



การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกะเทาะเมล็ดข้าวโพดหวานฝักสดโดยจมูกข้าวโพดไม่ขาด

Study on effecting parameters of fresh sweet corn shelling without cutting corn germ

วุฒิปันธ เต่งภาวดี¹, วิชา มั่นท่าการ¹, อนูปันธ เทอดวงศ์วรกุล¹Wutipan Tengpawadee¹, Vicha Manthamkan¹, Anupun Terdwongworakul¹¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University - Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140

บทคัดย่อ

เครื่องกะเทาะเมล็ดข้าวโพดหวานฝักสดถูกออกแบบและสร้างขึ้น มีเป้าหมายเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกะเทาะเมล็ดข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดจ์ 10 โดยที่จมูกข้าวโพดไม่ขาด ซึ่งกระบวนการกะเทาะเมล็ดจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การเจาะร่องแฉกด้วยชุดเจาะร่องและการกะเทาะเมล็ดด้วยเครื่องกะเทาะ ใช้ผู้ปฏิบัติงาน 2 คน ทำงานครั้งละ 1 ฝัก โดยชุดเจาะร่องมีส่วนประกอบหลักคือชุดลูกกลิ้งเปิดร่อง และชุดมีดเจาะแฉก การทำงานของชุดเจาะร่องเริ่มจากชุดลูกกลิ้งเปิดร่องเป็นตัวกรีดนำร่องเพื่อช่วยให้เมล็ดตอกง่ายขึ้นเมื่อเข้าไปสู่ชุดมีดเจาะแฉกโดยมีหน้ากว้างของการกรีดประมาณ 2 cm. ส่วนชุดมีดเจาะแฉกเป็นตัวฉีกเมล็ดออก และในส่วนเครื่องกะเทาะเมล็ดมีส่วนประกอบหลักคือ ชุดกะเทาะเมล็ด การทำงานของชุดกะเทาะเมล็ดจะทำงานโดยการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาเพื่อใช้ในการดันเมล็ดออกจากฝักที่ฉีกแฉก ซึ่งปัจจัยที่จะทำการศึกษาคือ ชนิดของชุดยางกะเทาะเมล็ดจำนวน 2 แบบ, มุมในการกะเทาะเมล็ดจำนวน 3 มุม (36°, 42° และ 48°) และความเร็วรอบของชุดยางกะเทาะเมล็ดจำนวน 3 ระดับ (40, 50 และ 60 rpm) ผลการทดสอบพบว่า ชุดยางกะเทาะเมล็ดแบบที่ 2 ให้ผลการกะเทาะเมล็ดที่ดีกว่าแบบที่ 1 โดยใช้มุมในการกะเทาะเมล็ดและความเร็วรอบของชุดยางกะเทาะเมล็ดคือ 36° และ 60 rpm ตามลำดับ ซึ่งความเสียหายของเมล็ดที่ได้คือ 10.02%, เวลาที่ใช้ในกระบวนการกะเทาะเมล็ดคือ 251.94 s/ears และกำลังที่ใช้ในการกะเทาะเมล็ดคือ 14.03 W/ears

คำสำคัญ: ข้าวโพดหวาน, การกะเทาะ, จมูกข้าวโพด

Abstract

Fresh sweet corn shelling machine was designed and assembled to study the parameters effect on shelling of Hybrix 10 variety without cutting corn germ. The shelling process is divided into two parts; using grooving sets for gouging fresh sweet corn and shelling machine for kernels shelling. This machine can operate 1 corn each time and require 2 operators. The main part of the grooving set is open groove roller and the grooving knife. The operation begins as groove roller will cut open groove of kernels to help remove easier with the width of the slit about 2 cm whereas the grooving knife will slash the kernels out. Moreover, the main of shelling machine is the shelling set operated to move alternation and pushes the kernels out of the core. The parameters were studied follow by 1) type of shelling rubber; type I and type II, 2) angle of shelling; 36°, 42° and 48° respectively, and 3) speed of shelling rubber revolution; 40, 50 and 60 rpm respectively. From this experiment showed that the shelling rubber type II gave the better shelling result than shelling rubber type I. The result from shelling rubber type II, angle 36° with speed at 60 rpm had an average of kernels damage at 10.02%. The time and power consumption were used for shelling had averages of 251.94 s/ears and 14.03 W/ears respectively.

Keywords: Sweet corn, Shelling, Corn germ

1 บทนำ

ข้าวโพดหวานเป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญและมีความต้องการในการบริโภคมากขึ้นทั้งในประเทศและต่างประเทศ

ในช่วงปี 2551-2556 มีการผลิตข้าวโพดหวานเพื่อส่งออกและขายในประเทศเพิ่มมากขึ้นจาก 336,428 เป็น 365,061 tonne โดยการส่งออกจะเป็นในรูปแบบบรรจุกระป๋อง ซึ่งมีมูลค่าการส่งออกในปี 2556 ประมาณ 5,400 ล้านบาท (สำนักงาน

เศรษฐกิจการเกษตร, 2557) สำหรับแหล่งเพาะปลูกข้าวโพดหวานที่สำคัญคือ จังหวัดเชียงใหม่ นครราชสีมา กาญจนบุรี เป็นต้น โดยการบริโภคในปัจจุบันมีทั้งการรับประทานฝักสดและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ แต่การบริโภคภายในประเทศส่วนใหญ่ นิยมการบริโภคฝักสด แต่ก็มีมีการนำมาแปรรูปเป็นอย่างอื่นอยู่บ้าง เช่น ข้าวโพดคั่วกลูตเนย สลัดฝัก เป็นต้น โดยการแปรรูปในลักษณะนี้ต้องใช้เมล็ดข้าวโพดหวานที่มีความสมบูรณ์เต็มเมล็ด ซึ่งเมล็ดข้าวโพดหวานดังกล่าวมีการผลิตขายตามท้องตลาด แต่ปัญหาที่สำคัญของผู้ผลิต คือ การกะเทาะเมล็ดให้ได้เมล็ดที่สมบูรณ์เต็มเมล็ดโดยที่จมูกข้าวโพดไม่ขาดยังคงใช้แรงงานคนในการกะเทาะเมล็ดทั้งสิ้น ซึ่งต้องใช้ความชำนาญและใช้เวลาในการกะเทาะเมล็ดค่อนข้างมาก เป็นข้อจำกัดในด้านอัตราการกะเทาะเมล็ดและจำนวนแรงงาน ตลอดจนด้านสุขอนามัย ส่งผลต่อการผลิตเพื่อขายให้กับลูกค้ารายใหญ่และรายย่อย เมื่อมีการสั่งซื้อในปริมาณมากๆ ทำให้สูญเสียรายได้และโอกาสในการขยายกิจการ ในอนาคตของผู้ผลิต ซึ่งในปัจจุบันเครื่องกะเทาะเมล็ดข้าวโพดหวานฝักสดเป็นเครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศและใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเครื่องดังกล่าวคิดค้นและประดิษฐ์ขึ้นโดย Kessler และ Harry (1998) เป็นเครื่องที่ทำงานในลักษณะที่เหวี่ยงเมล็ดพร้อมกับตัดจมูกข้าวโพด ซึ่งจมูกข้าวโพดนี้มีสารอาหารที่สำคัญและมีประโยชน์ต่อร่างกายมากมาย (Wilson, 1991) ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกะเทาะเมล็ดข้าวโพดหวานโดยที่จมูกข้าวโพดไม่ขาด เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะเมล็ดฝักสดให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของข้าวโพดหวานฝักสด

ในการออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะเมล็ดข้าวโพดหวานให้ได้เมล็ดที่สมบูรณ์จึงจำเป็นต้องศึกษาลักษณะทางกายภาพของข้าวโพดหวาน เพื่อนำข้อมูลไปใช้ออกแบบและสร้างเครื่อง ซึ่งข้าวโพดหวานที่ใช้ในการศึกษานี้คือ ข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดจ์ 10 (อายุการเก็บเกี่ยว 68-70 วัน) จำนวน 10 ฝัก โดยมีวิธีในการศึกษา คือ ทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล วัดขนาดความยาวฝักทั้งหมด (A) และขนาดความยาวเฉพาะช่วงที่มีเมล็ด (B) ด้วยไม้บรรทัด วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางฝัก ณ ตำแหน่งโคนฝัก (C) กลางฝัก (D) และปลายฝัก (E) ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ และวัดขนาดความกว้าง ความยาว (I) และความหนา (J) ของเมล็ดด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ โดยการสุ่มเมล็ด ณ ตำแหน่งโคนฝัก กลางฝัก และปลายฝัก ออกมาตำแหน่งละ 10 เมล็ด สำหรับการวัดความกว้างจะแบ่งการวัดออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนบน (F) ส่วนกลาง (G) ส่วนล่าง (H) ดังแสดงใน Figure 1

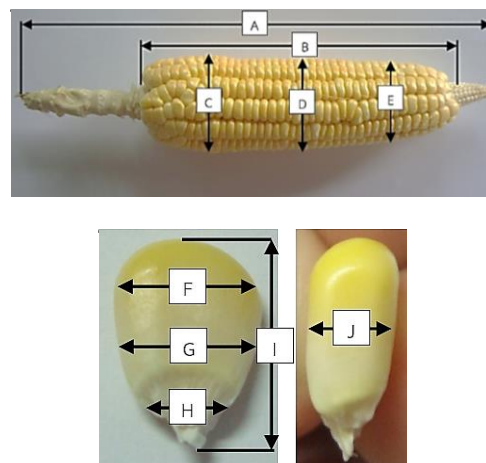


Figure 1 Size measuring position of sweet corn.

2.2 วิธีการกะเทาะเมล็ดข้าวโพดหวานฝักสด

ผู้วิจัยมีแนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องที่ใช้ในการกะเทาะเมล็ดซึ่งประกอบด้วย การเจาะร่องแถวข้าวโพดและการกะเทาะเมล็ดข้าวโพด ซึ่งการเจาะร่องแถวข้าวโพดดำเนินการโดยเจาะร่องแถวออกตามแนวยาวของฝักประมาณ 1-2 แถวด้วยชุดเจาะร่องแถวและเมื่อเจาะร่องแถวแล้วจะนำฝักที่ได้ไปทำการกะเทาะต่อไป โดยใช้หลักการดันเมล็ดข้าวโพดออกตามแนวยาวที่เจาะด้วยเครื่องกะเทาะเมล็ด

2.3 ส่วนประกอบของชุดเจาะร่องแถว

ชุดเจาะร่องแถวมีส่วนประกอบหลักๆ ที่สำคัญซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังแสดงใน Figure 2 คือ

1) ชุดลูกกลิ้งกรีดนำร่อง (groove roller) ออกแบบให้เป็นลูกกลิ้งจำนวน 2 อัน โดยตรงส่วนปลายของลูกกลิ้งมีลักษณะเป็นปลายแหลม ซึ่งติดตั้งให้มีหน้ากว้างของชุดลูกกลิ้งกรีดประมาณ 2 cm. (ประมาณ 2 แถว) โดยอ้างอิงมาจากความกว้างของเมล็ด ใช้ในการกรีดนำร่องช่วยทำให้เมล็ดออกง่ายขึ้นเมื่อเข้าสู่ชุดใบมีดเจาะร่องแถว

2) ชุดใบมีดเจาะร่องแถว (groove cutter) ออกแบบเป็นใบมีดรูปตัวแอล ตัวใบทำจากสแตนเลสวางในแนวราบขนานกับฝัก ขนาดหน้ากว้างใบมีด 2 cm. ซึ่งอ้างอิงมาจากความกว้างของเมล็ดอีกเช่นกัน ใช้ในการเหวี่ยงเอาเมล็ดออกจากช่องข้าวโพด

หลักการทำงานของชุดเจาะร่องแถวคือ นำฝักข้าวโพดเสียบเข้ากับท่อ PVC แล้วนำเข้าชุดเจาะร่องแถว เมื่อเข้ามาสู่ชุดเจาะร่องแถวทำการออกแรงดันฝักข้าวโพดผ่านชุดกรีดนำร่อง ซึ่งชุดกรีดนำร่องสามารถกางออกได้ตามขนาดฝักเนื่องจากมีแรงกดจากสปริง เมื่อฝักข้าวโพดถูกกรีดเมล็ดออกเป็นแนวแล้วจะเข้าสู่ชุดใบมีดเจาะร่องแถวข้าวโพดแล้วทำการออกแรงดันฝักผ่านชุดใบมีดเจาะแถว โดยชุดใบมีดจะถูกตั้งให้ทำมุมกับฝักข้าวโพด 10° เพื่อให้ใบมีดเหวี่ยงเข้าไปในช่องข้าวโพดซึ่งมีเป้าหมายเพื่อให้ได้เมล็ดที่มีความสมบูรณ์จากการเจาะร่องแถวแทนที่เมล็ดจะเกิดความเสียหายทั้งหมด

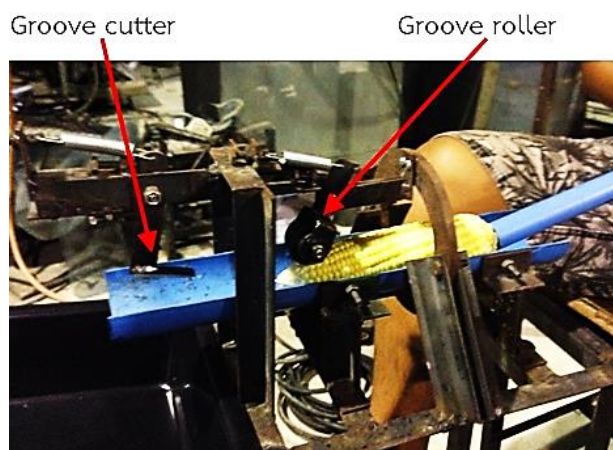


Figure 2 Primary components of the groove.

2.4 ส่วนประกอบของเครื่องกะเทาะเมล็ด

เครื่องกะเทาะเมล็ดข้าวโพดหวานมีส่วนประกอบ ดังแสดงใน Figure 3 คือ ใบกะเทาะเมล็ดทำจากวัสดุประเภทยางเนื่องจากมีความยืดหยุ่นและไม่ทำให้เมล็ดข้าวโพดเกิดความเสียหายหรือเสียหายน้อย โดยตัวใบมีลักษณะเป็นทรงกระบอกผ่าครึ่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3 cm. ความยาว 6 cm. ทำปลายใบให้มีลักษณะเป็นปลายแหลมทำมุม 45° ซึ่งใบกะเทาะเมล็ดได้ออกแบบขึ้นมา 2 แบบ ดังแสดงใน Figure 4 และ 5 คือ แบบที่ 1 มีจำนวนใบกะเทาะ 1 ใบ ซึ่งมีหน้ากว้างในการกะเทาะประมาณ 2.3 cm. และแบบที่ 2 มีจำนวนใบกะเทาะวางเรียงกัน 3 ใบ ซึ่งมีหน้ากว้างในการกะเทาะประมาณ 6.9 cm. ติดตั้งกับชุดลูกปืนสไลด์ ซึ่งจะทำงานโดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาจากหน้าแปลนเยื้องศูนย์ที่ติดอยู่กับเพลาลูกกลิ้ง ซึ่งมีช่วงชักประมาณ 4 cm. โดยชุดกะเทาะเมล็ดนี้จะนำไปติดตั้งเข้ากับชุดส่งกำลังของเครื่องสับกิ่งไม้ที่มีเครื่องอินเวอร์เตอร์ใช้สำหรับปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ ซึ่งเครื่องตัวนี้ใช้มอเตอร์ขนาด 5 hp ในการส่งกำลังผ่านพูลเลย์ขนาด 10.16 cm. ส่งต่อกำลังมายังชุดกะเทาะซึ่งใช้พูลเลย์ขนาด 35.56 cm.

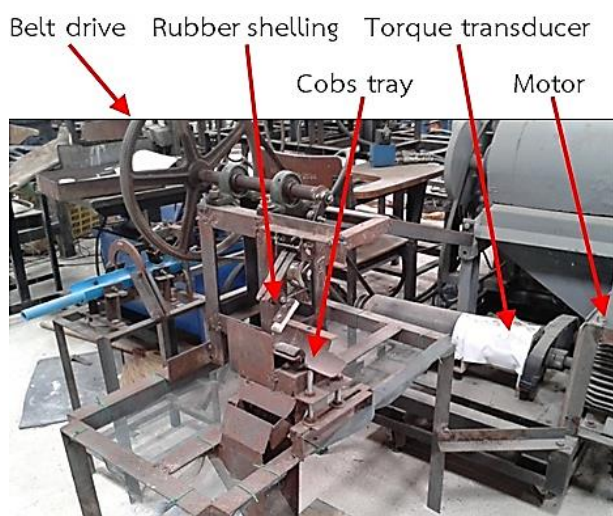


Figure 3 Primary components of the sheller.

หลักการทำงานของเครื่องกะเทาะเมล็ดคือ นำฝักข้าวโพดที่ผ่านการเจาะร่องแล้ววางบนถาดรอง ซึ่งถาดรองสามารถที่จะปรับระดับให้สอดคล้องกับการปรับตั้งมุมที่กระทำกับฝักในการทดลองกะเทาะเมล็ด จากนั้นทำการเปิดเครื่องให้ทำงานโดยที่ชุดกะเทาะเมล็ดจะเคลื่อนที่ไป-มา และดันเมล็ดออกจากฝักทีละแถว โดยใช้มือในการบังคับฝักทำให้การกะเทาะเมล็ดมีประสิทธิภาพและได้เมล็ดที่มีความสมบูรณ์เต็มเมล็ดโดยที่จมูกข้าวโพดไม่ขาด



Figure 4 Rubber shelling (Type I).



Figure 5 Rubber shelling (Type II).

2.5 การทดสอบเครื่องกะเทาะเมล็ดข้าวโพดหวาน

ในการทดสอบใช้การวางแผนการทดลองแบบ 2X3X3 Factorial in CRD โดยศึกษาปัจจัย 3 ปัจจัยที่มีผลต่อการกะเทาะเมล็ด ได้แก่ ชุดยางกะเทาะเมล็ด 2 แบบ คือ แบบ 1 ใบ และ 3 ใบ มุมที่กระทำกับฝักข้าวโพดของชุดยางกะเทาะเมล็ดแบ่งออกเป็น 3 มุม คือ 36°, 42° และ 48° และความเร็วรอบของชุดยางกะเทาะเมล็ดแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 40, 50 และ 60 rpm ซึ่งปัจจัยที่นำมาทำการทดลองนั้นได้ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องเพื่อเลือกช่วงที่เหมาะสมมาใช้ในการทำการทดลอง โดยการศึกษาทั้ง 3 ปัจจัยที่เลือกมานั้นจะทำการทดลองละ 3 ซ้ำ ใช้จำนวนฝักข้าวโพดทั้งหมด 54 ฝัก ซึ่งค่าที่ใช้พิจารณา คือ ความเสียหายของเมล็ด, เวลาที่ใช้ในการทำงานและกำลังในการกะเทาะเมล็ด ซึ่งความเสียหายของเมล็ดและกำลังในการกะเทาะเมล็ดคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{Damaged kernels (\%)} = \frac{m_l}{m_l + m_f} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ m_l คือ น้ำหนักเมล็ดที่เสียหาย (g) และ m_f คือ น้ำหนักเมล็ดที่สมบูรณ์ (g)

$$\text{Power (W)} = \frac{T \times N \times 736}{716.2} \quad (2)$$

วิธีการทดสอบนำฝักข้าวโพดที่ผ่านการเพาะแกลวออกแล้วมาวางบนถาดรองครึ่งละ 1 ฝัก เมื่อเครื่องเริ่มทำงานทำการบันทึกค่าแรงบิดที่เกิดขึ้นที่เพลลาของชุดกะเทาะเมล็ดในขณะทำการกะเทาะเมล็ด ซึ่งได้มาจากเครื่อง Torque Transducer (TP-10KMCB) และ Indicator (SLW-220PC) ใช้ในการหาค่ากำลังในการกะเทาะเมล็ด และทำการจับเวลาตั้งแต่เริ่มกระบวนการกะเทาะเมล็ดจนกระทั่งกะเทาะเมล็ดเสร็จ เมื่อเสร็จจากกระบวนการกะเทาะเมล็ดจะนำเมล็ดมาคัดแยกเมล็ดที่สมบูรณ์กับเมล็ดที่เสียหายออกจากกัน ทั้งนี้จะรวมเมล็ดที่ได้จากการเพาะแกลวเข้าไปด้วย หลังจากนั้นนำเมล็ดไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาความเสียหายของเมล็ด โดยเกณฑ์ในการพิจารณาเมล็ดที่เสียหายคือ เมล็ดชำ แตกหัก จมูกข้าวโพดขาด ดังแสดงใน Figure 6

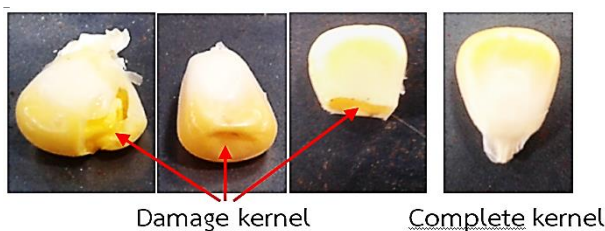


Figure 6 Kernel characteristic for consideration.

Table 1 Physical properties data.

Data	Dehusked ear weight (g)	Dehusked ear length (mm.), (A)	Dehusked kernel range (mm.), (B)	Dehusked ear diameter (mm.)		
Ear position				Ear bottom (C)	Ear middle (D)	Ear top (E)
Measurable value	331.92±13.14	287.75±16.05	191.33±13.40	11.31±1.24	12.38±1.46	11.02±1.69
Data	Kernel thick (mm.), (J)			Kernel width (mm.)		
Ear position	Ear bottom	Ear middle	Ear top	Ear bottom		
Kernel position				Kernel top (F)	Kernel middle (G)	Kernel bottom (H)
Measurable value	4.92±0.77	4.54±0.38	5.22±0.80	8.31±1.10	8.16±0.89	6.74±1.15
Data	Kernel width (mm.)					
Ear position	Ear middle			Ear top		
Kernel position	Kernel top (F)	Kernel middle (G)	Kernel bottom (H)	Kernel to (F)	Kernel middle (G)	Kernel bottom (H)
Measurable value	8.71±1.00	8.17±0.63	6.76±1.08	7.73±0.81	7.22±0.82	5.87±1.09

2.6 การวิเคราะห์ผลเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับเครื่องกะเทาะเมล็ดข้าวโพดหวาน

การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องกะเทาะเมล็ดจะใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยในการทดสอบต่อค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพเครื่องด้วยวิธีการของ Duncan, s multiple range test ($P < 0.05$) โดยใช้โปรแกรม SPSS (ยุทธ, 2553) ปัจจัยที่เหมาะสมในการออกแบบเครื่องให้มีการทำงานที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุดนั้น ในทางทฤษฎีแล้ว ค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพเครื่อง ได้แก่ ความเสียหายของเมล็ดทั้งหมด, เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดและกำลังในการกะเทาะเมล็ดควรที่จะมีค่าน้อยที่สุดทั้ง 3 ค่า แต่ในทางปฏิบัติอาจมีความขัดแย้งกันระหว่างปัจจัยในการทดสอบที่ทำให้ค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพทั้ง 3 ค่าน้อยที่สุดพร้อมกัน ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการหาพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแทนของค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพดังกล่าว ซึ่งในกรณีนี้จะใช้วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis) เพื่อสร้างพารามิเตอร์วัดประสิทธิภาพจากค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพทั้ง 3 ค่า โดยวิธีการวิเคราะห์นั้นจะเป็นการดึงเอาข้อมูลของทั้ง 3 ค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพมาไว้ในพารามิเตอร์ที่สร้างขึ้นใหม่ให้มากที่สุด แล้วสร้างสมการขึ้นมาเพื่อคำนวณหาค่าคะแนนของพารามิเตอร์ที่สร้างขึ้นใหม่จากค่าวัดประสิทธิภาพทั้ง 3 ค่าและจึงนำคะแนนดังกล่าวมารวมกันกลายเป็นคะแนนประสิทธิภาพรวม (TPS) ซึ่งคะแนนรวมในส่วนสุดท้ายนี้สามารถที่จะบอกถึงปัจจัยที่มีความเหมาะสมที่สุดของเครื่องกะเทาะเมล็ด โดยจะพิจารณาจากค่าคะแนนที่มีค่าน้อยที่สุด (Krishna et al, 2002)

Table 2 The pushed force used for groove set each angle of groove cutter.

Data	The pushed force for set each angle of groove cutter (kgf)		
	5°	10°	15°
Measurable value	4.73±0.23	11.8±1.59	22.8±3.14

Table 3 The result of sweet corn Sheller.

Parameters	Damaged kernels total (%)	Kernels grooving damaged (%)	Kernels shelling damaged (%)	Time total (s)	Kernels grooving time (s)	Kernels shelling time (s)	Power (W)
1, 36, 40	10.47	5.82	4.65	401.51	29.15	372.36	8.63
1, 36, 50	11.03	5.12	5.90	392.51	31.85	360.66	13.49
1, 36, 60	30.18	10.10	20.07	401.64	33.62	368.02	18.34
1, 42, 40	11.32	6.86	4.46	401.74	28.85	372.89	12.47
1, 42, 50	11.62	6.54	5.08	302.22	28.44	273.78	16.58
1, 42, 60	13.09	8.33	4.76	303.43	27.06	276.37	18.34
1, 48, 40	19.97	10.11	9.86	472.82	39.09	433.73	9.83
1, 48, 50	20.47	9.21	11.26	428.76	36.60	392.16	15.89
1, 48, 60	26.50	11.43	15.07	330.12	29.22	300.90	17.98
2, 36, 40	18.61	11.30	7.31	292.75	30.29	262.46	10.31
2, 36, 50	13.44	10.61	2.83	282.98	38.29	244.68	12.29
2, 36, 60	10.02	8.22	1.81	251.94	26.22	225.72	14.03
2, 42, 40	13.40	10.28	3.12	258.93	29.71	229.22	16.55
2, 42, 50	10.93	6.51	4.42	245.27	31.37	213.90	15.59
2, 42, 60	10.89	7.63	3.26	220.71	33.71	187.00	19.42
2, 48, 40	13.59	9.46	4.13	207.57	23.98	183.59	15.83
2, 48, 50	12.76	8.66	4.09	182.79	17.50	165.29	22.78
2, 48, 60	13.04	8.40	4.64	175.27	24.78	150.49	27.34

Note: Front numbers are type of rubber shelling (1=Type I, 2=Type II)

Middle numbers are angle of shelling (36=36°, 42=42° and 48=48°)

Behind numbers are speed of shelling (40=40 rpm, 50=50 rpm and 60=60 rpm)

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ข้อมูลการศึกษาลักษณะทางกายภาพและการทดสอบเบื้องต้น

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮบริด 10 โดยทำการวัดขนาดต่างๆ ของฝักข้าวโพดซึ่งผลที่ได้จากการวัด ดังแสดงใน Table 1 ซึ่งค่าที่ได้จากวัดลักษณะทางกายภาพจะนำไปใช้ออกแบบและสร้างชิ้นส่วนของชุดเชาะร่องแถวได้แก่ ค่าความกว้างของเมล็ด (Kernel width) นำไปใช้ออกแบบใบมีดเชาะร่องแถวโดยออกแบบให้มีหน้ากว้างของใบมีด 2 cm., ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางฝัก (Dehusked ear diameter) ใช้ในการออกแบบถาดรองข้าวโพดโดยออกแบบให้มีลักษณะเป็นท่อ PVC ผ่าครึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 cm. สำหรับค่าที่นำมาออกแบบชิ้นส่วนของชุดกะเทาะได้แก่ ค่าความยาวเฉพาะส่วนที่มีเมล็ด (Dehusked kernel range) ใช้ออกแบบใบกะเทาะโดยออกแบบให้มีหน้ากว้างของใบกะเทาะ 2.3 และ 6.9 cm., ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางฝักนำมาออกแบบถาดวางฝักอีกเช่นกัน

ในการทดสอบการกะเทาะเมล็ดจะเริ่มตั้งแต่การเชาะร่องแถวไปจนถึงการกะเทาะเมล็ดซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบคือ ค่าของความเสียหายของเมล็ดทั้งหมด, เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด และกำลังที่ใช้ในการกะเทาะเมล็ด ซึ่งค่าความเสียหายของเมล็ดทั้งหมดและเวลาที่ใช้ในการทำงานที่ได้จากการทดลองจะเป็นการนำค่าที่ได้จากการเชาะร่องแถวรวมกับค่าที่ได้จากการกะเทาะเมล็ด ดังแสดงใน Table 3 พบว่า ความเสียหายของเมล็ดทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 10.02-30.17% โดยเป็นค่าความเสียหายเนื่องจากการเชาะร่องแถวเฉลี่ยระหว่าง 5.12-11.43% และค่าความเสียหายเนื่องจากการกะเทาะเมล็ดเฉลี่ยระหว่าง 1.81-20.07% ส่วนเวลาที่ใช้ในการทำงานมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 175.27-472.82 s/ears โดยเป็นเวลาเนื่องจากการเชาะร่องแถวเฉลี่ยระหว่าง 17.50-39.09 s/ears และเวลาเนื่องจากการกะเทาะเมล็ดเฉลี่ยระหว่าง 150.49-433.73 s/ears และกำลังที่ใช้ในการกะเทาะเมล็ดเฉลี่ยระหว่าง 8.63-27.34 W/ears ซึ่งค่าความเสียหายของเมล็ดที่ได้จากการทดลองโดยการเชาะร่องแถวและการกะเทาะเมล็ดมีค่าที่ใกล้เคียงกัน อันเนื่องมาจากความโค้งงอของฝักข้าวโพดและการที่ต้องใช้มือในการบังคับฝักอาจจะส่งผลให้การเชาะร่องแถวและการกะเทาะเมล็ดกระทำได้อย่างลำบาก

และทำให้เมล็ดที่ได้เกิดความเสียหายมากขึ้น ส่วนเวลาที่ใช้ในการทำงานโดยการเชาะร่องแฉกและการกะเทาะมีค่ามาก เนื่องจากการเชาะร่องแฉกต้องออกแรงในการดันฝักค่อนข้างมากโดยแรงที่ใช้ในดันฝักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.8 kgf ที่การตั้งมุมใบมีดเชาะแฉก 10° ซึ่งการเลือกมุมดังกล่าวเนื่องจากมีศึกษาแล้วว่า เป็นมุมที่มีความเหมาะสมที่สุดเพราะได้เมล็ดที่มีความสมบูรณ์และออกแรงในการดันไม่มากเกินไป ดังแสดงใน Table 2 โดยแรงดังกล่าวมีสาเหตุมาจากขนาดฝักที่ไม่เท่ากันทำให้ใบมีดเชาะร่องเกิดการเฉือนเข้าไปในซังมากเกินไปและซังมีความแข็งแรงมากทำให้ต้องออกแรงมากขึ้น ส่วนของการกะเทาะบางครั้งต้องทำการกะเทาะหลายครั้งเนื่องจากการยึดติดระหว่างเมล็ดกับซังมีความเหนียวแน่นส่งผลให้เสียเวลาในการที่ต้องกับมากะเทาะเมล็ดใหม่ และในของส่วนกำลังในการกะเทาะเมล็ดมีค่าไม่มากนักเนื่องจากแรงกระทำต่อเมล็ดมีค่าน้อยจึงทำให้ทอร์คที่เกิดขึ้นในระบบส่งกำลังมีค่าน้อยตามไปด้วย

3.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อพิจารณาจากค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพ คือ ความเสียหายของเมล็ดทั้งหมด, เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด และกำลังในการกะเทาะเมล็ด ได้ผลสรุปในเบื้องต้น ดังแสดงใน Table 4, 5 และ 6 คือ

เมื่อพิจารณาในด้านความเสียหายของเมล็ดทั้งหมดระหว่างชุดยางกะเทาะเมล็ดแบบที่ 1 และ 2 พบว่า มุมที่กระทำกับฝัก, ความเร็วรอบและแบบของชุดยางกะเทาะเมล็ดที่ให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด คือ มุม 42° เหมือนกันทั้งสองแบบ (Table 4), ความเร็วรอบ 40 rpm สำหรับชุดยางกะเทาะแบบที่ 1 และ ความเร็วรอบ 60 rpm สำหรับชุดยางกะเทาะแบบที่ 2 (Table 5) และชุดยางกะเทาะเมล็ดแบบที่ 2 ให้ผลที่ดีกว่าแบบที่ 1 (Table 6)

แล้วมาพิจารณาในด้านเวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดระหว่างชุดยางกะเทาะเมล็ดแบบที่ 1 และ 2 พบว่า มุมที่กระทำกับฝัก, ความเร็วรอบและแบบของชุดยางกะเทาะเมล็ดที่ให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด คือ มุม 42° สำหรับชุดยางกะเทาะแบบที่ 1 และ มุม 48° สำหรับชุดยางกะเทาะแบบที่ 2 (Table 4), ความเร็วรอบ 60 rpm เหมือนกันทั้งสองแบบ (Table 5) และชุดยางกะเทาะเมล็ดแบบที่ 2 ให้ผลที่ดีกว่าแบบที่ 1 (Table 6) และพิจารณาในด้านกำลังในการกะเทาะเมล็ดระหว่างชุดยางกะเทาะเมล็ดแบบที่ 1 และ 2 พบว่า มุมที่กระทำกับฝัก, ความเร็วรอบและแบบของชุดยางกะเทาะเมล็ดที่ให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด คือ มุม 36° (Table 4), ความเร็วรอบ 40 rpm เหมือนกันทั้งสองแบบ (Table 5) และชุดยางกะเทาะเมล็ดแบบที่ 1 ให้ผลที่ดีกว่าแบบที่ 2 (Table 6)

โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติเหล่านี้พิจารณาจากความเสียหายของเมล็ดที่น้อยที่สุด, เวลาที่ใช้ในการทำงานที่น้อยที่สุด และกำลังที่ใช้ในการกะเทาะน้อยที่สุด ซึ่งจะเป็นผลของการ

กะเทาะเมล็ดที่ดีที่สุด แต่เนื่องจากในทางทฤษฎีค่าที่ได้จากการทดลองเหล่านี้บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องจักรที่สร้างขึ้นคือ ค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยบ่งบอกถึงว่าเครื่องที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง

Table 4 The result of comparison between angles of rubber shelling type I and II.

Type rubber shelling	Angle of shelling	Performance Parameters		
		Damaged kernels total (%)	Time total (s)	Power (w)
Type I	36°	17.23ab	398.55ab	13.49a
	42°	12.01a	335.80a	15.80b
	48°	22.31b	410.56b	14.57a
Type II	36°	14.02a	275.89c	12.21a
	42°	11.74a	241.63b	17.18b
	48°	13.13a	188.54a	21.98c

Note: The different English alphabet in vertical column represent Duncan's multiple range tests with 95% statistically significant.

Table 5 The result of comparison between speeds revolution of rubber shelling type I and II.

Type rubber shelling	Speed (rpm)	Performance Parameters		
		Damaged kernels total (%)	Time total (s)	Power (W)
Type I	40	13.92a	425.35b	10.31a
	50	14.37a	374.50ab	15.32b
	60	23.25a	345.06a	18.22c
Type II	40	15.20a	253.08b	14.23a
	50	12.38a	237.01ab	16.89b
	60	11.32a	215.97a	20.26c

Note: The different English alphabet in vertical column represent Duncan's multiple range tests with 95% statistically significant.

Table 6 The result of comparison between rubber shelling type I and II.

Type rubber shelling	Performance Parameters		
	Damaged kernels total (%)	Time total (s)	Power (W)
Type I	17.18a	381.64b	14.62a
Type II	12.96a	235.36a	17.13b

Note: The different English alphabet in vertical column represent Duncan's multiple range tests with 95% statistically significant.

3.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีองค์ประกอบหลัก

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่าปัจจัยที่เหมาะสมควรที่จะเป็นชุดยางกะเทาะเมล็ดแบบใด มุมที่กระทำกับฝักเท่าใด และความเร็วรอบที่เท่าใด ดังนั้นจึงใช้วิธีการวิเคราะห์ PCA สร้างพารามิเตอร์วัดประสิทธิภาพ (กัลยา 2552) เพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์เพียงค่าเดียวในการเปรียบเทียบปัจจัยที่มีความเหมาะสมที่สุด

ในส่วนการวิเคราะห์ PCA จะนำค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพทั้ง 3 ค่า คือ ความเสียหายของเมล็ดทั้งหมด, เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดและกำลังในการกะเทาะเมล็ดมาวิเคราะห์โดยการแปลงค่าทั้ง 3 ค่า ให้เป็นค่ามาตรฐานด้วยโปรแกรม SPSS ดังแสดงใน Table 7

Table 7 The standard value for parameters analysis.

Parameters	Damaged kernels total (Z ₁)	Time total (Z ₂)	Power (Z ₃)
1, 36, 40	-0.7956	1.0358	-1.5675
1, 36, 50	-0.6988	0.9356	-0.5155
1, 36, 60	2.6106	1.0373	0.5343
1, 42, 40	-0.6487	1.0384	-0.7363
1, 42, 50	-0.5969	-0.0699	0.1533
1, 42, 60	-0.3428	-0.0564	0.5343
1, 48, 40	0.8461	1.8300	-1.3077
1, 48, 50	0.9325	1.3393	0.0040
1, 48, 60	1.9746	0.2408	0.4564
2, 36, 40	0.6111	-0.1754	-1.2038
2, 36, 50	-0.2824	-0.2842	-0.7753
2, 36, 60	-0.8734	-0.6299	-0.3986
2, 42, 40	-0.2893	-0.5520	0.1468
2, 42, 50	-0.7161	-0.7041	-0.0610
2, 42, 60	-0.7230	-0.9776	0.7680
2, 48, 40	-0.2564	-1.1240	-0.0090
2, 48, 50	-0.3999	-1.3999	1.4953
2, 48, 60	-0.3515	-1.4837	2.4823

เมื่อนำค่ามาตรฐานมาวิเคราะห์ PCA จะได้ผลของพารามิเตอร์วัดประสิทธิภาพที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ได้ 2 พารามิเตอร์ โดยพารามิเตอร์ทั้งสองจะใช้ชื่อว่า PC1 และ PC2 ซึ่ง PC1 สามารถดึงข้อมูลจากค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพทั้ง 3 ค่ามาไว้กับพารามิเตอร์ PC1 ได้ 52.344% และ PC2 สามารถดึงข้อมูลจากค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพทั้ง 3 ค่ามาไว้กับพารามิเตอร์ PC2 ได้ 40.006% จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวได้สมการในการคำนวณคะแนนของแต่ละพารามิเตอร์คือ

$$PC_1 = 0.135Z_1 - 0.469Z_2 + 0.654Z_3 \quad (3)$$

$$PC_2 = 0.848Z_1 + 0.281Z_2 + 0.269Z_3 \quad (4)$$

โดย PC₁ และ PC₂ คือ คะแนนของพารามิเตอร์ที่ 1 และ 2, และ Z₁, Z₂ และ Z₃ คือ ค่ามาตรฐานของความเสียหายของเมล็ดทั้งหมด, เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดและกำลังในการกะเทาะเมล็ด ดังแสดงใน Table 8

Table 8 The result of parameters analysis.

Performance Parameters	PC ₁	PC ₂	Total variance (%)
Damaged kernels total	0.135	0.848	
Time total	-0.469	0.281	
Power	0.654	0.269	
Variance (%)	52.344	40.006	92.350

ต่อจากนั้นนำค่า PC1 และ PC2 มาคำนวณคะแนนประสิทธิภาพรวมดังนี้

$$TPS = 52.344PC_1 + 40.006PC_2 \quad (5)$$

โดย Total Performance Score (TPS) คือ คะแนนประสิทธิภาพรวม ซึ่งผลการคำนวณเมื่อพิจารณาจากคะแนนประสิทธิภาพรวมของปัจจัยของการทดลองแต่ละชุด พบว่า ปัจจัยที่มีความเหมาะสมที่สุด คือ ชุดยางกะเทาะเมล็ดแบบที่ 2, มุมที่กระทำกับฝัก 36° และความเร็วรอบ 60 rpm ได้คะแนนประสิทธิภาพรวมเท่ากับ -41.0623 ซึ่งเป็นค่าคะแนนที่น้อยที่สุดจากการคำนวณ ดังแสดงใน Table 9

Table 9 Calculated result for each parameters.

Parameters	PC ₁	PC ₂	TPS
2, 36, 60	-0.0834	-1.0253	-41.0623
1, 36, 40	-1.6181	-0.8058	-33.0819
2, 42, 50	0.1936	-0.8219	-32.7778
2, 42, 60	0.8632	-0.6813	-26.8047
2, 36, 50	-0.4121	-0.5283	-21.3496
2, 48, 40	0.4862	-0.5361	-21.1911
1, 42, 50	0.0527	-0.4846	-19.3598
1, 36, 50	-0.8698	-0.4685	-19.1967
1, 42, 40	-1.0557	-0.4565	-18.8164
2, 42, 40	0.3157	-0.3611	-14.2790
2, 48, 50	1.5804	-0.3301	-12.3772
1, 42, 60	0.3298	-0.1627	-6.3374
2, 48, 60	2.2719	-0.0467	-0.6780
2, 36, 40	-0.6231	0.1447	5.4613
1, 48, 40	-1.5990	0.8800	34.3697
1, 48, 50	-0.4993	1.1687	46.4932
1, 48, 60	0.4518	1.8654	74.8653
1, 36, 60	0.2153	2.6498	106.1223

4 สรุป

ในการศึกษานี้ เครื่องกะเทาะเมล็ดข้าวโพดหวานที่ออกแบบและสร้างขึ้น โดยมีเป้าหมายเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อ

การกะเทาะเมล็ดข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮ-บริดจ์ 10 โดยที่จุ่มข้าวโพดไม่ขาด ซึ่งกระบวนการกะเทาะเมล็ดจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การเจาะร่องแถวด้วยชุดเจาะร่อง และการกะเทาะเมล็ดด้วยเครื่องกะเทาะ ผลการทดสอบการกะเทาะเมล็ดข้าวโพดหวาน พบว่า ปัจจัยที่เหมาะสมซึ่งให้ประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุด คือ ชุดยางกะเทาะเมล็ดแบบที่ 2 มุมที่กระทำกับฝัก 36° และความเร็วรอบ 60 rpm ให้ผลการกะเทาะเมล็ดข้าวโพดหวานที่ดีที่สุด คือ มีค่าความเสียหายของเมล็ดทั้งหมดเท่ากับ 10.02% เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดเท่ากับ 251.94 s/ears และกำลังในการกะเทาะเมล็ดเท่ากับ 14.03 W/ears อย่างไรก็ตามปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาเป็นแค่ส่วนหนึ่งของแนวคิดในการศึกษาและทดสอบ ซึ่งสามารถนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาให้เครื่องกะเทาะเมล็ดข้าวโพดหวานมีประสิทธิภาพมากขึ้นต่อไปในอนาคต

5 กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์ และขอขอบคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการด้านเครื่องจักรกลการเกษตรและอาหาร ที่ได้อนุเคราะห์งบประมาณในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2552. การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ยุทธ ไถยวรรณ. 2553. หลักสถิติวิจัยและการใช้โปรแกรม SPSS. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. สถิติการส่งออกข้าวโพดหวาน ปี 2556. แหล่งข้อมูล: <http://www.oae.go.th> เข้าถึงเมื่อ 14 กรกฎาคม 2557
- Kessler, Jr., Harry, T. 1998. Machine for cutting kernels from ears of corn. USA Patent 5830060.
- Krishna, D., Rama Mohan, S., Murthy, B.S.N. 2002. Performance evaluation of public research institutes using Principal Component Analysis. Journal of Scientific & Industrial Research 61, 940-947.
- Wilson, C.M. 1991. Proteins of the kernel. In Corn: Watson, S.A., Ramstad, P.E. (Eds), Chemistry and Technology. St. Paul: American Association of Cereal Chemists Inc.