็ตาม การปลูกข้าวโพดในอัตราที่หนาแน่นมากเกินไป เกษตรกรจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมี โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเพื่อให้ข้าวโพดได้รับธาตุอาหารอย่างเพียงพอ[20] ซึ่งจะเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตและทำให้เกษตรกรมีกำไรลดลง แต่ถ้าปลูกที่ความหนาแน่นต่ำเกินไปก็เป็นการใช้พื้นที่ไม่เกิดประโยชน์สูงสุด

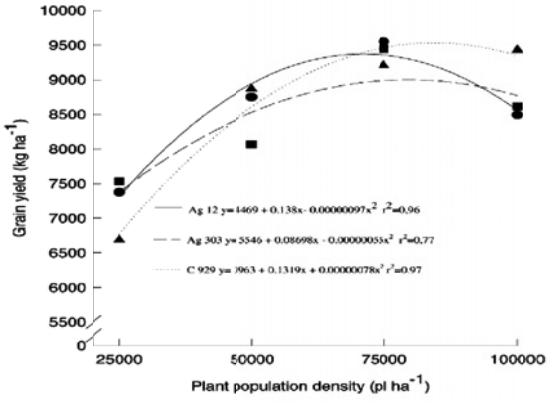


**Figure 1** Effects of plant density on grain yield of Brazilian maize hybrids commercially released in the 1970s (Ag12), 1980s (Ag303) and 1990s (C929). Each symbol presents the average value of three replicates and two growing seasons.[11]

**ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต** ผลผลิตข้าวโพดมีความสัมพันธ์กับปริมาณการติดเมล็ดต่อหน่วยพื้นที่ และขึ้นอยู่กับจำนวนต้นต่อหน่วยพื้นที่ จำนวนฝักต่อต้น และจำนวนเมล็ดต่อฝักที่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา ซึ่งจำนวนเมล็ดข้าวโพดต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตรมีประมาณ 1,902 ถึง 3,412 เมล็ด ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และความหนาแน่นของประชากรข้าวโพด แต่ความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์นั้นจะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยภายใต้สภาพที่มีการแข่งขันเพื่อรับปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโตต่ำ[11,21] จากการศึกษาของ Sangoi *et al*.[11] พบว่า เมื่อความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ข้าวโพดพันธุ์ลูกผสม Ag12 Ag303 และ C929 จะมีเมล็ดต่อฝักลดลง โดยเฉพาะในสายพันธุ์ที่ปล่อยละอองเกสรก่อนออกไหม เนื่องจากการที่ข้าวโพดออกดอกพร้อมกันทั้งแปลงก่อนการออกไหม ทำให้ขาดช่อดอกตัวเมียสำหรับรับละอองเกสร หรือช่อดอกตัวเมียเป็นหมันไม่สามารถรับละอองเกสรได้ ส่งผลโดยตรงต่อการสร้างเมล็ดข้าวโพดที่เกิดจากการขาดละอองเกสร สำหรับความหนาแน่นของข้าวโพดที่เหมาะสมสำหรับการสร้างเมล็ดได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 28,000 ถึง 40,000 ต้นต่อเฮคตาร์ และการสร้างเมล็ดจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จากการศึกษาของ Lashkari *et al*.[22] พบว่าที่ต้นข้าวโพดที่ปลูกภายใต้ความหนาแน่น 20,800 ต้นต่อไร่ มีองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ จำนวนเมล็ดต่อแถว จำนวนเมล็ดต่อฝัก ความยาวฝัก และความกว้างฝัก ต่ำกว่าข้าวโพดที่ปลูกภายใต้ความหนาแน่น 14,400 และ 11,200 ต้นต่อไร่ ตามลำดับ แต่ข้าวโพดที่ปลูกภายใต้ความหนาแน่นที่ 20,800 ต้นต่อไร่ มีผลผลิตต่อพื้นที่สูงที่สุด (Table 1) อย่างไรก็ตามสายพันธุ์ข้าวโพดที่ต่างกันจะมีการตอบสนองต่อความหนาแน่นที่แตกต่างกันด้วย จากการศึกษา Williams II [23] พบว่า ข้าวโพดหวานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 6 พันธุ์ คือ DMC21-84 DMC22-85 GSS1447 Magnum II Marvel Edge และ Protege มีผลผลิตสูงสุดตั้งแต่ 15.3 ถึง 19.8 เมตริกตันต่อเฮคตาร์ และมีความทนทานต่อภาวะความหนาแน่นของประชากรสูงได้แตกต่างกัน โดยพันธุ์ DMC21-84 DMC22-85 Marvel Edge และ Protege จะมีผลผลิตสูงสุดที่ความหนาแน่นจาก 60,300 ถึง 70,200 ต้นต่อเฮคตาร์ และพันธุ์ GSS1447 และ Magnum II มีผลผลิตสูงสุดที่ระดับความหนาแน่น 48,100 และ 49,500 ต้นต่อเฮคตาร์ โดยค่าเฉลี่ยผลผลิตจากข้าวโพดทุกพันธุ์ คือ 17.5 เมตริกตันต่อเฮคตาร์ ที่ความหนาแน่น 59,100 ต้นต่อเฮคตาร์ แต่อย่างไรก็ตามผู้ปลูกข้าวโพดควรวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ก่อนการตัดสินใจเพิ่มความหนาแน่นของข้าวโพด เนื่องจากการเพิ่มความหนาแน่นอาจจะเพิ่มต้นทุนการผลิต จากอัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ และอัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มสูงขึ้น[20, 24] ผลจากการสำรวจผู้ปลูกข้าวโพดหวานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมในอเมริกาเหนือ พบว่า ที่ระดับความหนาแน่นเฉลี่ย 56,000 ต้นต่อเฮคตาร์ ให้ค่าเฉลี่ยอัตรากำไรขั้นต้นสำหรับผู้ผลิตข้าวโพดสูงที่สุด คือ 9,900 ดอลลาร์สหรัฐฯ ต่อเฮคตาร์ (Figure 2)[23]

**Table 1** Effects of plant density on yield and yield component of corn[22]

| Density (plant rai$^{-1}$) | Yield (Ton rai$^{-1}$) | Number of kernel row$^{-1}$ | Number of kernel ear$^{-1}$ | Ear length (cm) | Ear diameter (mm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 20,800 | 1.49 a[1] | 43.10 c | 767.4 c | 17.9 c | 45.3 c |
| 14,400 | 1.48 a | 47.25 b | 800.4 b | 18.6 b | 48.6 b |
| 11,200 | 1.35 b | 47.25 a | 874.6 a | 19.6 a | 50.6 a |
| F-test | ** | ** | ** | ** | ** |
| C.V. (%) | 6.09 | 7.78 | 4.7 | 5.15 | 5.77 |

** Significant at probability 99%

[1] Means followed by the same letters in each column are not significantly

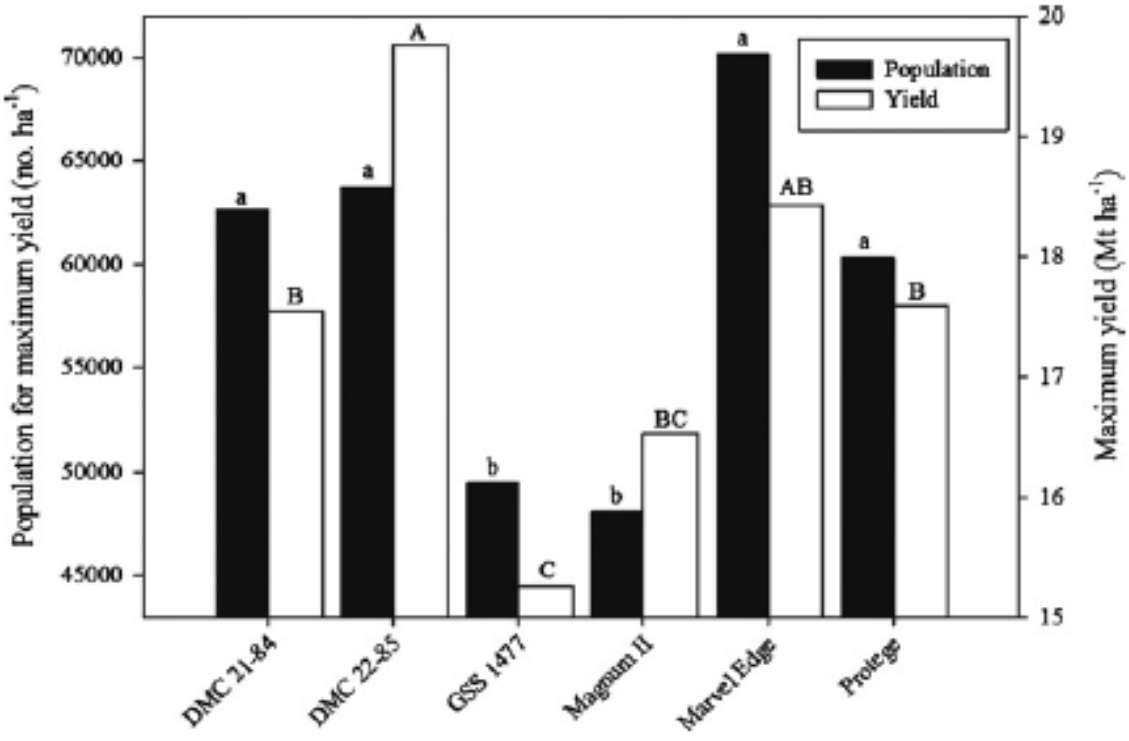


**Figure 2** Plant population density for maximum yield and maximum yield of six processing sweet corn hybrids. Denoted by lower case letters for plant population density and upper case letters for yield, hybrids with the same letter are not significantly different based on non-overlapping 95% confidence intervals.[23]

นอกจากนี้การพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดให้ทนทานต่อความหนาแน่นสูงร่วมกับประสิทธิภาพการให้ผลผลิตต่อต้นสูงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตที่นักปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดควรจะพิจารณา จากการพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมที่มีความทนทานต่อความหนาแน่นของประชากรสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ข้าวโพดในอดีต พันธุ์ที่สามารถให้ผลผลิตสูงที่สุดภายใต้สภาพความหนาแน่นสูงเป็นพันธุ์ที่คาดหวังของนักปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพด Tokatlidis and Koutrobas[12] พบว่าเมื่อปลูกเปรียบเทียบข้าวโพดพันธุ์ลูกผสมพันธุ์ใหม่ 2 พันธุ์ที่ปล่อยพันธุ์ในปี 1983 และ 1988 และข้าวโพดพันธุ์ลูกผสม 2 พันธุ์ที่ปล่อยพันธุ์ในปี 1959 และ 1962 ภายใต้ความหนาแน่น 8 ระดับ (0.5-24 ต้นต่อตารางเมตร) ข้าวโพดพันธุ์ใหม่มีผลผลิตเฉลี่ยที่สูงกว่าข้าวโพดพันธุ์เก่าประมาณ 1,500-2,000 กิโลกรัมต่อเฮคตาร์ และความหนาแน่นที่เหมาะสมของข้าวโพดพันธุ์ใหม่เพิ่มขึ้นจากข้าวโพดพันธุ์เก่าประมาณ 1-1.5 ต้นต่อตารางเมตร (Figure 3) ซึ่งความหนาแน่นที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพดพันธุ์ลูกผสมแต่ละพันธุ์นั้นจะแตกต่างกัน และการเพิ่มความหนาแน่นในระดับที่มากเกิดไป นอกจากไม่ช่วยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น แต่กลับทำให้มีผลผลิตลดลงด้วย ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ควรจะแนะนำความหนาแน่นของประชากรที่เหมาะสมควบคู่ไปกับการปล่อยพันธุ์ใหม่ด้วย

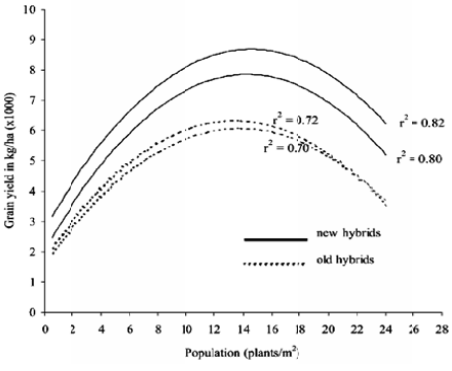


**Figure 3** A parabolic relationship between crop yield and plant population resulted from four hybrids grown at range of eight plant populations.[12]

**คุณค่าทางอาหารและปริมาณสารพฤกษเคมี**

สำหรับข้าวโพดรับประทานฝักสด ทั้งข้าวโพดหวาน ข้าวโพดหวานพิเศษ ข้าวโพดข้าวเหนียว และข้าวโพดเทียน เป็นอาหารที่มีการบริโภคทางรสชาติ คุณภาพการบริโภคจึงเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่ง[17] ความหวานเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักของรสชาติข้าวโพด Waters *et al*.[25] ทำการปลูกข้าวโพดหวานที่ความหนาแน่น 4 ระดับ คือ 17,500 23,200 29,000 และ

35,000 ต้นต่อเอเคอร์ พบว่าความหนาแน่นไม่มีผลต่อความหวาน (%บริกซ์) เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Jing *et al*.[26] ที่ทำการศึกษาในส่วนของซังข้าวโพดซึ่งเป็นส่วนเหลือใช้ของข้าวโพดสีม่วงที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น พบว่า การปลูกข้าวโพดสีม่วงที่ความหนาแน่น 50,000 และ 62,500 ต้นต่อเฮคตาร์ ทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดในซังข้าวโพดไม่แตกต่างกัน

**อิทธิพลของระยะปลูกและความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตและลักษณะทางการเกษตร**

การปลูกข้าวโพดในสภาพความหนาแน่นต่อพื้นที่แตกต่างกัน ย่อมส่งผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยา เช่น ความสูงต้น ความสูงฝัก วันออกดอก วันออกไหม การเกิดต้นไม่มีฝัก (barren plant) และช่วงเวลาการปล่อยละอองเกสร-ออกไหม (anthesis-silking interval; ASI) เป็นต้น[11,20,23,27] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในลักษณะช่วงเวลาการปล่อยละอองเกสร-ออกไหมที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของข้าวโพดเป็นอย่างมาก (Figure 4) จากการศึกษาของ Sangoi *et al*.[11] พบว่า เมื่อมีการเพิ่มอัตราปลูก 10,000 ต้นต่อเฮคตาร์ ช่วงเวลาการปล่อยละอองเกสร-ออกไหมของข้าวโพดพันธุ์ Ag12 Ag303 และ C929 จะเพิ่มขึ้น 0.96 1.02 และ 0.79 วัน ตามลำดับ ซึ่งการเลือกระยะปลูกและความหนาแน่นที่เหมาะสม ควรพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและลักษณะทางการเกษตรของข้าวโพด ซึ่งจะส่งผลต่อผลผลิตข้าวโพดต่อไป

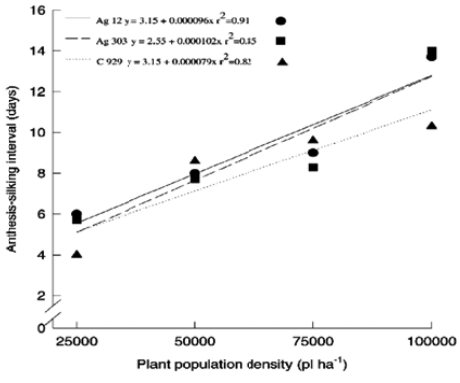


**Figure 4** Effects of plant density on the anthesis-silking interval (ASI) of Brazilian maize hybrids commercially released in the 1970s (Ag12), 1980s (Ag303) and 1990s (C929). Each symbol presents the average value of three replicates and two growing seasons.[11]

**ลักษณะทางสัณฐานวิทยา** Moosavi *et al*.[10] รายงานว่าการปลูกข้าวโพด (forage corn) ที่ความหนาแน่นแตกต่างกันมีผลต่อความสูงต้นและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น แต่ไม่มีผลต่อจำนวนใบต่อต้น (Table 2) เมื่ออัตราปลูกเพิ่มขึ้นจาก 50,000 ถึง 140,000 ต้นต่อเฮคตาร์ ทำให้ความสูงต้นเพิ่มขึ้นประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ แต่การเพิ่มอัตราปลูกจาก 50,000 ถึง 80,000 110,000 และ 140,000 ต้นต่อเฮคตาร์ ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นลดลง 16.2 15.1 และ 21.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การที่ความสูงต้นเพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราการปลูกเพิ่มขึ้นนั้น มีความสัมพันธ์กับการแข่งขันแย่งรับแสงระหว่างต้นข้าวโพด และยังสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสมดุลของสารควบคุมการเจริญเติบโตอีกด้วย ข้าวโพดจะมีความสูงต้นเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับปัจจัยการเจริญเติบโตที่สำคัญอย่างไม่จำกัด เช่น น้ำที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ ความชื้น และดินที่อุดมสมบูรณ์ เป็นต้น นอกจากนี้เมื่อมีอัตราปลูกเพิ่มขึ้น แสงจะส่องผ่านไปสู่ตรงกลางและด้านล่างของทรงพุ่มลดลง ส่งผลให้การสลายตัวของฮอร์โมนอ็อกซินระหว่างการเคลื่อนย้ายจากส่วนยอดสู่ส่วนต่างๆ ของข้าวโพดลดลง ทำให้เกิดการเพิ่มความยาวระหว่างปล้องซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ความสูงต้นของข้าวโพดเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้สอดคล้องกับการศึกษาของจตุพร และคณะ[28] ที่พบว่า เมื่อปลูกข้าวโพดเทียนพันธุ์สุโขทัย 1 ที่ความหนาแน่นสูง (ระยะปลูกถี่) ทำให้ความสูงต้นและความสูงฝักเพิ่มขึ้น และเมื่อปลูกที่อัตรา 2 ต้นต่อหลุม จะมีความสูงต้นและความสูงฝักบนสูงกว่าการปลูกอัตรา 1 ต้นต่อหลุม เนื่องจากการแข่งขันระหว่างข้าวโพดในหลุมเดียวกัน ส่งผลให้ตำแหน่งของฝักบนสูงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามสัดส่วนระหว่างความสูงฝักและความสูงต้นที่สูงเกินไป ร่วมกับความหนาแน่นของประชากรสูงส่งผลให้ลำต้นข้าวโพดหักล้มได้ง่าย ทำให้นักปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดได้พัฒนาพันธุ์ข้าวโพดที่มีรูปร่างทรงพุ่มกะทัดรัด ใบทรงตั้งขึ้น และเพิ่มการจับแสงแดดได้ดี ภายใต้สภาพการปลูกที่มีความหนาแน่นสูง[11] แต่ในการศึกษาของ Carpici *et al*.[29] กลับพบว่าข้าวโพดที่ปลูกที่อัตรา 9,600 16,000 22,400 28,800 และ 35,200 ต้นต่อไร่ ไม่มีผลต่อความสูงต้นและความสูงฝัก ความหนาแน่นต่อพื้นที่ที่สูงขึ้นนั้นไม่ทำให้ความสูงต้นเพิ่มขึ้นแต่กลับมีแนวโน้มลดลง

เมื่อประชากรข้าวโพดหนาแน่นขึ้นทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นข้าวโพดลดลงถึง 26 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการแข่งขันระหว่างต้นข้าวโพดเพื่อรับปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโต เช่น แสง น้ำ และอากาศ เป็นต้น ซึ่งทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสง การสร้างสารอาหาร (assimilates production) และการสะสมสารอาหารลดลง ในทางกลับกัน ภายใต้สภาพความหนาแน่นของประชากรต่ำ ข้าวโพดสามารถดูดซึมธาตุ

อาหารเพื่อสร้างการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative growth) รวมถึงเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นได้ดี ซึ่งภายใต้สภาพดังกล่าวนั้นข้าวโพดมีการแข่งขันรับปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโตเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเช่นเดียวกัน[10]

**Table 2** Effect of plant density on morphological traits of forage corn[10]

| Density (Plant ha$^{-1}$) | Plant height (cm) | Stem diameter (cm) | Leaf number per plant |
|---|---|---|---|
| 50,000 | 98.4 b [1] | 18.5 a | 10.0 a |
| 80,000 | 103.8 a | 15.5 b | 9.9 a |
| 110,000 | 107.1 a | 15.7 b | 9.9 a |
| 140,000 | 113.3 a | 14.5 b | 9.6 a |

[1] Means followed by the same letters in each column-according to DMRT are not significantly (P<0.05)

ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index; LAI) คือ อัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก ความหนาแน่นของประชากรที่ระดับต่างๆ มีผลต่อดัชนีพื้นที่ใบแตกต่างกัน เมื่อความหนาแน่นประชากรของข้าวโพดเพิ่มขึ้น ข้าวโพดจะมีขนาดเล็กลง มีจำนวนใบน้อยลงและใบค่อนข้างตรง เนื่องจากข้าวโพดเกิดการแข่งขันเพื่อรับปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโต เช่น น้ำ ธาตุอาหาร และแสง เป็นต้น[11] จากการศึกษาของ Maddonni *et al*.[30] พบว่า เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นทำให้ข้าวโพดมีความกว้างและความยาวใบลดลงเท่ากับ 21 และ 26 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ระยะปลูกไม่มีผลต่อขนาดของใบข้าวโพด แต่การลดขนาดของใบข้าวโพดกลับทำให้ดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของดัชนีพื้นที่ใบไปมีผลโดยตรงต่ออัตราการเจริญเติบโต (plant growth rate; PGR) ดัชนีพื้นที่ใบเป็นเครื่องชี้วัดการเพิ่มความสามารถการสังเคราะห์ด้วยแสง และการสร้างสารอาหาร ซึ่งเครื่องมือที่สำคัญสำคัญสำหรับการวัดผลผลิตของข้าวโพดที่ชนิดหนึ่งคือ ค่าการดูดซับช่วงความยาวคลื่นแสงที่พืชสามารถนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis active radiation; PAR) ที่คำนวณจากพื้นที่ใบที่ระยะการเจริญเติบโตทางดอกและผลหรือระยะเจริญพันธุ์ (reproductive phase) โดยพบว่าการลดลงของผลผลิตมีความสัมพันธ์กับการลดลงของพื้นที่ใบของข้าวโพด จากการศึกษาของ Moosavi *et al*.[10] พบว่า ความหนาแน่นมีผลต่อดัชนีพื้นที่ใบของข้าวโพดที่ระยะการปล่อยละอองเกสร โดยค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ความหนาแน่น 140,000 ต้นต่อเฮคตาร์สูงกว่าค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ระดับความหนาแน่น 50,000 ต้นต่อเฮคตาร์ประมาณ 3.5 เท่า การผลิตข้าวโพดที่ระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์จากรังสีของดวงอาทิตย์ (solar radiation) และเพิ่มการรับแสงของใบข้าวโพด ส่งผลให้อัตราสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น ข้าวโพดมีการสะสมน้ำหนักแห้งและการสร้างชีวมวลเพิ่มขึ้น ผลจากการศึกษาของ Williams[23] พบว่าเมื่อความหนาแน่นของข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้นจาก 43,000 ถึง 86,000 ต้นต่อเฮคตาร์ ดัชนีพื้นที่ใบและความสามารถในการรับแสงของใบข้าวโพดจะเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มจำนวนข้าวโพดต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตรจะเพิ่มพื้นที่ใบ 0.23±0.02 ตารางเมตร และความสามารถในการรับแสงของใบจะเพิ่มขึ้น 1.8±0.2 เปอร์เซ็นต์ (Figure 5A, B) นอกจากนี้จากผลงานปรับปรับปรุงพันธุ์ทำให้ข้าวโพดพันธุ์ลูกผสมในปัจจุบันมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อหน่วยพื้นที่ใบสูงขึ้นภายใต้ความหนาแน่นของประชากรที่สูง ดังนั้นข้าวโพดพันธุ์ลูกผสมในปัจจุบันมีความทนทานต่อสภาวะความหนาแน่นสูงกว่าพันธุ์ข้าวโพดที่ใช้ปลูกในอดีต[11]

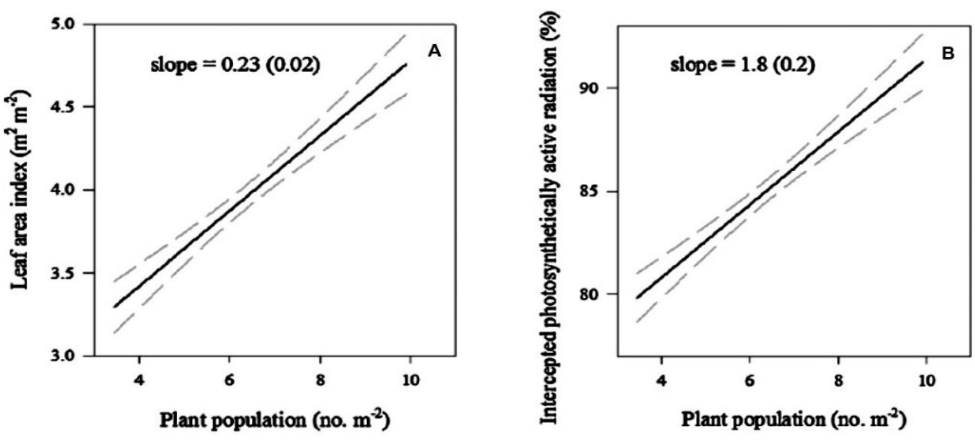


**Figure 5** Effect of plant population density on leaf area index (**A**) and intercepted photosynthetically active radiation (**B**) at silking stage. Population density effects on sweet corn are describe with a linear model[23]

**อิทธิพลของระยะปลูกและความหนาแน่นต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์**

เมล็ดพันธุ์เป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญที่จะส่งผลโดยตรงต่อผลผลิต ถึงแม้ว่าปัจจัยการผลิตอื่นๆ เช่น ธาตุอาหาร น้ำ และการจัดการศัตรูพืช จะมีอย่างเพียงพอ แต่ถ้าหากเมล็ดพันธุ์ไม่มีคุณภาพย่อมส่งผลต่อผลผลิต การขาดแคลนเมล็ดพันธุ์ที่ดีเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ได้ผลผลิตต่ำ ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น เนื่องจากต้องเพิ่มปัจจัยการผลิต เกษตรกรมีรายได้ลดลง และความสามารถในการแข่งขันกับต่างประเทศที่เป็นแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์ลดลงเช่นเดียวกัน ปัจจุบันประเทศไทยจัดเป็นแหล่งผลิตและส่งออกเมล็ดพันธุ์ที่มีศักยภาพสูงเป็นอันดับ 3 ของภูมิภาคเอเชีย รองจากจีนและญี่ปุ่น และเป็นอันดับที่ 12 ของโลก โดยเฉพาะเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดมีบริษัทชั้นนำของโลกเข้ามาดำเนินธุรกิจเมล็ดพันธุ์หลายทศวรรษแล้ว[31] ในปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยสามารถส่งออกเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดประมาณ 17,000 ตัน และคิดเป็นมูลค่า 1,807.3 ล้านบาท[2] การควบคุมการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหรือการเขตกรรมที่ดีจะส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ ดังนั้น ระยะปลูกหรืออัตราการปลูกที่เหมาะสมย่อมส่งผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเช่นเดียวกันกับการเขตกรรมอื่นๆ สุปราณีและคณะ[16] ได้ทำการประเมินผลอิทธิพลของระยะปลูกและความหนาแน่นต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อน พบว่าระยะปลูกและความหนาแน่นของประชากรมีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์แตกต่างกัน โดยข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกที่ระยะ 75×12.5 เซนติเมตร (17,067 ต้นต่อไร่) และระยะ 75×20 เซนติเมตร (10,667 ต้นต่อไร่) เมล็ดมีความชื้นสูงที่สุด คือ 11.8 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ระยะ 75×10 เซนติเมตร (21,333 ต้นต่อไร่) ระยะ 75×15.5 เซนติเมตร (12,910 ต้นต่อไร่) และระยะ 75×15 เซนติเมตร (14,222 ต้นต่อไร่) ส่วนระยะที่ให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์สูงที่สุด คือระยะ 75×10 เซนติเมตร ที่ 345.2 กิโลกรัมต่อไร่ เนื่องจากมีอัตราการปลูกสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม ระยะปลูกและความหนาแน่นไม่มีอิทธิพลต่อลักษณะน้ำหนัก 100 เมล็ด และเปอร์เซ็นต์ความงอก (Table 3)

**Table 3** Effect of plant density on seed yield and quality of corn[16]

| Spacing (cm) | Density (plant rai$^{-1}$) | Seed moisture (%) | Seed yield (kg/rai) | 100 seed weight (g) | Germination (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 75×10 | 21,333 | 11.6 ab[1] | 345.2 a | 28.3 | 95.7 |
| 75×12.5 | 17,067 | 11.8 a | 339.5 ab | 28.3 | 96.3 |
| 75×15 | 14,222 | 11.5 b | 243.1 ab | 28.5 | 94.1 |
| 75×15.5 | 12,190 | 11.6 ab | 231.8 ab | 27.6 | 94.9 |
| 75×20 | 10,667 | 11.8 a | 228.4 b | 28.3 | 94.1 |
| Mean | | 11.6 | 227.6 | 28.2 | 95.0 |
| C.V. % | | 1.48 | 19.05 | 2.50 | 2.95 |
| F-test | | * | ** | ns | ns |
| $LSD_{0.05}$ | | 0.27 | 81.47 | - | - |

ns; non-significant,

*, ** significant at probability 95 and 99%, respectively

[1]Means followed by the same letters in each column are not significantly

## สรุป

ข้าวโพดเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย และมีมูลค่าการส่งออกมากกว่า 10,000 ล้านบาทต่อปี ช่วยสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรและอุตสาหกรรมที่ให้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบ แต่แนวโน้มพื้นที่การผลิตข้าวโพดของประเทศไทยลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเกษตรกรปรับเปลี่ยนไปปลูกพืชที่ให้ผลตอบแทนที่ดีกว่า การเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาการดังกล่าว โดยระยะปลูกและความหนาแน่นของประชากรข้าวโพดต่อพื้นที่เป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด จากรายงานการศึกษาต่างๆ พบว่า ระยะปลูกและความหนาแน่นที่เหมาะสมมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของข้าวโพด พันธุ์ และพื้นที่การผลิต การเพิ่มความหนาแน่นของประชากรข้าวโพดทำให้องค์ประกอบผลผลิตบางประการการเจริญเติบโต และลักษณะทางการเกษตรลดลง เนื่องจากเกิดการแข่งขันเพื่อรับปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโตระหว่าง

ต้นของข้าวโพด แต่อย่างไรก็ตามความหนาแน่นของประชากรที่เหมาะสมสามารถทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นได้ และทำให้เกษตรกรได้รับอัตรากำไรขั้นต้นเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจากระยะปลูกและความหนาแน่นที่เหมาะสมช่วยให้การรับแสงของใบข้าวโพดและอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ข้าวโพดมีการใช้ปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ถ้าความหนาแน่นของประชากรสูงเกินไป นอกจากจะทำให้ผลผลิตข้าวโพดมีแนวโน้มลดลงแล้ว เกษตรกรยังต้องเพิ่มธาตุอาหารให้เพียงพอกับความต้องการของข้าวโพด ทำให้มีต้นทุนการผลผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งปัจจุบันนี้นักปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดได้พยายามพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดให้ทนทานต่อความหนาแน่นของประชากรสูง ร่วมกับการใช้ธาตุอาหารลดลง เพื่อให้มีผลผลิตต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นภายใต้สภาพดังกล่าว ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์สำหรับเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดต่อไป

## เอกสารอ้างอิง


1. วรวัธน์ อัสดรนิธี และศศิธร ชิ้มประเสริฐ. สถานการณ์การผลิตและการแข่งขันทางการค้าข้าวโพดหวานระหว่างประเทศ. ใน: เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการข้าวโพดรับประทานฝักสดครั้งที่ 7 เรื่องโอกาสและความท้าทายข้าวโพดฝักสดไทยสู่ตลาดโลก. อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพฯ ม.แม่โจ้ เชียงใหม่: 26-28 กุมภาพันธ์ 2557; หน้า 3.
2. ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยความร่วมมือกรมศุลกากร. สถิติการค้าระหว่างประเทศของไทย. ได้จาก http://www2.ops3.moc.go.th/
3. Hu QP, Xu JG. Profiles of carotenoids, anthocyanins, phenolics, and antioxidant activity of selected color waxy corn grains during maturation. J Agric Food Chem 2011;59:2026-2033.
4. Liu RH. Whole grain phytochemicals and health. J Cereal Sci 2007;46:207-219
5. Abdel-Aal ESM, Young CY, Rabalski I. Anthocyanin composition in black, ping, purple and red cereal grains. J Agric Food Chem 2006;54:4696-4704.
6. Chander S, Meng Y, Zhang Y, Yan J, Li J. Comparison of nutritional traits variability in selected eighty-seven inbreds from Chinese maize (*Zea mays* L.) germplasm. J Agric Food Chem 2008;56:6506-6511.
7. Harakotr B, Suriharn B, Tangwongchai R, Scott MP, Lertrat K. Anthocyanins and antioxidant activity in coloured waxy corn at different maturation stages. J Funct Foods 2014;9:109-118.
8. Aluru M, Xu Y, Guo R, Wang Z, Li S, White W, Wang K, Rodeemel S. Generation of transgenic maize with enhanced provitamin A content. J Exp Bot 2008;8:1-12.
9. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. จับตาสถานการณ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ลางร้ายต่อวงการปศุสัตว์ในอนาคต. ได้จาก http://www.trf.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=2910:2012-09-12-09-30-3&catid=33:2013-11-25-06-47-41&Itemid=357
10. Moosavi SG, Seghatoleslami MJ, Moazeni A. Effect of planting date and plant density on morphological traits, LAI and forage corn (Sc. 370) yield in second cultivation. Intl Res J Appl Basic Sci 2012;3:57-63.
11. Sangoi L, Gracietti MA, Rampazzo C, Bianchetti P. Response of Brazilian maize hybrids from different ear changes in plant density. Field Crop Res 2002;79:39-51.
12. Tokatlidis IS, Koutroubas SD. A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. Field Crop Res 2004;88:103-114.
13. ไพบูลย์ พงษ์สกุล ณรงค์ วุฒิวรรณ วุฒิชัย เมืองสมบัติ อำนาจ จันทร์ครุฑ และสุนธร ธารามาศ. เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพดหวาน. กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมการเกษตร; 2547.
14. กรมวิชาการเกษตร. เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร; 2545.
15. ชฎามาศ จิตต์เลขา วราภรณ์ บุญเกิด ธำรงศิลป โพธิสูง และสำราญ ศรีชมพร. การประเมินสายพันธุ์อินเบรดข้าวโพดข้าวเหนียวที่มีความต้านทานต่อโรคใบไหม้แผลใหญ่เพื่อใช้เป็นสายพันธุ์พ่อแม่. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ ครั้งที่ 35; 2553. หน้า 81-92.
16. สุปราณี งามประสิทธิ์ โชคชัย เอกทัศนาวรรณ ชไมพร เอกทัศนาวรรณ สุรพล เช้าฉ้อง และกิ่งกานต์ พานิชนอก. ผลของระยะปลูกที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนลูกผสมเดี่ยวที่ไม่ต้องถอดยอดพันธุ์ KBSC605. ใน: การประชุมเชิงปฏิบัติการ

โครงการวิจัยแม่บทข้าวโพดและข้าวฟ่าง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 4: เรื่องการเพิ่มผลผลิตข้าวโพดและข้าวฟ่างเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน. กรุงเทพฯ: 2553. หน้า 376-384.

17. วันชัย ถนอมทรัพย์ และสุขพงษ์ วายุภาพ. ประวัติข้าวโพดฝักสด ใน: อรอนันต์ เลขะกุล (บรรณาธิการ). เอกสารวิชาการ ข้าวโพดฝักสด. กรุงเทพฯ: หจก.ไอเดียสแควร์: 2547. หน้า 1-4.
18. Earley EB, Miller RS, Reichert GL, Hageman RH, Seif RD. Effect of shade on maize production under field conditions. Crop Science 1966;6:1-7.
19. กรมวิชาการเกษตร. ข้าวโพด เอกสารวิชาการ เล่ม 4. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร: 2524.
20. Akbar H, Jan MM, Jan A, Ihsanullah. Yield potential of sweet corn as influenced by different levels of nitrogen and plant density. Asian J Plant Sci 2002;6:631-633.
21. Echarte L, Luque S, Andrade FH, Sadras VO, Cirilo A, Otegui ME, Vega CRC. Response of maize kernel number to plant density in Argentinean hybrids released between 1965 and 1993. Field Crop Res 2000;68:1-8.
22. Lashkari M, Madani L, Ardakani MR, Golzardi F, Zargari K. Effect of plant density on yield and yield components of different corn (*Zea mays* L.) hybrids. American-Eurasian J Agric & Environ 2011;10:450-457.
23. Williams II MM. Agronomics and economics of plant population density on processing sweet corn. Field Crop Res 2012;128:55-61.
24. Francisco E, Govea C, Marsallis M, Lauriault L. Corn plant density effects on silage quality. Available from http://aces.nmsu.edu/pubs/_a/A416/welcome.html Accessed September 14, 2014.
25. Waters T, Wohleb C, Clough G. Plant population evaluations of processing sweet corn in the Columbia basin. Available from http://ext100.wsu.edu/grant-adams/wp-content/uploads/sites/18/2014/01/2012-Sweet-Corn-Plant-Population-Trial1.pdf Accessed September 15, 2015.
26. Jing P, Noriega V, Schwartz SJ, Giusti MM. Effects of growing conditions on purple corncob (*Zea mays* L.) anthocyanins. J Agric Food Chem 2007;55:8625-8629.
27. Buren LL, Mock JJ, Anderson JC. Morphological and physiological traits in maize associated with tolerance to high plant density. Crop Science 1974;14:426-429.
28. จตุพร ไกรถาวร สรพงศ์ เบญจศรี ภานุมาศ พฤฒิคณี และรัตนาภรณ์ นุ่นมัน. อัตราและระยะการปลูกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์เทียนที่ปลูกในดินนาจังหวัดพัทลุง. วารสารแก่นเกษตร 2557;42:882-886.
29. Carpici EB, Celik N, Bayram G. Yield and quality of forage maize as influenced by plant density and nitrogen Rate. Turkish J Field Crop 2010;15(2):128-132.
30. Maddonni GA, Otegui ME, Cirila AG. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. Field Crop Res 2001;71:183-193.
31. เกรียงศักดิ์ สุวรรณธราดล. Seed hub. ใน: เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการข้าวโพดรับประทานฝักสดครั้งที่ 7 เรื่องโอกาสและความท้าทายข้าวโพดฝักสดไทยสู่ตลาดโลก. อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพฯ ม.แม่โจ้ เชียงใหม่: 26-28 กุมภาพันธ์ 2557; หน้า 10(1-32).