การอบแห้งข้าวโพดในฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น

นางสาว มินา แซ่แต้

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2531

ISBN 974-569-543-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

015284

i17410113

CORN DRYING IN MUTI-STAGE FLUIDIZED BED

Miss Mina Saetae

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1988

ISBN 974-569-543-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การอบแห้งข้าวโพดในฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น
โดย	นางสาว มินา แซ่แต้
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุต

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูชาติ บารมี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุต)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ แม้น อมรสิทธิ์)

มินา แช่แต้ : การอบแห้งข้าวโพดในฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น (CORN DRYING IN MULTISTAGE FLUIDIZED BED) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร. เลอสรวง เมฆสุต, 162 หน้า.

ข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่สำคัญของประเทศไทย ที่มีการส่งออกปีละหลายพันตัน แต่ผู้ส่งออกมักประสบปัญหาหลัก 2 อย่างอยู่เสมอ ๆ คือ ความชื้นและแอฟลาทอกซิน B_1 งานวิจัยนี้จึงได้พยายามทดลองที่จะลดความชื้นด้วยอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิสูง เพื่อหยุดการเจริญเติบโตของเชื้อรา เมล็ด-ข้าวโพดชื้นจะถูกป้อนเข้าทางชั้นบนแล้วไหลออกทางชั้นล่าง เครื่องอบแห้งฟลูอิไดเซชันเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ทำด้วยเหล็กกล้าที่มีขนาดกว้าง 75 ซม. ยาว 30 ซม. และสูง 90 ซม. เมล็ดข้าวโพดที่ใช้ทดลองมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 18-25 โดยน้ำหนักเปียก ที่มีอัตราการป้อนในช่วง 37-111 กก./ชม. อุณหภูมิอากาศร้อนมีค่าเปลี่ยนแปลงจาก 70-110 °ซ ที่ความเร็วอากาศประมาณ 13354.4 $ม.^3$/ชม.

อุณหภูมิอากาศร้อนที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งข้าวโพด ในเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดนี้คือ 95 °ซ จะได้ข้าวโพดหลังอบแห้งมีความชื้นร้อยละ 14.5 และปริมาณแอฟลาทอกซิน B_1 เพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 23 เท่านั้น หลังจากเก็บกักไว้นาน 1 เดือน เมื่อเปรียบเทียบกับการผึ่งแดดที่ทำการมานาน แอฟลาทอกซิน B_1 จะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 100 ที่ระยะเวลากักเก็บและความชื้นเดียวกัน

การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งนี้จะเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าการผึ่งแดด ถ้าได้มีการปรับปรุงประสิทธิภาพทางความร้อนของเบด จะทำให้ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยของข้าวโพดที่เป็นผลิตผลมีแนวโน้มลดลงจนเกือบเท่ากับราคาของการผึ่งแดด

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เคมีเทคนิค

ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

MINA SAETAE : CORN DRYING IN MULTI-STAGE FLUIDIZED BED. THESIS ADVISOR : PROFESSOR SOMSAK DAMRONGLERD, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : ASSIST. PROF. LURSUANG MEKASUT, Ph.D., 162 PP.

Corn is an important economic product of Thailand of which is exported annally a number of thousand tons. However, moisture content and aflatoxin B_1 are always two main problems for exporters. The thesis work was concentrated on removing the moisture with hot air at high temperative condition so that fungi would stop growing. Humid corn seed was feeded into the upper stage and come out at the lower stage. Fluidization dryer was made of cast iron in form of rectangular, 75 cm. in large, 30 cm. in width and 90 cm. in height. The initial moisture contents in corn seed were 18 to 25% by wet basis, with the feed rate of 37-111 kg./hr. The temperature of hot air were changing from 70 to 110^{o}C at velocity air approximate 13354.4 m./hr.

The suitable temperature of hot air for drying corn in this fluidized bed would be 95^{o}C. The product would have 14.5% of moisture and the quantity of aflatoxin B_1 increased only 23% after having been kept in storage during 1 month. Compared to traditional sun drying, the amount of aflatoxin B_1 raised up 100% at the same period of storage and moisture content.

The expense of drying with equipments is still higher than sun drying. If we improve the thermal efficient of the bed, the operating cost per unit of corn product would be reduced as closely as sun drying.

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เคมีเทคนิค

ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ ที่กรุณาให้คำปรึกษาทางวิชาการ และคำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ แม้น อมรสิทธิ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำถึงวิธีวิเคราะห์ ตลอดจนความสะดวกในการจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุต ที่กรุณาตรวจต้นฉบับและให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชูชาติ บารมี ที่กรุณาอำนวยความสะดวกในการใช้คอมพิวเตอร์นอกเวลาราชการ

ขอขอบพระคุณ ดร.วรรณา ตุลยธัญ ที่กรุณาให้เข้าฟังบรรยายวิชา Food Research Technique and Instrumentation

ขอขอบพระคุณ ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องแช่แข็ง

ขอขอบพระคุณ คุณสุพจน์ งามประเสริฐสิทธิ์ และครอบครัว แห่งโรงงานเอี่ยวฮั่วล้ง ที่กรุณาเอื้อเฟื้อวัตถุดิบ สถานที่ทดลอง รวมทั้งที่พัก

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประวัติ ตันบุญเอก (หัวหน้างานสารพิษจากเชื้อรา) ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสารพิษแอฟลาทอกซินบริสุทธิ์ B_1 และ B_2 และคุณปริศนา สิริอาชา ที่กรุณาให้เข้าอบรมสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่องวิธีตรวจสอบแอฟลาทอกซินในข้าวโพด

ขอขอบคุณ คุณสังข์ ชมชื่น ที่กรุณาสร้างเครื่องอบแห้งพร้อมกับปรับปรุงเครื่อง ขอขอบคุณ คุณสนิท ปรีนคร ที่กรุณาสร้างและซ่อมแซมพวกเครื่องแก้วต่าง ๆ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคและเคมีทุกท่าน ที่กรุณาอำนวยความสะดวกในการยืมอุปกรณ์ทดลองต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณสุนันท์ รังษีกาญจน์ส่อง เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ทาปริมาณแอฟลาทอกซิน B_1

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ของภาควิชาเคมีเทคนิค เทคโนโลยีทางอาหารและเคมี (ตึกเคมี 3 ชั้น 4) ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดมา เพื่อให้บรรลุ

ถึงจุดมุ่งหมายในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้ บางส่วนได้รับจากศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ มารดาและพี่สาว ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมาตลอดจนจบการศึกษา รวมทั้งผู้ที่อยู่เบื้องหลังซึ่งท่านมีส่วนช่วยให้ข้าพเจ้ามีโอกาสทำงานวิจัยจนบรรลุผลสำเร็จได้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฒ
สัญญลักษณ์ ..... ท

บทที่

1. บทนำ 1
   1.1 สาเหตุและที่มาของปัญหา 1
   1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
   1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
   1.4 สถานที่ทดลอง 2
   1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย 3
2. วารสารปริทัศน์ 4
   2.1 การอบแห้ง 4
      2.1.1 ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) 4
      2.1.2 กลไกการอบแห้ง 7
      2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง 15
   2.2 ความเป็นมาของข้าวโพด 20
      2.2.1 ที่มาของข้าวโพด 20
      2.2.2 ลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติต่าง ๆ 22
      2.2.3 การเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพด 24
      2.2.4 วิธีตรวจความชื้นของเมล็ดพืช 28
      2.2.5 การสุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวโพด 30

บทที่ หน้า

2.3 ผลงานวิจัยในอดีต 31
2.4 ที่มาของสารพิษแอฟลาทอกซิน 35
2.4.1 แอฟลาทอกซินในข้าวโพด 35
2. 2 กำเนิดแอฟลาทอกซิน 36
2.4.3 คุณสมบัติทั่วไป 36
2.4.4 การออกฤทธิ์ของแอฟลาทอกซิน 39
2.4.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดแอฟลาทอกซินในข้าวโพด 40
2.4.6 การทำลายแอฟลาทอกซินบนเครื่องแก้ว 41
3. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 42
3.1 การปรับปรุงเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบด 42
3.2 เครื่องมือการอบแห้ง 45
3.3 เครื่องมือวิเคราะห์ 46
3.4 สารมาตรฐานที่ใช้ในการทดลอง 55
3.5 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 55
4. วิธีการทดลอง 56
4.1 การหาความเร็วของอากาศ 56
4.2 การหาค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดเซชัน 56
4.3 การหาความจุความร้อนของข้าวโพด 56
4.4 การอบแห้ง 57
5. ผลการทดลอง 63
5.1 ผลการวัดความเร็วของอากาศ 63
5.2 ผลการหาค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดเซชัน 64
5.3 ผลการหาความจุความร้อนของข้าวโพด 66
5.4 ผลการทดลองด้านการผึ่งแดด 67
5.5 ผลการทดลองด้านการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชัน 68
5.6 ผลการทดลองด้านการวิเคราะห์ 81

บทที่ หน้า

6. วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง 84

เอกสารอ้างอิง 107

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 114

ภาคผนวก ข 122

ภาคผนวก ค 133

ภาคผนวก ง 136

ภาคผนวก จ 149

ภาคผนวก ฉ 152

ภาคผนวก ช 156

ประวัติผู้เขียน 162

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการอบแห้งแบบผึ่งแดด	7
2.2	การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการอบแห้งแบบใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชัน ..	8
2.3	หลักการเลือกเทคนิคฟลูอิไดเซชันในการอบแห้งโดยอาศัยกระบวนการอบแห้ง	12
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศกับความชื้นในเมล็ดพืชที่อุณหภูมิ 25 °ซ	18
2.5	ฤดูการปลูกและเก็บเกี่ยวของพืชบางอย่างและสภาวะของอากาศทางภาคกลาง	21
2.6	ปริมาณความชื้นระหว่างเก็บเกี่ยวและเก็บรักษา	24
2.7	ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น ณ ระดับความชื้นต่าง ๆ ของเมล็ดพืช	25
2.8	การตรวจความชื้นในการซื้อข้าวโพดของพ่อค้าจังหวัดต่าง ๆ	29
2.9	ปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินที่พบในอาหารชนิดต่าง ๆ จากท้องตลาดในประเทศ	35
2.10	เปอร์เซ็นต์ของแอฟลาทอกซินในข้าวโพดของช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง (2528-2529)	35
2.11	คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของแอฟลาทอกซินชนิดต่าง ๆ	38
5.1	ผลการวัดความเร็วของอากาศ ณ ตำแหน่งที่ 1 - 5	63
5.2	ผลการหาค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชันของข้าวโพด ในคอลัมน์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.8 ซม. ความสูงของข้าวโพด10 ซม. ที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ	64
5.3	การหาค่า Water Equivalent ของกระติกน้ำ	66
5.4	การหาค่าความจุความร้อนของข้าวโพด	66
5.5	การตากข้าวโพดโดยอาศัยแสงแดดเป็นจำนวน 6 กระสอบ (590 กิโลกรัม) เกลี่ยข้าวโพดหนา 2 ซม. ตั้งแต่เวลา 8.00 ถึง 17.00 น. ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสและแดดจัด	67

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.6 ผลการอบแห้งข้าวโพดที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นล่าง 20 ซม. อัตราการป้อนข้าวโพดเข้าเฉลี่ย 44.5 กก./ชม. และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 70, 80, 90, 100 และ 110 °ซ ตามลำดับ 68

5.7 ผลการอบแห้งข้าวโพดที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นล่าง 20 ซม. อัตราการป้อนข้าวโพดเข้าเฉลี่ย 56.0 กก./ชม. และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 70, 80, 90, 100 และ 110 °ซ ตามลำดับ 69

5.8 ผลการอบแห้งข้าวโพดที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 26.1 ความสูงของเบดชั้นล่าง 20 ซม. อัตราการป้อนข้าวโพดเข้าเฉลี่ย 81.9 กก./ชม. และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 70, 80, 90, 100 และ 110 °ซ ตามลำดับ . 70

5.9 ผลการอบแห้งข้าวโพดที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 25.3 ความสูงของเบดชั้นล่าง 20 ซม. อัตราการป้อนข้าวโพดเข้าเฉลี่ย 87.4 กก./ชม. และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 70, 80, 90, 100 และ 110 °ซ ตามลำดับ . 71

5.10 ผลการอบแห้งข้าวโพดที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 25.3 ความสูงของเบดชั้นล่าง 20 ซม. อัตราการป้อนข้าวโพดเข้าเฉลี่ย 102 กก./ชม. และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 70, 80, 90, 100 และ 110 °ซ ตามลำดับ . 72

5.11 ผลการอบแห้งข้าวโพดที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 25.6 ความสูงของเบดชั้นล่าง 16 ซม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้าเฉลี่ย 37.5 , 51.9 , 66.2 , 78.2 และ 84.6 กก./ชม. ตามลำดับ 73

5.12 ผลการอบแห้งข้าวโพดที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 26.2 ความสูงของเบดชั้นล่าง 18 ซม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้าเฉลี่ย 37.5 , 51.9 , 66.2 , 78.2 และ 84.6 กก./ชม. ตามลำดับ 74

5.13 ผลการอบแห้งข้าวโพดที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 24.8 ความสูงของเบดชั้นล่าง 20 ซม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้าเฉลี่ย 37.5 , 51.9 , 66.2 , 78.2 และ 84.6 กก./ชม. ตามลำดับ 75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.14 ผลการอบแห้งข้าวโพดที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 25.1 ความสูงของเบดชั้นล่าง 22 ซม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้าเฉลี่ย 37.5 , 51.9 , 66.2 , 78.2 และ 84.6 กก./ชม. ตามลำดับ 76

5.15 ผลการอบแห้งข้าวโพดที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 25.4 ความสูงของเบดชั้นล่าง 24 ซม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้าเฉลี่ย 37.5 , 51.9 , 66.2 , 78.2 และ 84.6 กก./ชม. ตามลำดับ 77

5.16 ผลการอบแห้งข้าวโพดที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 18 ความสูงของเบดชั้นล่าง 16 ซม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้าเฉลี่ย 44.7 , 68.6 , 86.9 , 104.0 และ 111.4 กก./ชม. ตามลำดับ 78

5.17 ผลการอบแห้งข้าวโพดที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 18.6 ความสูงของเบดชั้นล่าง 20 ซม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้าเฉลี่ย 44.7 , 68.6 , 86.9 , 104.0 และ 111.4 กก./ชม. ตามลำดับ 79

5.18 ผลการอบแห้งข้าวโพดที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 17.9 ความสูงของเบดชั้นล่าง 24 ซม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้าเฉลี่ย 44.7 , 68.6 , 86.9 , 104.0 และ 111.4 กก./ชม. ตามลำดับ 80

5.19 ผลการหาปริมาณแอฟลาทอกซิน B_1 เมื่อตากข้าวโพดโดยใช้แสงแดดเป็นจำนวน 590 กิโลกรัม เกลี่ยข้าวโพดหนา 2 ซม. ตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 น. 81

5.20 ผลการหาปริมาณแอฟลาทอกซิน B_1 เมื่อใช้ความสูงของเบดชั้นล่าง 20 ซม. 82

5.21 ผลการหาปริมาณแอฟลาทอกซิน B_1 เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ 83

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
6.1	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งข้าวโพดและปริมาณแป้งที่มีอยู่ในข้าวโพด	85
6.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง Volume shrinkage ที่เกิดขึ้นกับข้าวโพด เมื่ออบแห้งข้าวโพดที่มีความชื้นเริ่มต้นต่าง ๆ กันจนเหลือความชื้นร้อยละ 12	86
6.3	การเปรียบเทียบราคา (บาท/กก.) และค่าความร้อนเฉลี่ย (กิโลแคลอรี่/กก.) ของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ	104
6.4	การเปรียบเทียบผลการอบแห้งข้าวโพดด้วยวิธีผึ่งแดด และการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น ที่ความชื้นข้าวโพดหลังการอบแห้งร้อยละ 14.5	105

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ปริมาณความชื้นสมดุลของเมล็ดข้าวโพดที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน	5
2.2	เส้นความชื้นสมดุลของวัสดุต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 25 °ซ	5
2.3	การเข้าสู่ความชื้นสมดุลสำหรับเมล็ดพืช	6
2.4	หลักการเลือกเทคนิคฟลูอิไดเซชันในการอบแห้งแบบที่ 1	10
2.5	เครื่องมืออบแห้งแบบต่าง ๆ ที่มีในการอบแห้งแบบที่ 1	10
2.6	หลักการเลือกเทคนิคฟลูอิไดเซชันในการอบแห้งแบบที่ 2	11
2.7	เครื่องมืออบแห้งแบบต่าง ๆ ที่มีในการอบแห้งแบบที่ 2	11
2.8	ความต้านทานที่เกิดขึ้นต่อการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในการอบแห้ง .	17
2.9	เวลาที่สามารถเก็บข้าวโพดได้ที่ความชื้นและอุณหภูมิต่าง ๆ	19
2.10	ลักษณะโครงสร้างของเมล็ดข้าวโพด	23
2.11	สภาวะการหายใจของเมล็ดพืช	27
2.12	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิ 38 °ซ ในเมล็ดพืชที่มีความชื้นต่าง ๆ กัน	27
2.13	ความสัมพันธ์ระหว่างการวัดความชื้นโดยใช้มาตรฐานต่างกัน	28
2.14	การสุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวโพด	30
2.15	เครื่องอบเมล็ดพืชของกองเกษตรวิศวกรรม	31
2.16	เครื่องฟลูอิไดเซชันสำหรับการอบแห้งเมล็ดธัญพืช	32
2.17	เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดแบบไม่ต่อเนื่อง	33
2.18	เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง	33
2.19	เครื่องอบแห้งเมล็ดธัญพืชแบบฟลูอิไดซ์เบดชั้นเดียว	34
2.20	โครงสร้างของแอฟลาทอกซินชนิดต่าง ๆ	37
2.21	โครมาโตแกรมของแอฟลาทอกซินชนิดต่าง ๆ	37
2.22	วงจรชีวิตของแอฟลาท็อกซิน B_1	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	การปรับปรุงเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบด	44
3.2	เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดแบบหลายชั้น	47
3.3	เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดแบบหลายชั้น (ด้านตรง)	48
3.4	เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดแบบหลายชั้น (ด้านข้าง)	48
3.5	รายละเอียดตัวเครื่องอบแห้ง (ชม.)	49
3.6	รายละเอียดเครื่องป้อนเมล็ดข้าวโพด (ชม.)	50
3.7	เครื่องเป่าอากาศ	50
3.8	รายละเอียดเครื่องผลิตอากาศร้อน (ชม.)	51
3.9	เครื่องผลิตอากาศร้อน	51
3.10	เครื่องวัดความชื้น (พร้อมอุปกรณ์การวัดความชื้น)	52
3.11	เครื่องบดเมล็ดข้าวโพด	53
3.12	เครื่องเขย่า	53
3.13	เครื่องระเหยแบบหมุนที่ความดันต่ำ (Rotary vacuum evaporator) .	54
3.14	เครื่อง High Performance Liquid Chromatography	54
4.1	เครื่องมือหาความจุความร้อนของข้าวโพด	57
4.2	การเทเมล็ดข้าวโพดลงบนลานตาก	59
4.3	การเกลี่ยเมล็ดข้าวโพด	59
4.4	การตากเมล็ดข้าวโพดบนลานตาก	60
4.5	กระสอบข้าวโพดที่ผ่านการอบแห้งแล้ว	61
4.6	การเก็บข้าวโพดในโกดังเป็นเวลา 1 เดือน	61
4.7	สภาวะการเกิดฟลูอิไดเซชันด้านข้าง	62
4.8	สภาวะการเกิดฟลูอิไดเซชันด้านทางออกของเมล็ดข้าวโพด	62
5.1	ตำแหน่งต่าง ๆ ที่วัดความเร็วอากาศ	63
5.2	การหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชัน	65

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า (°ซ) กับความชื้นข้าวโพดหลังอบแห้ง (%, นน.เปียก) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ซม. ความสูงของเบดชั้นล่าง 20 ซม. และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 44.5 , 56.0 , 81.9 , 87.4 และ 102 กก./ชม. ตามลำดับ 92

6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า (°ซ) กับประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องอบแห้ง (%) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ซม. ความสูงของเบดชั้นล่าง 20 ซม. และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 44.5 , 56.0 , 81.9 , 87.4 และ 102 กก./ชม. ตามลำดับ 93

6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า (°ซ) กับค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวโพดแบบการผึ่งแดด และเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น (บาท/กก.) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ซม. ความสูงของเบดชั้นล่าง 20 ซม. และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 44.5 , 56.0 , 81.9 , 87.4 และ 102 กก./ชม. ตามลำดับ 94

6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า (°ซ) กับปริมาณแอฟลาทอกซิน B_1 ทั้งก่อนและหลังอบแห้ง 1 เดือน ในการผึ่งแดดและเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้นที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ซม. ความสูงของเบดชั้นล่าง 20 ซม. และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 44.5 , 56.0 , 81.9 , 87.4 และ 102 กก./ชม. ตามลำดับ 95

6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเบดชั้นล่าง (ซม.) กับความชื้นข้าวโพดหลังอบแห้ง (%, นน.เปียก) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ซม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 37.5 , 51.9 , 66.2 , 78.2 และ 84.6 กก./ชม. ตามลำดับ 96

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเบดชั้นล่าง (ซม.) กับประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องอบแห้ง (%) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ซม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 37.5 , 51.9 , 66.2 , 78.2 และ 84.6 กก./ชม. ตามลำดับ 97

6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเบดชั้นล่าง (ซม.) กับค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวโพดแบบการผึ่งแดด และเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น (บาท/กก.) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ซม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 37.5 , 51.9 , 66.2 , 78.2 และ 84.6 กก./ชม. ตามลำดับ . 98

6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเบดชั้นล่าง (ซม.) กับปริมาณแอฟลาทอกซิน B_1 ทั้งก่อนและหลังอบแห้ง 1 เดือน ในการผึ่งแดดและเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น (ppb) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ซม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 37.5, 66.2 และ 84.2 กก./ชม. ตามลำดับ 99

6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเบดชั้นล่าง (ซม.) กับความชื้นข้าวโพดหลังอบแห้ง (%, นน.เปียก) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 18 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ซม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 44.7 , 68.6 , 86.9 , 104.0 และ 111.4 กก./ชม. ตามลำดับ 100

6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเบดชั้นล่าง (ซม.) กับประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องอบแห้ง (%) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 18.6 ความสูงของเบดชั้นล่าง 5.5 ซม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดขาเข้า 44.7 , 68.6 , 86.9 , 104.0 และ 111.4 กก./ชม. ตามลำดับ 101

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเบดชั้นล่าง (ซม.) กับค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวโพดแบบการผิ่งแดด และเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น (บาท/กก.) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 17.9 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ซม. และอัตราการป้อนข้าวโพดขาเข้า 44.7 , 68.6 , 86.9 , 104.0 และ 111.4 กก./ชม. ตามลำดับ 102

สัญญลักษณ์

A = พื้นที่ที่ใช้อบแห้งหรือพื้นที่ที่วัดความเร็วอากาศ, ม.^{2}

A_1 = พื้นที่หน้าตัดของท่อ, ม.^{2}

A_2 = พื้นที่หน้าตัดบริเวณที่เบดสัมผัสกับอากาศร้อน, ม.^{2}

B_1 = ความสูงของเบดชั้นบน, ซม.

C_p = ความจุความร้อนของสาร, กิโลแคลอรี/กก.°ซ

C_{pm} = ความจุความร้อนเฉลี่ยของสาร, กิโลแคลอรี/กิโลกรัมโมล.°ซ

D_v = การแพร่ของไอน้ำ, ม.^{2}/ซม.

f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศ, กิโลแคลอรี/ซม.ม.^{2}°ซ

f_v = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำกับอากาศ, กก./ซม.ม.^{2}กก./ซม.^{2}

ΔH = เอนทาลปี, กิโลแคลอรี/ซม.

h_{fg} = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ t_s, กิโลแคลอรี/กก.

i = ปริมาณกระแสไฟฟ้า, แอมแปร์

M = ปริมาณความชื้นใด ๆ, % (นน.เปียก)

M_e = ปริมาณความชื้นสมดุล, % (นน.เปียก)

M_f = ปริมาณความชื้นหลังอบแห้ง, % (นน.เปียก)

M_s = ปริมาณความชื้นที่ผิววัสดุ, % (นน.เปียก)

M_i = ปริมาณความชื้นก่อนอบแห้ง, % (นน.เปียก)

n = ปริมาณอากาศ, กิโลกรัมโมล/ซม. หรือ กก./ซม.

P = ความดันบรรยากาศ, บาร์

p_a = ความดันไอน้ำในบรรยากาศ, กก./ซม.^{2}

p_s = ความดันไอน้ำของผิววัสดุที่อุณหภูมิ t_s, กก./ซม.^{2}

Q = ปริมาณน้ำ, กก.

q = อัตราการไหลของอากาศ, ม.^{3}/ซม.

R = ค่าคงที่ก๊าซ, บาร์ ม.^{3}/กิโลกรัมโมลอากาศชื้น เคลวิน

สัญญลักษณ์ (ต่อ)

S = พื้นที่เหนี่ยวนำ, ม./ชม.

T_i = อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า, °ซ

T_o = อุณหภูมิอากาศร้อนขาออก, °ซ

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิ, °ซ

t_a = อุณหภูมิอากาศ, °ซ

t_s = อุณหภูมิผิววัสดุ, °ซ

u = ความเร็วอากาศ, ม./ชม.

u_2 = ความเร็วของอากาศบริเวณที่เบดสัมผัสกับอากาศ, ม./ชม.

V = ปริมาตรอากาศ, $ม.^3$/ชม.

v = ความต่างศักย์, โวลท์ (จูล/วินาที แอมแปร์)

w_d = นน.น้ำ/นน.วัสดุแห้ง

w_w = นน.น้ำ/นน.วัสดุเปียก

w = ปริมาณไอน้ำที่ระเหยออกจากข้าวโพด, กก./ชม.

x = รัศมีของวัสดุ, ซม.

y = ปริมาณก๊าซออกซิเจน, กิโลกรัมโมล/ชม.

z = ปริมาณสารตัวอย่าง, ppb

$\frac{dw}{d\theta}$ = อัตราการอบแห้ง, กก./ชม.

γ = ความหนาแน่นของวัสดุ, $กก./ม.^3$

θ = เวลา, ชม.