

การประเมินคุณค่าทางโภชนาและการใช้ประโยชน์ข้าวโพดไร่สีม่วง
ในอาหารนกกระทาญี่ปุ่นและไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิต
และคุณภาพไข่

นางพรรณระพี อำนวยสิทธิ

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-533-405-7

**NUTRIENT EVALUATION AND UTILIZATION OF
PURPLE FIELD CORN IN JAPANESE QUAIL AND
LAYER DIETS ON PERFORMANCE AND
EGG QUALITY**

Mrs. Phunrapee Amnueysit

**A Thesis Submitted in Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Doctor of Philosophy in Animal Production Technology**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2004

ISBN 974-533-405-7

การประเมินคุณค่าทางโภชนาและการใช้ประโยชน์ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
หลักสูตรปริญญาคุณวุฒิปันธิต

อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำหรับการศึกษาตาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

[Signature]

(ผศ. น.สพ. ดร.บัญญัติ ลิขิตเคชาโรจน์)

ประธานกรรมการ

ฐานกรรมการ

(รศ. ดร.วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

Mar 02

(รศ. ดร.กนกอร อินทราพิเชฐ)

กรรมการ



(พศ. คร.เสกสม อาตมางกูร)

กรรมการ

John Brown

(อ.ดร.ปราโมทย์ แพงคำ)

กรรมการ

น.ท.ดร.ธราวุฒิ สุ

(รศ. น.ท. ดร.สราวุฒิ สุจิตจร)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

And then

(ผศ. ดร.สุเวทย์ นิงสานนท์)

คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

พรรณระพี อำนวยสิทธิ : การประเมินคุณค่าทางโภชนาและการใช้ประโยชน์ข้าวโพดไร่
สีม่วงในอาหารนกกระทาญี่ปุ่นและไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่
(NUTRIENT EVALUATION AND UTILIZATION OF PURPLE FIELD
CORN IN JAPANESE QUAIL AND LAYER DIETS ON PERFORMANCE
AND EGG QUALITY.) อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร.วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ, 130 หน้า.
ISBN 974-533-405-7

งานวิจัยนี้มี 3 การทดลอง แต่ละการทดลองใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงที่พัฒนาสายพันธุ์จาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตพิษณุโลก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การทดลองที่ 1 เป็นการประเมินคุณค่าทางโภชนาของเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง ผลการ
วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี แป้งชนิด amylose และ amylopectin ปรากฏว่ามีส่วนประกอบ
ทางเคมีใกล้เคียงกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองคือเปอร์เซ็นต์โปรตีนรวม ไขมันรวม เยื่อใยรวม และเถ้า
เท่ากับ 7.99, 2.48, 1.70 และ 1.14 ตามลำดับ ปริมาณ amylose และ amylopectin เท่ากับ 21.28
และ 78.72 เปอร์เซ็นต์ ค่าพลังงานทั้งหมด (gross energy, GE) ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ
(apparent metabolizable energy, AME) ค่าทางชีวภาพของโปรตีน (biological value, BV)
และค่าการใช้ประโยชน์ของโปรตีนสุทธิ (net protein utilization, NPU) ของข้าวโพดไร่สีม่วง
ในไก่ไข่เท่ากับ 4,010 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม $3,313 \pm 77.61$ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม 77.46 และ
56.38 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนการศึกษาระดับอะฟลาทอกซิน B₁ ในเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง
กับข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง หลังการเก็บรักษาระยะเวลา 90 วัน โดยวิธี ELISA Test ผลปรากฏว่า
ระดับอะฟลาทอกซิน B₁ ที่พบในเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทาง
สถิติ ($P > 0.05$) กับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองที่เก็บรักษาทั้งฝักและกะเทาะเมล็ด

การทดลองที่ 2 มี 2 การทดลองย่อยคือ การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารนกกระทาญี่ปุ่น
เพศผู้ แบ่งเป็น 3 กลุ่มคือกลุ่มที่ใช้ข้าวโพดไร่สีม่วง กลุ่มที่ใช้ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง และกลุ่มที่ใช้
ปลายข้าว ผลปรากฏว่าอัตราการเติบโตสะสม ปริมาณอาหารที่กินสะสม ประสิทธิภาพการใช้
อาหาร และคุณภาพซากของนกกระทาที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ
ทางสถิติ ($P > 0.05$) กับนกกระทาที่ได้รับปลายข้าวและข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง การทดลองย่อยที่ 2
เป็นการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารนกกระทาญี่ปุ่นเพศเมียระยะไข่ แบ่งเป็น 4 กลุ่มคือ กลุ่มที่ใช้
ข้าวโพดไร่สีม่วง กลุ่มที่ใช้ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง กลุ่มที่ใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงผสมกับข้าวโพดเมล็ด
สีเหลืองอัตราส่วน 1:1 และกลุ่มที่ได้รับปลายข้าว ผลปรากฏว่าผลผลิตไข่ ปริมาณอาหารที่กิน
ปริมาณอาหารที่กินต่อไข่ 1 โหล ต้นทุนการผลิตไข่ 1 โหล น้ำหนักไข่ ความสูงไข่ขาวและความ
หนาเปลือกไข่ของนกกระทาที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

($P>0.05$) กับนกกระทาที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองอัตราส่วน 1:1 ข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองและปลายข้าวในสูตรอาหาร สำหรับค่าสีไข่แดงปรากฏว่านกกระทาที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง ข้าวโพดไร่สีม่วงกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองอัตราส่วน 1:1 และข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองมีค่าสีไข่แดงมากกว่านกกระทาที่ได้รับปลายข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$)

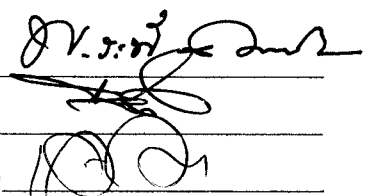
การทดลองที่ 3 เป็นการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นแหล่งพลังงาน ข้าวโพดไร่สีม่วงระดับ 20, 30 ,40 เปอร์เซ็นต์และข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองในอาหารไก่ไข่พันธุ์การคำ ผลปรากฏว่า ผลผลิตไข่ ปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณอาหารที่กินต่อการผลิตไข่ 1 โหล ต้นทุนอาหารที่ใช้ในการผลิตไข่ 1 ฟอง ต้นทุนอาหารที่ใช้ในการผลิตไข่ 1 โหล น้ำหนักไข่ ค่าชอกยูนิต ความถ่วงจำเพาะ ความสูงไข่ขาว ความหนาเปลือกไข่และค่าสีไข่แดงของไข่ไก่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงทุกกลุ่ม มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับไข่ไก่ที่ได้รับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองในสูตรอาหาร

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์
ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____



PHUNRAPEE AMNUEYSIT : NUTRIENT EVALUATION AND
UTILIZATION OF PURPLE FIELD CORN IN JAPANESE QUAIL AND
LAYER DIETS ON PERFORMANCE AND EGG QUALITY.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. WISITIPORN SUKSOMBAT. Ph.D.
130 PP. ISBN 974-533-405-7

PURPLE FIELD CORN/NUTRIENT EVALUATION/JAPANESE QUAIL/
LAYING HEN/EGG PRODUCTION/EGG QUALITY

A study was divided into 3 experiments. The purple field corn (*Zea mays* L.) were developed by Rajamangala Lanna University of Technology, Pitsanuloke campus. In experiment 1, To determine the nutritive contents of purple field corn (PFC), proximate analysis data shown that the percentage of crude protein, crude fat, crude fiber, and ash were 7.99, 2.48, 1.70, and 1.14, respectively. The amylose and amylopectin in PFC grain were 22.28 and 78.72 percent, respectively. The gross energy of PFC determining by bomb calorimeter was 4,010 kcal/kg. The AME values, percentage of biological value (BV) and net protein utilization (NPU) for laying hen were $3,313 \pm 77.61$ kcal/kg., 77.46 and 56.38, respectively. The study of aflatoxin B₁ on PFC and yellow corn grain were divided in four groups, hulled and grain of PFC and yellow corn. They were stored at ambient temperature in 90 days during February and May 2004. No significant difference ($P > 0.05$) was observed between aflatoxin B₁ product of PFC and yellow corn by ELISA Test.

Two feeding trials, in experiment 2, were conducted to determine the uses of

PFC in Japanese quail (*Coturnix japonica*) diets. In trial 1, 3-wk-old Japanese male quails were randomly divided into three groups, PFC, yellow corn and broken rice. In trial 2, 50-day-old Japanese female quails were allotted to four dietary treatments. The four diets were PFC, 1:1 replacement with yellow corn, yellow corn and broken rice. It was not significantly different ($P>0.05$). The PFC feeding did not exert any effect on male quails productive performances and carcass quality. The second trail, laying performances, such as egg production, egg quality and feed cost per dozen eggs were not significantly different ($P>0.05$), including color parameter of yolk (Rhoche color fan score). The PFC and yellow corn feeding were significantly higher in Rhoche color fan score than the broken rice diet ($P<0.01$).

In experiment 3, The four dietary treatments, 20, 30, 40 percentage of PFC and PFC, as basal feed, were compared with yellow corn in laying hen diets on productive performance and egg quality. The laying performance was no significant differences ($P>0.05$) among PFC and yellow corn such as laying rate, feed intake, feed per dozen, and feed cost per dozen. The result of egg quality in all groups of laying hen were not significant difference ($P>0.05$) for eggshell thickness, albumen height, specific gravity, haugh units and yolk colour.

School of Animal Production Technology
Academic Year 2004

Student's Signature P. rapa Omnueyjit
Advisor's Signature W. Saksat
Co-advisor's Signature Sekun Hanng

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร.วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ. ดร.เสกสม อาตมางกูร ผศ. ดร.นวลจันทร์ พารักยา กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.น.สพ. ดร.บัญญัติ ลิขิตเดชาโรจน์ ประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. ดร.กนกอร อินทราพิเชฐ และอาจารย์ ดร.ปราโมทย์ แพงคำ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และคณะกรรมการจากสำนักวิชา เทคโนโลยีการเกษตร 12 ท่านที่ให้คำแนะนำในการวิจัยตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จเรียบร้อยและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.อมรา ชินภูติ ที่กรุณาให้ความรู้การตรวจอะฟลาทอกซิน ด้วย DOA-Aflatoxin ELISA Test Kit น.สพ.วิทยา ชำนาญพุด ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาการสัตวแพทย์ภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สพ.ญ.จันทร์เพ็ญ ชำนาญพุด ขอบคุณ คุณสุวรรณี ดันดิรัตน์วงศ์ ที่อนุเคราะห์ให้เครื่อง Micro ELISA Reader ขอขอบคุณ คุณกรณิการ์ แสงทอง ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก ดร.ณัฐชนก อมรเทวภัทร และคุณผกามาศ เหลียวรัมย์ คณะอุตสาหกรรมและการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่แนะนำการตรวจ amylose คุณจิตรและคุณบรรเจิด จันตะสา ที่อนุเคราะห์ไปทดลอง ดร.ทินกร ทาตระกูล คุณพิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ คุณวรงค์ วีระนาคินทร์ และคุณณัฐธิกา สุวรรณาศรัย ที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

กราบขอบพระคุณ คุณพ่อเมฆ-คุณแม่กัลยา สุขจิวัฒนา ผศ. ดร.คมสัน อำนวนสิทธิ์ ขอบใจ ลูกเคียงชน และลูกปางอุบล อำนวนสิทธิ์ ที่รัก ให้กำลังใจ อดทนและรอคอยแม่ตลอด 5 ปี ตั้งแต่ลูกยังเรียนที่โรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัยและโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย จนลูกจบการศึกษาระดับมัธยมปลายและมัธยมต้น

แม้ระยะเวลาจะห่างกัน 20 ปีหลังจากจบการศึกษาระดับวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตในปี พ.ศ. 2528 จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ความจริงที่พบเห็นวิทยานิพนธ์คือ ในความหวังที่รีบหรี้อย่างมีความสำเร็จรออยู่แต่เช้าและทรมาน ในความอดทนแม้จะเป็นศิลปะแบบหนึ่งของการดำรงชีวิต แต่ความจริงที่พบคือ ศิลปะในการดำรงชีวิตจำเป็นต้องใช้ความอดทนอย่างสูง ท้ายที่สุดแม้วันเวลาจะเปลี่ยนไปแต่ความดีและคนดี ๆ ไม่เคยสูญหายเพียงแค่เปลี่ยนหน้าตาและคงรักษาความดีไว้อย่างเหนียวแน่นตลอดไป

พรรณระพี อำนวนสิทธิ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 สารพิษอะฟลาทอกซิน	4
2.1.1 ชนิดของสารพิษอะฟลาทอกซิน	5
2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซิน	6
2.1.3 พิษของสารอะฟลาทอกซินในสัตว์ปีก	6
2.1.4 การเปลี่ยนแปลงของสารพิษอะฟลาทอกซินในสัตว์	7
2.1.5 กลไกการลดพิษสารพิษอะฟลาทอกซินที่ตับของสัตว์	8
2.1.6 การป้องกันการปนเปื้อนเชื้อราและสารพิษอะฟลาทอกซิน ในวัตถุดิบอาหารสัตว์.....	9
2.2 การตรวจหาระดับสารอะฟลาทอกซินในผลิตภัณฑ์เกษตร.....	10
2.2.1 วิธีการตรวจหาสารพิษอะฟลาทอกซิน	10
2.2.2 การตรวจสอบสารอะฟลาทอกซินโดยวิธี ELISA Test	11
2.2.3 การกำหนดค่าของสารพิษอะฟลาทอกซินในข้าวโพด.....	11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3	แอนโทไซยานิน (Anthocyanins).....	11
2.3.1	โครงสร้างของแอนโทไซยานิน.....	12
2.3.2	ขบวนการชีวสังเคราะห์สารแอนโทไซยานิน.....	15
2.3.3	คุณสมบัติบางประการของแอนโทไซยานิน.....	16
2.3.4	บทบาทที่สำคัญของแอนโทไซยานิน.....	18
2.3.5	ความปลอดภัยของแอนโทไซยานินจากธรรมชาติ.....	19
2.4	ข้าวโพดสีม่วง.....	20
2.4.1.	ข้าวโพดไร่สีม่วง (purple field corn).....	20
2.4.2	ข้าวโพดสีม่วง (purple corn).....	22
2.4.3	แอนโทไซยานินในข้าวโพดสีม่วง.....	22
2.4.4	ขบวนการชีวสังเคราะห์แอนโทไซยานินในข้าวโพดสีม่วง.....	23
2.5	การสังเคราะห์แป้ง amylose และ amylopectin ในข้าวโพด.....	26
2.5.1	แป้งในเมล็ดข้าวโพด.....	27
2.5.2	การสังเคราะห์ amylose ในข้าวโพด.....	29
2.5.3	การสังเคราะห์ amylopectin ในข้าวโพด.....	30
2.5.4	การสังเคราะห์ amylose และ amylopectin ที่ผิดปกติ ในข้าวโพด.....	31
2.5.5	การสังเคราะห์ amylose และ amylopectin ในข้าวโพดสีม่วง.....	31
2.6	รายการอ้างอิง.....	32
3	การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของข้าวโพดไร่สีม่วง.....	42
3.1	วัตถุประสงค์.....	42
3.2	วิธีการวิจัย.....	42
3.2.1	การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของข้าวโพดไร่สีม่วง.....	43
3.2.2	การวิเคราะห์หาแป้ง amylose และ amylopectin ของ ข้าวโพดไร่สีม่วง.....	43
3.2.3	การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของ ข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่.....	43

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.4	การหาค่าโปรตีนสุทธิ และค่าทางชีวภาพของโปรตีนของ ข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่.....	45
3.2.5	การศึกษาระดับสารพิษอะฟลาทอกซิน B ₁ บนเมล็ด ข้าวโพดไร่สีม่วง.....	46
3.3	ผลการทดลองที่ 1.....	47
3.3.2	ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์แป้ง amylose และ amylopectin ของข้าวโพดไร่สีม่วง.....	48
3.3.3	การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของ ข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่.....	49
3.3.4	การประเมินค่าโปรตีนของข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่.....	49
3.3.5	การศึกษาระดับสารพิษอะฟลาทอกซิน B ₁ บน เมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง.....	51
3.4	วิจารณ์.....	54
3.5	สรุปผลการทดลอง.....	61
3.6	รายการอ้างอิง.....	61
4	การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารนกกระทาญี่ปุ่น.....	70
4.1	วัตถุประสงค์.....	71
4.2	วิธีการวิจัย.....	72
4.2.1	การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานใน อาหารนกกระทาเพศผู้.....	72
4.2.2	การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารนกกระทาญี่ปุ่นเพศเมีย.....	72
4.3	ผลการทดลอง.....	76
4.3.1	ผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารนกกระทาญี่ปุ่นเพศผู้ ต่อสมรรถภาพการผลิต.....	76
4.3.2	ผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารนกกระทาญี่ปุ่นเพศผู้ ต่อคุณภาพซาก	77

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.3	ผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ ในนกกกระทุงญี่ปุ่นระยะไข่	77
4.3.4	ผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงต่อคุณภาพไข่ในนกกกระทุงญี่ปุ่น ระยะไข่.....	79
4.4	วิจารณ์.....	80
4.5	สรุปผลการทดลอง.....	81
4.6	รายการอ้างอิง.....	82
5	การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารไก่ไข่.....	84
5.1	วัตถุประสงค์.....	84
5.2	วิธีการวิจัย	85
5.3	ผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่.....	87
5.3.1	ผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารไก่ไข่ต่อผลผลิตไข่.....	87
5.3.2	ผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารไก่ไข่ต่อปริมาณอาหารที่กิน.....	89
5.3.3	ผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารไก่ไข่ต่อต้นทุนการผลิตไข่.....	90
5.3.4	ผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพไข่.....	91
5.4	วิจารณ์.....	92
5.5	สรุปผลการทดลอง.....	95
5.6	รายการอ้างอิง.....	95
6	สรุปผลการทดลอง.....	98
ภาคผนวก		100
ภาคผนวก ก		101-108
-	การวิเคราะห์ปริมาณ amylose.....	101
-	การตรวจสอบสารอะฟลาทอกซิน B ₁	105
ภาคผนวก ข	แสดงข้อมูลและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	109-129
ประวัติผู้เขียน		130

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	สารประกอบที่สำคัญในกลุ่ม flavonoids ที่พบในพืชทั่วไป.....12
2.2	ความสัมพันธ์ของค่า pH กับระดับสีของแอนโทไซยานินที่ ความยาวคลื่นสูงสุด.....17
2.3	ยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอนไซม์ในขบวนการชีวสังเคราะห์ แอนโทไซยานินในข้าวโพด, arabidopsis และข้าวบาร์เลย์.....23
2.4	แอนโทไซยานินที่พบในส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพด.....24
2.5	แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของเมล็ดข้าวโพดปกติ (normal corn).....26
3.1	สูตรอาหารที่ใช้ทดลองในการทดลองที่ 1.....44
3.2	ส่วนประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงที่ปรับปรุงพันธุ์โดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตพิษณุโลก ปีเพาะปลูก พ.ศ.2545.....48
3.3	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์แป้ง amylose และ amylopectin ของ เมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงและเมล็ดข้าวโพดสีเหลือง.....49
3.4	ค่าเฉลี่ยของพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏ (AME) ของข้าวโพดไร่สีม่วง จากปีเพาะปลูก พ.ศ. 2545 ในไก่ไข่.....50
3.5	การประเมินคุณภาพของโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่ ปีเพาะปลูก พ.ศ. 2545.....50
3.6	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ณ โรงเก็บเมล็ด แผนกพืชไร่-นา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตพิษณุโลก.....51
3.7	ค่าเฉลี่ยของสารพิษอะฟลาทอกซิน B ₁ ในเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงและ เมล็ดข้าวโพดสีเหลืองด้วยวิธี ELISA Test หลังการเก็บรักษา 90 วัน.....52
3.8	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การตรวจพบสารอะฟลาทอกซิน B ₁ ใน เมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงและเมล็ดข้าวโพดสีเหลืองด้วยวิธี ELISA Test หลังการเก็บรักษา 90 วัน.....53

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.1	สูตรอาหารที่ใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในนกกะทาคูญีปุ่นเพศผู้74
4.2	สูตรอาหารที่ใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในนกกะทาคูญีปุ่นเพศเมียระยะไข่.....75
4.3	ค่าเฉลี่ยของสมรรถภาพการผลิตในนกกะทาคูญีปุ่นเพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง ในสูตรอาหาร.....76
4.4	ค่าเฉลี่ยคุณภาพซากของนกกะทาคูญีปุ่นเพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง ในสูตรอาหาร.....77
4.5	ค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการผลิตไข่ของนกกะทาคูญีปุ่นเพศเมียระยะไข่ที่ได้รับ ข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร.....78
4.6	ค่าเฉลี่ยของคุณภาพไข่ของนกกะทาคูญีปุ่นระยะไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง ในสูตรอาหาร.....79
5.1	สูตรอาหารไก่ไข่ทดลองที่ใช้ข้าวโพดไร่สีม่วง86
5.2	ค่าเฉลี่ยผลผลิตไข่ของไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร ระดับต่าง ๆ ระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2547.....87
5.3	ค่าเฉลี่ยผลผลิตไข่ของไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร ระดับต่าง ๆ ช่วงที่ 1 ถึงช่วงที่ 5 ระหว่างเดือนมีนาคมถึง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2547.....88
5.4	ค่าเฉลี่ยปริมาณอาหารที่กินของไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง ระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร.....89
5.5	ค่าเฉลี่ยปริมาณอาหารที่กิน และต้นทุนการผลิตไข่ของไก่ไข่ที่ได้รับ ข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร.....90
5.6	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักไข่ สอกยูนิตและความถ่วงจำเพาะของไข่ที่ได้รับ ข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารระดับต่าง ๆ91
5.7	ค่าเฉลี่ยความสูงไข่ขาว ความหนาเปลือกไข่และค่าสีไข่แดงของ ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารระดับต่าง ๆ.....92

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
3.1ข ค่าอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เป็นเปอร์เซ็นต์ตลอด การทดลองระหว่างวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2547 ถึง 29 กุมภาพันธ์ 2547.....	109
3.2ข ค่าอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เป็นเปอร์เซ็นต์ตลอด การทดลองระหว่างวันที่ 1 มีนาคม 2547 ถึง 31 มีนาคม 2547.....	110
3.3ข ค่าอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เป็นเปอร์เซ็นต์ตลอด การทดลองระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2547 ถึง 30 เมษายน 2547.....	111
3.4ข ค่าอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เป็นเปอร์เซ็นต์ตลอด การทดลองระหว่างวันที่ 1 พฤษภาคม 2547 ถึงวันที่ 17 พฤษภาคม 2547.....	113
3.5ข ค่าสารพิษอะฟลาทอกซิน B ₁ ที่ตรวจวัดด้วยวิธี ELISA Test ช่วงการเก็บรักษา 90 วัน มีหน่วยเป็น ppb.....	114
3.6ข การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ GLM ค่าเฉลี่ยของระดับสารพิษ อะฟลาทอกซิน B ₁ ตลอดช่วงการเก็บรักษา 90 วันมีหน่วยเป็น ppb.....	117
3.7ข การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ GLM ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ การตรวจพบสารพิษอะฟลาทอกซิน B ₁ โดยวิธี ELISA Test ตลอดช่วงการเก็บรักษา 90 วัน.....	118
4.1ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของอัตราการเติบโตของนกกระทาญี่ปุ่นเพศผู้ ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารมีหน่วยเป็นกรัมต่อตัว.....	118
4.2ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณอาหารที่กินสะสมในนกกระทาญี่ปุ่น เพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารมีหน่วยเป็นกรัมต่อตัว.....	118
4.3ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณอาหารที่กินในนกกระทาญี่ปุ่นเพศผู้ ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารมีหน่วยเป็นกรัมต่อตัวต่อวัน.....	119
4.4ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของประสิทธิภาพการใช้อาหารในนกกระทาญี่ปุ่น เพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร.....	119
4.5ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ซากในนกกระทาเพศผู้ที่ได้รับ ข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร.....	119
4.6ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักอวัยวะภายในของนกกระทา เพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร.....	120

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
4.7ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักกึ่งของนกระทาญี่ปุ่น เพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร.....	120
4.8ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักหัวใจของนกระทาญี่ปุ่น เพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร.....	120
4.9ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้ออกของนกระทาญี่ปุ่น เพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร.....	121
4.10ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสะโพกและน่องของ นกระทาญี่ปุ่นเพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร.....	121
4.11ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ของนกระทาญี่ปุ่น ระยะไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร.....	121
4.12ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณอาหารที่กินของนกระทาญี่ปุ่นระยะ ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารมีหน่วยเป็นกรัมต่อตัวต่อวัน.....	122
4.13ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณอาหารที่กินต่อการผลิตไข่ 1 โหล ของ นกระทาญี่ปุ่นระยะไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารมีหน่วยเป็น กรัมต่อตัว.....	122
4.14ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของต้นทุนอาหารต่อการผลิตไข่ 1 โหล (บาท) ของนกระทาญี่ปุ่นระยะไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร.....	122
4.15ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของต้นทุนอาหารต่อการผลิตไข่ 100 ฟอง (บาท) ของนกระทาญี่ปุ่นระยะไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร.....	123
4.16ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของความสูงไข่ขาวของนกระทาญี่ปุ่นระยะไข่ที่ ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร.....	123
4.17ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของความหนาเปลือกไข่ของนกระทาญี่ปุ่น ระยะไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร.....	123
4.18ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของน้ำหนักไข่ของนกระทาญี่ปุ่นระยะไข่ที่ ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร.....	124
4.19ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าสีไข่แดงของนกระทาญี่ปุ่นระยะไข่ที่ ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร.....	124

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
5.1ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของผลผลิตไข่เป็นเปอร์เซ็นต์ในไก่ไข่ที่ได้รับ ข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ 5 ช่วงการทดลองในสูตรอาหาร.....	125
5.2ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของผลผลิตไข่เป็นเปอร์เซ็นต์ในไก่ไข่ที่ได้รับ ข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ 4 ช่วงการทดลองในสูตรอาหาร.....	125
5.3ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณอาหารที่กิน (กรัมต่อตัวต่อวัน) ใน ไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร.....	125
5.4ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณอาหารที่กินต่อการผลิตไข่ 1 ฟอง (กรัม) ในไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร.....	126
5.5ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณอาหารที่กินต่อการผลิตไข่ 1 โหล (กิโลกรัม) ในไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร.....	126
5.6ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของต้นทุนปริมาณอาหารที่กินต่อการผลิตไข่ 1 ฟอง (บาท)ในไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร.....	126
5.7ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของต้นทุนปริมาณอาหารที่กินต่อการผลิตไข่ 1 โหล (บาท) ในไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร.....	127
5.8ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของน้ำหนักไข่ (กรัม/ฟอง) ของไก่ไข่ที่ได้รับ ข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร.....	127
5.9ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของความถ่วงจำเพาะของไข่ที่ได้รับ ข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร.....	127
5.10ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของออกกยูนิตของไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง ระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร.....	128
5.11ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของความสูงไข่ขาว (มิลลิเมตร) ของไข่ที่ได้รับ ข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร.....	128
5.12ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของความหนาเปลือกไข่ (มิลลิเมตร) ของไข่ ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร.....	128
5.13ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าสีไข่แดงของไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง ระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร.....	129

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 อะฟลาทอกซินชนิด B ₁ และ G ₁ มีพันธะคู่ที่วงแหวนวงที่ 1 เหมือนกัน (ในวงกลม) และไม่พบ lactone group ที่วงแหวนวงที่ 5 ใน อะฟลาทอกซินชนิด B (กรอบสี่เหลี่ยม).....	5
2.2 อะฟลาทอกซินชนิด B ₁ ถูกเอนไซม์ในเซลล์ตับเปลี่ยนให้เป็น อะฟลาทอกซิน B ₁ - 8,9 อีพอกไซด์ซึ่งเป็นสารที่ไม่คงตัวสามารถ จับแน่นได้กับสารอื่น ๆ.....	8
2.3 โครงสร้างแอนโทไซยานินที่มีคาร์บอนอะตอมเรียงตัวเป็นระบบ C ₆ -C ₃ -C ₆ มีประจุบวกที่ C ₃ unit และกลุ่มน้ำตาลมักเกาะที่ตำแหน่ง 3-OH มากกว่า ที่ 5-OH หรือ 7-OH.....	13
2.4 โครงสร้างของแอนโทไซยานินมีกลุ่มน้ำตาลเกาะที่ตำแหน่ง 3-OH ถ้าแยกเอากลุ่มน้ำตาลออกจะได้โครงสร้างของแอนโทไซยานิดิน.....	14
2.5 ขบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน.....	15
2.6 การเปลี่ยนสีของแอนโทไซยานินตามการเปลี่ยนแปลงของ pH	17
2.7 ข้าวโพดไร่สีม่วงที่พัฒนาสายพันธุ์โดย ดร.คมสัน อำนวยสิทธิ และคณะ คณะพืชศาสตร์ แผนกพืชไร่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก.....	21
2.8 cyanidin glucoside และ pelargonidin glucoside ในข้าวโพด	24
2.9 ขบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานินทั่วไป (สีดำ) ที่ข้าวโพดเหมือนกับองุ่น (สีแดง) หรือข้าวโพดเหมือนกับ arabidopsis (สีน้ำเงิน) หรือข้าวโพดเหมือนกับองุ่นและ arabidopsis (สีเขียว)	25
2.10 ส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วนของเมล็ดข้าวโพดคือ pericarp, endosperm, germ และ tip cap	27
2.11 โครงสร้าง amylose ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสเกาะกันด้วยพันธะ α -D-1,4.....	28
2.12 โครงสร้างที่เป็นแขนงของ amylopectin เกาะกันด้วยพันธะ α -D-1,6.....	28
2.13 โครงสร้าง amylopectin ที่ประกอบด้วยส่วน crystalline และ amorphous.....	30

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่

หน้า

5.1	ค่าเฉลี่ยของผลผลิตไข่ของไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงใน สูตรอาหาร 5 ช่วงการทดลอง ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2547 ถึง เดือนกรกฎาคม 2547.....	88
-----	---	----

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ ทั่วไป โดยเฉพาะอาหาร ไก่ไข่และไก่กระทาง เนื่องจากมีข้อเด่นกว่าวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดอื่น คือ มีรงควัตถุแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) ที่สามารถสะสมในไข่แดงและเนื้อไก่ได้ แต่ปัญหาที่พบจากการใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั่วโลก รวมทั้งในประเทศไทยและประเทศเขตร้อนคือการปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อราที่เจริญบนเมล็ดข้าวโพด เช่น *Aspergillus flavus* และ *Aspergillus parasiticus* โดยเชื้อรา *A. flavus* จะผลิตสารพิษ (mycotoxin) ที่เรียกว่าอะฟลาทอกซิน (aflatoxin) ก่อให้เกิดโรคในคนและสัตว์ที่ได้รับสารนี้ เชื้อรานี้เจริญได้ในโรงเก็บเป็น storage fungi ชนิดหนึ่ง และบนเมล็ดพืช เช่น ข้าวโพด ถั่วลิสง หรือถั่วเหลือง เป็นต้น ผลกระทบทางอ้อมจากการใช้ข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ที่ปนเปื้อน *A. flavus* และพิษของอะฟลาทอกซิน โดยเฉพาะอะฟลาทอกซิน B₁ กล่าวคือสารนี้เป็นสารก่อมะเร็งและสารก่อการกลายพันธุ์ในคนและสัตว์ได้ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพและความเสี่ยงอันตรายของผู้บริโภค ผลต่อสถานะเศรษฐกิจและการค้าระหว่างประเทศ ผลต่อสถานะสังคมและคุณภาพชีวิต

การป้องกันและกำจัดเชื้อรา *A. flavus* บนเมล็ดพืชยังไม่สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ก็มีการศึกษาหลายด้าน เช่น การปรับปรุงพันธุ์พืชให้ต้านทานการเข้าทำลายของเชื้อรา *A. flavus* การใช้สารดูดซับพิษจากเชื้อราที่ปนเปื้อนในอาหารสัตว์ การใช้สารเคมีลดพิษ หรือปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีทางชีวภาพเกี่ยวกับการตัดต่อยีนเข้ามาใช้ในการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดให้ต้านทานต่อการเจริญของเชื้อรา *A. flavus* โดยมุ่งไปที่ยีนควบคุมการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน (anthocyanin) เนื่องจากมีรายงานการทดลองหลายฉบับที่ได้ผลสอดคล้องกันถึงคุณสมบัติประการหนึ่งของแอนโทไซยานินว่ามีคุณสมบัติในการต้านทานเชื้อรา โดยเฉพาะงานวิจัยของ Georgia, Windham and Williams (1998) ที่รายงานว่าระหว่างขบวนการชีวเคมีของแอนโทไซยานินในข้าวโพดสีม่วงจะทำให้การเติบโตของ *A. flavus* ลดลงและ/หรือทำให้ระดับของสารพิษอะฟลาทอกซินลดลงด้วย

ข้าวโพดสีม่วงเป็นธัญพืชในกลุ่มข้าวโพด ที่มียีนควบคุมการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน

(anthocyanin) ตามธรรมชาติอยู่แล้ว โดยเมล็ดข้าวโพดเหล่านี้จะมีสีแดงหรือสีม่วง (purple pigmented grains) ที่เกิดการผ่าเหล่า (mutation) บริเวณชั้นเยื่อหุ้มเอนโดสเปิร์ม หรือ aleurone layer ซึ่งปกติจะเป็นสีเหลือง (the wild-type yellow coloration) ถ้าแอนโทไซยานินมีคุณสมบัติในการต้านทานการเจริญของเชื้อรา *A. flavus* จริง ข้าวโพดสีม่วงน่าจะมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ เพื่อความปลอดภัยของเนื้อและผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่ต้องนำมาใช้บริโภค

แต่เนื่องจากไม่เคยมีการนำข้าวโพดไร่สีม่วงมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ในประเทศไทยมาก่อน และไม่เคยมีการปลูกข้าวโพดอาหารสัตว์ที่มีเมล็ดสีม่วงเพื่อการค้ามาก่อน ดังนั้นการศึกษากครั้งนี้ จึงเป็นการประเมินคุณค่าทางโภชนาและการใช้ประโยชน์ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารนกกระทาญี่ปุ่น และไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาส่วนประกอบทางเคมีและแป้ง amylose ของเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง
2. เพื่อศึกษาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ (apparent metabolizable energy, AME) ค่าทางชีวภาพ (biological value, BV) ค่าการใช้ประโยชน์ของโปรตีนสุทธิ (net protein utilization, NPU) ของข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่ และการศึกษาระดับอะฟลาทอกซินบนเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง
3. เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ของข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารนกกระทาญี่ปุ่นต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพซาก และคุณภาพของไข่
4. เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ของข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ และคุณภาพของไข่

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1. ข้าวโพดไร่เมล็ดสีม่วงมีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าทางชีวภาพ ตลอดจนค่าการใช้ประโยชน์ของโปรตีนสุทธิเหมือนข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง
2. ข้าวโพดไร่เมล็ดสีม่วงสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารนกกระทาญี่ปุ่นและไก่ไข่ได้

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มี 4 งานทดลอง คือ

การทดลองที่ 1 : การประเมินคุณค่าทางโภชนาของเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง

การทดลองที่ 2 : การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารนกกระทาญี่ปุ่นต่อสมรรถภาพ

การผลิต คุณภาพซาก ผลผลิตไข่และคุณภาพไข่

การทดลองที่ 3 : การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตไข่และ
คุณภาพไข่

รายละเอียดอยู่ในบทที่ 3 ถึงบทที่ 5 บทที่ 6 เป็นบทสรุป ส่วนสุดท้ายเป็นส่วนภาคผนวก โดยงานวิจัยในนกกกระทาญี่ปุ่นเพศผู้ นกกกระทาญี่ปุ่นเพศเมียระยะไข่ และไก่ไข่อยู่ภายใต้สภาวะการเลี้ยงในฟาร์มสัตว์แบบโรงเรือนเปิด ข้าวโพดไร่สีม่วงที่ใช้มาจากแหล่งเดียวกันทั้งหมดคือจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก ทำการทดลอง ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบส่วนประกอบทางเคมีและเปอร์เซ็นต์แป้ง amylose ของเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง
2. ทราบค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าทางชีวภาพของโปรตีน ค่าการใช้ประโยชน์ของโปรตีนสุทธิของข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่และระดับอะฟลาทอกซินบนเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง
3. ทราบการใช้ประโยชน์ได้ของข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารนกกกระทาญี่ปุ่นทั้งเพศผู้และเพศเมียในระยะไข่ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพซาก และคุณภาพของไข่
4. ทราบการใช้ประโยชน์ได้ของข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ และคุณภาพของไข่

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานมีหลายชนิด เช่น ปลายข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง รำละเอียดหรือมันสำปะหลัง เป็นต้น แต่ข้าวโพด (corn or maize) จัดเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ของประเทศไทยชนิดหนึ่ง เนื่องจากใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานในอาหารสุกร ไก่เนื้อและไก่ไข่ที่สำคัญ โดยเมล็ดข้าวโพดมีรงควัตถุ (pigment) ตามธรรมชาติพวกคาโรทีนอยด์ (carotenoid) ที่ให้สีเหลืองในเนื้อและไข่ไก่ นอกจากนี้ยังเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ (Gross, 1987) ข้าวโพดมีชื่อสามัญว่า corn หรือ maize โดยคำว่า corn เป็นชื่อที่เรียกในประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งหมายถึงข้าวโพดเพียงอย่างเดียว แต่ในประเทศอังกฤษและประเทศในเครือจักรภพ คำว่า corn จะหมายถึงธัญพืชทั้งหมด ส่วนข้าวโพดจะใช้คำเฉพาะว่า maize

การใช้เมล็ดข้าวโพดเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ในประเทศไทยหรือประเทศเขตร้อนส่วนใหญ่ มักพบปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งคือมีการปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อราที่เจริญบนเมล็ดข้าวโพด โดยเฉพาะ *A. flavus* และ *A. parasiticus* โดยเชื้อราดังกล่าวสามารถผลิตสารพิษอะฟลาทอกซิน (aflatoxin) ซึ่งก่อให้เกิดโรคในคนและสัตว์ที่ได้รับสารพิษนี้ เชื้อรา *A. flavus* สามารถเจริญได้ในโรงเก็บ (storage fungi) และเมล็ดพืช โดยเฉพาะข้าวโพด ถั่วลิสง และถั่วเหลือง เป็นต้น

2.1 สารพิษอะฟลาทอกซิน

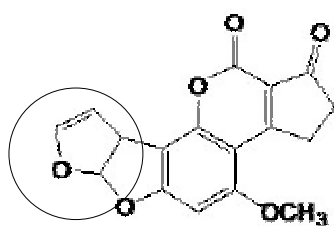
อะฟลาทอกซินเป็นสารพิษที่สร้างโดยเชื้อราสายพันธุ์แอสเปอร์จิลลัส (*Aspergillus*) พบการเกิดพิษในสัตว์ครั้งแรกที่ประเทศอังกฤษเมื่อปี ค.ศ. 1960 หรือ พ.ศ. 2503 จากการตายของไก่วงจํานวนกว่า 100,000 ตัว ครั้งนั้นเรียกโรคนีว่า Turkey X disease (Blount, 1961) ซึ่งมีสาเหตุมาจากกากถั่วลิสงที่ส่งมาจากประเทศบราซิล ซึ่งทราบภายหลังว่ากากถั่วลิสงดังกล่าวมีเชื้อรา *A. flavus* ปนเปื้อนจํานวนมาก จากการตรวจสอบทางเคมีพบว่าสารที่สกัดได้เมื่อนำไปเลี้ยงสัตว์ทดลองทำให้สัตว์ตาย จึงเรียกสารสกัดที่ได้ว่า Aflatoxin ซึ่งเกิดจากค่า 3 ค่ามารวมกัน คือ A-*Aspergillus*, fla-*flavus* และ toxin

นอกจากเชื้อราสายพันธุ์แอสเปอร์จิลลัสแล้ว ยังมีเชื้อราอีกหลายสายพันธุ์ที่สร้างสารพิษอะฟลาทอกซินได้ เช่น *A. niger*, *A. wentii*, *A. rubber*, *Penicillium citrucum*, *P. variable*,

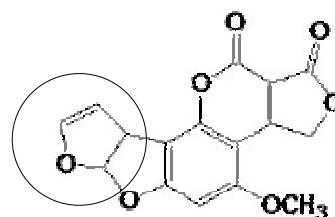
P. fruguentans และ *P. puberrulum* (Kulis and Holaday, 1966) *A. alliaceus*, *A. ostianus*, *A. melleus*, *A. petrakii*, *A. sulphureus* และ *A. sclerotiorum* (อรวรรณ, 2540)

2.1.1 ชนิดของสารอะฟลาทอกซิน

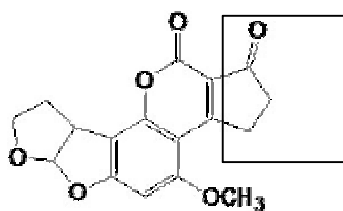
อะฟลาทอกซินเป็นสาร secondary metabolites ในกลุ่ม difrannocoumarin ประกอบด้วยอนุพันธ์ไดคูมาริน (dicoumarin) เกาะกับวงแหวนไดไฮโดรฟิวแรน (dihydrofuran) ซึ่งมีหลายชนิด ที่พบมากในธรรมชาติจะมี 4 ชนิดคือ อะฟลาทอกซิน B₁, B₂, G₁ และ G₂ (ภาพที่ 2.1) โดยอักษร B และ G ย่อมาจาก Blue และ Green ตามการเรืองสีภายใต้แสงอุลตราไวโอเลต สารพิษกลุ่มนี้พบอย่างน้อย 16 ชนิด แต่สารพิษที่มีความสำคัญและพบมากที่สุดคือ ชนิด B₁ นอกจากนี้จะพบสารพิษชนิด M₁, M₂, B_{2a}, และ G_{2a} ได้ โดยสารพิษ M₁ และ M₂ เกิดจากการที่สัตว์กินอาหารปนเปื้อนสารพิษ B₁ และ B₂ เข้าไป เมื่อสารพิษนี้เข้าสู่ระบบทางเดินอาหารจะถูกออกซิไดซ์และเปลี่ยนไปเป็นสารพิษ M₁ และ M₂ ตรวจพบได้ในน้ำนม ปัสสาวะหรือในมูลของสัตว์ (อนงค์, 2546)



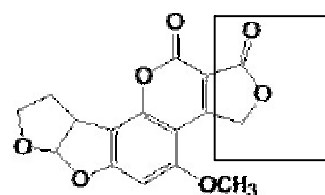
Aflatoxin B₁



Aflatoxin G₁



Aflatoxin B₂



Aflatoxin G₂

ภาพที่ 2.1 อะฟลาทอกซินชนิด B₁ และ G₁ มีพันธะคู่ที่วงแหวนวงที่ 1 เหมือนกัน (ในวงกลม) และไม่พบ lactone group ที่วงแหวนวงที่ 5 ในอะฟลาทอกซินชนิด B (กรอบสี่เหลี่ยม)

หมายเหตุ จาก www.uni-bayreuth.de/~mykotoxine.htm

สารพิษทั้ง 4 ชนิดมีโครงสร้างที่แตกต่างกันคือ สารพิษ B₁ และ G₁ มีพันธะคู่ (double bond) ที่วงแหวนวงที่ 1 ส่วนสารพิษ B₂ และ G₂ ไม่พบโครงสร้างดังกล่าว นอกจากนี้สารพิษชนิด B และ G จะแตกต่างกันคือสารพิษชนิด G มี lactone group ที่วงแหวนที่ 5 ส่วนสารพิษชนิด B จะไม่พบโครงสร้างดังกล่าว (Davis and Diener, 1983) การที่สารพิษชนิด B₁ มีพันธะคู่ที่วงแหวนที่ 1 และไม่มี lactone group ที่วงแหวนที่ 5 ทำให้ความเป็นพิษรุนแรงและเฉียบพลันในคนและสัตว์มากกว่าอะฟลาทอกซินชนิดอื่น ๆ

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างสารพิษอะฟลาทอกซิน

สารพิษอะฟลาทอกซินสร้างจากเชื้อราแอสเพอร์จิลลัสหลายสายพันธุ์ ที่เจริญบนเมล็ดพืชหรืออาหารต่าง ๆ ซึ่งมักจะเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่นำมาเป็นอาหารได้ทั้งของคนและสัตว์ โดยเชื้อราจะดูดซึมเอาสารอาหารเข้าภายในเซลล์เมื่อสภาวะเหมาะสมจะสร้างสารพิษขึ้นมาปนเปื้อนบนเมล็ดพืชนั้น ๆ ซึ่งเชื้อราแอสเพอร์จิลลัสสายพันธุ์ที่สร้างสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁, B₂, G₁ และ G₂ ได้มากกว่าแอสเพอร์จิลลัสสายพันธุ์อื่น คือ *A. flavus* และ *A. parasiticus* พบมากในถั่วลิสง ข้าวโพดและข้าวชนิดต่าง ๆ (อนงค์, 2546) โดยมีปัจจัยที่สำคัญได้แก่ธาตุอาหารที่มีในเมล็ดพืช ความชื้น อุณหภูมิ ระยะเวลาที่เหมาะสม ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เชื้อรา *A. flavus* เจริญได้ดีในอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 85 เปอร์เซ็นต์หรือเมล็ดพืชที่มีความชื้นมากกว่า 16 เปอร์เซ็นต์ในช่วงอุณหภูมิ 29-35 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิของประเทศไทยเหมาะแก่การสร้างสารนี้ในระยะเวลา 7-14 วันหลังเก็บเกี่ยว (ธีรยุทธ และชัยวัฒน์, 2524)

2.1.3 พิษของสารอะฟลาทอกซินในสัตว์ปีก

คนและสัตว์ที่ได้รับสารพิษอะฟลาทอกซินจะแสดงอาการแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสารพิษ ระดับของสารพิษที่ได้รับ ชนิด อายุ และสุขภาพของคนและสัตว์ ตลอดจนภาวะทางโภชนาการที่ได้รับทำให้อาการที่พบมีทั้งอาการรุนแรงและอาการแบบเรื้อรัง โดยสารพิษชนิด B₁ มีความรุนแรงมากกว่าชนิดอื่น ในคนที่ได้รับสารพิษนี้บ่อย ๆ จะเป็นโรคมะเร็งตับ (hepatic cancer) ซึ่งโรคที่รู้จักดีและมีสาเหตุมาจากสารพิษนี้คือ Indian childhood cirrhosis เป็นโรคที่เกิดกับเด็กเล็กอายุประมาณ 3 ปี พบในประเทศอินเดีย ปี พ.ศ. 2510 เด็กที่ได้รับสารพิษนี้จะตาย ส่วนโรคที่พบในประเทศไทย นิวซีแลนด์ อังกฤษ แอฟริกา เซเชลโลวเกีย และสหรัฐอเมริกา เรียกว่า Reye's syndrome พบในเด็กเล็กที่ได้รับอาหารปนเปื้อนสารพิษนี้ทำให้เด็กเสียชีวิตเช่นกัน (ธีรยุทธ และชัยวัฒน์, 2524)

อาการที่พบทั่วไปคือสัตว์จะแสดงอาการเบื่ออาหาร อัตราการเจริญเติบโตลดลง และ

สมรรถภาพการผลิตลดลง เช่น ในสัตว์ที่กำลังให้น้ำนมหรือผลิตไข่ พบว่าปริมาณน้ำนมและผลผลิตไข่ลดลงอย่างมาก ต่อมาจะพบอาการตัวซีดเหลืองและตายในที่สุด เมื่อผ่าซากจะพบตับซีดผิดปกติและมีจุดเลือดออกที่บริเวณลำไส้ (ศุภกิจ, 2526) การสังเกตความผิดปกติของไก่ที่ได้รับอาหารปนเปื้อนเชื้อราในเบื้องต้นคือ ไก่ไม่ค่อยกินอาหารเหมือนปกติอาจใช้เวลา 5-8 ชั่วโมงกว่าจะกินอาหารหมดหรือไม่กินอาหารนั้นเลยก็ได้ เมื่อให้อาหารครั้งต่อไปไก่จะจิกกินสองสามคำก็หยุดกิน อาการที่พบนี้จัดเป็นพฤติกรรมเฉพาะพฤติกรรมหนึ่งของไก่ที่ได้รับอาหารที่ปนเปื้อนเชื้อรา

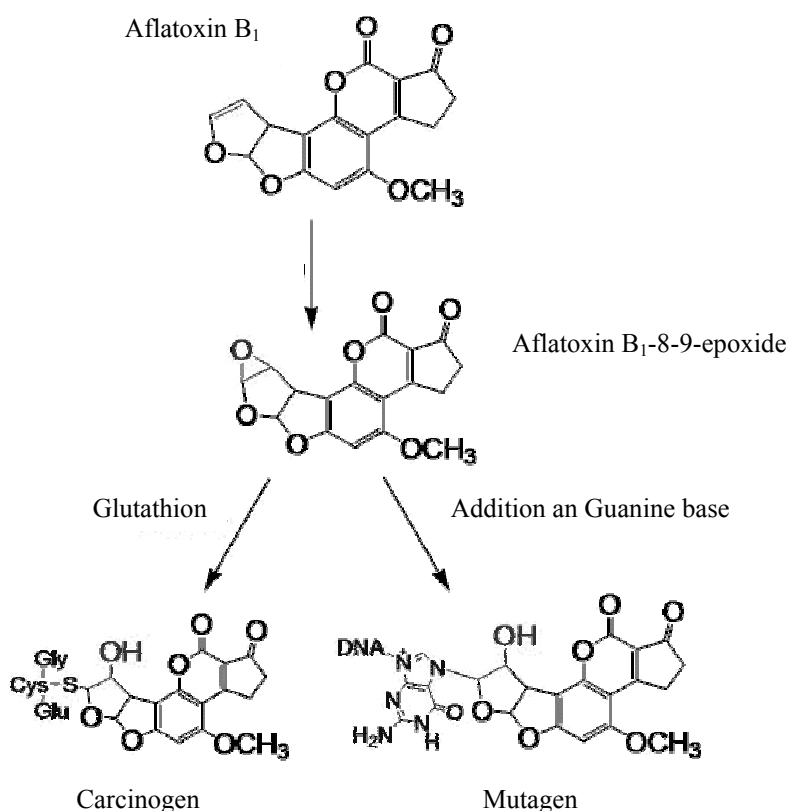
(Burditt, Hagler, Hutchins and Hamilton, 1983) ในระยะต่อมาไก่จะท้องเสีย ถ่ายเป็นของเหลวสีดำ ในไก่ที่เป็นเรื้อรังจะมีเศษมูลสีดำหรือเศษดินติดที่ขนบริเวณก้น อัตราการเติบโตหยุดชะงัก ทำให้กระดูกแกร็น เติบโตช้า ผลผลิตไข่ลดลง เนื่องจากตับถูกทำลายและถูกยับยั้งกลไกการสังเคราะห์โปรตีน (Wyatt, Manning, Pegram, and Marks, 2003) อาหารไม่ถูกดูดซึม มีอาการทางประสาท เกิดภาวะการชักกตุ้มก้นโรคลงและเกิดเซลล์มะเร็ง (van Egmond, 1993) โดยไก่จะทนต่อพิษของอะฟลาทอกซินได้มากกว่าสัตว์ปีกชนิดอื่น ส่วนลูกเป็ดจะต้านทานพิษได้ต่ำมากคือลูกเป็ดจะตาย 50 เปอร์เซ็นต์ของฝูงหรือมีค่า LD₅₀ เท่ากับ 0.33 ppm (part per million) ส่วนไก่ไข่และไก่พ่อแม่พันธุ์พบว่าผลผลิตไข่ลดลง ความแข็งแรงและความหนาของเปลือกไข่ลดลง คุณภาพไข่ต่ำลง พบจุดเลือดในไข่ ตัวอ่อนตายในไข่ฟัก และในที่สุดไก่จะตาย โดยระดับสารพิษอะฟลาทอกซินที่ทำให้ไก่ตาย 50 เปอร์เซ็นต์ของฝูงภายในเวลา 48 ชั่วโมงคือ 100 ppm สำหรับไก่กระตังหรือไก่พ่อแม่พันธุ์ที่ได้รับอาหารปนเปื้อนสารพิษนี้มาก กว่า 4 ppm จะพบอัตราการตายประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของฝูง (Shane, 1994)

Tung, Smith and Hamilton (1971) รายงานว่าสารพิษอะฟลาทอกซินอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดแผลฟกช้ำ (bruise) ที่กล้ามเนื้ออกของไก่ ในไก่ไข่สาวถ้าได้รับสารพิษนี้ระดับ 0.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน หรือระดับที่สูงกว่านี้จะทำให้ผลผลิตไข่ลดลงถ้าได้รับถึง 5.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวันจะทำให้ไก่หยุดไข่หลังได้รับสารพิษนี้ 3 วัน (Exarchos and Gentry, 1982) นอกจากนี้จะพบอาการตับโตเนื่องจากเกิดมะเร็ง มีไขมันสะสมมากในตับทำให้ตับมีสีเหลืองซีดหรือเป็นอาการเฉพาะของโรค fatty liver syndrome (FLS)

2.1.4 การเปลี่ยนแปลงของสารพิษอะฟลาทอกซินในสัตว์

เมื่อสารพิษอะฟลาทอกซินเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารจะถูกดูดซึมผ่านลำไส้เล็ก และรวมตัวกับอัลบูมิน (albumin) ในกระแสเลือด น้ำเหลือง น้ำหล่อเลี้ยงต่าง ๆ ตับ และอวัยวะอื่น ๆ จากนั้นจะเกิดการสะสมของสารพิษนี้ในอวัยวะนั้น ๆ ที่ตับจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสารพิษนี้ โดยมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง 2 กลุ่มคือเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสันดาปยาหรือสารพิษในไมโครโซมของตับ (hepatic microsomal drug metabolizing enzymes) และเอนไซม์พี 450 ในไมโครโซม

ของตับ (Bintvihok and Hayashi, 1991) เอนไซม์เหล่านี้จะช่วยให้เกิดการสันดาปเปลี่ยนแปลงสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ ไปเป็นอะฟลาทอกซิน B₁-8,9 อีพอกไซด์ (aflatoxin B₁-8,9 epoxide) สารนี้ไม่คงตัวสามารถเกาะกับสารอื่นได้แน่น (ภาพที่ 2.2) เช่น เกาะกับอาร์เอ็นเอ (RNA) ดีเอ็นเอ (DNA) หรือโปรตีน (Garner, 1973; Swenson, Miller and Miller, 1974; Kumagai, Bintvihok and Kono, 1995) การจับตัวอย่างแน่นนี้ทำให้เกิดมะเร็งในตับและมีความสัมพันธ์กับความไวต่อการเกิดพิษในสัตว์แต่ละชนิด (Ueno, Friendman, and Stone, 1980)



ภาพที่ 2.2 อะฟลาทอกซินชนิด B₁ ถูกเอนไซม์ในเซลล์ตับเปลี่ยนให้เป็น อะฟลาทอกซิน B₁ - 8,9 อีพอกไซด์ซึ่งเป็นสารที่ไม่คงตัวสามารถจับแน่นได้กับสารอื่น ๆ

หมายเหตุ ดัดแปลงจาก : www.uni-bayreuth.de/.../mykotoxine.htm

2.1.5 กลไกการลดพิษสารพิษอะฟลาทอกซินที่ตับของสัตว์

การสันดาปเป็นขบวนการหนึ่งของร่างกาย ที่ทำให้พิษของอะฟลาทอกซินชนิดต่าง ๆ ลดความรุนแรงลง (detoxification) เนื่องจากสารที่ได้จากการสันดาปคือ อะฟลาทอกซิน B₁ - 8,9 อีพอกไซด์ หรืออะฟลาทอกซิโคล (aflatoxicol) มีพิษน้อยกว่าอะฟลาทอกซิน B₁ โดย

Kumagai et.al (1995) ศึกษากระบวนการสันดาปของสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ ในตับลูกเป็ด เป็ดไข่ ไก่ไข่ ไก่กระทงเพศผู้ นกกระทาเพศผู้ นกกระทาไข่ หนูแรทเพศผู้ (rat) และหนูแฮมสเตอร์ เพศผู้ (hamster) โดยใช้อะฟลาทอกซิน B₁ ติดฉลากด้วยสารกัมมันตภาพรังสีชนิด ทริเทียม (3H-AFB1) และดีเอ็นเอจากต่อมไทมัสของลูกวัว เพื่อใช้ติดตามการเกิดและการยับยั้งปฏิกิริยาของ อะฟลาทอกซิน B₁ กับไมโครโซมหรือไซโตโซล (cytosol) ของตับในสัตว์ทดลองแต่ละชนิด พบ ว่าลูกเป็ดมีการจับตัวของอะฟลาทอกซิน B₁ กับดีเอ็นเอในไซโตโซลของเซลล์ตับได้มากกว่าไก่ไข่ เป็ดไข่และนกกระทา นอกจากนี้พบว่าลูกเป็ดมีการจับตัวของสารพิษกับดีเอ็นเอมากกว่าหนูแรทและ หนูแฮมสเตอร์ถึง 2 เท่า ส่วนการยับยั้งการจับตัวระหว่างสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ กับดีเอ็นเอ พบ ว่าหนูแฮมสเตอร์ ไก่ไข่ นกกระทาไข่ และไก่กระทงเพศผู้สามารถยับยั้งได้ 56, 50, 30 และ 20-30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับลูกเป็ดพบว่าการยับยั้งการรวมตัวดังกล่าวมีน้อยที่สุด โดยสัตว์ปีกจะ มีการยับยั้งการรวมตัวดังกล่าวในไมโครโซมได้ดีกว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม ในขณะที่สัตว์เลี้ยงลูก ด้วยน้ำนมมีการยับยั้งการรวมตัวดังกล่าวได้ดีในไซโตโซล

2.1.6 การป้องกันการปนเปื้อนเชื้อราและสารพิษอะฟลาทอกซินในวัตถุดิบอาหารสัตว์

การป้องกันการปนเปื้อนจากเชื้อรา *A. flavus* บนวัตถุดิบอาหารสัตว์ตลอดจนเมล็ด ข้าวโพดมีหลายวิธี เช่น

- การคัดแยกเมล็ดที่มีเชื้อราปนเปื้อนออกไป (สุกกิจ, 2540)
- การใช้ความร้อนจากไอน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- การควบคุมความชื้นและอุณหภูมิในระยะก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว
- การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา เช่น thiabenazole หรือ benomyl แต่การใช้สาร เคมีบางชนิดจะทำสารพิษ B₁ เปลี่ยนไปเป็น aflatoxin B₁ – 2,3 dichloride ซึ่งจัด เป็นสารก่อมะเร็งและสารก่อการกลายพันธุ์ (Anderson, 1983)

ปัจจุบันการศึกษาวิธีการป้องกันและกำจัดเชื้อรา *A. flavus* บนเมล็ดพืชยังไม่สามารถ กระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ก็มีการศึกษาเพิ่มเติมหลายด้าน เช่น การปรับปรุงพันธุ์พืชให้ด้าน ทานการเข้าทำลายของเชื้อ *A. flavus* นอกจากนี้ Georgia, Windham, and Williams (1998) รายงานว่าระหว่างขบวนการชีวเคมีของแอนโทไซยานินในข้าวโพดสีม่วงจะมีผลให้การเติบโตของ *A. flavus* ลดลง และ/หรือทำให้ระดับของสารพิษอะฟลาทอกซินลดลงด้วย การที่สารพิษลดลงนี้ อาจมีผลมาจากจำนวนเชื้อราที่ลดลง หรือ/และอาจเกิดจากแอนโทไซยานินมีผลโดยตรงต่อการ สังเคราะห์สารพิษดังกล่าว ส่วน Norton (2000) ได้เสนอการเพิ่มยีนแอนโทไซยานินชนิดที่ไม่มีสี (colorless anthocyanin) เข้าไปในพันธุกรรมของข้าวโพดลูกผสมเมล็ดสีเหลืองเพื่อใช้ยับยั้ง การสังเคราะห์อะฟลาทอกซิน หลังจากทำการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมให้มีสาร

คาโรทีนอยด์ (carotenoid) ระดับสูงในเมล็ด เพื่อยับยั้งการสังเคราะห์อะฟลาทอกซินร่วมกับการใช้สาร benzoxalinone แต่ไม่ประสบความสำเร็จ

2.2 การตรวจหาระดับสารอะฟลาทอกซินในผลิตภัณฑ์เกษตร

สารพิษอะฟลาทอกซินเป็นสารพิษจากเชื้อราที่มีพิษร้ายแรงที่สุด โดยองค์การอนามัยโลกจัดระดับสารพิษนี้อยู่ในระดับรุนแรงที่สุด (extremely toxic) เนื่องจากก่อเกิดพิษแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรังได้ ทั้งก่อพิษจากการบริโภคโดยตรงและติดต่อจากสัตว์สู่คน (zoonoses) ได้ทางผลิตภัณฑ์สัตว์ เช่น เนื้อ นม ไข่ เป็นต้น (ศุภกิจ, 2540) สารพิษอะฟลาทอกซินนี้จะปนเปื้อนมากับผลิตภัณฑ์เกษตรที่ใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยเฉพาะข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ซึ่งสามารถเกิดได้ทุกขั้นตอนตั้งแต่การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว การเก็บรักษาในคลังสินค้า ขณะลำเลียงมายังแหล่งผลิตอาหารสัตว์ ตลอดจนขั้นตอนการเก็บรักษาอาหารที่ผสมเสร็จแล้วในฟาร์มสัตว์ การตรวจสอบการปนเปื้อนสารพิษเหล่านี้จึงมีความสำคัญต่อสุขภาพและผลที่จะได้ทางเศรษฐกิจ

2.2.1 วิธีการตรวจหาสารพิษอะฟลาทอกซิน

การตรวจหาสารพิษอะฟลาทอกซินมีหลายวิธีคือ

- การตรวจโดยวิธี Minicolumn
- การตรวจโดยวิธี Thin Layer Chromatography (TLC)
- การตรวจโดยวิธี Column Chromatography
- การตรวจโดยวิธี Gas Chromatography
- การตรวจโดยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC)
- การตรวจโดยวิธี ELISA Test (Enzyme Linked Immunosorbent Assay)

การตรวจแบบ Minicolumn จะง่ายที่สุดและถูกที่สุด แต่จะบอกได้เพียงค่าประมาณเท่านั้น ส่วนวิธี TLC เป็นวิธีที่ AOAC (The Association of Official Analytical Chemists) กล่าวถึงมากที่สุด แต่ต้องใช้บุคลากรและการเตรียมการมาก สำหรับวิธี HPLC เป็นวิธีที่ให้ผลเที่ยงตรงที่สุดในปัจจุบัน แต่มีราคาที่ราคาแพงทั้งสารใช้ตรวจ เครื่องมือที่ใช้ และบุคลากรที่มีความชำนาญ สำหรับวิธี ELISA เป็นวิธีที่ง่ายและให้ค่าใกล้เคียงกับการตรวจโดยวิธี HPLC นอกจากนี้เครื่องมือและราคาของสารเคมีที่ใช้จะถูกกว่าวิธี HPLC มาก (อรุณศรี, 2540) โดย Chinaphuti, Trikarunasawat, Wongurai and Kositchaoenkul (2002) รายงานว่าการใช้ DOA-Aflatoxin ELISA Test Kit สามารถตรวจพบอะฟลาทอกซิน B₁ ในระดับ 0.4 ppb ได้ มีความถูกต้องในการพบ (AFB₁ recovery) ถึง 80-100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี HPLC แต่มีราคาถูกกว่ามาก

2.2.2 การตรวจสอบสารอะฟลาทอกซินโดยวิธี ELISA

วิธีการนี้เป็นหลักการวิเคราะห์ทาง Immunoassay ในรูปแบบการแข่งขันระหว่าง สารพิษอะฟลาทอกซินอิสระ (free toxin) ที่สกัดจากตัวอย่างกับสารพิษอะฟลาทอกซินที่ผูกติดกับ เอนไซม์ชี้บ่ง (labeled toxin) ในการที่จะไปเกาะจับกับแอนติบอดี (antibody) ที่เคลือบไว้ที่ก้น หลุมทดสอบ (microtitration plate) หลังจากบ่มไว้นานประมาณ 30 นาที จากนั้นเทของเหลวทิ้ง ทั้งหมด เพื่อล้างส่วนของสารพิษอิสระและสารพิษที่ผูกติดกับเอนไซม์ชี้บ่งที่ไม่เกาะจับกับแอนติ บอดี คงเหลือแต่สารพิษอิสระและสารพิษที่ผูกติดกับเอนไซม์ชี้บ่งที่เกาะจับกับแอนติบอดีในหลุม ทดสอบ การแข่งขันการเกาะนี้สามารถประเมินได้โดยการเติม substrate ที่จะทำปฏิกิริยาเฉพาะ กับเอนไซม์ชี้บ่งจะเกิดเป็นความเข้มของสีที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับ substrate ความ เข้มของสีที่ได้สามารถนำมาอ่านเป็นค่าการดูดกลืนแสง (optical density) จากเครื่อง Micro ELISA Reader เพื่อนำมาคำนวณกลับเป็นค่าความเข้มข้นของสารพิษอะฟลาทอกซินเป็นหน่วย ppb เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสารพิษมาตรฐาน ประสิทธิภาพของการตรวจสอบสารอะฟลาทอกซิน ในตัวอย่างมีประมาณ 80-100 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า sensitivity หรือความสามารถในการจับสา รอะฟลาทอกซินได้ต่ำสุดถึง 0.40 ppb (อมรา และชวลิต, 2547)

2.2.3 การกำหนดค่าของสารพิษอะฟลาทอกซินในข้าวโพด

เนื่องจากพิษของอะฟลาทอกซินมีความรุนแรงมาก ส่งผลต่อสุขภาพมนุษย์ ความ เสี่ยงอันตรายในพิษของผู้บริโภค สภาวะเศรษฐกิจและการค้าระหว่างประเทศ ตลอดจนสังคมและ คุณภาพชีวิต จากผลกระทบนี้ทำให้องค์กร FDA (The Food and Drug Administration), CVM (Center for Veterinary Medicine) และ CFSAN (The Center for Food Safety and Applied Nutrition) กำหนดระดับการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินในข้าวโพดที่ให้ผู้ บริโภคเท่ากับ 20 ppb แต่ถ้านำมาใช้ในอาหารโค สุกร และไก่พ่อแม่พันธุ์สามารถมีได้ 100 ppb ส่วนในอาหารสุกรขุนและโคขุนสามารถมีในระดับ 200 และ 300 ppb ตามลำดับได้ แต่ในน้ำนม สำหรับบริโภคกำหนดให้มีการปนเปื้อนได้เพียง 0.50 ppb เท่านั้น (Shanahan and Brown, 2001)

2.3 แอนโทไซยานิน (anthocyanins)

คำว่าแอนโทไซยานินมาจากภาษากรีก 2 คำ คือ anthos ที่มีความหมายว่าดอกไม้ (flower) และ kyans ที่มีความหมายว่าสีน้ำเงิน (blue) แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุตามธรรมชาติที่ละลาย น้ำ (water soluble pigment) สะสมภายใน vacuoles ในเซลล์พืช สีของแอนโทไซยานินตาม ธรรมชาติมีทั้งสีชมพู สีแดง สีน้ำเงินหรือสีม่วง สีเหล่านี้ขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรดและค่าของ

สารละลาย โดยในสารละลายต่างจะออกสีน้ำเงินจนถึงสีม่วงเข้ม แต่ในสารละลายที่เป็นกรดจะมีสีชมพูจนถึงสีแดงเข้ม แอนโทไซยานินเป็นสารธรรมชาติที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคมากกว่าสารสังเคราะห์ โดย Cao and Prior (1999) กล่าวว่าปกติมนุษย์จะได้รับแอนโทไซยานินประมาณ 180-215 มิลลิกรัมต่อวันจากผักและผลไม้ที่รับประทานเข้าไป ซึ่งแอนโทไซยานินสามารถเปลี่ยนไปเป็นพลังงานได้ที่เนื้อเยื่อลำไส้เล็ก ให้คาร์บอนไดออกไซด์จากวงแหวน A และ aromatic acids ชนิดต่าง ๆ จากวงแหวน B ในโครงสร้างหลัก ทำให้ส่วนที่เหลือไม่ก่ออันตรายแก่ผู้บริโภค (Horowitz and Gentili, 1969)

2.3.1 โครงสร้างของแอนโทไซยานิน

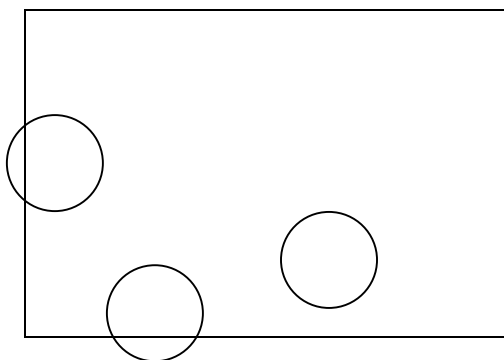
ปี ค.ศ. 1835 Marquart ได้บัญญัติศัพท์ “แอนโทไซยานิน” ขึ้น และ ใน ค.ศ. 1932 Everest อธิบายว่าแอนโทไซยานินเป็นสารกลุ่ม glucosides (เกิดจากสาร aglycones เกาะกับน้ำตาล) ส่วนแอนโทไซยานิดิน (anthocyanidins) เป็น aglycones ที่มีโครงสร้างคล้ายกัน (Dey and Harborne, 1993) แอนโทไซยานินเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ซึ่งฟลาโวนอยด์เป็นสารในกลุ่มสารประกอบฟีนอล (phenolic compound) ที่พบในพืชทั่วไป ปกติฟลาโวนอยด์มีสูตรโครงสร้างเป็นฟลาเวน (flavan) หรือ 2-phenylbenzopyran ประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมเรียงกันเป็นระบบ $C_6-C_3-C_6$ (Harborne, 1973) สารฟลาโวนอยด์แบ่งได้หลายกลุ่ม (ตารางที่ 2.1) แต่สารที่สำคัญคือ ฟลาโวน (flavones), ฟลาโวนอล (flavonols) และแอนโทไซยานิน (Macheix, Fleuriet and Billot, 1990)

ตารางที่ 2.1 สารประกอบที่สำคัญในกลุ่ม flavonoids ที่พบในพืชทั่วไป

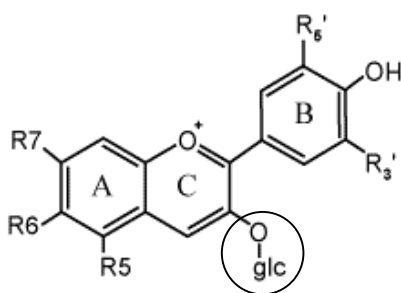
ชนิดของสาร	จำนวนที่พบ	คุณสมบัติทางชีววิทยา
anthocyanin(s)	250	รงควัตถุสีแดง และสีน้ำเงิน
chalcones	60	รงควัตถุสีเหลือง
flavones	350	รงควัตถุสีครีม พบในดอกไม้
flavonols	350	พบในใบพืช
dihydrochalcones	10	บางชนิดมีรสขม
proanthocyanidins	50	astringent substances
catechins	40	บางชนิดมีคุณสมบัติคล้ายแทนนิน (tannins)
isoflavonoids	15	ออกฤทธิ์คล้ายฮอร์โมน oestrogen, มีพิษกับเชื้อรา

หมายเหตุ จาก Harborne (1980)

แอนโทไซยานินมีโครงสร้างพื้นฐานเป็น 3,5,7,3',4'- pentahydroxy flavylum หรือ cyanidin cation (Fuleki, 1967) หรือเป็น glucosides ของสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็น C_{15} หรือ 2-phenylbenzopyrylium salts หรือฟลาเวียม (flavylium) (Henry, 1992) แอนโทไซยานินที่พบในผัก ผลไม้ และดอกไม้ มีโครงสร้างหลักเป็น flavan nucleus (Gross, 1987) ที่เกาะกับหมู่น้ำตาล (ภาพที่ 2.3) มักพบในรูป mono หรือ diglycosides การจับตัวของหมู่ น้ำตาลกับโครงสร้างฟลาเวียมของแอนโทไซยานินจะมีผลต่อการละลายในช่องว่างของเซลล์รวมถึงความคงตัวของแอนโทไซยานินด้วย (Harborne, 1993) กล่าวคือถ้าแยกเอาหมู่ น้ำตาลออกจากโมเลกุลของแอนโทไซยานินจะได้สารประกอบที่เรียกว่าแอนโทไซยานิดิน (ภาพที่ 2.4) ที่เป็นสารประกอบที่ไม่คงตัวและไม่ละลายน้ำ ทำให้ในธรรมชาติไม่ค่อยพบแอนโทไซยานิดินรูปอิสระ แต่พบว่าจับตัวกับน้ำตาลจำนวนหนึ่งหมู่หรือมากกว่าเกิดเป็นแอนโทไซยานินเสมอ (Shrikhande, 1976)



ที่มา: www.chem.uwimona.edu.jm:1104/spectra/chime2/anthocy.html

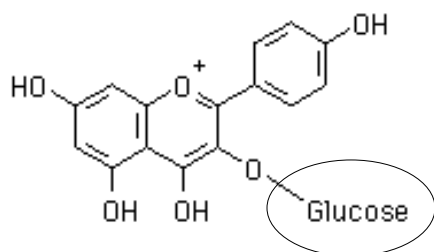


ที่มา: www.eeb.uconn.edu/Courses/EEB271/anthocyanin.gif

ภาพที่ 2.3 โครงสร้างแอนโทไซยานินที่มีคาร์บอนอะตอมเรียงตัวเป็นระบบ $C_6-C_3-C_6$ มีประจุบวกที่ C_3 unit และกลุ่มน้ำตาลมักเกาะที่ตำแหน่ง 3-OH มากกว่าที่ 5-OH หรือ 7-OH

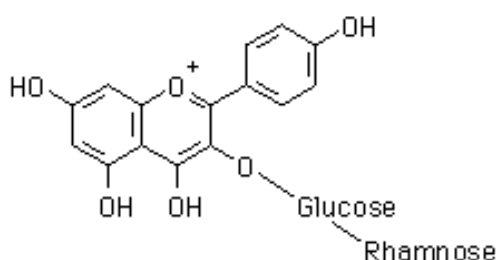
การจับตัวของหมู่น้ำตาลที่พบมากในแอนโทไซยานินคือที่ตำแหน่ง 3-OH (ภาพที่ 2.3) ในกรณีที่มีการจับตัวของน้ำตาลมากกว่าหนึ่งชนิดพบว่าน้ำตาลจะไปจับที่ตำแหน่ง 5-OH และพบน้อยที่ตำแหน่ง 7-OH การจับของน้ำตาลที่ตำแหน่งต่าง ๆ กันนี้ทำให้แบ่งแอนโทไซยานินได้ 5 ชนิด (Engle, 1979) คือ

- 3-monosides
- 3-biosides
- 3-triosides
- 3-5-diglycosides
- 3-7-diglycosides



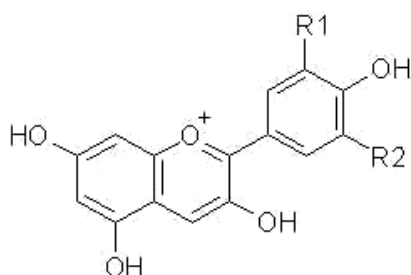
โครงสร้างของแอนโทไซยานิน

ที่มา: www.caliban.mpiz-koeln.mpg.de/~stueber/snapdragon/biochemistry/anthocyanin.html



โครงสร้างของแอนโทไซยานิน

ที่มา: www.caliban.mpiz-koeln.mpg.de/~stueber/snapdragon/biochemistry/anthocyanin.html



โครงสร้างของแอนโทไซยานิน

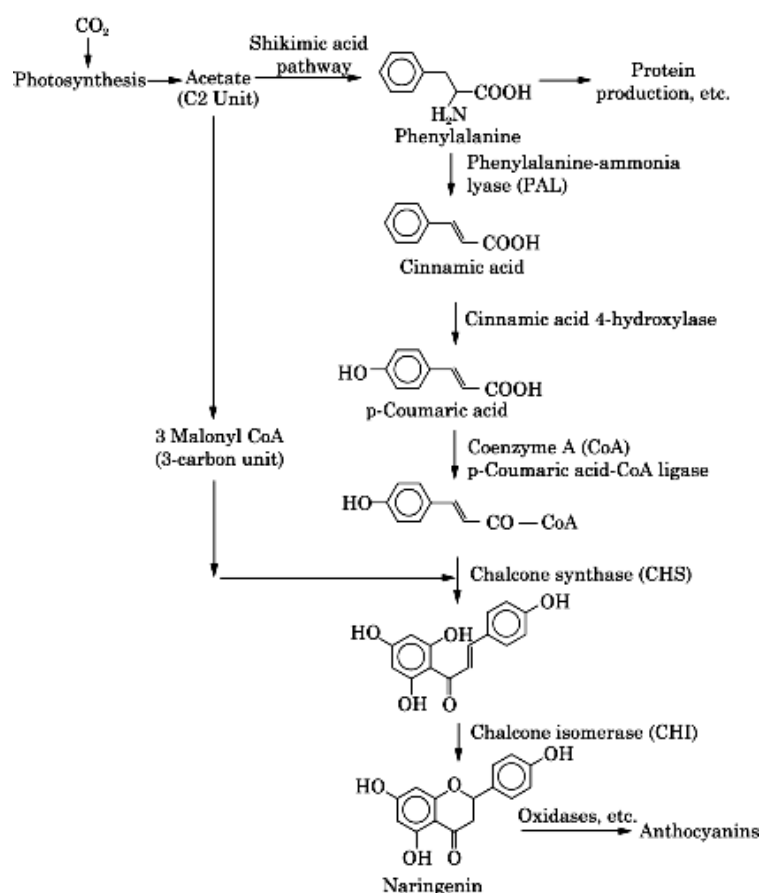
ที่มา: (www.uib.no/People/nkjkt/Antocyan.htm)

ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของแอนโทไซยานินมีกลุ่มน้ำตาลเกาะที่ตำแหน่ง 3-OH
ถ้าแยกเอากลุ่มน้ำตาลออกจะได้โครงสร้างของแอนโทไซยานิดิน

การที่มีโครงสร้างอื่นมาเกาะโครงสร้างพื้นฐานของแอนโธไซยานิน จะส่งผลต่อการแสดงออกของสีได้ เช่น ถ้ามีหมู่น้ำตาลมาเกาะจะทำให้เกิดสีน้ำเงินจนถึงสีม่วง (Salisbury and Ross, 1992) ซึ่งหมู่น้ำตาลที่มาเกาะได้แก่ glucose, galactose, rhamnose และ gentiobiose หรือ ถ้าหมู่ methyl มาเกาะจะทำให้เกิดสีแดงสด (reddish color) (Deepesh, 2000)

2.3.2 ขบวนการชีวสังเคราะห์สารแอนโธไซยานิน

กลไกชีวสังเคราะห์แอนโธไซยานิน (anthocyanin biosynthesis) ในพืชทั่วไปจะเหมือนกัน คือตั้งต้นจากสารประกอบที่มีคาร์บอน 2 อะตอมหรือกรดอะซิติก จากนั้นจะผ่านขบวนการสร้างกรด shikimic และให้ aromatic amino acid คือ phenylalanine และ tyrosine เพื่อนำมาสังเคราะห์สารประกอบชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มฟีนอล (ภาพที่ 2.5) สารที่เกิดขึ้นระหว่างขบวนการเมตาโบลิซึมในพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป (Sullivan, 1998)



ภาพที่ 2.5 ขบวนการสังเคราะห์แอนโธไซยานิน

หมายเหตุ จาก Sullivan (1998)

ขบวนการชีวสังเคราะห์แอนโธไซยานินมีเอนไซม์จำเพาะเข้ามาเกี่ยวข้องตามลำดับ เท่าที่ทราบคือ

- PAL (Phenylalanine ammonia-lyase)
 - CHS (Chalcone synthase)
 - CHI (Chalcone isomerase)
 - F3H (Flavone-3-hydroxylase)
 - F3'H หรือ F3' 5'H (Flavonoid-3' หรือ F3' 5' hydroxylase)
 - DFR (Dihydroflavonol 4-reductase)
 - LDOX (leucoanthocyanidin dioxygenase)
 - 3-GT และ 5-GT (3- Glucosyl transferase และ 5-Glucosyl transferase)
 - RT (Rhamnosyl transferase)
 - OMT (O-methyl transferase)
- (http://scripts.cac.psu.edu/courses/plphy/plphy597_hef1/general.html)

เมื่อขบวนการชีวสังเคราะห์ได้สารแอนโธไซยานินแล้ว พืชจะลำเลียงแอนโธไซยานินไปสะสมไว้ใน vacuole ของเซลล์พืช (Deepesh, 2000)

2.3.3 คุณสมบัติบางประการของแอนโธไซยานิน

การศึกษาแอนโธไซยานินในพืชระยะแรก ๆ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตหรือแสงที่มีความเข้มข้นมากเพื่อไม่ให้เซลล์ของพืชถูกทำลาย การป้องกันพืชจากสภาวะเครียด (nutrient stress) และการป้องกันโรค (pathogen) ในพืช ส่วนการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางเคมีของแอนโธไซยานินในด้านต่าง ๆ มีดังนี้

2.3.3.1 ค่าความเป็นกรด-เบส และการดูดกลืนคลื่นแสง

แอนโธไซยานินมีคุณสมบัติเป็นทั้งกรดและเบส (amphoteric nature) เกิดจากโอโซนเนียมอออน (oxonium ion) ที่ C₃ unit ซึ่งไวต่อการทำปฏิกิริยา ทำให้แอนโธไซยานินเหมาะแก่การใช้เป็นตัวบอค่า pH (pH indicators) ได้ เนื่องจากสารละลายแอนโธไซยานินจะเปลี่ยนสีไปตามค่า pH ของสภาพแวดล้อม (ตารางที่ 2.2) กล่าวคือ ถ้า pH น้อยกว่า 3 จะให้สีแดง แต่ถ้า pH อยู่ระหว่าง 7-8 จะให้สีม่วง และถ้า pH มากกว่า 11 จะให้สีน้ำเงิน (ภาพที่ 2.6) (Counsell, 1981)

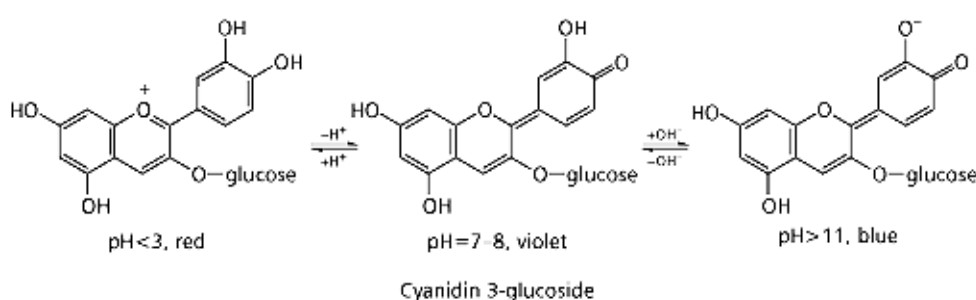
นอกจากนี้แอนโธไซยานินมีลักษณะเป็น resonance structure ซึ่งมีผลต่อการแสดงระดับของสี คือในที่ที่มีความเป็นกรดสูงแอนโธไซยานินมักพบในรูปของเกลือโอโซนเนียม (oxonium salts) ตัวอย่างเช่น cyanidin-3-galactoside (Cy-3-Ga) จะมีสีแดงสด เมื่อค่าความเป็นเบสเพิ่มขึ้นแอนโธไซยานินจะเปลี่ยนโครงสร้างไปเป็น quinodal ทำให้มีสีม่วง แต่ถ้าแอนโธไซยานินมีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) เพิ่มขึ้นที่ aglycone จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้ม (Fuleki, 1967)

ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงสีของแอนโทไซยานินที่สังเกตได้คือ ดอก hydrangea ที่เปลี่ยนสีไปตามค่า pH ของดินที่ปลูกได้คือถ้าพบว่าดอก hydrangea เป็นสีแดง แสดงว่าดินที่ปลูกมีสภาพความเป็นกรด แต่ถ้าดอกเป็นสีน้ำเงินแสดงว่าสภาพของดินเป็นด่าง

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของค่า pH กับระดับสีของแอนโทไซยานินที่ความยาวคลื่นสูงสุด

pH	ค่า Absorption maximum (nm)	ระดับสีที่ปรากฏ
4	520	แดง (red)
4-6	525-550	ม่วงแดง (violet red) ถึง ม่วงน้ำเงิน (violet blue)
6.5	570-575	น้ำเงิน (blue)
9	590-600	น้ำเงิน (blue)

หมายเหตุ จาก Counsell (1981)



ภาพที่ 2.6 การเปลี่ยนสีของแอนโทไซยานินตามการเปลี่ยนแปลงของ pH

หมายเหตุ จาก www.chemsoc.org/.../ezine/2001/ashton_sep01.htm

2.3.3.2 ความร้อนและแสงสว่าง

แอนโทไซยานินมีคุณสมบัติที่ทนต่อความร้อนได้ดี และเพียงพอสำหรับการกระบวนการผลิตที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง เช่นการทำแยม การคั้นน้ำตาล หรือการผลิตผลไม้กระป๋อง การเกิด acylation ของแอนโทไซยานินกับโมเลกุลน้ำตาลเป็นผลให้แอนโทไซยานินสามารถทนความร้อนและแสงได้เพิ่มขึ้น หรือผลิตภัณฑ์ที่มีแอนโทไซยานินจะไม่มีผลกระทบใด ๆ เมื่อถูกแสงสว่าง (Counsell, 1981) โดยในสภาวะอุณหภูมิสูงจะทำให้แอนโทไซยานินมีความคงตัวดีกว่าในสภาวะอุณหภูมิต่ำ ดังนั้นขบวนการ HTST (high temperature short time) จะทำให้สีของ

แอนโธไซยานินคงตัวได้สูงสุด (Hendry and Houghton, 1996)

2.3.3.3 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

สารละลายแอนโธไซยานินมีแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณของออกซิเจนสูง โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลายหรือผลิตภัณฑ์อาหาร ค่าอุณหภูมิตลอดจนค่าความเข้มข้นของแอนโธไซยานิน ปกติแอนโธไซยานินจะเกิดการออกซิเดชันช้าลงเมื่ออยู่ในสภาพสารละลาย และมักไม่พบปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ที่มีแอนโธไซยานินอยู่ (Counsell, 1981)

2.3.4 บทบาทที่สำคัญของแอนโธไซยานิน

ปัจจุบันแอนโธไซยานินจัดเป็นสารธรรมชาติ ที่นำมาใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพ โดย Cao and Prior (1999) กล่าวว่าตามปกติมนุษย์จะได้รับแอนโธไซยานินประมาณ 180-215 มิลลิกรัมต่อวันจากผักและผลไม้ที่รับประทานเข้าไปในร่างกาย และจากการที่โครงสร้างของแอนโธไซยานินที่ขาดอิเล็กตรอนที่ C_3 unit ทำให้มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ และเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงไปนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

2.3.4.1 การนำมาใช้เป็นสารสีตามธรรมชาติ

แอนโธไซยานินเป็นรงควัตถุที่แสดงได้หลายสีเช่นสีชมพู สีแดง สีม่วง และสีน้ำเงิน พบในพืชชั้นสูงทั่วไป การนำแอนโธไซยานินมาใช้เป็นสารสีธรรมชาติในอาหารเริ่มตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1879 จากการนำอรุณแดงที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตไวน์ มาผลิตเป็นสารสีธรรมชาติทางการค้า ได้แก่ enocianina หรือ enocyanin (Markakis, 1982) ในประเทศสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้แอนโธไซยานินที่สกัดจากองุ่นพวก *Vitis labrusca* ผสมในอาหารที่ไม่ใช่เครื่องดื่ม ส่วนที่สกัดจากองุ่นพวก *V. vinifera* สามารถผสมในเครื่องดื่มได้ นอกจากนี้กลุ่มสหภาพยุโรปได้กำหนดการนำแอนโธไซยานินมาผสมในอาหารว่า ต้องเป็นแอนโธไซยานินที่ได้มาจากการสกัดด้วยน้ำ เมธานอล หรือ เอทานอล จากผักหรือผลไม้ที่สามารถรับประทานได้เท่านั้น (Henry, 1992) แหล่งแอนโธไซยานินที่นำมาใช้ปรุงแต่งสีสรรของเครื่องดื่มและอาหารที่จำหน่ายในอุตสาหกรรมได้มาจาก แอปเปิ้ล เชอร์รี่หวาน เชอร์รี่เปรี้ยว และกระเจี๊ยบแดง เป็นต้น (Mazza and Miniati, 1993)

2.3.4.2 การใช้แอนโธไซยานินเป็นสารแอนติออกซิแดนท์

แอนโธไซยานินมีโครงสร้างที่สามารถเกาะกับอนุมูลอิสระอื่นได้ดี โดยเฉพาะอนุมูลที่เกิดจากขบวนการออกซิเดชันของไขมัน (Torel, 1985) หรืออาจกล่าวได้ว่าแอนโธไซยานินเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) ตามธรรมชาติ Mazza and Oomah (2000)

ทดสอบคุณสมบัติแอนติออกซิแดนซ์ของผักและผลไม้จำนวน 50 ชนิด พบว่า blueberries มีค่า ORAC (oxygen radical absorbance capacity) สูงกว่าผักและผลไม้ชนิดอื่นที่นำมาทดสอบ ซึ่ง Mazza and Oomah (2000) เสนอน่าจะเนื่องมาจาก blueberry มีแอนโธไซยานินในระดับที่สูง

2.3.4.3 การลดจำนวนเชื้อรา *A. flavus*

Georgia et.al. (1998) รายงานว่าระหว่างขบวนการชีวเคมีของแอนโธไซยานินในข้าวโพดจะมีผลให้การเติบโตของ *A. flavus* ลดลงและ/หรือทำให้ระดับของสารพิษอะฟลาทอกซินลดลงด้วย การที่สารพิษลดลงนี้อาจมีผลมาจากจำนวนเชื้อราที่ลดลง หรือ/และอาจเกิดจากแอนโธไซยานินมีผลโดยตรงต่อการสังเคราะห์สารพิษดังกล่าว

Norton (1999) นำสารแอนโธไซยานิน แอนโธไซยานิน eriodictyol taxifolin และ luteolin มาทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่าแอนโธไซยานินและแอนโธไซยานินรูป 3-hydroxy ยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *A. flavus* ได้ดีกว่าในรูปของ 3-deoxy โดย monoglycoside ของ pelargonidin สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราดังกล่าวได้มากกว่าในรูปของ diglycoside คือ 80 และ 5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สารทั้งสองนี้พบในเชื้อหุ้มเอนโดสเปิร์มของข้าวโพดสีม่วง

2.3.5 ความปลอดภัยของแอนโธไซยานินจากธรรมชาติ

Horowitz and Gentili (1969) รายงานว่าแอนโธไซยานินมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค เนื่องจากสารประกอบฟลาโวนอยด์ไม่มีอันตราย สามารถเปลี่ยนไปเป็นพลังงานที่เนื้อเยื่อบริเวณลำไส้เล็กได้ ให้คาร์บอนไดออกไซด์จากวงแหวน A ของโครงสร้างหลัก และ aromatic acids ชนิดต่าง ๆ จากวงแหวน B นอกจากนี้พบว่าส่วนที่เหลือจากการเมตาโบไลต์ไม่ก่ออันตรายแก่ผู้บริโภค ปัจจุบันข้อกำหนดในการใช้สีผสมในอาหารและเครื่องดื่มโดยทั่วไปต้องมีการทดสอบทางพิษวิทยาก่อนที่จะออกจำหน่าย ส่วนเมล็ดที่ได้จากธรรมชาติสามารถใช้ผสมในผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง โดยไม่ต้องมีการทดสอบทางพิษวิทยาแต่อย่างใด (Markakis, 1982) แอนโธไซยานินที่นิยมนำมาใช้ได้แก่ red marble, cherry-plum, elderberry, cherry, และ กระเจี๊ยบแดง เป็นต้น

การรับรองความปลอดภัยของผู้บริโภค จากการนำสารสีตามธรรมชาติมาใช้จะแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกายินยอมให้ใช้สารที่สกัดจากองุ่น *V. labrusca* ในอาหารที่ไม่ใช่เครื่องดื่ม ส่วนสารที่สกัดจากองุ่น *V. vinifera* ให้ใช้ในเครื่องดื่มเท่านั้น (Henry, 1992) สารสีธรรมชาติบางชนิดไม่ยอมรับให้ใช้เป็นสีผสมอาหาร เช่น ประเทศสวีเดนไม่ยอมให้ paprika, saffron turmeric และ sandalwood ที่ไม่สกัดเอากลิ่นออกมาใช้เป็นสีผสมอาหาร (นัยวิท, 2538)

2.4 ข้าวโพดสีม่วง (Purple corn)

อุตสาหกรรมผลิตสัตว์ปีกของประเทศไทยพัฒนาก้าวหน้า จนส่งผลผลิตเป็นสินค้าออกและนำเงินตราเข้าประเทศปีละหลายพันล้านบาท ทำให้ปริมาณความต้องการวัตถุดิบอาหารสัตว์สูงตามไปด้วยโดยเฉพาะข้าวโพดที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหาร แต่ปัญหาที่พบจากการใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์คือการปนเปื้อนเชื้อรา *A. flavus* และสารพิษอะฟลาทอกซิน โดยเฉพาะอะฟลาทอกซิน B₁ ที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นสารก่อมะเร็งและสารก่อการกลายพันธุ์ในคนและสัตว์ได้ แนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวคือการแสวงหาวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่คาดว่าน่าจะมีศักยภาพในการใช้เป็นแหล่งพลังงานและมีศักยภาพในการต้านทานเชื้อรา *A. flavus* และสารพิษอะฟลาทอกซินมาใช้

2.4.1. ข้าวโพดไร่สีม่วง (Purple field corn)

ประมาณปี พ.ศ. 2540 หรือช่วงระหว่างการปรับปรุงและพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดของแผนกพืชไร่ฯ คณะวิชาพืชศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพิษณุโลก (ปัจจุบันคือมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก) ที่ปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดมาไม่ต่ำกว่า 20 ปี พบว่ามีข้าวโพดไร่สีม่วงเกิดขึ้นในแปลงทดลองจำนวน 1 ฝัก จึงนำเมล็ดมาขยายเพื่อพัฒนาสายพันธุ์ให้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ พันธุกรรมพื้นฐานของข้าวโพดไร่สีม่วงชนิดนี้มาจากข้าวโพดธรรมดา (normal corn) ที่มียีนการสังเคราะห์แป้งปกติ (ภาพที่ 2.7)

สกุณา (2546) เปรียบเทียบสายพันธุ์ข้าวโพดไร่สีม่วงจำนวน 10 สายพันธุ์กับข้าวโพดลูกผสมพันธุ์การค้า DK 888 พบว่าข้าวโพดไร่สีม่วงจำนวน 5 สายพันธุ์ที่ใช้ทดสอบให้ผลผลิตแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับข้าวโพดพันธุ์ DK888 นอกจากนี้ มรกต (2546) ได้ทดสอบสมรรถนะการผสมพันธุ์ของข้าวโพดไร่สีม่วงจำนวน 21 สายพันธุ์เพื่อคัดเลือกไว้เป็นสายพันธุ์แม่ในรุ่น (generation) ต่อไปพบว่าข้าวโพดไร่สีม่วงบางสายพันธุ์มีศักยภาพในการปรับปรุงเป็นสายพันธุ์ลูกผสมการค้าได้

เนื่องจากไม่เคยมีรายงานการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์มาก่อนในประเทศไทย จากการตรวจสอบเอกสารพบว่าสีม่วงที่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดเกิดจากการกลายพันธุ์ของยีนที่ควบคุมการสังเคราะห์รงควัตถุสีเหลืองหรือแซนโทฟิลล์ซึ่งละลายในไขมัน เปลี่ยนไปเป็นยีนที่ควบคุมการสังเคราะห์รงควัตถุสีม่วงแอนโทไซยานินที่ละลายในน้ำ สำหรับข้าวโพดไร่สีม่วงของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก เป็นข้าวโพดที่มีเชื้อพันธุกรรมของข้าวโพดปกติที่ปรับตัวได้ดีในประเทศไทย เนื่องจากตลอดเวลา 20 ปีที่ผ่านมา โครงการวิจัยที่เกี่ยวกับการปรับปรุง

พันธุ์ข้าวโพดของแผนกพืชไร่-นา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตพิษณุโลก ใช้พันธุ์กรรมข้าวโพดพื้นเมืองไทยในการปรับปรุงพันธุ์ เช่น การปรับปรุงข้าวโพดไร่ ข้าวโพดเทียน (waxy corn) ตลอดจนข้าวโพดคั่ว (pop corn) พันธุ์พื้นเมือง และไม่เคยนำข้าวโพดสีม่วงที่มีพันธุ์กรรมจากต่างประเทศ มาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดในโครงการแต่อย่างใด ซึ่งแตกต่างจากข้าวโพดสีม่วงของศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่นำเชื้อพันธุ์กรรมข้าวโพดสีม่วงจากประเทศเปรูมาผสมกับข้าวโพดลูกผสมเมล็ดสีเหลืองที่พัฒนาพันธุ์ในประเทศไทย



ภาพที่ 2.7 ข้าวโพดไร่สีม่วงที่พัฒนาสายพันธุ์โดย ดร.คมสัน อำนวยสิทธิ และคณะ
คณะวิทยาศาสตร์ แผนกพืชไร่-นา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
วิทยาเขตพิษณุโลก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

2.4.2 ข้าวโพดสีม่วง (Purple corn)

ข้าวโพดสีม่วง (*Zea mays* L.) เป็นธัญพืชชนิดหนึ่งที่ไม่เคยนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ในประเทศไทยมาก่อน เนื่องจากข้าวโพดทั่วไปที่นำเข้ามาแพร่ขยายพันธุ์ในประเทศไทยส่วนใหญ่มีเมล็ดสีเหลือง สำหรับข้าวโพดที่เมล็ดมีสีม่วงโดยทั่วไปจะพบเพียงบางเมล็ดในฝักของข้าวโพดข้าวเหนียว ซึ่งสีม่วงในเมล็ดข้าวโพดนี้จัดเป็นแอนโทไซยานินชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับที่พบในผัก ผลไม้ และพืชบางชนิด สารนี้มีคุณสมบัติบางประการที่คล้ายกับสารเคมีสังเคราะห์ เช่น เป็นแอนติออกซิแดนท์ตามธรรมชาติที่ทำหน้าที่จับอนุมูลอิสระ ซึ่งก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในไขมัน เป็นรงควัตถุตามธรรมชาติที่ใช้เป็นสารสีผสมในอาหารและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ของมนุษย์ เป็นสารต้านมะเร็ง (anticancer) และสารต้านเชื้อรา (antifungi) เป็นต้น

ในธรรมชาติจะพบข้าวโพดเมล็ดสีม่วงทั้งฝักในกลุ่ม Indian corn (<http://home3.inet.tele.dk/starch/isi/starch/maize.htm>) นอกจากนี้ยังมีข้าวโพดสีม่วงอีกชนิดหนึ่งชื่อ "maize morado" มีถิ่นกำเนิดในประเทศเปรู (Alden, 2001) นิยมใช้เป็นสารสีผสมในน้ำชาหรือพุดดิ้ง (savory pudding) (<http://www.texnews.com/texas97/taste063097.html>; Del Valle, 1997) การศึกษาในข้าวโพดสีม่วงส่วนใหญ่จะเกี่ยวกับสารแอนโทไซยานินที่พบบริเวณลำต้น ใบ หรือเยื่อหุ้มเอนโดสเปิร์ม ประเทศญี่ปุ่นทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากข้าวโพดสีม่วงทั้งฝักตั้งแต่ปี ค.ศ. 1973 โดยใช้ข้าวโพดพันธุ์ Morado สีแดง และพันธุ์ Kulli ที่นำเข้ามาจากประเทศเปรูมาสกัดแอนโทไซยานิน และนำมาใช้ประโยชน์ทางการค้าด้านเป็นแหล่งสารสีธรรมชาติในลูกกวาดและน้ำเชื่อมไซรัป ซึ่ง Sugiyama Chemical Institute of Tokyo ได้จดสิทธิบัตรทางการค้าแล้ว (Miniati and Mazza, 1993)

2.4.3 แอนโทไซยานินในข้าวโพดสีม่วง

ปกติสารสีม่วงหรือแอนโทไซยานินจะพบในหลาย ๆ ส่วนของลำต้น เช่น ก้านชูเกสรตัวผู้ (anthers), glumes of the cob, tassel และ coleoptiles หน้าที่ส่วนใหญ่เกี่ยวกับการป้องกันอันตรายแก่เซลล์พืชจากรังสีอัลตราไวโอเลต ข้าวโพดสีม่วงจะพบแอนโทไซยานินที่บริเวณเยื่อหุ้มเอนโดสเปิร์ม การผ่าเหล่า (mutation) ทำให้บริเวณนี้เดิมเป็นรงควัตถุสีเหลืองเปลี่ยนไปเป็นรงควัตถุสีม่วงแทน (http://www.employees.csbsju.edu/saupe/biol115/genetics_maize_exercise.htm)

ภาควิชาพืชศาสตร์ Texas A&M University ได้ประเมินค่าเฉลี่ยของแอนโทไซยานินในข้าวโพดสีม่วงที่มีพันธุ์กรรมจากประเทศเปรูว่ามีประมาณ 16.4 มิลลิกรัมต่อกรัมซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าบลูเบอร์รี่ (blueberries) ที่พบประมาณ 1.3-3.8 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ 17.7 และ 9.2-24.0 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ (Jones, 2005)

2.4.4 ขบวนการชีวสังเคราะห์แอนโทไซยานินในข้าวโพดสีม่วง

การสังเคราะห์แอนโทไซยานินในข้าวโพดสีม่วงเกิดจากยีนหลายตัวคือ R (red), B (blue), C1 (color1) และ Pl (purple plant) ความจำเพาะในการสังเคราะห์แอนโทไซยานินของยีนเหล่านี้แบ่งออกได้เป็น 2 ตระกูลคือ R/B และ C/Pl (Lesnick and Chandler, 1998; Chandler, Radicella, Robbins, Chen and Turks, 1989) โดยตรงควัตถุสีม่วงที่สังเคราะห์ตามส่วนต่าง ๆ ของลำต้นจะเกิดจากปฏิกิริยาร่วมของยีนในตระกูล R/B และ C/Pl ตัวอย่างเช่น การสังเคราะห์แอนโทไซยานินที่ลำต้นต้องการยีน R และ Pl แต่ที่เยื่อหุ้มเอนโดสเปิร์มต้องการยีน R/B และ C1 (Cocciolone and Cone, 1993) นอกจากนี้ในเมล็ด (kernel) ไม่พบการ transcription ของยีน B21, C2 หรือ A1 (anthocyanin1) จากข้อมูลเท่าที่ทราบในปัจจุบันพบว่ายีน C2 เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอนไซม์ chalcone synthase, ยีน A1 เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอนไซม์ dehydroflavonol 4-reductase และ ยีน B21 เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอนไซม์ UDP glucose-flavonol glucosyltransferase Shirley (1998) แสดงถึงยีนที่เกี่ยวข้องในขบวนการชีวสังเคราะห์แอนโทไซยานินในพืช 3 ชนิดคือ ข้าวโพดสีม่วง, Arabidopsis และ ข้าวบาร์เลย์ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอนไซม์ในขบวนการชีวสังเคราะห์แอนโทไซยานินในข้าวโพด, arabidopsis และข้าวบาร์เลย์

	ข้าวโพด	Arabidopsis	ข้าวบาร์เลย์
Chalcone synthase	C2	TT4	
Chalcone isomerase		TT5	
Flavanone-3-hydroxylase		TT6	Ant17
Flavanone-3'-hydroxylase		TT7	Ant18
Dihydroflavanol-4-reductase	A1	TT3	
UDPglucose flavonoid glucosyl transferase	Bz1		
Leucoanthocyanidin dioxygenase	A2		Ant19
Glutathione -S-transferase	Bz2		
Regulatory loci	R/B,P,C1/PL,Vp1	TT8,TTG	Ant13

หมายเหตุ จาก Shirley (1998)

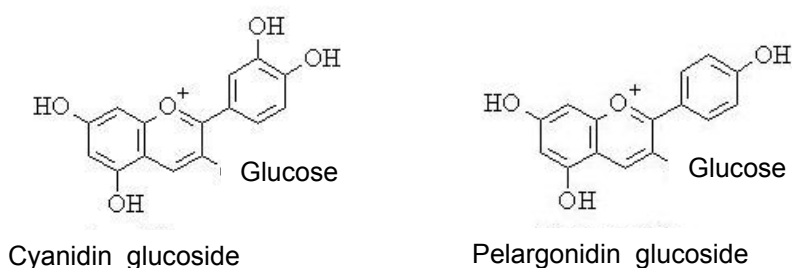
นอกจากนี้พบว่าสภาพแวดล้อมมีผลต่อการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในข้าวโพด เช่น ในสภาวะอุณหภูมิต่ำจะทำให้ยีน 2 กลุ่มทำงานร่วมกันคือกลุ่มแรกจากยีน R และ C1 และกลุ่มที่สองจากยีน A1, A2, B2 และ B22 (Christie, Alfenito and Walbot, 1994) ในข้าวโพดพบแอนโท

ไซยานินได้หลายแห่ง (ตารางที่ 2.4) แต่ที่พบในเมล็ดข้าวโพดสีม่วงมี 2 รูปแบบใหญ่ ๆ คือ cyanidin glucosides และ pelargonidin glucosides (ภาพที่ 2.8) ยกเว้นข้าวโพดหวานพันธุ์ C1/R-expressing BMS (black mexican sweet) พบเพียง cyanidin glucosides (Grotewold et.al., 1998)

ตารางที่ 2.4 แอนโธไซยานินที่พบในส่วนต่างๆ ของข้าวโพด

แอนโธไซยานิน	ส่วนที่พบในข้าวโพด
Cyanidin 3-glucoside	เปลือกหุ้มเมล็ด, ใบ, ช่งและตลอดทั้งต้น
Cyanidin 3-galactoside	ลำต้นและ เมล็ด
Cyanidin 3-(6''malonylglucoside)	ใบ
Cyanidin 3-dimalonylglucoside	ใบ
Pelargonidin 3-glucoside	เปลือกหุ้มเมล็ด
Pelargonidin glucoside	ตลอดทั้งต้น

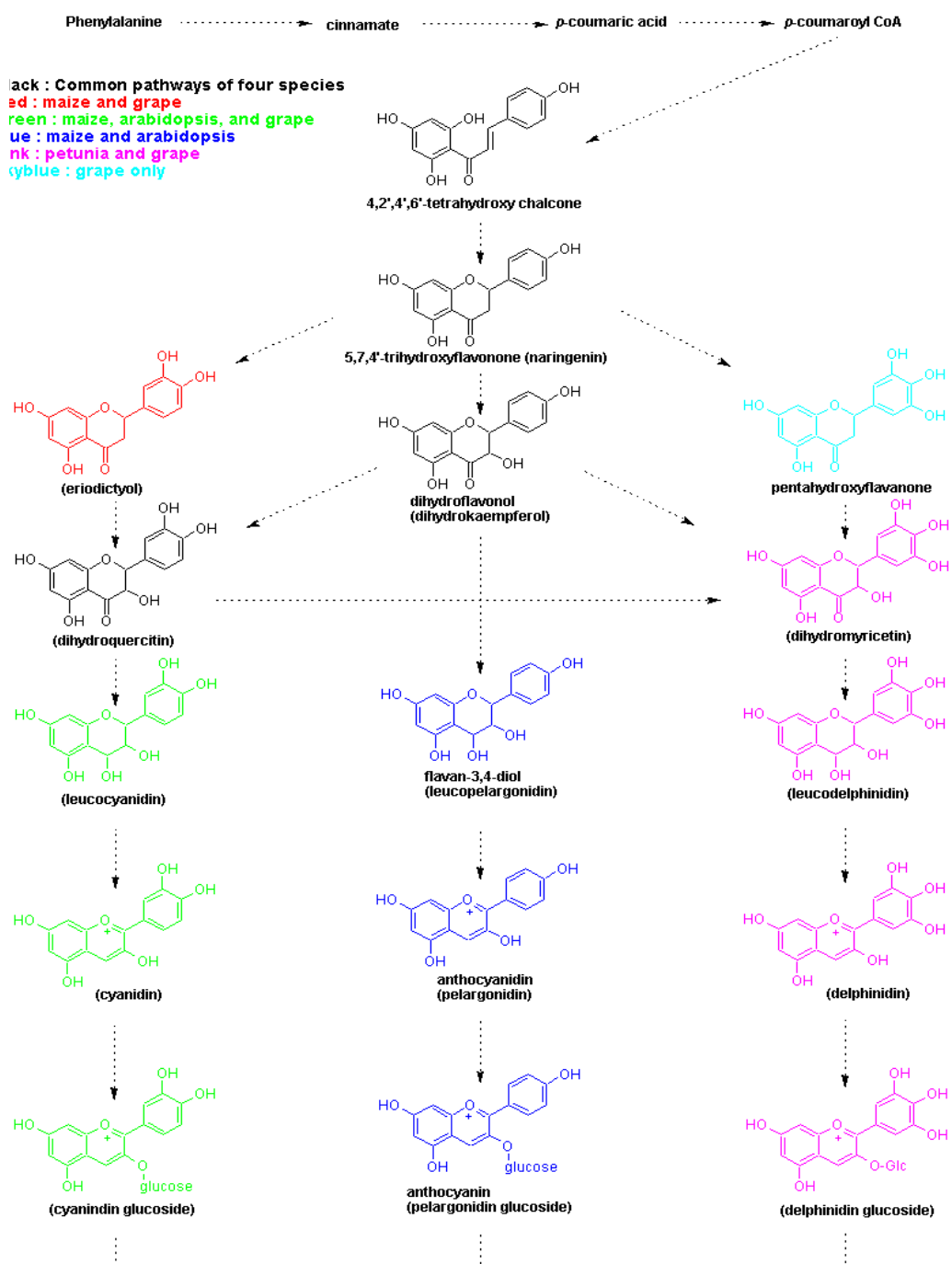
หมายเหตุ จาก Miniati and Mazza (1993)



ภาพที่ 2.8 cyanidin glucoside และ pelargonidin glucoside ในข้าวโพด

หมายเหตุ ดัดแปลงจาก [www.school.chem.umu.se/ Experiment/4](http://www.school.chem.umu.se/Experiment/4)

ส่วน Taylor and Briggs (1990) รายงานว่าการสังเคราะห์แอนโธไซยานินในสภาพที่มีแสงปานกลางอยู่ในการควบคุมของยีน R และยีน B/PI ในเมล็ด ต่อมา Guimaraes (1998) ศึกษาขบวนการชีวสังเคราะห์แอนโธไซยานินในข้าวโพด อุ่น petunia และ Arabidopsis พบว่ามีขั้นตอนคล้ายกันคือมีกรดอะมิโน phenylalanine เป็นสารตั้งต้น มีสาร secondary metabolized ในช่วงแรกคล้ายกัน (ภาพที่ 2.9) คือสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ และ naringenin หลังจากนั้นจะเกิดเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เช่น การเกิดปฏิกิริยา hydroxylation, methylation, glucosylation, acylation หรือ sulphanation ทำให้แอนโธไซยานินมีหลากหลายในธรรมชาติ (Dey and Harborne, 1993)



ภาพที่ 2.9 ขบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานินทั่วไป (สีดำ) ที่ข้าวโพดเหมือนกับองุ่น (สีแดง) หรือข้าวโพดเหมือนกับ arabidopsis (สีน้ำเงิน) หรือข้าวโพดเหมือนกับองุ่นและ arabidopsis (สีเขียว)

หมายเหตุ จาก Guimaraes (1998)

2.5 การสังเคราะห์แป้ง amylose และ amylopectin ในข้าวโพด

นักพฤกษศาสตร์จัดข้าวโพดไว้ในตระกูล (family) Gramineae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays* L. เนื่องจากการใช้ประโยชน์จากเมล็ดข้าวโพดแต่ก่อนมีความแตกต่างกันมาก ทำให้นักพฤกษศาสตร์สมัยก่อนแบ่งข้าวโพดออกตามลักษณะของเมล็ดดังนี้

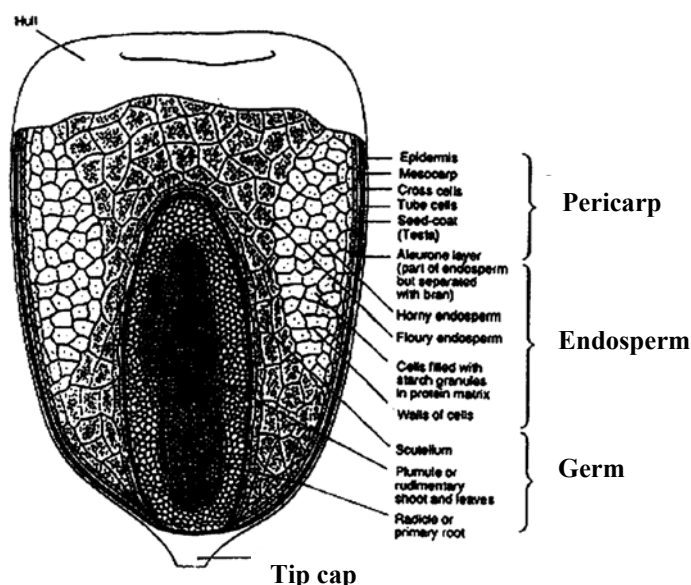
- *Zea mays* L. tunicate ข้าวโพดป่าหรือ pod corn
- *Zea mays* L. everata ข้าวโพดคั่วหรือ pop corn
- *Zea mays* L. indurata ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หัวแข็งหรือ flint corn
- *Zea mays* L. indentata ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หัวบุบหรือ dent corn
- *Zea mays* L. amylacea ข้าวโพดแป้งใช้เป็นอาหารมนุษย์
- *Zea mays* L. saccharata ข้าวโพดหวานหรือ sweet corn
- *Zea mays* L. ceritina ข้าวโพดเทียนหรือ waxy corn

ปัจจุบันการแบ่งข้าวโพดแบบนี้ไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่าความแตกต่างของเมล็ดส่วนใหญ่เกิดจากยีนเพียงยีนเดียว จึงนิยมเรียกข้าวโพดทั่วไปว่า *Zea mays* L. ข้าวโพดนี้มีส่วนสำคัญ 4 ส่วนคือ เปลือกหุ้มเมล็ด (pericarp หรือ seed coat) เอนโดสเปิร์ม (endosperm) คัพภะ (embryo หรือ germ) และส่วนติดกับซัง (tip cap) (ภาพที่ 2.10) เปลือกหุ้มเมล็ดเป็นชั้นของเยื่อใย (fiber) มีหน้าที่ห่อหุ้มและปกป้องเอนโดสเปิร์มกับคัพภะจากแบคทีเรีย เชื้อรา และแมลงส่วนเอนโดสเปิร์มมีประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดประกอบด้วยโภชนะ โดยเฉพาะแป้ง (starch) เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการเติบโตของต้นอ่อน (Nielsen, 2005)

ตารางที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของเมล็ดข้าวโพดปกติ (normal corn)

ส่วนประกอบของเมล็ด	% ของเมล็ด
เปลือกหุ้มเมล็ด (pericarp)	5-6
เยื่อชั้น (aleurone)	2-3
เอนโดสเปิร์ม (endosperm)	80-85
คัพภะ (germ)	10-12

หมายเหตุ จาก www.fao.org/docrep/T0395E/T0395E01.htm



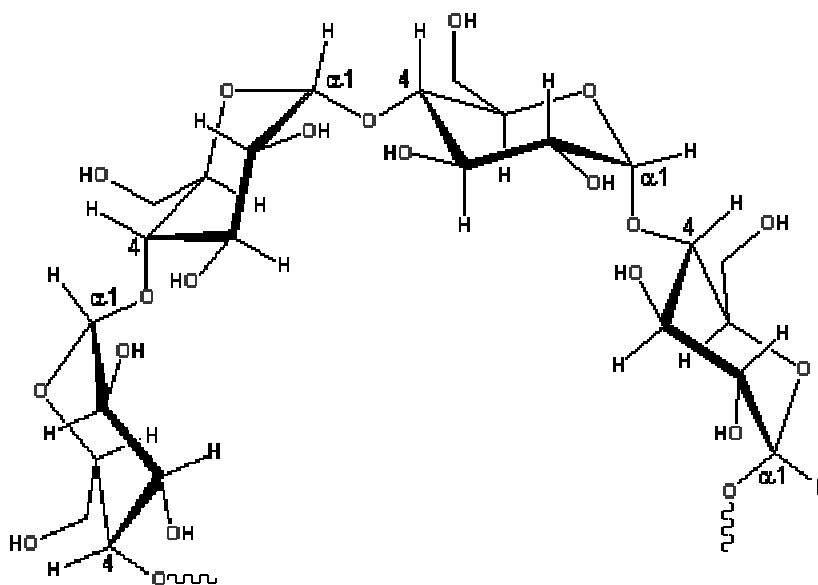
ภาพที่ 2.10 ส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วนของเมล็ดข้าวโพดคือ pericarp, endosperm, germ และ tip cap

หมายเหตุ จาก www.fao.org/docrep/T0395E/T0395E01.htm

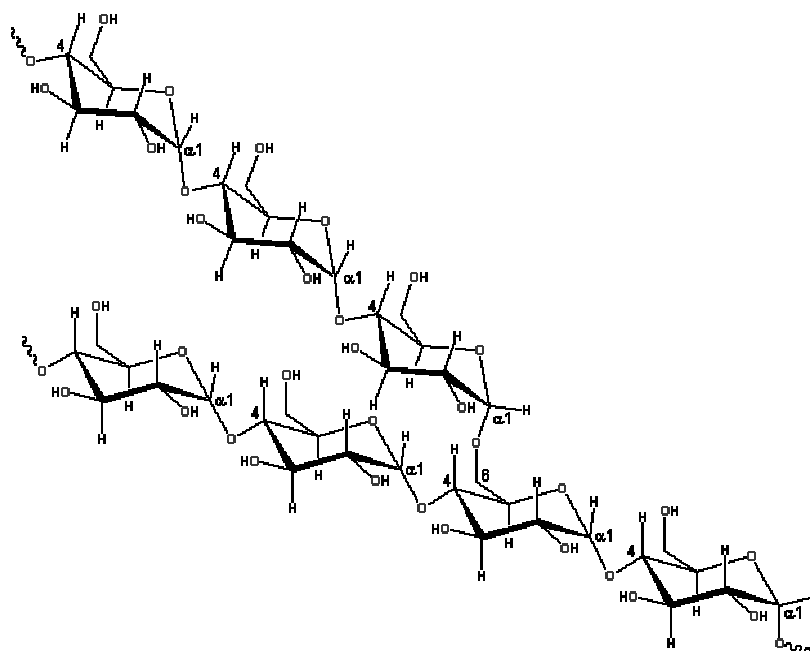
2.5.1 แป้งในเมล็ดข้าวโพด

คาร์โบไฮเดรตที่สำคัญในข้าวโพดได้แก่ แป้ง และ phytoglycogen การสังเคราะห์แป้งจะเกิดขึ้นในส่วน of photosynthetic organs เช่นใบ โดยแป้งที่สังเคราะห์ขึ้นจะเก็บไว้ใน chloroplasts ในเวลากลางวันและเคลื่อนย้าย (mobilized) ไปสะสมใน amyloplasts ของเมล็ด ผล หรือหัว (tubers) ช่วงเวลากลางคืน (Martin and Smith, 1995) โครงสร้างพื้นฐานของแป้งประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นสายยาวด้วยพันธะ α -D-1,4 แป้งชนิดนี้เรียกว่า amylose (ภาพที่ 2.11) และสายยาวบางเส้นจะมีแขนงมาเกาะด้วยพันธะ α -D-1,6 แขนงนี้พบทุกๆ 25-35 โมเลกุลในข้าวโพดปกติ โครงสร้างนี้เรียกว่า amylopectin (ภาพที่ 2.12)

การสังเคราะห์แป้งในพืชเกิดจากเอนไซม์หลายชนิด แต่เท่าที่ทราบในปัจจุบันคือ ADP-glucose pyrophosphorylase (AGPase), starch branching enzyme (SBE), starch debranching enzyme (DBE) และ starch synthase (SS) ปัจจุบันพบ SS 4 ชนิดคือ SSI, SSII, SSIII และ GBSSI (granule-bound SSI) เอนไซม์แต่ละชนิดเหล่านี้ยังมีอีกหลาย isomers โดย SSII จะพบการทำงานในลักษณะถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในพืชหัวจะพบ SSII เพียง 15 เปอร์เซ็นต์ แต่จะพบ SSIII สูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ (Marshall et.al., 1996)



ภาพที่ 2.11 โครงสร้าง amylose ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสเกาะกันด้วยพันธะ α -D-1,4
 หมายเหตุ จาก <http://www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html>



ภาพที่ 2.12 โครงสร้างที่เป็นแขนงของ amylopectin เกาะกันด้วยพันธะ α -D-1,6
 หมายเหตุ จาก <http://www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html>

ในธรรมชาติพบว่าโมเลกุลของ amylose มีขนาดเล็กกว่า amylopectin แต่มีความสามารถเกาะกับไอโอดีนในสารละลายได้ดีกว่าและให้สารเชิงซ้อนเป็นสีน้ำเงิน ส่วน amylopectin จะให้สารเชิงซ้อนสีน้ำตาลแดง

2.5.2 การสังเคราะห์ amylose ในข้าวโพด

amylose เป็นแป้งที่มีน้ำตาลกลูโคสเกาะเป็นสายยาว (polymer) Kossmann and Lloyd (2000) รายงานว่าเอนไซม์กลุ่มสังเคราะห์แป้ง GBSSI จำเป็นในการสังเคราะห์ amylose จาก ADPGlc (ADP-glucose) ให้เป็นสายยาวด้วยพันธะ α -D-1,4 นอกจากนี้พบว่าเอนไซม์อีกหลายชนิดโดยเฉพาะ DBE จะทำหน้าที่ยับยั้งการเกิดแขนง โดยเอนไซม์ GBSSI แตกต่างจาก SS ชนิดอื่นเนื่องจาก GBSSI พบอยู่ใน plastid บริเวณ amylopectin matrix ของ amylopectin

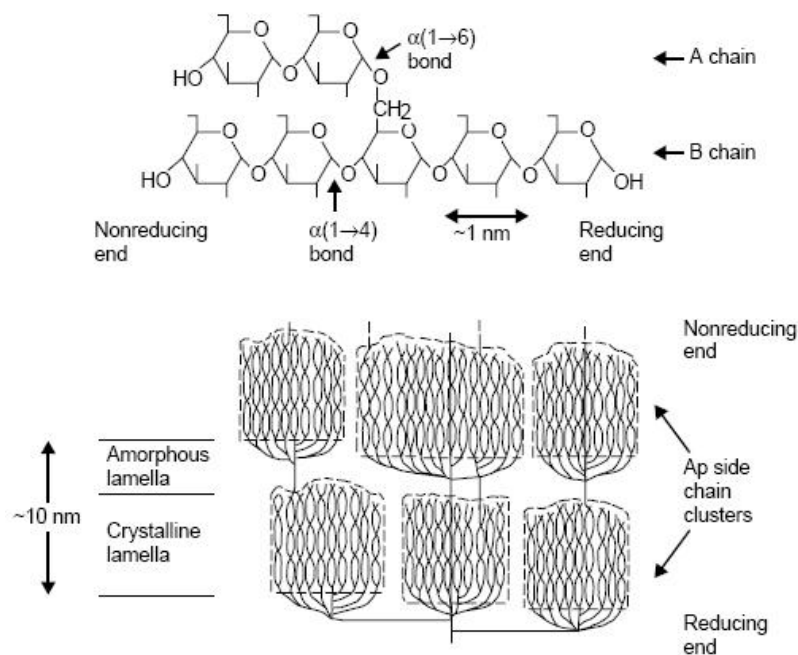
ในเมล็ดข้าวโพดพบว่า amylose เพิ่มปริมาณจาก 18 ถึง 26.5 เปอร์เซ็นต์ หลังการถ่ายละอองเกสร 14-28 วัน (Tsai, Salamini, and Nelson, 1970) และท้ายสุดของสะสมแป้งในเมล็ดข้าวโพดพบว่า amylose จะมีประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น (Smith, Denyer and Martin, 1997; Hegenbart, 1996; International Starch Institute, 2001; Blinkley, 2005; Anonymous, nd) ส่วน amylopectin มีประมาณ 80-70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสัดส่วนของ amylose และ amylopectin คิดเป็นอัตราส่วน 1: 3 ของแป้งในเมล็ดข้าวโพดปกติ (Guan and Keeling, 1998) ยกเว้นข้าวโพดข้าวเหนียว (waxy corn) ที่มี amylopectin 90-100 เปอร์เซ็นต์ ข้าวโพดบางชนิดเกิดการผ่าเหล่าแล้วส่งผลให้การสังเคราะห์แขนงผิดปกติเช่น ข้าวโพดที่มียีน ae (amylose extender) mutant จะมี amylose เพิ่มขึ้นถึง 50-60 เปอร์เซ็นต์ของแป้งทั้งหมด (Denyer, Jonhson, Zeeman, and Smith, 2001)

Tatge, Marshall, Martin, Edwards, and Smith, (1999) เสนอการทดลองที่แสดงให้เห็นว่า amylose จะสังเคราะห์ในส่วน matrix ของ amylopectin และการสังเคราะห์แป้งทั้ง 2 ชนิดนี้จะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน จากเอนไซม์ AGPase ปรากฏการณ์นี้อาจมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์ amylose ซึ่ง Flipse, Keetels, Jacobsen, and Visser (1996) เสนอแนะว่าช่องว่างใน amylopectin เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การสังเคราะห์ amylose ในธรรมชาติมีเพียง 25-30 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น เนื่องจาก Flipse et.al. (1996) ไม่สามารถเพิ่มการสังเคราะห์ amylose ในแป้งของมันเทศให้สูงกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ได้ แม้ว่าจะเพิ่มกิจกรรม (activity) ของ GBSSI แล้วก็ตาม

2.5.3 การสังเคราะห์ amylopectin ในข้าวโพด

amylopectin ประกอบด้วยกลูโคสมากกว่า 2 ล้านโมเลกุล ในธรรมชาติมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสายยาวพันธะ α -D-1,4 และเอนไซม์สร้างแขนงพันธะ α -D-1,6 ที่แตกต่างกันในพืชแต่ละชนิด เช่น เอนโคสเปิร์มของข้าวโพดปกติเป็น SSIIa และ SSI ส่วนเอนโคสเปิร์มของข้าวเป็น SSIII และ SSI สำหรับลักษณะของถั่ว pea เป็น SSI และ SSII หรือหัวของมันเทศเป็น SSIII และ SSI เป็นต้น เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องเหล่านี้ส่งผลให้แป้งของพืชต่างชนิดกันมีความแตกต่างกัน (Smith et.al, 1997) ส่วนเอนไซม์ที่สร้างแขนงให้ amylopectin ในข้าวโพดคือ SBEI, SBEII ซึ่ง SBE ที่ทราบในปัจจุบันมีอยู่ 3 isoforms คือ SBEI, SBEIIa และ SBEIIb (Guan and Keeling, 1998) นอกจากนี้พบว่า GBSSI ที่จำเป็นในการสังเคราะห์ amylose สามารถเพิ่มความยาวให้สาย amylopectin ได้ (Denyer et.al, 2001)

ในแป้งปกติพบว่าแขนงของ amylopectin มีลักษณะเฉพาะตัว คือมีบริเวณที่เรียกว่า crystalline lamella และ amorphous lamella (ภาพที่ 2.13) ซึ่งส่วน crystalline lamella มี 2 แบบคือ A-type และ B-type แป้งของธัญพืชในธรรมชาติจะเป็นแบบ A-type 100 เปอร์เซ็นต์ คือเส้นดุกโซกลูโคสจะบิดเป็นเกลียว (double helical coil) แต่พืชที่มีอินสูลินสังเคราะห์แป้งผ่าเหล่าพบว่า crystalline lamella มีทั้ง A-type และ B-type (James, Denyer and Myers, 2003)



ภาพที่ 2.13 โครงสร้าง amylopectin ที่ประกอบด้วยส่วน crystalline และ amorphous

หมายเหตุ จาก James et.al, 2003

2.5.4 การสังเคราะห์ amylose และ amylopectin ที่ผิดปกติในข้าวโพด

ในธรรมชาติมียีนบางชนิดเกิดการผ่าเหล่า แล้วส่งผลให้การสังเคราะห์แป้งผิดปกติ โดยเฉพาะสัดส่วนของ amylose และ amylopectin ที่เปลี่ยนไป ยีนเหล่านี้เป็นที่รู้จักในหมู่นักปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดมาหลายสิบปีมาแล้ว การผ่าเหล่าของยีนบางยีนนี้ทำให้ข้าวโพดธรรมดาเปลี่ยนเป็นข้าวโพดที่มีลักษณะพิเศษเฉพาะตัว (special corn) ยีนที่ทำให้เมล็ดข้าวโพดมีการสังเคราะห์แป้งเปลี่ยนไป ได้แก่ ยีน su (sugary), sh (shrunk), bt (brittle), wx (waxy), ae (amylose extender) และ se (sugary enhancer) เป็นต้น (ทวิศักดิ์, 2540; Giroux, Shaw, Barry, Cobb and Greene, 1996) ส่วนยีนที่ทำให้สีของเยื่อหุ้มเมล็ดชั้น aleurone เปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีม่วงจะไม่มีผลต่อขบวนการสังเคราะห์แป้งในเอนโดสเปิร์ม (Redenbach, 2001) สำหรับยีนที่ผ่าเหล่าและส่งผลถึงการสังเคราะห์แป้งในข้าวโพด ได้แก่

Su gene	ยีน sugary พบในปี พ.ศ. 2467 ก่อให้เกิดการสะสม phytoglycogen ซึ่งเป็น water soluble polysaccharide ช่วยให้เนื้อข้าวโพดหวานนุ่ม
Sh gene	ยีน shrunken นี้พบในปี พ.ศ. 2464 มีผลทำให้แป้งลดน้อยลง ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์และมีน้ำตาลเพิ่มขึ้น
Bt gene	ยีน brittle เป็นยีนที่ทำให้เมล็ดข้าวโพดหวานพิเศษ (super sweet corn) เนื่องจาก ADPGlc สังเคราะห์นอก amyloplast (Cao, Sullivan, Boyer and Shannon, 1995)
Wx gene	ยีน waxy นี้ทำให้การสะสมแป้ง amylopectin มีมากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ พบในปี ค.ศ. 1943 โดย E.G. Anderson (ทวิศักดิ์, 2540)
Ae gene	ยีน amylose extender นี้ทำให้การสะสมแป้ง amylose มีเพิ่มขึ้น
Se gene	ยีนนี้ต้องแสดงออกพร้อมกับ su gene ทำให้เกิดการสะสมน้ำตาล maltose มากขึ้น

2.5.5 การสังเคราะห์ amylose และ amylopectin ในข้าวโพดสีม่วง

เมล็ดข้าวโพดทั่วไปประกอบด้วยชั้นเยื่อหุ้มเอนโดสเปิร์มที่เรียกว่า aleurone layer เยื่อชั้นนี้มีหลายสี เช่น สีขาว สีเหลือง สีม่วง โดยสีม่วงเกิดจากรงควัตถุแอนโทไซยานิน จากอิทธิพลของยีนเด่น *Pr* กับยีนตระกูล *C/R* ถ้าอยู่ในอิทธิพลของยีนสภาพ *pr/pr* ร่วมกับ ยีนตระกูล *C/R* จะทำให้เป็นสีแดง (Blinkley, 2005) ก่อนเมล็ดข้าวโพดงอก (germination) พบว่า aleurone cell ถูกกระตุ้นด้วยกรด gibberellic เพื่อสังเคราะห์เอนไซม์ hydrolytic ที่ทำให้โภชนะต่าง ๆ ในส่วนเอนโดสเปิร์มแตกตัวและนำมาใช้ในการเจริญของต้นอ่อน

Becraft and Asuncion-Crabb (2000) รายงานว่ายีนที่ควบคุมสีของเยื่อ aleurone ในข้าวโพดปกติคือ C1-I แต่ถ้าทำให้โครโมโซมที่ยีนนี้อยู่แตกหักไปพบว่ายีน C1 สามารถแสดงออกได้และทำให้เยื่อ aleurone มีสีม่วง (Dawe and Freeling, 1990) ยีนนี้ไม่มีผลต่อส่วนประกอบของเอนโดสเปิร์ม แต่ถ้าทำให้เยื่อ aleurone ผิดปกติด้วยยีน mutant *Dek1* ที่ยับยั้ง (block) ขบวนการสร้างเยื่อ (aleurone formation) จะส่งผลให้เอนโดสเปิร์มของข้าวโพดผิดปกติไป

2.6 รายการอ้างอิง

- ทวีศักดิ์ ภู่อำ. 2540. ข้าวโพดหวาน : การปรับปรุงพันธุ์และการปลูกเพื่อการค้า. สำนักพิมพ์ โอเดียนสโตร์. 188 น.
- ธีรยุทธ กลิ่นสุคนธ์ และชัยวัฒน์ ต่อสกุลแก้ว. 2524. แอฟลาทอกซิน (สารพิษจากเชื้อราที่ทำให้เกิดมะเร็งในตับ). โรงพิมพ์ ดร.สกล พงศกร, กรุงเทพฯ.
- นัยวิทย์ เกลินนนท์. 2538. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตและการใช้สีแดงธรรมชาติ จากกลีบดอกกระเจี๊ยบแดง. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มรกต รวมสง่า. 2546. การทดสอบสมรรถนะการผสมทั่วไปของข้าวโพดไร่สีม่วงสายพันธุ์แท้โดยใช้ประชากรข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นตัวทดสอบ. ปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเอกพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์บางพระ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพิษณุโลก, พิษณุโลก. 60 น.
- ศุภกิจ อังสุภากร. 2526. ผลของอะฟลาทอกซินต่อสุขภาพของคนและสัตว์ในประเทศไทย. สัตวแพทย์สาร 34(3) : 285-303”
- ศุภกิจ อังสุภากร. 2540. โรคของสัตว์เศรษฐกิจที่เกิดจากพิษของเชื้อรา ณ พ.ศ. 2540, หน้า 109-117. ใน การประชุมวิชาการเรื่องสารพิษจากเชื้อรา: ผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์. โรงพิมพ์ ตีรณสาร, สีลม กรุงเทพมหานคร.
- สกุณา ศิลาราช. 2546. การทดสอบสมรรถนะทั่วไปของข้าวโพดไร่สีม่วงสายพันธุ์แท้โดยใช้ข้าวโพดไร่สายพันธุ์แท้ BKI6 เป็นตัวทดสอบ. ปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเอกพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์บางพระ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพิษณุโลก, พิษณุโลก. 45 น.
- อนงค์ บินทวิท. 2546. สารพิษจากเชื้อรา:อะฟลาทอกซิน. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 322 น.
- อรุณศรี วงษ์อุไร. 2540. อะฟลาทอกซินในถั่วลิสง. คู่มือวิชาการเรื่องอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง. กองส่งเสริมพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร.

- อมรา ชินภูติ และชวลิต ศรีกรุณาสวัสดิ์. 2547. การใช้ชุดตรวจสอบสารอะฟลาทอกซินสำเร็จรูป DOA-Aflatoxin ELISA Test Kit. กลุ่มงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 30 น.
- อรรณพ นวิภาพ. 2540. ความรู้เบื้องต้นของสารพิษจากเห็ดและราสาย, หน้า 32-49 ใน การประชุมทางวิชาการเรื่องสารพิษจากเชื้อรา:ผลกระทบจากสุขภาพสัตว์ ณ คณะสัตวแพทย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระหว่างวันที่ 13-14 มีนาคม 2540.
- Alden, L. 2001. Corn [On-line]. Available : <http://www.foodsubs.com/GrainCorn.html>.
- Anderson , R.A. 1983. Detoxification of aflatoxin-contaminated corn. So.Coop.Ser.Bull. 279 p.
- Anonymous, nd. Innovation in grain production: Hi-maize® (Penford Australia) [On-line]. Available: http://www.gograins.grdc.com.au/grainsnutrition/ie/17_1.html
- Blinkley, S.W. 2005. Corn ears for genetics [On-line]. Available : http://www.carolina.com/biotech/corn_genetics.asp
- Bintvihok, A., and Hayashi,M. 1991. (1) Effect of aflatoxin B1 in ducking : Effect on hepatic microsomal drug metabolizing enzymes. A CIAR Proceedings 36: 230-323.
- Blount, W.P. 1961. Turkey X disease. Turkey 9:52. อ้างถึงใน เขาวมาลัย คำเจริญ. มปพ. ความเป็นพิษของอะฟลาทอกซินต่อปศุสัตว์, หน้า 130-148. ใน การแก้ปัญหาอะฟลาทอกซินในอาหารโคนมตามโครงการการแก้ไขปัญหาอะฟลาทอกซินในอาหารและอาหารสัตว์แบบครบวงจรในส่วนรับผิดชอบของกรมปศุสัตว์ ปีงบประมาณ 2545. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด,เขตจตุจักร ,กรุงเทพมหานคร.
- Becraft1, B.W. and Asuncion-Crabb, Y. 2000. Positional cues specify and maintain aleurone cell fate in maize endosperm development. Development 127, 4039-4048.

- Burditt, S.J., Hagler, W.M., Hutchins, J.E. and Hamilton, P.B. 1983. Models of feed refusal syndrome in poultry. *Poultry Sci.* 62: 2158-2163.
- Cao, G., and Prior, R.L. 1999. Measurement of oxygen radical absorbance capacity in biological samples. *Methods Enzymol.* 299: 51-62.
- Cao, H., Sullivan, T.D., Boyer, C.D., and Shannon, J.C. 1995. Bt1, a structural gene for the major 39-44 kDa amyloplast membrane polypeptide. *Physio. Plant.* 95: 176-186.
- Chandler, V. L., Radicella, J. P., Robbins, T. P., Chen, J., and Turks, D. 1989. Two regulatory genes of the maize anthocyanin pathway are homologous: isolation of utilizing R genomic sequences. *Plant Cell* 1: 1175-1183.
- Chinaphuti, A., Trikarunasawat, C., Wongurai, A., and Kositchaoenkul, S. 2002. Production of In-house ELISA Test Kit for detection of aflatoxin in agricultural commodities and their validations. *Kasetsart J.* 36:179-186.
- Christie, P.J., Alfenito, M.R., and Walbot, V. 1994. Impact of low-temperature stress on general phenylpropanoid and anthocyanin pigmentation in maize seedling [On-line]. *Planta* 194:541-549. Available : http://scripts.cac.psu.edu/courses/plphy/plphy597_hef1/conclude.html
- Cocciolone, S. M. and Cone, K. C. 1993. Pl-Bh, an anthocyanin regulatory gene of maize that leads variegated pigmentation. *Genetics* 135: 575-588.
- Counsell, J.N. 1981. Natural colours for food and other uses. Applied Science Publishers Ltd., London. 167 p.
- Davis, N.D. and Diener, U.L. 1983. Some characteristic of toxigenic and non-toxigenic isolates of *Aspergillus flavus* in corn. *So.Coop.Ser.Bull.* 279 p.

- Dawe, R.K., and Freeling, M. 1990. Clonal analysis of the cell lineages in the male flower of maize. *Dev. Biol.* 142, 233-245.
- Deepesh, N. De. 2000. Plant cell vacuoles. CSIRO publishing Collingwood VIC3066, Australia. 288p.
- Del Valle, F. 1997. Tastes of latin american draw customers to Rio Grande Valley store. [On-line]. Available : <http://www.texnews.com/texas97/taste063097.htm>.
- Denyer, K., Jonhson, K., Zeeman, S., and Smith, A.M. 2001. The control of amylose synthesis. *J. Plant Physiol.* 158: 479-487.
- Dey, P.M. and Harborne, J.B. 1993. Methods in plant biochemistry, p. 99-131. *In* Flavonoid enzymology. Academic Press [On-line]. Available : http://scripts.cac.psu.edu/courses/plphy/plphy597_hef1/conclude.html
- Engle, C. 1979. Natural Colours, Their stability and application in food. Scientific and Technical Surveys No. 117. The British Food Manufacturing Industries Research. 87 p.
- Exarchos, C.C and Gentry, R.F. 1982. Effect of aflatoxin B1 on egg production . *Avian diseases* 26(1): 191-195.
- Flipse, E., Keetels, C.J.A.M., Jacobsen, E., and Visser, R.G.F. 1996. The dosage effect of the wildtype GBSS allele is linear for GBSS activity but not for amylose content : absence of amylose has a distinct influence on the physio-chemical properties of starch. *Theo. Appl. Genet.* 92: 121-127.
- Fuleki, T. 1967. Development of quantitative methods for individual anthocyanins in cranberry and cranberry products. Ph.D. thesis Department of Food Science and Technology. Graduate Faculty, University of Massachusetts,

- Anherst, Massachusetts. อ้างถึงใน นัยวิทย์ เถลิมนนท์. 2538. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตและการใช้สีแดงธรรมชาติจากกลีบดอกกระเจี๊ยบแดง. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Garner, R.C. 1973. Microsome dependent binding of aflatoxin B1 to DNA, RNA, polyribonucleotides and protein in vitro. *Chemicrobiol. Interact.* 6:125-129
- Georgia, L. D., Windham, G.L., and Williams, W. P. 1998. The role of maize anthocyanin genes in aflatoxin accumulation in *Aspergillus flavus* infected seed [On-line]. Available : <http://www.intl-pag.org/6/abstracts/90.html>
- Giroux, M.J., Shaw, J., Barry, G., Cobb, B.G., and Greene, T. 1996. A single gene mutation that increase maize seed weight. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 93: 5824-5829.
- Gross, J. 1987. Pigment in Fruits. Academic Press INC. (London) LTD., London. 303 pp.
- Grotewold, E., Chamberlin, M., Snook, M., Siame, B., Butler, L., Swenson, J., Maddock, S., St. Clair, G., and Bowen, B. 1998. Engineering secondary metabolism in maize cells by ectopic expression of transcription factors. *Plant Cell* 10: 721-740.
- Guan, H.P., and Keeling, P.L. 1998. Starch biosynthesis : understanding the functions and interactions of multiple isozymes of starch synthase and branching enzyme [On-line]. Available : http://www.cec.org/files/PDF/Maize-Biodiversity-Chapter1_en.pdf
- Guimaraes, R. 1998. A comparison of anthocyanin biosynthesis in four plant species [On-line]. Available : <http://www.scripts.cac.psu.edu/.../general.html>
- Harborne, J. B. 1973. Flavonoids, pp. 344-345. In Miller, L.P. (ed.)

1973. *Phytochemistry Vol II: Organic metabolism*. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Harborne, J. B. 1980. *Phytochemical methods* [On-line]. Available :
<http://wildlife.wisc.edu/courses/630/2003/readings/secondary%20metabolite>.
- Harborne, J.B. 1993. *Phenolic compound* [On-line]. Available :
<http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/e20/20d.htm>
- Hegenbart, S. 1996. *Understanding starch functionality* [On-line]. Available :
<http://www.foodproductdesign.com/archive/1996/0196CS.html>.
- Hendry, G.A.F., and Houghton, J.D. 1996. *Anthocyanin and betatanins*, In *Natural Food Colorants* Blackie, Glassgow.
- Henry, B.S. 1992. *Natural food colours*, pp. 39-77. In G.A.F. Hendry and Houghton, J.D. *Natural food colourants*. Blackie, Glassgow.
- Horowitz, R.M., and Gentili, B. 1969. *Taste and structure in phenolic glycoside*.
J.Agric.Food.Chem. 17(4):696-700
- International Starch Institute, Science Park Aarhus, Denmark. 2001. *Maize (corn)*
 [On-line]. Available : <http://www.starch.dk/isi/starch/maize.htm>.
- James, M.G., Denyer, K., and Myers, A. 2003. *Starch synthesis in the cereal endosperm*. *Current Opinion in Plant Biology* 6: 215-222.
- Jones, K. 2005. *The potential health benefits of purple corn* [On-line] Available :
<http://www.herbalgram.org/herbalgram/articleview.asp?a=2779>.
- Kossmann, J., and Lloyd, J. 2000. *Understanding and influencing starch biochemistry*. *Plant Sci.* 19: 171-226
- Kulis, M.M. and Holaday, C.E. 1966. *Aflatoxin : A metabolic product of several fungi*. *Mycopatho. Myco. Appli.* 30:137. อ้างถึงใน *วิชา ศีวะจุลชีพ เทพ นรสิทธิ์*

- ตระกูลช่าง สมชัย จันทรสว่าง และกำพล อุดลย์วิทย์. 2525. ผลของอะฟลาทอกซินต่อ
เศรษฐกิจและคุณลักษณะของไก่อกระเทง. รายงานผลงานวิจัยสาขาสัตวศาสตร์ การ
ประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 20 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร. 62 น.
- Kumagai, S., Bintvihok, A. and Kono, M. 1995. In vitro aflatoxin B1-DNA binding
by microsomes and its modulation by cytosol : comparison of various
mammalian and avian lives in relation to species difference in susceptibility.
J. Food Hyg. Soc. Japan. 36(3):365-374.
- Lesnick, M. L. and Chandler, V. L. 1998. Activation of the maize anthocyanin gene
a2 is mediated by an element conserved in many anthocyanin promoters. Plant
Physiol. 117: 437-445.
- Macheix, J.J., Fleuriet, A., and Billot, J. 1990. Fruit phenolics. CRC press, Inc., 2000
Corporate Blvd., N.W. Boca Ration, Florida. p.182
- Markakis, P. 1982. Anthocyanins as food additives, pp. 245-253. In P. Markakis
(ed.). Anthocyanin as food colors. Academic Press, Inc., New
York. additives. 245-253 pp..
- Martin, C., and Smith, A.M. 1995. Starch biosynthesis. Plant Cell 7:971-985.
- Marshall, J., Sidebottom, C., Debet, M., Martin, C., Smith, A.M., and Edwards, A.
1996. Identification of the major starch synthase in the soluble fraction of
potato tubers. Plant Cell 8:1121-1135.
- Mazza, G., and Oomah, B.D. 2000. Functional food products from selected
canadian crops [On-line]. Available : <http://www.agr.gc.ca/food/nff/cancrops.html>.
- Mazza ,G., and E.,Miniati. 1993. Cole Ccrops. Anthocyanin in fruits vegetables and
grain. United States of America. Acid free paper. pp 288.

- Miniati, E., and Mazza ,G. 1993. Anthocyanin in fruits, vegetables and grains. CRC press, Inc.,2000 Coporate Blvd., N.W.Boca Ration, Florida. p.32
- Nielsen, R.L. 2005. Corn, The great american crop! [On-line]. Available : <http://www.agry.purdue.edu/ext/corn/pubs/agry9301.htm>
- Norton, R,A. 1999. Inhibition of aflatoxin B1 biosyntheis in *Aspergillus flavus* by anthocyanidins and related flavonoids. J.Agric.Food.Chem. 47: 1230-1235.
- Norton, R,A. 2000. Testing for natural aflatoxin inhibitors [On-line]. Available: http://www.findarticles.com/cf_dls/m3741/n7_v46/20949910/p1/article.htm
- Redenbach, M. 2001. Transposition II [On-line]. Available : <http://www.uni-kl.de/FB-Biologie/AG-Cullum/Teaching/Files/Gen1Lec2.pdf>
- Salisbury, R and Ross, C. 1992. In: Plant physiology. 4th edition. (editor: Kauser, RM). Wadsworth Publishing Company, Belmont, CA.
- Shanahan, J.F., and Brown, W.M. 2001. Aflatoxins [On-line]. Available : <http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops/00306.pdf>
- Shane, S.M. 1994. Mycotoxicosis indian river breeder update. The Newsletter of Indian River International. 7(2) : 1-4. อ้างถึงใน จักรกริสน์ เนื่องจำนงค์. 2540. อาการเป็นพิษของสัตว์ที่ได้รับสารพิษจากเชื้อรา, หน้า 91-106. ใน การประชุมวิชาการ เรื่องสารพิษจากเชื้อรา: ผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์. โรงพิมพ์ไตรณสาร, สี่ลม กรุงเทพมหานคร.
- Shrikhande, A.J. 1976. Anthocyanins in foods. Crit.Rev.Food Sci.Nutr. 7:193-218.
- Shirley , B.W. 1998. Flavonoids in seeds and grains : physiological function, agronomic importance and the genetics of biosynthesis. Seed Sci. Res. 8: 415-422.
- Smith, A.M., Denyer, K., and Martin, C. 1997. The synthesis of the starch granule. Annu.Rev.Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 48: 67-87.

- Sullivan, J. 1998. Anthocyanin [On-line]. Available :
<http://www.carnivorousplants.org/cpn/samples/Science>.
- Swenson, D.H., Miller, J.A., and Miller E.C. 1974. Aflatoxin B1-2,3-oxide :
 Evidence for its formation in rat liver in vitro and by human liver
 microsomes in vitro. *Biochem. Biophys. Res. Communications*.
 60: 1036-1043.
- Tatge, H., Marshall, J., Martin, C. Edwards, E.A., and Smith, A.M. 1999. Evidence
 that amylose synthesis occurs within the matrix of the starch granule in potato
 tubers. *Plant Cell Environ.* 22:543-550.
- Taylor, L.P., and Briggs, W.R. 1990. Genetic regulation and photocontrol of
 anthocyanin accumulation in maize seedlings. *Plant Cell* 2:115-127.
- Torel. 1985. Quoted in Kay, C. 2001 [On-line]. Available :
http://www.uoguelph.ca/~ckay/phytoblue/main_sub.html
- Tsai, C.Y., Salamini, F., and Nelson, O.E. 1970. Enzymes of carbohydrate
 metabolism in the developing endosperm of maize. *Plant Physiol.* 46:299-
 306.
- Tung, H.T., Smith, J.W. and Hamilton, P.B. 1971. Aflatoxicosis and bruising in the
 chicken. *Poultry Sci.* 50 795-799.
- Ueno , I., Friedman, L., and Stone, C.L. 1980. Species difference in the binding of
 aflatoxin B1 to hepatic macromolecules. *Toxico. Appl. Pharmacol.*
 52: 177-180.
- van Egmond, H.P. 1993. Rational for regulatory programs for mycotoxins in
 human foods and animal feeds. *Food addit. Contam.* 10:29.
- Wyatt, R.D., Manning, R.O., Pegram, R.A. and Marks, H.L. 2003. Genetic resistance

in chickens to aflatoxins [On-line]. Available : [http://www.micotoxinas.com.](http://www.micotoxinas.com.br/boletim14.htm)

[br/boletim14.htm](http://www.micotoxinas.com.br/boletim14.htm)

Available : <http://www.caliban.mpiz-koeln.mpg.de/~stueber/snapdragon>

[/biochemistry/anthocyanin.html](http://www.caliban.mpiz-koeln.mpg.de/~stueber/snapdragon/biochemistry/anthocyanin.html)

Available : <http://www.chem.uwimona.edu.jm:1104/spectra/chime2/anthocy.html>

Available : http://www.chemsoc.org/.../ezine/2001/ashton_sep01.htm

Available : <http://www.eeb.uconn.edu/Courses/EEB271/anthocyanin.gif>

Available : http://www.employees.csbsju.edu/ssaupe/biol115/genetics_maize_

[exercise.htm](http://www.employees.csbsju.edu/ssaupe/biol115/genetics_maize_exercise.htm)

Available : <http://www.fao.org/docrep/T0395E/T0395E01.htm>

Available : <http://www.home3.inet.tele.dk/starch/isi/starch/maize.htm>

Available : <http://www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html>

Available : http://www.scripts.cac.psu.edu/courses/plphy/plphy597_hefl/

[general.html](http://www.scripts.cac.psu.edu/courses/plphy/plphy597_hefl/general.html)

Available : <http://www.texnews.com/texas97/taste063097.html>

Available : <http://www.uni-bayreuth.de/.../mykotoxine.htm>

Available : <http://www.uib.no/People/nkjkt/Antocyan.htm>

Available : <http://www.walzemlab.tamu.edu/vldlymetab.htm>

Available : <http://www.school.chem.umu.se/Experiment/4>

บทที่ 3

การประเมินคุณค่าทางโภชนาของข้าวโพดไร่สีม่วง

วัตถุดิบอาหารสัตว์จะมีคุณค่ามากน้อยเพียงใด สามารถประเมินได้จากส่วนประกอบทางเคมี หรือค่าการย่อยได้ในสัตว์ นอกจากนี้การนำวัตถุดิบมาผสมในสูตรอาหารจำเป็นต้องคำนวณให้สูตรอาหารนั้น ๆ มีโภชนาตามความต้องการของสัตว์โดยโภชนาที่ต้องพิจารณาคือค่าพลังงานและโปรตีน ในช่วงสิบปีที่ผ่านมาข้าวโพดอาหารสัตว์ (typical corn หรือ normal corn) มีการพัฒนาสายพันธุ์เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจโดยการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาให้เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดข้าวโพดชนิดใหม่ ๆ ขึ้นมา เช่น ข้าวโพดที่มีไลซีนสูง (high lysine corn) หรือข้าวโพดที่มีน้ำมันสูงในเมล็ด (high oil corn, HOC) การประเมินคุณค่าทางโภชนาของข้าวโพดจึงมีความจำเป็นดังกล่าว

3.1 วัตถุประสงค์

ข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นธัญพืชในกลุ่มข้าวโพดชนิดหนึ่งที่ไม่เคยนำมาใช้ผสมในอาหารสัตว์มาก่อน ดังนั้นการศึกษากลับจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษาส่วนประกอบทางเคมีโดยวิธี proximate analysis เปอร์เซ็นต์แป้ง amylose และ amylopectin ของข้าวโพดไร่สีม่วง
2. ประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่
3. ประเมินคุณค่าของโปรตีนของข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่
4. ศึกษาระดับสารพิษอะฟลาทอกซินบนเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวโพดสีเหลืองหลังการเก็บเกี่ยว

3.2 วิธีการวิจัย

การประเมินคุณค่าทางโภชนาของข้าวโพดไร่สีม่วงมีขั้นตอนการดำเนินงาน 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของข้าวโพดไร่สีม่วง
- การวิเคราะห์หาแป้ง amylose และ amylopectin ของข้าวโพดไร่สีม่วง
- การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่

- การหาค่าโปรตีนสุทธิ และค่าทางชีวภาพของโปรตีนของข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่
- การศึกษาระดับสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ บนเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง

3.2.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของข้าวโพดไร่สีม่วง

การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของข้าวโพดไร่สีม่วง เป็นการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีนรวม ไขมัน เยื่อใย และเถ้า ของข้าวโพดไร่สีม่วงโดยวิธี proximate analysis (AOAC, 1984)

3.2.2 การวิเคราะห์หาแป้ง amylose และ amylopectin ของข้าวโพดไร่สีม่วง

เปอร์เซ็นต์แป้ง amylose วิเคราะห์โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่าง แป้ง amylose กับสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์เพื่อให้เกิดสารเชิงซ้อนสีน้ำเงิน (amylose-iodine complex) ดูดกลืนแสงที่มีความถี่ 610 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์แป้ง amylose กับสารมาตรฐาน potato amylose (สุนันทา, 2542) จากนั้นนำเปอร์เซ็นต์ amylose ที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ amylopectin ด้วยสูตรที่ดัดแปลงจาก Lauer (1998) คือ

$$100 \% \text{ ของแป้งในข้าวโพด} = \% \text{ แป้ง amylose} + \% \text{ แป้ง amylopectin}$$

3.2.3 การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่

การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของข้าวโพดไร่สีม่วง (Apparent Metabolizable Energy, AME) กระทำในไก่ไข่ที่ผ่าตัดแยกส่วนท้องซ้ายมูออกจากท้องซ้ายปัสสาวะ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม แต่ละกลุ่มใช้ไก่ไข่จำนวน 5 ตัว รวมใช้ไก่ไข่ทั้งสิ้น 10 ตัว ให้ไก่แต่ละกลุ่มได้รับอาหารกึ่งบริสุทธิ์ (semi-purified) และได้รับอาหารแบบไม่บังคับให้กิน (no force feed) โดยมีสูตรอาหารดังนี้

สูตรอาหารที่ 1 อาหารควบคุม

สูตรอาหารที่ 2 อาหารทดลองผสมข้าวโพดไร่สีม่วง

หมายเหตุ

สูตรอาหารที่ 1 ใช้แป้งมันสำปะหลังในการหา endogenous nitrogen

สูตรอาหารที่ 2 ใช้กากถั่วเหลืองปรับโปรตีนในอาหารทดลอง

3.2.3.1 การเตรียมอาหารทดลอง

การเตรียมอาหารผสมทั้ง 2 สูตร กระทำโดยนำอาหารผสมไปอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ด เติมน้ำสะอาดเพื่อให้อาหารมีความชื้นพอประมาณ อัดเป็นเม็ดเส้นผ่าศูนย์กลาง

ประมาณ 3-4 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 0.5 เซนติเมตร นำอาหารผสมอัดเม็ดวางในถาดอลูมิเนียม นำไปอบที่อุณหภูมิ 55-65 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.1 สูตรอาหารที่ใช้ทดลองในการทดลองที่ 1

วัตถุดิบอาหารสัตว์	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
แป้งมันสำปะหลัง	99.75	-
ข้าวโพดไร่สีม่วง	-	94.05
กากถั่วเหลือง	-	5.70
วิตามิน-แร่ธาตุรวม	0.25	0.25
รวม	100.00	100.00

หมายเหตุ : ปริมาณ 1 กิโลกรัมประกอบด้วย วิตามินเอ 4.8 ล้านหน่วยสากล, วิตามินดี₃ 0.96 ล้านหน่วยสากล, วิตามินอี 3.2 กรัม, วิตามินเค₃ 0.8 กรัม, วิตามินบี₁ 0.4 กรัม, วิตามินบี₂ 1.6 กรัม, วิตามินบี₆ 0.4 กรัม, วิตามินบี₁₂ 4 มิลลิกรัม, ไบโอดีนิ 12 มิลลิกรัม, กรดแพนโททีนิก 2 กรัม, ไนอาซิน 6 กรัม, กรดโฟลิก 0.2 กรัม, เหล็ก 16 กรัม, ทองแดง 2.4 กรัม, แมงกานีส 24 กรัม, สังกะสี 24 กรัม, ไอโอดีน 0.14 กรัม, ซีลีเนียม 0.028 กรัม, โคบาลิน 25 กรัม, สารปรุงแต่งอาหารสัตว์ 10 กรัม, สารธนูอาหารสัตว์ 0.2 กรัม

3.2.3.2 การดำเนินการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 2 ช่วงคือ ระยะก่อนการทดลอง (preliminary period) เป็นระยะที่ทำให้ไก่เคยชินกับอาหารทดลอง และจับถ่ายอาหารเก่าออกจากร่างกายให้หมด ระยะนี้ใช้เวลา 5 วัน ระยะการทดลองช่วงที่ 2 (experimental period) เป็นระยะเก็บข้อมูลใช้เวลา 5 วันซึ่งข้อมูลที่บ้านทีก ได้แก่ ปริมาณอาหารที่ใช้ตลอดการทดลองโดยให้อาหารวันละ 2 เวลา (เช้าและเย็น) สุ่มตัวอย่างอาหารทุกสูตรนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนและพลังงานต่อไป

การเก็บตัวอย่างมูลไก่ทดลองและชั่งน้ำหนักมูลแต่ละวันในตอนเช้า ใช้โครมิกซ์ออกไซด์ (chromic oxide) ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ผสมในอาหารที่ให้ไก่กินในวันแรกและวันสุดท้ายของการทดลอง โดยจะพบมูลไก่ขับออกมาเป็นสีเขียวแสดงว่าเริ่มเก็บข้อมูลได้ ส่วนวันสุดท้ายจะหยุดเก็บข้อมูลเมื่อมูลที่ขับออกมาไม่มีสีเขียว นำมูลที่เก็บในแต่ละวันใส่ถุงพลาสติกที่เดิมฟอรั่มาลีนเข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หลังเก็บ

มูลครบ 5 วันนำมูลที่สุ่มเก็บทั้งหมดมาผสมให้เข้ากัน แล้วสุ่มมาอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส นาน 2-3 วัน จากนั้นปล่อยให้แห้งให้เย็น นำไปบดให้ละเอียด บรรจุในขวดแก้วปิดฝาให้แน่นเพื่อเก็บไว้วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนและพลังงานต่อไป โดยวิธี kjeldahl method และ bomb calorimeter (AOAC, 1984)

สำหรับตัวอย่างปัสสาวะจะเก็บประมาณ 3-4 ครั้งต่อวัน ในถุงพลาสติกที่มีสารละลายกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ปริมาตร 25 มิลลิลิตร บันทึกปริมาณปัสสาวะที่ได้ในแต่ละวัน นำปัสสาวะมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หลังเก็บครบ 5 วันนำปัสสาวะที่สุ่มเก็บทั้งหมดมาผสมให้เข้ากันบรรจุลงขวดแก้วปิดฝาให้แน่น นำมาเก็บที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนและพลังงานต่อไปโดยวิธี kjeldahl method และ bomb calorimeter (AOAC, 1984)

3.2.3.3 การคำนวณค่าพลังงานใช้ประโยชน์ของข้าวโพดไร่สีม่วง

นำค่าพลังงานที่ได้จาก bomb calorimeter มาคำนวณหาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของข้าวโพดไร่สีม่วงจากสูตรของ Chot and Hughes (2000) และ Yaghofar, Vincze, Boldaji, and Csapo (2001) ตามลำดับคือ

$$\begin{aligned} AME_{PFC} &= AME_{diet} - AME_{adjust} \\ AME &= IE - (FE + UE) / IE \\ AME &= \text{ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ} \\ AME_{adjust} &= \text{ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของตัวปรับโปรตีน ในที่นี้} \\ &\quad \text{ใช้กากถั่วเหลืองมีค่าเท่ากับ 2,250 kcal/kg. (Smith, 1977)} \\ IE &= \text{พลังงานในอาหารที่กินทั้งหมดเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน} \\ FE &= \text{ค่าพลังงานในมูลเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน} \\ UE &= \text{ค่าพลังงานในปัสสาวะเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน} \\ I &= \text{ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวันมีหน่วยเป็นกรัม} \end{aligned}$$

3.2.4 การหาค่าโปรตีนสุทธิ และค่าทางชีวภาพของโปรตีนของข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่

ใช้วิธีการในขั้นตอนที่ 3.2.3.1 และ 3.2.3.2 นำผลวิเคราะห์ไนโตรเจนในอาหารทดลอง มูลและปัสสาวะ มาคำนวณเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ (apparent digestibility) ค่าทางชีวภาพของโปรตีน (biological value, BV) และค่าการใช้ประโยชน์ของโปรตีนสุทธิ (net protein utilization, NPU) ของเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงจากสูตรคำนวณของ Mitchell (1924), Miller and Bender (1955) ตามลำดับ อ้างถึงใน บุญล้อม (2527)

$$\text{Apparent digestibility} = (I-F)/I \times 100$$

$$\text{BV} = \frac{\text{N intake} - (\text{fecal N} - \text{MFN}) - (\text{urinary N} - \text{EUN})}{\text{N intake} - (\text{fecal N} - \text{MFN})} \times 100$$

$$\text{NPU} = \frac{\text{N intake} - (\text{fecal N} - \text{MFN}) - (\text{urinary N} - \text{EUN})}{\text{N intake}} \times 100$$

หมายเหตุ :

F	=	มูลแห้งที่ขับถ่าย (วัตถุแห้ง)
I	=	ปริมาณอาหารที่กิน (วัตถุแห้ง)
N intake	=	ไนโตรเจนในอาหาร
fecal N	=	ไนโตรเจนในมูล
urinary N	=	ไนโตรเจนในปัสสาวะ
MFN	=	metabolic fecal nitrogen
EUN	=	endogenous urinary nitrogen

3.2.5 การศึกษาระดับสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ บนเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง

การศึกษาระดับสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ บนเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง เปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวโพดสีเหลืองช่วงการเก็บรักษา 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังเก็บเกี่ยว มีรายละเอียดดังนี้

3.2.5.1 การปลูกข้าวโพดไร่สีม่วงและข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง

ปลูกข้าวโพดไร่สีม่วงและข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองพันธุ์ DK888 พร้อมกัน ในแปลงทดลองเดียวกันช่วงปลายฤดูฝนเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2546 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2547 โดยใช้ระยะปลูกต่อต้นเท่ากับ 75x25 เซนติเมตร ณ แปลงทดลอง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก เมื่อต้นข้าวโพดครบระยะสุกแก่ทาง สรีรวิทยา (เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2547) เก็บข้าวโพดทดลองทั้งฝักมาตากให้แห้งบนพื้นซีเมนต์ช่วงกลางวัน และเก็บเข้าที่ร่มในช่วงกลางคืน ตากจนข้าวโพดมีความชื้นคงที่ประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ (สนั่น และคณะ, 2540) จากนั้นนำข้าวโพดทั้งสองชนิดมาเก็บรักษา 2 วิธีคือ เก็บทั้งฝักและกะเทาะเมล็ด โดยนำมาใส่ถุงในล่อนที่อากาศถ่ายเทสะดวก กลุ่มละ 10 ถุงหรือ 10 ซ้ำ ปิดปากถุงแขวนบนราวไม้ไผ่ สูงจากพื้นดินประมาณ 1.25 เมตรในโรงเก็บเมล็ดที่มีการระบายอากาศดี บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเก็บเมล็ด หลังการเก็บเกี่ยวในวันที่ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน นำเมล็ดข้าวโพดทุกกลุ่มมาชั่งละ 20 กรัมบดละเอียดเพื่อวิเคราะห์หาสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ ด้วยวิธี Enzyme Linked Immunosorbent Assay หรือ ELISA ดัดแปลงจาก AOAC (1995) โดย อมราและชวลิต (2547) นำค่าที่อ่านได้จากเครื่อง Micro ELISA Reader

มาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสง (% maximal binding) ของสารพิษมาตรฐาน จากนั้นนำค่าเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสงที่ได้มาหาค่าความเข้มข้นของสารพิษมาตรฐานบนกระดาษ semi-logarithmic

3.2.5.2 การคำนวณปริมาณสารพิษในตัวอย่าง

กระทำโดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสง (%maximal binding) โดยสูตรต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสง (\%maximal binding)} = \frac{B}{B_0} \times 100$$

B = ค่าการดูดกลืนแสงของสารพิษมาตรฐานหรือของตัวอย่าง

B₀ = ค่าการดูดกลืนแสงของสารพิษมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 0 ppb

3.2.5.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี analysis of variance จากการหาปฏิกริยาร่วม (interaction) แบบกลุ่มสมบูรณ์ ระหว่างกลุ่มทดลองกับช่วงเวลาทำการทดลอง ถ้าไม่พบปฏิกริยาร่วมดังกล่าวจะนำข้อมูลของทุกช่วงการทดลองมารวมกันเพื่อหาค่าเฉลี่ยและนำไปเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยวิธี orthogonal comparison โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.3 ผลการทดลองที่ 1

3.3.1 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของข้าวโพดไร่สีม่วง

การนำเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงที่ปรับปรุงพันธุ์ในปี พ.ศ. 2545 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก มาวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีโดยวิธี proximate analysis (AOAC, 1984) ผลปรากฏว่าเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงมีส่วนประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองที่ใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั่วไป คือ มีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง เถ้า โปรตีนรวม ไขมันรวม เยื่อใยรวม และไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรก (NFE) เท่ากับ 87.25, 1.14, 7.99, 2.48, 1.70 และ 73.74 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนค่าพลังงานรวม (gross energy, GE) ของข้าวโพดไร่สีม่วงที่วิเคราะห์โดย bomb calorimeter (AOAC, 1984) มีค่าเท่ากับ 4,010 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 3.2)

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงที่ปรับปรุงพันธุ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก ปีเพาะปลูก พ.ศ. 2545

	เมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง			เมล็ดข้าวโพดสีเหลือง		
	เมล็ด ^{a2545}	ซัง ^{a2545}	เมล็ด ^b	สหรัฐ ^c	จีน ^c	HO ^c
ความชื้น, %	12.75	5.99	10.72	13.84	13.29	13.34
วัตถุแห้ง, %	87.25	94.01	89.28	86.16	86.71	86.66
เถ้า, %	1.14	2.73	1.65	1.20	1.22	1.18
โปรตีนรวม, %	7.99	3.61	9.39	7.78	8.22	8.35
ไขมันรวม, %	2.48	0.74	4.71	3.39	3.40	6.60
เยื่อใยรวม, %	1.70	33.79	0.70	1.78	1.88	1.61
NFE, %	73.74	-	72.83	72.01	71.99	70.53
แคลเซียม, %	0.011	-	-	-	-	-
ฟอสฟอรัส, %	0.028	-	-	-	-	-
Gross energy, Kcal/kg	4,010	-	-	3,965	3,914	4,198

หมายเหตุ : ^a ข้าวโพดไร่สีม่วง

^b สมยศ โชคชัย วิภา ชไมพร วีระ และศิริพงษ์ (2545)

^c Lee, Kim, and Lee (2001) HO = High Oil

3.3.2 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์แป้ง amylose และ amylopectin ของข้าวโพดไร่สีม่วง

การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์แป้ง amylose ของเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงและเมล็ดข้าวโพดสีเหลือง ณ ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก อำเภอม่วงสามสิบ จังหวัดพิษณุโลก ปรากฏว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์แป้ง amylose ของเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงมีค่าใกล้เคียงกับข้าวโพดอาหารสัตว์เมล็ดสีเหลืองคือ 21.28 และ 21.93 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 เมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์ amylose มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ amylopectin โดยดัดแปลงสูตรคำนวณจาก Lauer (1998) ปรากฏว่าข้าวโพดไร่สีม่วงมี amylopectin ใกล้เคียงกับข้าวโพดอาหารสัตว์เมล็ดสีเหลือง คือ 78.72 และ 78.07 ตามลำดับ (ตารางที่ 3.3)

ตารางที่ 3.3 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์แป้ง amylose และ amylopectin ของเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง และเมล็ดข้าวโพดสีเหลือง

	ข้าวโพดไร่สีม่วง	ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง
การดูดกลืนแสงที่ 620 nm.		
- ตัวอย่างที่ 1	0.307	0.312
- ตัวอย่างที่ 2	0.303	0.316
% Amylose		
- ตัวอย่างที่ 1	21.40	21.79
- ตัวอย่างที่ 2	21.16	22.06
ค่าเฉลี่ย % amylose ¹	21.28	21.93
ค่าเฉลี่ย % amylopectin ²	78.72	78.07

หมายเหตุ : ¹ amylose วิเคราะห์ ณ ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก อำเภวังทอง จังหวัดพิษณุโลก
มีค่า r² ของสารละลายมาตรฐานเท่ากับ 0.9987

² amylopectin คำนวณด้วยสูตรที่ดัดแปลงจาก Lauer (1998)

3.3.3 การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏของข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่

การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ หรือ AME ของข้าวโพดไร่สีม่วงจากปีเพาะปลูก พ.ศ. 2545 ในไก่ไข่พันธุ์การกล้าที่ผ่าตัดแยกส่วนลำไส้ใหญ่ โดยให้อาหารทดลองแบบไม่บังคับ ปรากฏว่า AME มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3,313.32 \pm 77.61$ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 3.4) ซึ่งค่า AME ของข้าวโพดไร่สีม่วงที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ปีกทั่ว ๆ ไป

3.3.4 การประเมินค่าโปรตีนของข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่

การประเมินคุณภาพโปรตีนของเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่ ผล ปรากฏว่าเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงมีค่าการย่อยได้ปรากฏเท่ากับ 88.19 ± 3.24 ซึ่งค่าที่ประเมินได้ใกล้เคียงกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง ส่วนค่าทางชีวภาพของโปรตีน (BV) และค่าการใช้ประโยชน์ของโปรตีนสุทธิ (NPU) ของข้าวโพดไร่สีม่วงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 77.46 ± 8.56 และ 56.38 ± 15.36 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 3.5)

ตารางที่ 3.4 ค่าเฉลี่ยของพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏ (AME) ของข้าวโพดไร่สีม่วงจาก
ปีเพาะปลูก พ.ศ. 2545 ในไก่ไข่

	ข้าวโพดไร่สีม่วง
ปริมาณอาหารที่กิน, กรัม/ตัว/วัน	69.58±8.20
พลังงานที่ได้รับ (IE) , กิโลคาลอรี	268.97±31.69
พลังงานในมูลทั้งหมด (FE),กิโลคาลอรี	22.32±6.95
พลังงานในปัสสาวะทั้งหมด (UE),กิโลคาลอรี	9.92±1.66
ค่า AME ในอาหารทดลอง, กิโลคาลอรี/กิโลกรัม	3,403.23±75.97
ค่า AME จากถั่วเหลือง, กิโลคาลอรี/กิโลกรัม	89.91±10.60
ค่า AME ข้าวโพดไร่สีม่วง, กิโลคาลอรี/กิโลกรัม	3,313.32± 77.61

หมายเหตุ : จากถั่วเหลืองที่ใช้ปรับโปรตีนมีค่า AME เท่ากับ 2,250 กิโลคาลอรี/กิโลกรัม
(Smith, 1977)

ตารางที่ 3.5 การประเมินคุณภาพของโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่ ปีเพาะปลูก
พ.ศ. 2545

	ค่าที่ประเมินได้
อาหารควบคุม	
อาหารที่กิน, กรัม/ตัว/วัน	61.32±3.09
ไนโตรเจนในอาหาร, มก.	-
ไนโตรเจนในมูล (MFN), มก.	22.54±3.26
ไนโตรเจนในปัสสาวะ(EUN) , มก.	7.91±2.15
ข้าวโพดไร่สีม่วง	
อาหารที่กิน, กรัม/ตัว/วัน	69.58±8.20
ไนโตรเจนในอาหาร, มก.	112.72±13.29
ไนโตรเจนในมูล, มก.	54.73±18.05
ไนโตรเจนในปัสสาวะ, มก.	25.16±3.30
Apparent digestibility, %	88.19±3.24
Protein biological value ,BV (%)	77.46±8.56
Net protein utilization ,NPU (%)	56.38±15.36

หมายเหตุ : MFN = metabolic fecal nitrogen

EUN = endogenous urinary nitrogen

3.3.5 ผลการศึกษาระดับสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ บนเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง

3.3.5.1 ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิโรงเก็บเมล็ดช่วงการทดลอง

การเก็บรักษาข้าวโพดไร่สีม่วงและข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2547 ถึงเดือนพฤษภาคม 2547 รวมระยะเวลา 90 วันผลปรากฏว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในช่วงทดลองมีค่าเท่ากับ 36.2 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิสูงสุดที่บันทึกได้คือ 40.3 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 31.6 องศาเซลเซียส ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 79.3 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3.6) ค่าที่บันทึกนี้พบว่าตั้งแต่ต้นเดือนมีนาคม พ.ศ. 2547 เป็นต้นไปอุณหภูมิส่วนใหญ่ในโรงเก็บเมล็ดสูงกว่า 35 องศาเซลเซียสและค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ (ภาคผนวก ข)

ตารางที่ 3.6 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ณ โรงเก็บเมล็ด แผนกพืชไร่-นา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก

ช่วงวันทดสอบ	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)
0 วัน	81.7	32.1	32.8	31.6
15 วัน	80.4	34.6	37.2	32.3
30 วัน	77.0	35.9	38.2	32.6
45 วัน	78.1	37.6	38.7	36.4
60 วัน	74.5	38.5	40.1	36.5
75 วัน	75.1	38.6	40.3	36.2
90 วัน	85.5	35.7	39.5	33.0
ค่าเฉลี่ย	79.3	36.2	-	-
ค่าสูงสุด	85.5	-	40.3	-
ค่าต่ำสุด	74.5	-	-	31.6

หมายเหตุ - ช่วงทดลองเริ่มตั้งแต่วันที่ 15 กุมภาพันธ์ ถึง วันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2547

ระยะเวลา 90 วัน

3.3.5.2 ผลการตรวจปริมาณสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ ในข้าวโพดไร่สีม่วง

หลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดไร่สีม่วงและข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2547 นำมาเก็บรักษา 2 วิธีคือเก็บทั้งฝักและกะเทาะเมล็ดออก นำมาใส่ถุงไนลอนและแขวนในโรงเก็บเมล็ด จากนั้นนำมาตรวจหาสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ โดยวิธี ELISA ในวันที่ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาวิเคราะห์หาปฏิกริยาร่วม (interaction) แบบสุ่มสมบูรณ์ระหว่างกลุ่มทดลองกับช่วงเวลาทดลอง ผลปรากฏว่าไม่พบปฏิกริยาร่วมดังกล่าว เมื่อนำค่าเฉลี่ยมาเปรียบเทียบกันโดยวิธี orthogonal comparison ปรากฏว่าค่าเฉลี่ยสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ ของข้าวโพดไร่สีม่วงมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง โดยการเก็บรักษาข้าวโพดแบบทั้งฝักและกะเทาะเมล็ด มีค่าเฉลี่ยระดับสารพิษแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) นอกจากนี้พบวาระดับสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ ของข้าวโพดไร่สีม่วงแบบกะเทาะเมล็ดมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองแบบกะเทาะเมล็ดอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 1.67 ± 0.76 และ 2.26 ± 1.07 ppb ตามลำดับ (ตารางที่ 3.7)

ตารางที่ 3.7 ค่าเฉลี่ยของสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ ในเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงและเมล็ดข้าวโพดสีเหลืองด้วยวิธี ELISA Test หลังการเก็บรักษา 90 วัน

ช่วง ตรวจ สอบ	ค่าความเข้มข้นของสารอะฟลาทอกซิน B ₁ (ppb)			
	ข้าวโพดสีเหลือง		ข้าวโพดไร่สีม่วง	
	ฝัก (T1)	เมล็ด (T2)	ฝัก (T3)	เมล็ด (T4)
เริ่มต้น	2.36 $\pm$ 1.51	3.50 $\pm$ 3.74	1.00 $\pm$ 1.89	2.84 $\pm$ 3.86
15 วัน	1.19 $\pm$ 0.84	1.90 $\pm$ 1.44	1.49 $\pm$ 1.49	1.34 $\pm$ 1.22
30 วัน	1.02 $\pm$ 0.98	3.42 $\pm$ 3.34	2.30 $\pm$ 2.45	0.82 $\pm$ 0.90
45 วัน	3.96 $\pm$ 4.36	4.46 $\pm$ 4.79	3.86 $\pm$ 3.77	4.58 $\pm$ 4.44
60 วัน	1.90 $\pm$ 3.18	2.12 $\pm$ 2.01	1.84 $\pm$ 2.16	1.86 $\pm$ 2.47
75 วัน	0.30 $\pm$ 0.22	0.16 $\pm$ 0.26	0.24 $\pm$ 0.16	0.24 $\pm$ 0.16
90 วัน	0.22 $\pm$ 0.43	0.67 $\pm$ 2.02	0.00 $\pm$ 0.01	0.00 $\pm$ 0.01
เฉลี่ย	1.56 $\pm$ 1.08	2.26 $\pm$ 1.07	1.53 $\pm$ 0.82	1.67 $\pm$ 0.76

หมายเหตุ : $\text{Pr}>\text{F} (\text{T1}, \text{T2} \text{ vs } \text{T3}, \text{T4}) = 0.32$

$\text{Pr}>\text{F} (\text{T1}, \text{T3} \text{ vs } \text{T2}, \text{T4}) = 0.18$

$\text{Pr}>\text{F} (\text{T2} \text{ vs } \text{T4}) = 0.18$

ในช่วง 45 วันแรกของการทดลองพบว่าระดับสารพิษอะฟลาทอกซิน B_1 ของทุกกลุ่มมีค่าสูงกว่าในช่วง 60-90 วันของการทดลอง โดยเฉพาะเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงที่ตรวจไม่พบสารพิษในหลายตัวอย่าง ขณะที่ข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองตรวจพบหลายตัวอย่าง (ตารางที่ 3.7)

การทดลองนี้มีข้อสังเกตว่าระดับสารพิษอะฟลาทอกซิน B_1 ในข้าวโพดทั้งสองชนิดมีความแปรปรวนมากคือบางตัวอย่างมีสารพิษระดับสูง แต่บางตัวอย่างในกลุ่มเดียวกันพบในระดับต่ำมาก นอกจากนี้บางกลุ่มสามารถตรวจสอบสารพิษได้เกือบทุกตัวอย่าง แต่บางกลุ่มตรวจพบจำนวนน้อย เมื่อนำจำนวนการตรวจพบสารพิษมาคำนวณเป็นค่าเปอร์เซ็นต์การตรวจพบ พบว่าเปอร์เซ็นต์การตรวจพบสารพิษในข้าวโพดไร่สีม่วงที่เก็บทั้งฝักและกะเทาะเมล็ด มีเปอร์เซ็นต์ต่ำกว่าข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 60.0 ± 17.1 , 55.7 ± 16.3 , 70.0 ± 17.1 และ 65.7 ± 13.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 3.8) ซึ่งสารพิษบนเมล็ดข้าวโพดทุกกลุ่มตรวจพบตั้งแต่วันแรกของการทดลอง และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การตรวจพบสารพิษของข้าวโพดไร่สีม่วงและข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองใน 30 วันแรกมีเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างที่ตรวจพบสูงกว่าในช่วงท้ายของการทดลอง (ตารางที่ 3.8)

ตารางที่ 3.8 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การตรวจพบสารอะฟลาทอกซิน B_1 ในเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง และเมล็ดข้าวโพดสีเหลืองด้วยวิธี ELISA Test หลังการเก็บรักษา 90 วัน

ช่วง ตรวจ สอบ	% ตัวอย่างที่พบสารอะฟลาทอกซิน			
	ข้าวโพดสีเหลือง		ข้าวโพดไร่สีม่วง	
	ฝัก(T1)	เมล็ด(T2)	ฝัก(T3)	เมล็ด(T4)
เริ่มต้น	90	60	40	50
15 วัน	80	70	60	70
30 วัน	90	80	100	70
45 วัน	40	80	60	60
60 วัน	60	80	60	50
75 วัน	90	40	80	80
90 วัน	50	50	20	10
เฉลี่ย	70.0 ± 17.1	65.7 ± 13.5	60.0 ± 17.1	55.7 ± 16.3

หมายเหตุ : $\text{Pr}>F$ (T1,T2 vs T3,T4) = 0.23

$\text{Pr}>F$ (T1,T3 vs T2,T4) = 0.60

$\text{Pr}>F$ (T2 vs T4) = 0.39

3.4 วิจารณ์

ผลการวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงโดยวิธี proximate analysis (AOAC, 1984) ที่ปรากฏว่าข้าวโพดไร่สีม่วงมีส่วนประกอบทางเคมีโดยเฉพาะโปรตีนรวมที่มีค่าเท่ากับ 7.99 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับข้าวโพดสีเหลืองที่ใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั่วไป ซึ่งมีโปรตีนระหว่าง 7-8 เปอร์เซ็นต์ (lackey, 2000; Scheideler, 1998; อุทัย, 2529) นอกจากนี้สอดคล้องกับ Lee et.al (2001) ที่วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของข้าวโพดอาหารสัตว์เมล็ดสีเหลืองปลูกในสหรัฐอเมริกาและจีนว่ามีโปรตีนเท่ากับ 7.78 และ 8.22 ตามลำดับ ในงานทดลองนี้พบว่าค่าโปรตีนรวมของข้าวโพดไร่สีม่วงที่วิเคราะห์ได้ในปี พ.ศ. 2545 ต่ำกว่าข้าวโพดที่มียีน bt (event transgenic bt) ที่มีโปรตีนรวมประมาณ 8.43 (Brake and Vlachos, 1998) และข้าวโพดสีม่วงพันธุ์ลูกผสมระหว่างข้าวโพดเมล็ดสีม่วงที่มีพันธุกรรมจากประเทศเปรูกับข้าวโพด ของศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่มีค่าโปรตีนรวมเท่ากับ 9.39 (สมยศและคณะ, 2545) การที่ค่าโปรตีนรวมของข้าวโพดไร่สีม่วงจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลกที่ใช้วิเคราะห์ใน พ.ศ. 2545 มีค่าโปรตีนรวมต่ำน่าจะเนื่องมาจากข้าวโพดไร่สีม่วงนี้มีฐานพันธุกรรมแคบเพราะอยู่ระหว่างการปรับปรุงประชากร ส่วนข้าวโพดสีม่วงที่สมยศและคณะ (2545) นำมาวิเคราะห์เป็นข้าวโพดสีม่วงลูกผสมที่ผ่านการคัดเลือก และปรับปรุงประชากรจากข้าวโพดสีม่วงของประเทศเปรูกับข้าวโพดพันธุ์ลูกผสมของศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติมาแล้ว ทำให้ข้าวโพดสีม่วงที่ได้มีระดับโปรตีนสูงกว่าข้าวโพดไร่สีม่วงที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

การหาเปอร์เซ็นต์แป้ง amylose และ amylopectin ในเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงและเมล็ดข้าวโพดสีเหลืองพบว่ามีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ที่เป็นเช่นนี้น่าจะเนื่องมาจากข้าวโพดไร่สีม่วงมีฐานพันธุกรรมมาจากข้าวโพดปกติ แต่เกิดการกลายพันธุ์ของยีนที่ควบคุมการสังเคราะห์รงควัตถุที่เชื่อมเอนโดสเปิร์ม aleurone โดย Becraft and Asuncion-Crabb (2000) รายงานว่ายีนที่ควบคุมสีของเยื่อ aleurone ในข้าวโพดปกติคือ C1-I แต่ถ้าทำให้โครโมโซมที่ยีนนี้อยู่แตกหักไปพบว่ายีน C1 สามารถแสดงออกได้ ทำให้เยื่อ aleurone มีสีม่วงและยีนนี้ไม่มีผลต่อส่วนประกอบของเอนโดสเปิร์ม แต่ถ้าทำให้เยื่อ aleurone ผิดปกติด้วยยีน mutant *Dek1* ที่ยับยั้งขบวนการสร้างเยื่อ aleurone จึงจะทำให้เอนโดสเปิร์มของข้าวโพดนั้นผิดปกติไป จากผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เฉลี่ย amylose และ amylopectin ของข้าวโพดไร่สีม่วงที่ได้คือ 21.28 และ 78.72 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ พบว่าเป็นค่าโดยประมาณของข้าวโพดปกติที่มี amylose และ amylopectin ประมาณ 20-30 และ 70-80 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Nelson and Pan, 1995) โดยข้าวโพดที่มีส่วนประกอบแตกต่างกันไปจากข้าวโพดปกติ มักเรียกข้าวโพดเหล่านี้ว่า special corn (Haullauer, 1994)

ในธรรมชาติอินที่ผ่าเหล่าบางชนิดไม่มีผลต่อการสังเคราะห์แป้ง โดย Redenbach (2001) กล่าวว่าอินที่ทำให้สีของเยื่อหุ้มเมล็ด aleurone เปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีม่วงไม่มีผลต่อการสังเคราะห์แป้งในเอนโดสเปิร์ม นั้นย่อมหมายความว่าข้าวโพดไร่สีม่วงมีการสังเคราะห์แป้งเป็นปกติ และมีสัดส่วนของ amylose และ amylopectin ใกล้เคียงกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ amylose ของเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงที่มีค่าใกล้เคียงกับข้าวโพดอาหารสัตว์เมล็ดสีเหลือง ในธรรมชาติการสังเคราะห์ amylose และ amylopectin จะเกิดขึ้นพร้อมกันจากเอนไซม์ SS (Tatge, et. al., 1999) และ amylose ถูกสังเคราะห์บริเวณ amylopectin matrix ซึ่ง Tatge et.al (1999) ทดลองย้อมสีเม็ดแป้ง (granules) ของมันเทศที่มีการทำงานของยีน GBSSI ต่ำกว่าปกติ (transgenic potatoes) ด้วยสารละลายไอโอดีน (iodine solution) พบว่าแป้งที่มีสีน้ำเงิน หรือ amylose จะเกิดขึ้นใกล้แกนกลางของแป้งที่ถูกย้อมเป็นสีน้ำตาลแดงหรือ amylopectin นอกจากนี้ขนาดของแป้งสีน้ำเงินจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้น แต่คงอยู่ภายในแกนของ amylopectin ส่วน amylopectin จะสังเคราะห์รอบนอกของเม็ดแป้ง เนื่องจาก amylopectin มีลักษณะเฉพาะตัวคือมีแขนง (James et.al., 2003) แขนงนี้อาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การเพิ่มปริมาณของ amylose ถูกจำกัด โดย Flipse et.al (1996) เสนอแนะว่าช่องว่างใน amylopectin อาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การสังเคราะห์ amylose ในธรรมชาติมีเพียง 25-30 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น เนื่องจาก Flipse et.al. (1996) ไม่สามารถเพิ่มการสังเคราะห์ amylose ในแป้งของมันเทศให้สูงกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ได้ แม้ว่าจะเพิ่มกิจกรรม (activity) ของเอนไซม์ GBSSI เพื่อเพิ่มการสังเคราะห์ amylose แล้วก็ตาม และท้ายสุดของสะสมแป้งในเมล็ดข้าวโพดปกติพบว่า amylose มีประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ส่วน amylopectin จะมีประมาณ 80-70 เปอร์เซ็นต์ (Hegenbart, 1996; International Starch Institute, 2001; Binkley, 2005; Anonymous, nd) หรือสัดส่วนของ amylose และ amylopectin เป็น 1: 3 ของแป้งในเมล็ดข้าวโพดปกติ (Guan and Keeling, 1998; Denyer et.al., 2001)

สำหรับค่า AME ของข้าวโพดไร่สีม่วงที่ประเมินในไก่ไข่ สอดคล้องกับ อุทัย (2529) และ บุญล้อม (2541) ที่บรรยายว่าข้าวโพดอาหารสัตว์มีค่า AME เฉลี่ยในสัตว์ปีกประมาณ 3,370 และ 3,350 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมอาหารตามลำดับ โดย Lackey (2000) ได้รวบรวมค่า AME ของข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ประเมินในสัตว์ปีกของประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1992 ถึง ค.ศ. 2000 พบว่ามีค่าประมาณ 2,360-3,270 หรือมีค่าเฉลี่ยประมาณ 3,160 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่ง Lackey (2000) กล่าวว่าค่า AME ของข้าวโพดที่ได้ มีความแตกต่างกันสืบเนื่องจากการทดสอบ พันธุ์ไก่ ชนิดของไก่ เพศของไก่ อายุของไก่ทดลอง ตลอดจนปริมาณอาหารที่กิน โดย Yaghobfar, Boldaji, and Csapo (2000) ศึกษาสิ่งขับถ่าย (excreta) ของไก่ โดยใช้

วิธีการให้อาหารแบบ *ad libitum* (conventional additional method, CAM) และบังคับให้กิน (force feed) ตามหลักการของ Sibbald (1976) ปรากฏว่าน้ำหนักแห้งของสิ่งขับถ่ายที่ออกมา (weight of excreta) ทั้งสองวิธีการจะขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่กิน กล่าวคือ ถ้าไก่กินอาหารมากจะทำให้ น้ำหนักแห้งของสิ่งขับถ่ายออกมามากตามไปด้วย ส่งผลให้การสูญเสียพลังงานในสิ่งขับถ่ายสูงตามไปด้วย ซึ่ง Yaghobfar et.al. (2001) สรุปงานวิจัยที่ได้ว่าสอดคล้องกับ Guillaume and Summers (1970) และ Sibbald (1975) ที่เสนอว่าค่า AME ขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่กิน สำหรับการทดลองครั้งนี้มีค่า AME ของข้าวโพดไร่สีม่วงเท่ากับ 3,313 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมจากไก่ที่ผ่าตัดแยกส่วนลำไส้ใหญ่ (caecectomized hen) จะสูงกว่าไก่ปกติ (intact hen) ที่ พรณระพี และคณะ (2547) รายงานว่าค่า AME ข้าวโพดไร่สีม่วงที่ประเมินจากไก่ปกติ มีค่าเฉลี่ยประมาณ 3,120 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ที่เป็นเช่นนี้สันนิษฐานว่าน่าจะเนื่องมาจากผลกระทบของกรรมวิธีการผ่าตัดส่งผลให้การกินอาหารของไก่หลังผ่าตัดผิดปกติ โดยไก่ทดลองไม่ค่อยกินอาหารช่วงระยะทดลอง ทำให้ปริมาณอาหารที่กินมีค่าเฉลี่ยประมาณ 69.58 ± 8.20 กรัมต่อตัวต่อวัน ต่ำกว่าไก่ปกติที่มีปริมาณอาหารที่กินเท่ากับ 90.08 ± 4.78 กรัมต่อตัวต่อวัน

ในช่วงสิบปีที่ผ่านมาการศึกษาเกี่ยวกับค่า AME แม้ว่าจะมีวิธีการหรือรูปแบบการให้อาหารที่แตกต่างกัน แต่ส่วนใหญ่ยึดหลักการของ Sibbald (1976) และ McNab and Blair (1988) ที่พัฒนาแนวทางการประเมินค่าพลังงานในวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยใช้ไก่ปกติทดลองและทำการอดอาหารก่อนการทดลอง หลักการที่ใช้ได้แก่ 24h+24h assay ของ Sibbald (1976) ที่อดอาหารไก่ทดลองเพื่อขับกากอาหารเก่าออกให้หมดในเวลา 24 ชั่วโมง ต่อจากนั้นให้น้ำตาลกลูโคส (glucose) หรือเดกซ์โตส (dextose) กินเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อเก็บมูลที่ไม่ได้มาจากอาหารนำมาวิเคราะห์หาค่าพลังงาน กรดอะมิโนและไนโตรเจน ที่มาจากท่อทางเดินอาหารของไก่อ่อนการทดลอง จากนั้นจึงเริ่มให้อาหารทดลองเป็นเวลา 2 วัน (D'Mello, 2000) ส่วน 48h+48h assay เป็นวิธีการของ McNab and Blair (1988) ที่พัฒนามาจากหลักการของ Sibbald (1976) โดยเพิ่มช่วงระยะเวลาในการอดอาหารออกไปเป็น 48 ชั่วโมง และให้น้ำตาลกลูโคสหรือเดกซ์โตสกินเป็นเวลา 48 ชั่วโมงจึงเริ่มให้อาหารทดลอง ถ้าอาหารมีเชื้อใยสูงจะประยุกต์เป็น 48h+72h assay (McNab, 2000) อย่างไรก็ตามยังมีข้อโต้แย้งอีกมากมายเกี่ยวกับ อายุไก่ทดลอง เพศ พันธุ์ รูปแบบการให้อาหาร (แบบ *ad libitum* และบังคับให้กิน) ปริมาณอาหารทดลองที่ให้ไก่กิน รูปแบบของการทดสอบที่ใช้ทั้งการทดสอบในไก่โดยตรง หรือการใช้สารบ่งชี้ (marker) อย่างไรก็ตามการศึกษาเหล่านี้มีจุดมุ่งหมายเดียวกันคือประเมินค่าพลังงานเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปประกอบสูตรอาหารสัตว์ทั้งสิ้น

สำหรับค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ปรากฏของเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง พบว่ามีค่าใกล้เคียง

กับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองที่มีการย่อยได้สูง เนื่องจากแป้ง amylose ถูกย่อยได้ง่ายจากเอนไซม์ amylolytic enzyme ในท่อทางเดินอาหารของสัตว์ปีก (Annison and Topping, 1994) นอกจากนี้ แป้งในข้าวโพดมีสารขัดขวางการใช้ประโยชน์ของโภชนะ (anti-nutritive factors) ในเมล็ดต่ำ สารนี้ได้แก่ non-starch polysaccharides (NSP) หรือ α -amylase inhibitors ในธัญพืชพวก ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต และข้าวบาร์เลย์ จะพบ NSP ระดับสูง โดยเฉพาะ arabinoxylans, β -glucan และเซลลูโลส (Smits and Annison, 1996) Annison (1991) อธิบายว่า NPS มีทั้งชนิดที่ ละลายได้ (soluble) และไม่ละลายในสารละลาย (insoluble) NSP ที่ไม่ละลายในสารละลาย เช่น arabinoxylan และ β -glucan จะมีผลต่อการย่อยได้ของไก่ แต่ข้าวโพดอาหารสัตว์พบว่าส่วน ประกอบเหล่านี้มีระดับต่ำกว่าธัญพืชชนิดอื่น (Annison, 1993)

ส่วนค่าทางชีวภาพของโปรตีน (BV) ของข้าวโพดไร่สีม่วงที่วิเคราะห์ได้ประมาณ 77.46 เปอร์เซ็นต์พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับ Villegas, Eggum, Vasal, and Kohli (2002) ที่ประเมินค่า BV ของข้าวโพดอาหารสัตว์ 7 สายพันธุ์และรายงานว่ามีค่าเฉลี่ยประมาณ 62.7-77.6 เปอร์เซ็นต์ โดยโปรตีนจะพบมากที่เอนโดสเปิร์มของเมล็ดข้าวโพด (Prasanna, Vasal, Kassahun, and Singh, 2001) โดยเฉพาะโปรตีน zein ที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ (alcohol soluble protein) โปรตีน zein นี้พบในเอนโดสเปิร์มมากกว่าในคัพเพาะ ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนกลูตามีน (glutamine) ลิวซีน (leucine) และโปรลีน (proline) ระดับสูง แต่มีไลซีน (lysine) และ ทริปโตเฟน (tryptophan) ระดับต่ำ เนื่องจากในเมล็ดข้าวโพดมีโปรตีน glutein ในระดับต่ำ ซึ่ง โปรตีน glutein นี้ประกอบด้วยกรดอะมิโนไลซีนและทริปโตเฟนระดับสูง (Dickerson, 2003)

ค่า NPU เป็นค่าโดยประมาณที่บ่งบอกให้ทราบว่าโปรตีนที่ให้กินถูกกักเก็บในร่างกายได้กี่ เปอร์เซ็นต์ จากค่า NPU ของข้าวโพดไร่สีม่วงที่ประเมินได้ประมาณ 56.38 เปอร์เซ็นต์ พบว่าใกล้เคียงกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองทั่วไปที่ทราบค่าโปรตีนส่วนใหญ่คือ zein โปรตีนนี้มีคุณภาพต่ำ เนื่องจากมีกรดอะมิโนที่จำเป็นไม่สมดุล (imbalance amino acid) คือมีไลซีนและ ทริปโตเฟน ระดับต่ำ (Prasanna et.al, 2001) ตามปกติร่างกายสัตว์จะดูดซึมกรดอะมิโนไปใช้สังเคราะห์ โปรตีนในร่างกายและการกักเก็บกรดอะมิโนเพื่อนำไปใช้นี้ ขึ้นอยู่กับสมดุลของกรดอะมิโนใน อาหารนั้น ๆ กล่าวคือ ถ้าสัดส่วนของกรดอะมิโนที่ได้รับในอาหารใกล้เคียงกับกรดอะมิโนในร่างกายมากเท่าใด ร่างกายจะดูดซึมกรดอะมิโนเหล่านั้นไปกักเก็บได้มากขึ้น ทำให้ค่า BV และ NPU ที่ประเมินได้มีค่าสูงขึ้น เช่น ปลาป่นจะมีค่า BV สูงถึง 76-90 เปอร์เซ็นต์ (บุญล้อม, 2527) ใน การนี้กล่าวข้าวโพดไร่สีม่วงมีโปรตีน zein เป็นส่วนประกอบหลักในเอนโดสเปิร์มเช่นเดียวกับข้าวโพดอาหารสัตว์ทั่วไป จึงทำให้ค่าต่าง ๆ ที่ประเมินได้ใกล้เคียงกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง แต่ มีข้าวโพดบางสายพันธุ์ที่บางยีนเกิดการผ่าเหล่า ทำให้มีไลซีนสูงกว่าข้าวโพดปกติถึง 2

เท่า เช่น ข้าวโพดพันธุ์ opaque ที่มียีน *o12* (opaque-2 gene) (Prasanna et.al, 2001)

Patil and Fahey (1998) กล่าวว่าการศึกษาคุณภาพโปรตีนในวัตถุดิบอาหารสัตว์ไม่นิยมประเมินจากค่า BV เนื่องจากวิธีนี้มีข้อด้อยคือไม่สามารถบอกถึงการย่อยได้ของโปรตีน (protein digestibility) เพราะเป็นการประเมินจากค่าไนโตรเจนที่ร่างกายดูดซึมเข้าไป ไม่ได้ประเมินจากกรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบของโปรตีน (Borin, Ogel, and Lindberg, 1993) ที่สำคัญประการหนึ่งคือ ค่า BV และ NPU ไม่ได้นำมาใช้ในการคำนวณในสูตรอาหารเหมือนกับกรดอะมิโนที่จำเป็น และค่า BV ในวัตถุดิบต่าง ๆ ในอาหารผสมสำเร็จจะมีค่าการใช้ประโยชน์ของโปรตีนแตกต่างกัน เนื่องจากเกิดการขัดขวางการใช้ประโยชน์หรือส่งเสริมซึ่งกันและกัน ทำให้ค่า BV ในสูตรด้อยลงหรือดีขึ้นได้ (Johnson, 1992) นอกจากนี้เป็นที่ทราบกันว่าข้าวโพดอาหารสัตว์ทั่วไปมีข้อด้อยในเรื่องกรดอะมิโนไลซีนที่เป็น first limiting amino acid ในไก่ เมื่อนำข้าวโพดไปใช้ในสูตรอาหารจำนวนมาก จะต้องระมัดระวังการขาดกรดอะมิโนดังกล่าวในสูตรอาหาร (Snyder, 2002)

ปัจจุบันการประเมินคุณภาพโปรตีนจากกรดอะมิโนมีวิธีการที่หลากหลาย เช่น วิธีการผ่าตัดส่วนลำไส้ (ileostomy assay) ที่เคยใช้ในสุนัขและนำมาประยุกต์ใช้ในสุกรและสัตว์ปีก โดยใช้ไก่ที่มีน้ำหนักประมาณ 2.8-3.0 กิโลกรัม (Schutte, van Leeuwen, and Lichtendonk, 1991 ; Van Leeuwen, Babinszky, Verstegen, and Tossenberger, 2000) วิธีการนี้ประยุกต์มาจากการของ Kuiken and Lyman (1948) โดยผ่าตัดใส่อุปกรณ์ T-type canula ที่ทำจาก polyvinyl chloride pipe บริเวณลำไส้เล็กส่วน ileum เหนือส่วน ileocecal junction ประมาณ 10 เซนติเมตรเพื่อดักเก็บส่วนที่จะขับออกไปยังลำไส้ใหญ่ไม่ให้ปนเปื้อนจุลินทรีย์ หรือวิธีการฆ่าไก่หลังได้รับอาหารทดลอง 2 ชั่วโมง และนำอาหารที่ปลายลำไส้เล็กตั้งแต่บริเวณ Meckel's diverticulum ยาวประมาณ 4 เซนติเมตรเหนือส่วนต่อ ileocaecal junction มาวิเคราะห์หากรดอะมิโน (Singh and Perez-Maldonado, 2000; Chote and Hughes, 2000 ; Jamroz, Jakobsen, Knudsen, Wiliczekiewicz, and Orda, 2002) โดยอ้างอิงงานทดลองของ Kadim and Moughum (1997) ที่รายงานว่าค่าไนโตรเจนย่อยได้ในส่วนปลายลำไส้เล็กหลังให้อาหารทดลองภายใน 4 ชั่วโมง มีความผันแปรน้อยกว่าการให้อาหารทดลองนานกว่า 4 ชั่วโมง หรือแม้กระทั่งการผ่าตัดแยกส่วนลำไส้ใหญ่ (caecectomized assay) ที่พัฒนาวิธีการโดย Payne, Kifer, Snider, and Combs (1971) เพื่อหาการย่อยได้ปรากฏของกรดอะมิโน (apparent amino acid digestibility) ในปลาป่น

จากผลการศึกษาระดับสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ บนเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง หลังการเก็บ

เกี่ยวในโรงเก็บเมล็ดของคณะวิชาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขต พิษณุโลก พบว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่บันทึกภายในโรงเก็บมีอุณหภูมิเฉลี่ยใน 15 วันแรก ของการเก็บรักษาประมาณ 32.1 องศาเซลเซียสเหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อรา *A. flavus* โดย เชื้อรา *A. flavus* จะเจริญได้ดีที่สุดในอุณหภูมิระหว่าง 29 – 35 องศาเซลเซียส (Shantha and Sreenivasmurthy, 1981) ด้วยเหตุนี้ทำให้ผลการศึกษาระดับสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ ของงาน ทดลองนี้พบระดับสูงในช่วงแรกของการเก็บรักษา

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ตลอดการทดลอง พบว่ามีอุณหภูมิ เฉลี่ย 36.2 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 79.3 เปอร์เซ็นต์ โดยอุณหภูมิตั้งแต่เดือน มีนาคมเป็นต้นไปสูงกว่า 35 องศาเซลเซียสและบางวันมีอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ส่วน ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ สภาพเช่นนี้ย่อมส่งผลต่อการมีชีวิตของเชื้อรา เนื่องจาก เชื้อรา *A. flavus* เจริญได้น้อยเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส (Teitell, 1985) และทำให้การสร้างสารพิษลดลงหรือถูกยับยั้งไป (Sorenson, Hesseltine, and Shotwell, 1967) หรืออาจกล่าวได้ว่าสภาพแวดล้อมในช่วงการเก็บรักษาไม่เอื้อ อำนวยต่อการเจริญของเชื้อราแต่อย่างใด ทำให้ระดับสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ ในข้าวโพดไร่สีม่วง และเมล็ดข้าวโพดสีเหลืองได้ค่าเฉลี่ยที่ต่ำในช่วงท้ายของการทดลอง สำหรับค่าเฉลี่ยสารพิษอะฟลา ทอกซิน B₁ ในข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองที่กะเทาะเมล็ดมีค่าสูงกว่าแบบเก็บรักษาทั้งฝักอย่างไม่มีนัย สำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับ อารันต์ (2528) ที่กล่าวว่า การกะเทาะเมล็ดทำให้เกิดการแตกหัก หรือ มีรอยแตกเกิดขึ้นบนเมล็ดทำให้เชื้อรา *A. flavus* เจริญได้ง่ายโดยเฉพาะบริเวณที่มีรอยแตกหักหรือ รอยที่ถูกแมลงกัดแทะ

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การตรวจพบสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ ระหว่างข้าวโพดไร่สี ม่วงและข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองโดยวิธี orthogonal comparison ปรากฏว่าเปอร์เซ็นต์การตรวจพบ สารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ ของข้าวโพดไร่สีม่วงแบบกะเทาะเมล็ดแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทาง สถิติกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองแบบกะเทาะเมล็ด ($P>0.05$) ที่เป็นเช่นนี้คาดว่าอาจเนื่องมาจากช่วง ทดลองมีสภาพแวดล้อมไม่เอื้ออำนวยต่อการมีชีวิตและการสร้างสารพิษของเชื้อรา *A. flavus* ในข้าวโพดทั้งสองชนิด สอดคล้องกับ ศุภสิทธิ์ สนั่น บุญมี และโสภณ (2546) ที่ตรวจสอบการ ปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ ในถั่วลิสงที่ผลิตช่วงปลายฤดูฝน และเก็บรักษาในช่วงฤดูร้อน พบว่ามีการปนเปื้อนในระดับต่ำคือ 4.06, 0.8 และ 0.6 ppb ที่อายุเก็บเกี่ยว 110, 100 และ 90 วัน ตามลำดับ นอกจากนี้ Kositcharoenkul, Goto and Arai (1992) รายงานการตรวจระดับสารพิษ อะฟลาทอกซินในเมล็ดข้าวโพดที่ให้ความชื้นสูงแก่เมล็ดถึง 23 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนำไปเก็บรักษาใน โรงเก็บเมล็ดเปรียบเทียบกับเก็บในห้องปฏิบัติการว่า ระดับสารพิษของเมล็ดข้าวโพดที่เก็บใน

โรงเก็บจะมีระดับต่ำและลดลงเมื่ออุณหภูมิในโรงเก็บสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส Kositcharoenkul et. al (1992) คาดว่าอากาศที่ร้อนมีผลไปยับยั้งการสร้างสารพิษ หรือทำให้เมล็ดแห้ง ทำให้เชื้อราไม่สามารถนำโภชนะในเมล็ดมาใช้สร้างสารพิษหรือใช้ในการเจริญเติบโตได้ แตกต่างจากเมล็ดข้าวโพดที่เก็บรักษาในห้องปฏิบัติการที่ Kositcharoenkul et. al (1992) พบว่ามีระดับสารพิษเพิ่มขึ้นตลอดเวลาจนถึงระดับ 500 ppb ภายในเวลา 1 เดือน

การทดลองนี้ตรวจพบสารอะฟลาทอกซิน B₁ จากตัวอย่างตั้งแต่วันแรกของการทดลอง สอดคล้องกับ Taubenhaus (1920) ที่รายงานเป็นคนแรกพบการปนเปื้อนเชื้อรา *A. flavus* ในแปลงข้าวโพด ต่อมา Prisnar, Wongurai, and Tanboon-ek (1992) รายงานสอดคล้องกันว่าการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในข้าวโพดจะพบตั้งแต่แปลงปลูก โดยปนเปื้อนทางไหม (silk) ของข้าวโพดและผ่านมายังเมล็ดข้าวโพดในช่วงอายุตั้งแต่ 109 วัน หรือ 119 วันของการปลูก การปนเปื้อนจะพบทั้งรูปของสารพิษและสปอร์ของเชื้อรา *A. flavus* ทำให้เชื้อราสามารถเจริญและสร้างสารพิษเพิ่มขึ้นในโรงเก็บเมล็ด ถ้าสภาวะแวดล้อมเหมาะสม

ช่วงสุดท้ายของการทดลองพบว่าจำนวนตัวอย่างข้าวโพดทั้งสองกลุ่ม มีจำนวนการตรวจพบอะฟลาทอกซิน B₁ น้อยกว่าในช่วงแรกของการทดลอง ที่เป็นเช่นนี้สันนิษฐานว่าน่าจะเกิดจากเมล็ดข้าวโพดอาจปนเปื้อนเชื้อราหรือสปอร์ในแปลงปลูกระดับต่ำ หรืออาจเกิดจากอุณหภูมิแวดล้อมในโรงเก็บเมล็ดสูงกว่า 37 องศาเซลเซียสนานนับเดือนโดยเฉพาะเดือนเมษายน ซึ่งอุณหภูมิที่สูงอาจมีผลต่อเอนไซม์ microsomal peroxidase ในเชื้อรา *A. flavus* ทำให้เกิดการเสื่อมสลาย (degradation) ของสารพิษอะฟลาทอกซิน โดย Singh (1997) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับการเสื่อมสลายของสารพิษอะฟลาทอกซินของเชื้อรา *A. flavus* และรายงานว่าอุณหภูมิ 37-45 องศาเซลเซียสพบว่าไมซีเลียม (mycelium) ของเชื้อราและสารพิษลดลง Singh (1997) สันนิษฐานว่าอาจเกิดจากเอนไซม์ microsomal peroxidase จากเชื้อรา *A. flavus* ทำให้สารพิษอะฟลาทอกซินเสื่อมสลายไป นอกจากนี้อาจเนื่องจากการเก็บรักษาข้าวโพดของงานทดลองนี้ทำนอกห้องปฏิบัติการทำให้สภาพแวดล้อมมีผลต่อระดับสารพิษสอดคล้องกับ Kositcharoenkul, et.al (1992) ที่รายงานว่า การนำเมล็ดข้าวโพดที่ให้ความชื้นสูงแก่เมล็ดถึง 23 เปอร์เซ็นต์ ไปเก็บรักษาในโรงเก็บเมล็ดหรือนอกห้องปฏิบัติการ พบว่ามีระดับอะฟลาทอกซินต่ำและลดระดับลงได้เมื่ออุณหภูมิโรงเก็บสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ต่างจากการเก็บเมล็ดข้าวโพดในห้องปฏิบัติการที่พบว่ามีระดับสารพิษเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดย Kositcharoenkul et. al. (1992) คาดว่าน่าจะเกิดจากความร้อนไปยับยั้งการสร้างสารพิษ หรืออาจเกิดจากความร้อนทำให้เมล็ดแห้งจึงไม่สามารถนำโภชนะในเมล็ดมาสร้างสารพิษได้ ปรากฏการณ์นี้สอดคล้องกับงานทดลองนี้ที่อุณหภูมิระหว่างการทดลองสูงกว่า 40 องศาเซลเซียสในเดือนเมษายน และความชื้นต่ำประมาณ 74.5-78.1 เปอร์เซ็นต์

อาจด้วยเหตุนี้เมื่อศึกษาาระดับสารพิษช่วงท้ายของการศึกษา จึงมีพบสารพิษในระดับที่ต่ำกว่าช่วงแรกของการศึกษา ดังนั้นผลที่ได้จากการทดลองนี้ ไม่ได้หมายความว่าสารพิษที่สร้างขึ้นในช่วงแรกการทดลองจะเสื่อมสลายไปจากการเก็บรักษานาน 90 วันในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียสและความชื้นต่ำกว่า 78 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากทราบกันดีว่าสารพิษอะฟลาทอกซินมีความทนทานต่อความร้อนได้สูงถึง 250 องศาเซลเซียส (อนงค์, 2546)

3.5 สรุปผลการทดลอง

ข้าวโพดไร่สีม่วงที่พัฒนาพันธุ์จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก ในปีเพาะปลูก พ.ศ. 2545 มีส่วนประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับข้าวโพดอาหารสัตว์ทั่วไป นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์แป้ง amylose, amylopectin ค่าพลังงานรวม (GE) ค่าเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ (AME) ค่าชีวภาพของโปรตีน (BV) และค่าการใช้ประโยชน์ของโปรตีนสุทธิ (NPU) มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างจากข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง ส่วนการศึกษาระดับสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ บนเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงเปรียบเทียบกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง หลังการเก็บเกี่ยวในช่วงระยะเวลา 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วันในโรงเรือนเก็บเมล็ดพบว่าระดับสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ ของข้าวโพดทั้งสองชนิดมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งการเก็บรักษาแบบฝักและกะเทาะเมล็ด

3.6 รายการอ้างอิง

- พรรณระพี อำนวยสิทธิ สมกิจ อนุวัชกุล คมสัน อำนวยสิทธิ นวลจันทร์ พารักยา เสกสม อาตมากร และวิศิษฐ์พร สุขสมบัติ. 2547. การประเมินค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่และไก่กระทอง, หน้า 314-322 ใน การประชุมเชิงปฏิบัติ การโครงการวิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่าง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วันที่ 19-21 พฤษภาคม 2547 ณ โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา.
- บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2527. โภชนศาสตร์สัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 292 น.
- บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2541. โภชนศาสตร์สัตว์. วนบรรณการพิมพ์, อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. 170 น.
- สุนันทา วงศ์ปิยชน. 2542. การวิเคราะห์ปริมาณอมิโลส (apparent amylose), หน้า 46-55 ใน การฝึกอบรมหลักสูตร การวิเคราะห์คุณภาพข้าวหอมมะลิทางเคมี ณ อาคารฝึกอบรมศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี อำเภอรัญบุรี จังหวัดปทุมธานี วันที่ 24-25 มีนาคม 2542.

- สนั่น จอกลอย โสภณ วงศ์แก้ว บุญมี ศิริ วิลาวรรณ มานะดี จุฑารัตน์ เชื้อพงษ์
 สรรเสริญ เสียงใส และอุดม ชัยพูน. 2540. รายงานผลการศึกษารื่องการผลิตและ
 กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวถั่วลิสงปลายฤดูฝน ปีเพาะปลูก 2539 ในระบบการผลิตที่
 ควบคุมการเกิดสารอะฟลาทอกซิน. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, อ้างถึง
 ใน ศุภสิทธิ์ และคณะ (2546)
- สมยศ จรรยาวิลาส, โชคชัย เอกทัศนาวรรณ, วิภา สุโรจนะเมธากุล, ชไมพร เอกทัศนาวรรณ,
 ชีระ ทองเผือก และศิริพงษ์ เทشنا. 2545. การใช้ประโยชน์ของข้าวโพดสีม่วง. รายงานผล
 การวิจัยฉบับสมบูรณ์, รายงานผลโครงการวิจัยรหัส สวพ-ว-5 (315/45)
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กทม. 13 แผ่น.
- ศุภสิทธิ์ สิทธาพานิช สนั่นจอกลอย บุญมี ศิริ และโสภณ วงศ์แก้ว. 2546. อิทธิพลของพันธุ์
 และอายุเก็บเกี่ยวต่อผลผลิตและการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงที่ผลิตในช่วง
 ปลายฤดูฝน. เกษตร 31(4) 218:225.
- อารันต์ พัฒโนทัย. 2528. อะฟลาทอกซิน ปัญหาของถั่วลิสง. เกษตร 13(11): 1-9.
- อุทัย คันโธ. 2529. อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก. พิมพ์ครั้งที่ 2. ศูนย์วิจัยและฝึก
 อบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ, กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม. 297
- อนงค์ บินทวิหค. 2546. สารพิษจากเชื้อรา :อะฟลาทอกซิน. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
 322
- อมรา ชินภูติ และชวลิต ศรีภานุสวัสดิ์. 2547. การใช้ชุดตรวจสอบสารอะฟลาทอกซิน
 สำเร็จรูป DOA-Aflatoxin ELISA Test Kit. กลุ่มงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี
 หลังการเก็บเกี่ยว, สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผล
 เกษตรกรมวิชาการ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 30 น.
- Annison, G. 1991. Relationship between the levels of soluble nonstarch
 polysaccharides and the apparent metabolizable energy of wheats assayed in
 broiler chicken. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 39: 1252-1256.
- Annison, G. 1993. The role of wheat non-starch polysaccharides in broiler
 nutrition. *Australian Journal of Agricultural Research* 44:405-422.
- Annison, G. and Topping, D.L. 1994. Nutritional role of resistant starch : chemical
 structure vs physiological function. *Annual Reviews of Nutrition*
 14: 297-320.

- Anonymous, nd. Innovation in grain production: Hi-maize® (Penford Australia) [On-line]. Available: http://www.gograins.grdc.com.au/grainsnutrition/ie/17_1.html.
- AOAC. 1984. Official methods of analysis. 14th ed., The Association of Official Analytical Chemists, Arlington Virginia, U.S.A. 1141 p.
- AOAC. 1995. Official methods of analysis. 16th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Arlington Virginia, U.S.A. 1530 p.
- Becraft, B.W. and Asuncion-Crabb, Y. 2000. Positional cues specify and maintain aleurone cell fate in maize endosperm development. *Development* 127, 4039-4048.
- Blinkley, S.W. 2005. Corn ears for genetics [On-line] Available : http://www.carolina.com/biotech/corn_genetics.asp
- Borin, K., Ogel, B. and Lindberg, J.E. 1993. Methods and techniques for the determination of amino acid digestibility [On-line]. Available : <http://www.cipav.org.co/irrd/irrd14/6/bori146.htm>.
- Brake, J. and Vlachos, D. 1998. Evaluation of transgenic event 176 “Bt” corn in broiler chickens. *Poultry Science* 77: 648-653.
- Chot, M., and Hughes, B. 2000. The New season grain phenomena : The rule of endogenous glycanases in the nutritional value of cereal grains in broiler chickens [On-line]. Available: <http://www.rirdc.gov.au>
- Denyer, K., Jonhson, K., Zeeman, S., and Smith, A.M. 2001. The control of amylose synthesis. *J. Plant Physiol.* 158: 479-487.
- Dickerson, G.W. 2003. Nutritional analysis of new maxico blue corn and dent corn kernels [On-line]. Available: http://www.cahe.nmsu.edu./pubs/_h/h-233.pdf.

- D'Mello, J.P.F. 2000. Farm animal metabolism and nutrition. CABI publishing. NewYork, USA. 438 p.
- Flipse, E., Keetels, C.J.A.M., Jacobsen, E., and Visser, R.G.F. 1996. The dosage effect of the wildtype GBSS allele is linear for GBSS activity but not for amylose content : absence of amylose has a distinct influence on the physio-chemical properties of starch. *Theo. Appl. Genet.* 92: 121-127.
- Guan, H.P., and Keeling, P.L. 1998. Starch biosynthesis : understanding the functions and interactions of multiple isozymes of starch synthase and branching enzyme [On-line]. Available : http://www.cec.org/files/PDF/Maize-Biodiversity-Chapter1_en.pdf
- Guillaume, J. and Summers, J.D. 1970. Maintenance energy requirement of the rooster and influence of plane of nutrition on metabolisable energy. *Can. J. Anim. Sci.* 50: 363-369.
- Haullauer, A.R. 1994. Special corn. Publish by CRC, Inc. USA. 410 p.
- Hegenbart, S. 1996. Understanding starch functionality [On-line]. Available : <http://www.foodproductdesign.com/archive/1996/0196CS.html>.
- International Starch Institute, Science Park Aarhus, Denmark. 2001. Maize (corn) [On-line]. Available : <http://www.starch.dk/isi/starch/maize.htm>.
- James, M.G., Denyer, K., and Myers, A. 2003. Starch synthesis in the cereal endosperm. *Current Opinion in Plant Biology* 6: 215-222.
- Jamroz D, Jakobsen K, Knudsen, K. E. B, Wiliczekiewicz, A. and Orda, J. 2002. Digestibility and energy value of non-starch polysaccharides in young chickens, ducks and geese, fed diets containing high amounts of barley. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A.* 131: 657-668.

- Johnson, R. J. 1992. Principles, problems and application of amino acid digestibility in poultry. *World's Poultry Science Journal*, 48: 231-246.
- Kadim, I. T and Moughan, P. J. 1997. Development of an ileal amino acid digestibility assay for the growing chicken – effects of time after feeding and site of sampling [On-line]. Available : <http://www.cipav.org.co/irrd/irrd14/6/bori146.htm>.
- Kositcharoenkul, S., Goto, T., Arai, K. 1992. Change of aflatoxin content in stored wet maize, p. 23-28. *In* Research report maize quality improvement research center project : micobe. Japan International Cooperation Agency.
- Kuiken, K.A. and Lyman, C.M. 1948. Availability of amino acid in some foods. *J. Nutri.* 36: 359-368.
- Lackey, R. 2000. Feeding value of corn : Energy level of 2000 grain corn [On-line]. Available: <http://www.ontariocorn.org/ocpmag/magh201pg26.htm>.
- Lauer, J. 1998. Management needs for specialty corn hybrids [On-line]. Available : <http://corn.agronomy.wisc.edu/AAdvice/1998/A019.html>.
- Lee ,B.D., Kim,D.J., and Lee,S.J. 2001. Nutritive and economic values of high oil corn in layer diet. *Poultry Sci.* 80:1527-1534.
- McNab, J.M. and Blair,J.C.1988. Modified assay for true and apparent metabolizable energy based on tube feeding. *Br. Poult. Sci.* 29:697-707.
- McNab, J.M. 2000. Rapid metabolizable energy assay, pp. 307-315. *In* D'Mello, J.P.F. 2000. Farm animal metabolism and nutrition. CABI publishing. NewYork, USA. 438 p.

- Miller and Bender . 1955. อ้างถึงใน บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2527. โภชนศาสตร์สัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 292 น.
- Mitchell. 1924. อ้างถึงใน บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2527. โภชนศาสตร์สัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 292 น.
- Nelson, O., and Pan, D. 1995. Starch synthesis in maize endosperm. *Annu. Rev. plant. Mol. Biol.* 46: 475-496.
- Patil, A. R. and Fahey, G.C. 1998. Petfood ingredients and ingredient processing affect dietary protein quality [On-line]. Available : <http://www.vetshow.com/download/purina/patil.pdf>.
- Prasanna, B.M., Vasal, S.K., Kassahun, B. and Singh, N.N. 2001. Quality protein maize. *Current Science* 81: 1308-1319.
- Payne, W.L., Kifer, R.R., Snider, D.G. and Combs, G.F. 1971. Studies of protein digestion in chicken. 1. Investigation of apparent amino acid digestibility of fish meal protein using cecectomised, adult male chickens. *Poultry Sci.* 50: 143-150.
- Prisnar, S., Wongurai, A., and Tanboon-ek, P. 1992. Field infection and contamination of maize by *Aspergillus flavus*, p. 29-34 In Research report maize quality improvement research centre project: Microbe. Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Thailand.
- Redenbach, M. 2001. Transposition II [On-line]. Available : <http://www.uni-kl.de/FB-Biologie/AG-Cullum/Teaching/Files/Gen1Lec2.pdf>
- Scheideler, S. 1998. High oil corn in layer rations [On-line]. Available : <http://www.ianr.unl.edu/pubs/poultry/mp70/mp70-02.htm>.

- Schutte, J.B., van Leeuwen, P., and Lichtendonk, W.J. 1991. Ileal digestibility and urinary excretion of D-xylose and L-arabinose in ileostomized adult rooters. *Poultry Sci.* 70: 884-891.
- Shantha, T and Sreenivasmurthy, V. 1981. Use of sunlight to detoxify groundnut (peanut) cake flour and casein contaminated with aflatoxin, contamination and detoxification. *Proceedings of the 7th IUPC.* Tokyo. 71-72
- Sibbald, I.R. 1975. The effect of level of feed intake on metabolisable energy in feedstuffs. *Poultry Science* 54: 1990-1997.
- Sibbald, I.R. 1976. A bioassay for metabolisable energy in feedstuffs. *Poultry Sci.* 55:303-308
- Singh, V.P. 1997. Interaction of temperature and microsomal peroxidase in aflatoxin degradation by *Aspergillus flavus* [On-line]. *Current Science* 73(6) 529-532. Available : <http://medind.nic.in/imvw9021.html>
- Singh, D.N. and Perez-Maldonado, R. 2000. Nutritional value of pearl millet as poultry feed [On-line]. Rural Industries Research and Development Corporation, Queensland Australia. 12 p. Available :<http://www.rirdc.gov.au>
- Sorenson, W.G., Hesseltine, C.V. and Shotwell, O. 1967. Effect of temperature on production of aflatoxin on rice by *Aspergillus flavus*. *Mycopathol. Appl.* 33:49-55.
- Smits, C.H.M. and Annison, G. 1996. Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition towards a physiologically valid approach to their determination. *World's poultry Science Journal* 52: 203-221.
- Smith, K.J. 1977. Soybean meal : Production, composition and utilization. *Feedstuffs* 49:22-29.

Snyder, D.G. 2002. Protein fundamentals [On-line]. Available :

<http://www.tldp.com /issue/183/Protein%20Fundamentals.htm>

Tatge, H., Marshall, J., Martin, C. Edwards, E.A., and Smith, A.M. 1999. Evidence that amylose synthesis occurs within the matrix of the starch granule in potato tubers. *Plant Cell Environ.* 22:543-550.

Taubenhaus, J.J. 1920. A study of the black and the yellow molds of ear corn.

Texas Agricultural Experimental Station Bulletin 270: 3-38. Available :

<http://www.ipgri.cgiar.org/pgrnewsletter/article.asp?id.>

Teitell, L. 1985. Effect of relative humidity on viability of conidia of

Aspergillus flavus. *Amer. J. Bot.* 45: 748-753.

Van Leeuwen, P., Babinszky, L., Verstegen, M.W.A, and Tossenberger, J. 2000.

A procedure for ileostomisation of adult roosters to determine apparent ileal digestibility of protein and amino acids of diets: Comparison of six diets in roosters and growing pigs[On-line] . *Livestock Production Science*

67: 101-111. Available: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/6/bori146.htm>

Villegas, E.M., Eggum, B.O., Vasal, S.K., and Kohli, M.M. 2002. Progress in nutritional improvement of maize and triticale [On-line]. Available :

<http://www.unu.edu/unupress/food/8F021e/8F021E07.htm>

Widstrom, N.W. 2001. *Aspergillus* and aflatoxin in groundnut [On-line]. Available :

<http://www.aflatoxin.info/bio-tech.ash?select=fungal4.>

Yaghobfar, A., Boldaji, F., and Csapo, J. 2000. Influence of genotype, sex, and age of chickens on metabolisable energy of poultry feeds [On-line]. *Acta. Agr.*

Kapos. 4: 37-51. Available: <http://www.Kaposvar.pate.hu>

Yaghofar, A., Vincze,L., Boldaji,F., and Csapo,J. 2001. Influence of level of feed input and procedure on metabolisable and endogenous energy loss with adult cockerels [On-line]. Acta. Agr. Kapos. 5: 37-44. Available :
<http://www.Kaposvar.pate.hu>

บทที่ 4

การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารนกระต่ายป่า

Quails เป็นชื่อสามัญของนกระต่ายหลายชนิดที่อยู่ทั้งในกลุ่มเดียวกันและต่างกลุ่มกัน จึงมีการจำแนกนกระต่ายออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ นกระต่ายกลุ่มโลกใหม่ (New World Quails) และนกระต่ายกลุ่มโลกเก่า (Old World Quails) โดยหลักฐานอ้างอิงจากฟอสซิล (fossil) ที่พบว่าสัตว์ปีกในอันดับ Galliformes มีวิวัฒนาการอยู่ 2 ยุค (Period) คือมีอายุอยู่ในมหายุค (Era) เซโนโซอิก (Cenozoic) ยุค (Period) เทอร์เชียรี (Tertiary) สมัย (Epoch) อีโอซีน (Eocene) ถึงช่วงต้นของยุคควอเตอร์นารี (Quaternary) สมัยพลีสโตซีน (Pleistocene) (Feduccia,1999) ส่วนการศึกษาฟอสซิลบรรพบุรุษของนกระต่ายกลุ่มโลกใหม่พบว่าอยู่ในช่วงต้นสมัยโอลิโกซีน (Oligocene) ถึงช่วงท้ายของสมัยไพลโอซีน (Pliocene) บริเวณตอนเหนือของทวีปอเมริกา โดย เฉพาะรอยต่อของประเทศกัวเตมาลากับเม็กซิโก หรืออาจกล่าวได้ว่านกระต่ายกลุ่มโลกใหม่กำเนิดในบริเวณเขตร้อนของทวีปอเมริกา (Tropical America) ขณะที่ฟอสซิลของนกระต่ายกลุ่มโลกเก่าจะพบพบหลายแห่งในโลก โดยเฉพาะเอเชียและยุโรป (Johnsgard,1973)

อนุกรมวิธานแบบเก่าจัดให้นกระต่ายทั้งสองกลุ่มอยู่ในอันดับและวงศ์เดียวกันคือ อันดับ (order) Galliformes วงศ์ (family) Phasianidae แต่คนละวงศ์ย่อย (subfamily) โดยนกระต่ายกลุ่มโลกใหม่อยู่ในวงศ์ย่อย Odontophorinae (ปัจจุบันไม่มีแล้ว) ส่วนนกระต่ายกลุ่มโลกเก่าอยู่ในวงศ์ย่อย Perdicinae (ปัจจุบันไม่มีวงศ์ย่อยนี้แล้ว) ปี ค.ศ. 1990 Sibley and Monroe ได้เสนอแนะให้แยกนกระต่ายกลุ่มโลกใหม่ออกจากวงศ์ Phasianidae และเสนอแนะให้ยกฐานะจากวงศ์ย่อยขึ้นเป็นวงศ์ของอันดับ Galliformes โดยอ้างอิงผลการวิเคราะห์ลักษณะ DNA ของนกเหล่านี้จากเทคนิค DNA-DNA hybridization ที่พบว่านกระต่ายกลุ่มโลกใหม่ไม่มีความสัมพันธ์กับนกระต่ายกลุ่มโลกเก่า ไก่ทอง และนก Grouse แต่อย่างใด (พรณระพี, 2546)

การที่นกระต่ายในทวีปเอเชียถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกับนกระต่ายในทวีปยุโรป เนื่องจากมีการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะสีขนลำตัว ขนาดลำตัว เสียงร้อง และพฤติกรรมการผสมพันธุ์ของนกระต่ายยุโรปและนกระต่ายป่าพบว่ามีความคล้ายคลึงกันมาก (Moreau and Wayre ,1968) ทำให้นักปักษีวิทยาแต่ก่อนเชื่อว่านกทั้งสองกลุ่มมีความเกี่ยวข้องกัน (interbreeding subspecies) จึงจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันแต่คนละชนิดย่อย กล่าวคือนกระต่ายยุโรป (European quail) อยู่ชนิดย่อย coturnix มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Coturnix coturnix coturnix* ส่วนนกระต่ายในเอเชีย

หรือนกกระทาญี่ปุ่น (Asiatic or Japanese quail) อยู่ชนิดย่อย japonica มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Coturnix coturnix japonica* ในปี ค.ศ. 1990 Cheng and Kimmura ได้เสนอให้มีการจำแนกนกกระทาทิ้งสองใหม่ คือให้นกกระทาญี่ปุ่นมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Coturnix japonica* ไม่ใช่ *Coturnix coturnix japonica* ส่วนนกกระทายุโรปเป็น *Coturnix coturnix* ไม่ใช่ *Coturnix coturnix coturnix* โดยใช้หลักฐานจากการนำนกกระทาทิ้งสองมาผสมพันธุ์กัน และพบว่าไม่สามารถให้ไข่ไม่เชื้อหรือให้กำเนิดนกกระทาลูกผสมได้ (nonhybridization) นับแต่นั้นมาก็มีนักปักษีวิทยาอีกหลายท่านเสนองานวิจัยที่สอดคล้องกับ Cheng and Kimmura (1990) ทำให้ปัจจุบันมีการรับรองสถานะของนกกระทาทิ้งสองว่าเป็นคนละชนิดกัน

ในเดือนสิงหาคม ค.ศ. 2002 Confederation Ornithologique Mondiale ได้จัดประชุมทางวิชาการที่เรียกว่า World Ornithological Confederation เกี่ยวกับการจัดอนุกรมวิธานของสัตว์ปีก ในการประชุมนี้มีการจัดลำดับอนุกรมวิธานและชื่อวิทยาศาสตร์ของนกกระทาใน genera coturnix ใหม่ โดยกำหนดให้นกกระทาในสกุล coturnix มีอยู่ 10 ชนิดและตกลงให้นกกระทาญี่ปุ่นและนกกระทายุโรปเป็นนกคนละชนิดกันโดยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Coturnix japonica* และ *Coturnix coturnix* ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ปรับเปลี่ยนนกกระทาที่เคยอยู่ในวงศ์ย่อย Pernicidae ให้เข้าไปรวมอยู่ในวงศ์ Phasianidae และยกเลิกวงศ์ย่อย Perdicinae ไป (World Ornithological confederation, 2002)

นกกระทาที่เลี้ยงในประเทศไทยเป็นนกกระทากลุ่มโลกเก่าและเป็นนกกระทาญี่ปุ่น ซึ่งนำเข้าประเทศไทยครั้งแรกโดยนายสง่า รวมเมือง (สุวรรณ, 2524) นกกระทาญี่ปุ่นเป็นสัตว์ปีกเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่ใช้ประโยชน์หลายประการ เช่นเลี้ยงเพื่อบริโภคเนื้อและไข่ ใช้งานวิจัยต่าง ๆ เป็นต้น อาหารที่ใช้เลี้ยงนกกระทาญี่ปุ่นจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิต และข้าวโพดอาหารสัตว์ก็เป็นวัตถุดิบอาหารแหล่งพลังงานชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในสูตรอาหาร เนื่องจากมีข้อดีกว่าปลายข้าวคือมีรงควัตถุให้สีแก่เนื้อและไข่แดง แต่ในประเทศไทยไม่เคยใช้ข้าวโพดไร้สีม่วงผสมในสูตรอาหารแต่อย่างใด

4.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการใช้ข้าวโพดไร้สีม่วงเป็นแหล่งพลังงานในอาหารนกกระทาญี่ปุ่นเพศผู้ต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซาก
2. เพื่อศึกษาการใช้ข้าวโพดไร้สีม่วงเป็นแหล่งพลังงานในอาหารนกกระทาญี่ปุ่นเพศเมียระยะไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตไข่และคุณภาพไข่

4.2 วิธีการวิจัย

การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารนกกกระทาญี่ปุ่นครั้งนี้ แบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลองย่อยดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.2.1 การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารนกกกระทาญี่ปุ่นเพศผู้

การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วง ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง และปลายข้าว ในสูตรอาหารนกกกระทาญี่ปุ่นเพศผู้ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบ่งเป็น 3 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมี 4 ซ้ำแต่ละซ้ำใช้นกกกระทาเพศผู้อายุ 3 สัปดาห์จำนวน 10 ตัว รวมจำนวนนกกกระทาเพศผู้ที่ใช้ทั้งสิ้น 120 ตัว นำนกกกระทาที่แยกเพศแล้วมาเลี้ยงในกรงขัง ให้น้ำและอาหารตลอดเวลา นกทดลองได้รับแสงตามธรรมชาติเป็นเวลา 28 วัน สูตรอาหารทดลองทั้ง 3 สูตร มีค่าโปรตีนและพลังงานตามความต้องการของนกกกระทา (NRC, 1994) โดยคำนวณให้มีโปรตีนเท่ากันและค่าพลังงานเท่ากัน

สูตรอาหารที่ใช้ทดลองมีดังนี้

กลุ่มที่ 1	ปลายข้าวเป็นแหล่งพลังงาน
กลุ่มที่ 2	ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง
กลุ่มที่ 3	ข้าวโพดไร่เมล็ดสีม่วง

ข้อมูลที่เก็บได้แก่ น้ำหนักตัวเพื่อนำมาคำนวณหาอัตราการเติบโตสะสมต่อตัว ปริมาณอาหารที่ใช้สะสมต่อตัว และประสิทธิภาพการใช้อาหาร เมื่อสิ้นสุดการทดลอง สุ่มนกกกระทามาฆ่าละ 5 ตัว เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ซาก น้ำหนักอวัยวะภายใน น้ำหนักกึ๋น น้ำหนักหัวใจ น้ำหนักเนื้ออก และน้ำหนักสะโพกรวมส่วนน่อง นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี analysis of variance แบบสุ่มสมบูรณ์ และลำดับความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.2.2 การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารนกกกระทาญี่ปุ่นเพศเมีย

การทดลองในนกกกระทาเพศเมียแบ่งกลุ่มทดลองเป็น 4 กลุ่มคือ กลุ่มที่ได้รับปลายข้าว กลุ่มที่ได้รับข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง กลุ่มที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง และกลุ่มที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองอัตราส่วน 1:1 ในสูตรอาหาร แต่ละกลุ่มมี 4 ซ้ำแต่ละซ้ำใช้นกกกระทาญี่ปุ่นเพศเมียอายุ 50 วันจำนวน 10 ตัว รวมจำนวนนกที่ใช้ทั้งสิ้น 160 ตัว สูตรอาหารที่ใช้มีโปรตีนและพลังงานตามความต้องการของนกกกระทาญี่ปุ่น (NRC, 1994) โดยคำนวณให้มีโปรตีนและค่าพลังงานเท่ากัน

ข้อมูลที่เก็บ คือ จำนวนไข่โดยบันทึกจำนวนไข่ทุกวันตลอดการทดลองแล้วนำมาคำนวณหาอัตราการผลิตไข่ต่อช่วง (ช่วงละ 28 วัน) เวลา 4 ช่วง ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน ปริมาณอาหารที่กินต่อไข่ 1 โหล ต้นทุนการผลิตไข่ 1 โหล และต้นทุนการผลิตไข่ 100 ฟอง น้ำหนักไข่มีหน่วยเป็นกรัมต่อฟอง ใน 3 วันท้ายของทุกช่วงทดลองทำการสุ่มไข่นกกระทามาชำละ 4 ฟองเพื่อตรวจคุณภาพไข่ ได้แก่ ค่าสีไข่แดงที่ใช้ Roche Color Fan score ของบริษัท Roche ความสูงไข่ขาวมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อฟอง และความหนาเปลือกไข่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อฟอง

สูตรอาหารทดลองที่ใช้มีวัตถุดิบแหล่งพลังงานดังนี้

กลุ่มที่ 1	ปลายข้าว
กลุ่มที่ 2	ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง
กลุ่มที่ 3	ข้าวโพดไร่สีม่วง
กลุ่มที่ 4	ข้าวโพดไร่สีม่วงกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองอัตราส่วน 1:1

นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี Analysis of variance เพื่อวิเคราะห์หาปฏิกริยาร่วม (interaction) ระหว่างกลุ่มทดลองกับช่วงเวลาที่ทำการทดลอง ถ้าไม่พบปฏิกริยาร่วมดังกล่าวจะนำข้อมูลทุกช่วงการทดลองมารวมหาค่าเฉลี่ย และนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบกลุ่มสมบูรณ์ ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 4.1 สูตรอาหารที่ใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในนกกกระทาญี่ปุ่นเพศผู้

วัตถุดิบอาหารสัตว์	กลุ่มทดลอง			ราคา/ หน่วย (บาท)
	ปลายข้าว	ข้าวโพด สีเหลือง	ข้าวโพดไร่ สีม่วง	
ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง	-	42.86	-	6.50
ปลายข้าว	46.05	-	-	5.50
ข้าวโพดไร่สีม่วง	-	-	42.86	6.50
รำละเอียด	10.00	14.10	13.77	5.00
กากถั่วเหลือง (44%)	37.07	36.35	36.44	17.60
ปลาป่น (55%)	5.00	5.00	5.00	28.00
เปลือกหอย	0.80	0.80	0.92	2.50
ไคแคลฟอสเฟต (P18)	0.23	0.24	-	14.00
น้ำมันรำ	0.20	-	0.36	12.00
เกลือ	0.40	0.40	0.40	4.00
พรีมิกซ์	0.25	0.25	0.25	90.00
รวม	100.00	100.00	100.00	
ต้นทุนอาหาร, บาท/กก.	11.27	11.58	11.60	
โภชนาที่คำนวณได้				
โปรตีน, %	24.0	24.0	24.0	
พลังงานใช้ประโยชน์, Kcal/kg.	2,900	2,900	2,900	
แคลเซียม, %	0.81	0.81	0.80	
ฟอสฟอรัสรวม, %	0.35	0.36	0.39	

ตารางที่ 4.2 สูตรอาหารที่ใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในนกกกระทาญี่ปุ่นเพศเมียระยะไข่

วัตถุดิบอาหารสัตว์	ปลายข้าว	ข้าวโพดทดลอง			ราคา/ หน่วย (บาท)
		สีเหลือง	สีม่วง	สีเหลือง: สีม่วง (1:1)	
ข้าวโพด	-	43.95	-	22.00	6.50
ปลายข้าว	43.00		-	-	5.50
ข้าวโพดไร่สีม่วง	-	-	43.95	22.00	6.50
รำละเอียด	5.00	5.00	4.64	4.80	5.00
กากถั่วเหลือง (44%)	37.65	37.28	37.40	37.34	17.60
ปลาป่น (55%)	6.00	6.00	6.00	6.00	28.00
เปลือกหอย	5.12	5.12	5.25	5.19	2.50
ไคแอลฟอสเฟต (P18)	0.23	0.25	-	0.10	14.00
น้ำมันรำ	2.40	1.80	2.16	1.97	12.00
เกลือ	0.35	0.35	0.35	0.35	4.00
พรีมิกซ์	0.25	0.25	0.25	0.25	90.00
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	
ต้นทุนอาหาร, บาท/กก.	11.61	11.97	11.98	11.97	
โภชนาที่คำนวณได้					
โปรตีน, %	24.0	24.0	24.0	24.0	
พลังงานใช้ประโยชน์, Kcal/kg.	2,900	2,900	2,900	2,900	
แคลเซียม, %	2.51	2.52	2.51	2.51	
ฟอสฟอรัสรวม, %	0.36	0.35	0.38	0.36	

4.3 ผลการทดลอง

4.3.1 ผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารนกกกระทาญี่ปุ่นเพศผู้ต่อสมรรถภาพการผลิต

การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วง ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง และปลายข้าว ในสูตรอาหารนกกกระทาเพศผู้ ผลปรากฏว่าอัตราการเติบโตสะสมของนกกกระทาทุกกลุ่มมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือ 63.9 ± 2.5 , 63.7 ± 2.8 และ 62.8 ± 2.9 กรัมต่อตัวตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) โดยนกกกระทาเพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงมีปริมาณอาหารที่กินสะสม และประสิทธิภาพการใช้อาหารแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับนกกกระทาที่ได้รับข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง และปลายข้าวในสูตรอาหาร ส่วนปริมาณอาหารที่กินสะสมพบว่านกกกระทาที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับนกกกระทาที่ได้รับข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง เท่ากับ 374 ± 16.7 และ 378 ± 15.4 กรัมต่อตัวตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) ส่วนนกที่ได้รับปลายข้าวในสูตรอาหารมีปริมาณอาหารที่กินเท่ากับ 381 ± 28.3 กรัมต่อตัว เมื่อคำนวณเป็นปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวันพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันทุกกลุ่มคือ นกกกระทาที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง และปลายข้าวผสมในอาหาร จะมีปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยวันละ 13.4 ± 0.6 , 13.5 ± 0.6 และ 13.6 ± 1.0 กรัมต่อตัวตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของสมรรถภาพการผลิตในนกกกระทาญี่ปุ่นเพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร

สมรรถภาพการผลิต	วัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารทดลอง			% CV Pr>F	
	ปลายข้าว	ข้าวโพด สีเหลือง	ข้าวโพดไร่ สีม่วง		
จำนวนนกทดลอง, ตัว/กลุ่ม	40	40	40		
อัตราการเติบโตสะสม ¹ , กรัม/ตัว	62.8 ± 2.9	63.7 ± 2.8	63.9 ± 2.5	4.0	0.79
ปริมาณอาหารที่กินสะสม ¹ , กรัม/ ตัว	381 ± 28.3	378 ± 15.4	374 ± 16.7	5.5	0.90
ปริมาณอาหารที่กิน ¹ , กรัม/ตัว/ วัน	13.6 ± 1.0	13.5 ± 0.6	13.4 ± 0.6	5.5	0.90
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ¹	6.0 ± 0.3	5.9 ± 0.3	5.9 ± 0.3	4.1	0.61

หมายเหตุ : ¹ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

4.3.2 ผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารนกกกระทุ้งปูนเพศผู้ต่อคุณภาพซาก

เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการสุ่มนกกกระทุ้งมาชำละ 5 ตัวเพื่อศึกษาเปอร์เซ็นต์ซากและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักอวัยวะภายใน ผลปรากฏว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักซาก เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเครื่องในรวม เปอร์เซ็นต์น้ำหนักกึ้น เปอร์เซ็นต์น้ำหนักหัวใจ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้ออก ตลอดจนเปอร์เซ็นต์น้ำหนักส่วนสะโพกและน่อง ของนกกกระทุ้งเพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง ข้าวโพดสีเหลืองและปลายข้าวในสูตรอาหาร มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.4) โดยมีเปอร์เซ็นต์ซากอุนเฉลี่ยเท่ากับ 81.5 ± 2.5 , 80.2 ± 2.1 และ 80.9 ± 3.1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ นอกจากนี้ไม่พบความผิดปกติใด ๆ ของอวัยวะภายในที่ตรวจคือ กึ้น และหัวใจ

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยคุณภาพซากของนกกกระทุ้งปูนเพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร

สมรรถภาพ	วัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารทดลอง			% CV Pr>F	
	ปลายข้าว	ข้าวโพดสีเหลือง	ข้าวโพดไร่สีม่วง		
จำนวนนกที่ใช้, ตัว/กลุ่ม	20	20	20		
เปอร์เซ็นต์ซากอุน ¹ , %	80.9 $\pm$ 3.1	80.2 $\pm$ 2.1	81.5 $\pm$ 2.5	3.2	0.79
อวัยวะภายใน ¹ , % น้ำหนักตัว	18.1 $\pm$ 2.3	19.8 $\pm$ 2.1	18.6 $\pm$ 2.5	12.3	0.57
กึ้น ¹ , % น้ำหนักตัว	2.2 $\pm$ 0.1	2.1 $\pm$ 0.1	2.2 $\pm$ 0.1	3.9	0.27
หัวใจ ¹ , % น้ำหนักตัว	1.6 $\pm$ 0.01	1.6 $\pm$ 0.04	1.6 $\pm$ 0.02	4.1	0.78
เนื้ออก ¹ , % น้ำหนักตัว	19.7 $\pm$ 1.1	18.1 $\pm$ 1.9	19.6 $\pm$ 0.7	6.9	0.20
สะโพกและน่อง ¹ , % น้ำหนักตัว	13.4 $\pm$ 1.6	14.4 $\pm$ 1.6	14.1 $\pm$ 1.3	10.6	0.64

หมายเหตุ : ¹ ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

4.3.3 ผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ในนกกกระทุ้งปูนระยะไข่

การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วง ข้าวโพดไร่สีม่วงกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองอัตราส่วน 1:1 ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง และปลายข้าวในอาหารนกกกระทุ้งปูนระยะไข่ เวลา 4 ช่วงการทดลองโดยแต่ละช่วงใช้เวลา 28 วัน ผลปรากฏว่าข้าวโพดไร่สีม่วงไม่ส่งผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ของนกกกระทุ้งระยะไข่ โดยค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ ปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณอาหารที่กินต่อไข่ 1 โหล ต้นทุนการผลิตไข่ 1 โหล และต้นทุนการผลิตไข่ 100 ฟอง มีความแตกต่างอย่างไม่มี

นัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.5) กล่าวคือนกกระทาระยะไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงและข้าวโพดไร่สีม่วงกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองอัตราส่วน 1:1 ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง และปลายข้าว มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ใกล้เคียงกันคือ 81.9 ± 1.0 , 81.7 ± 3.3 , 81.3 ± 2.8 และ 80.0 ± 1.9 ตามลำดับ ส่วนปริมาณอาหารที่กินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.7 ± 0.03 , 19.7 ± 0.04 , 19.7 ± 0.02 และ 19.7 ± 0.09 กรัมต่อตัวต่อวันตามลำดับ สำหรับต้นทุนการผลิตไข่ 1 โหลหรือต้นทุนการผลิตไข่ 100 ฟองในนกกระทาทูกลุ่มพบความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วง และข้าวโพดไร่สีม่วงกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองอัตราส่วน 1:1 มีค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการผลิตไข่ใกล้เคียงกับนกกระทาที่ได้รับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองและปลายข้าวในสูตรอาหาร (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการผลิตไข่ของนกกระทาญี่ปุ่นเพศเมียระยะไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร

สมรรถภาพการผลิตไข่	วัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารทดลอง				Pr>F
	ปลายข้าว	ข้าวโพด สีเหลือง	ข้าวโพดไร่ สีม่วง	PFC:YC (1:1)	
นกเริ่มดั้น, ตัว	40	40	40	40	
ผลผลิตไข่ ¹ , %	80.0 ± 1.9	81.3 ± 2.8	81.9 ± 1.0	81.7 ± 3.3	0.66
ปริมาณอาหารที่กิน ¹ , กรัม/ตัว/วัน	19.7 ± 0.09	19.7 ± 0.02	19.7 ± 0.03	19.7 ± 0.04	0.27
ปริมาณอาหารที่กินต่อ ไข่ 1 โหล ¹ , กรัม	296.6 ± 6.3	292.0 ± 9.9	289.8 ± 3.8	290.0 ± 10.6	0.63
ต้นทุนอาหารต่อไข่ 1 โหล ¹ , บาท	3.4 ± 0.17	3.5 ± 0.1	3.5 ± 0.1	3.5 ± 0.1	0.89
ต้นทุนอาหารต่อไข่ 100 ฟอง ¹ , บาท	28.7 ± 0.6	29.1 ± 0.9	28.9 ± 0.4	28.9 ± 1.1	0.90

หมายเหตุ : - YC หมายถึงข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง

- PFC หมายถึงข้าวโพดไร่สีม่วง

- ¹ ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

4.3.4 ผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงต่อคุณภาพไข่ในนกกกระทาญี่ปุ่นระยะไข่

คุณภาพไข่ของนกกกระทาญี่ปุ่นเพศเมียที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง ในสูตรอาหารตลอดการทดลอง ผลปรากฏว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักไข่ ความสูงไข่ขาว และความหนาเปลือกไข่ มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับนกที่ได้รับข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง ปลายข้าว และข้าวโพดไร่สีม่วงกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองในอัตราส่วน 1: 1 (ตารางที่ 4.6) ยกเว้นสีไข่แดงของนกกกระทาที่ได้รับปลายข้าวมีค่าสีไข่แดงต่ำกว่านกกกระทากลุ่มอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) คือมีค่าสีไข่แดงเท่ากับ 1.5 ± 0.1 ส่วนนกกกระทาที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง และกลุ่มที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองในอัตราส่วน 1:1 มีค่าสีไข่แดงใกล้เคียงกับนกกกระทาญี่ปุ่นที่ได้รับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองในสูตรอาหารคือ 5.0 ± 0.2 , 5.2 ± 0.2 และ 5.2 ± 0.1 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) งานทดลองนี้ไม่พบความผิดปกติของไข่ขาวในนกกกระทาที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงแต่อย่างใด

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของคุณภาพไข่ของนกกกระทาญี่ปุ่นระยะไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร

คุณภาพไข่	วัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารทดลอง				Pr>F
	ปลายข้าว	ข้าวโพด สีเหลือง	ข้าวโพดไร่ สีม่วง	PFC:YC (1:1)	
จำนวนไข่ทดสอบ, ฟอง	64	64	64	64	
น้ำหนักไข่ ¹ , กรัม/ฟอง	10.4 ± 0.1	10.3 ± 0.1	10.3 ± 0.1	10.3 ± 0.1	0.39
ความสูงไข่ขาว ¹ , มม.	3.7 ± 0.00	3.7 ± 0.01	3.8 ± 0.02	3.8 ± 0.01	0.23
ความหนาเปลือกไข่ ¹ , มม.	0.2 ± 0.01	0.2 ± 0.01	0.2 ± 0.01	0.2 ± 0.01	0.99
ค่าสีไข่แดง ²	1.5 ± 0.1^u	5.2 ± 0.1^n	5.0 ± 0.2^n	5.2 ± 0.2^n	0.0001

หมายเหตุ : - YC หมายถึงข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง

- PFC หมายถึงข้าวโพดไร่สีม่วง

- ¹ ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

- ² ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับไม่เหมือนกันหมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$)

4.4 วิจารณ์

การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงปริมาณเท่ากับข้าวโพดสีเหลืองในสูตรอาหารนกกระทาเพศผู้ ผลปรากฏว่าไม่ก่อผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากตลอดการทดลอง สอดคล้องกับการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารนกกระทาเพศเมียระยะไข่ ที่ไม่ส่งผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ เป็นเช่นนี้น่าจะเนื่องมาจากข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นพืชกลุ่มเดียวกับข้าวโพดที่ใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั่ว ๆ ไปโดยเฉพาะในสัตว์ปีก ข้าวโพดทั้งสองแตกต่างกันที่สีของเยื่อหุ้มเอนโดสเปิร์มหรือ aleurone layer ที่ข้าวโพดไร่สีม่วงเกิดจากการผ่าเหล่าของยีนควบคุมการสังเคราะห์รงควัตถุสีเหลืองเปลี่ยนไปเป็นยีนที่สังเคราะห์รงควัตถุสีม่วงแทน (Deepesh, 2000) นอกจากนี้ข้าวโพดไร่สีม่วงมีคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะโปรตีนในระดับเดียวกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองทั่วไปคือมีโปรตีนรวมประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏใกล้เคียงกับข้าวโพดปกติคือประมาณ 3,313 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมในไก่ไข่ (การทดลองที่ 1) และไม่มีสารพิษใด ๆ ในข้าวโพดไร่สีม่วงที่ใช้จึงไม่ส่งผลเสียต่อปริมาณอาหารที่กินตลอดจนสมรรถภาพการผลิตต่าง ๆ

นกกระทากลุ่มที่ได้รับปลายข้าวในสูตรอาหารมีค่าสีไข่แดงต่ำกว่านกกระทากลุ่มที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปลายข้าวไม่มีรงควัตถุหรือแซนโทฟิลล์เหมือนข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองที่มีประมาณ 25 ppm ในรูปของ zeaxanthine และ lutein (Larbier and Leclercq, 1994) โดยยอมรับกันว่าไก่ไข่ที่ได้รับแซนโทฟิลล์จากเมล็ดข้าวโพดสีเหลืองจะมีการสะสมเม็ดสีในไข่แดงสูงกว่าการใช้พืชสีเขียวชนิดอื่น แซนโทฟิลล์ในรูปของ zeaxanthine จะถูกดูดซึมที่ผนังลำไส้เล็กช่วงรอยต่อระหว่าง jejunum และ ileum ส่วนบริเวณ duodenum และลำไส้ใหญ่จะพบการดูดซึมน้อยมาก สารนี้จะเข้าไปสะสมในรังไข่ได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของแซนโทฟิลล์ที่มีในร่างกาย (Littlefield, Bletner, Shirley, and Goff, 1972; NRC, 1994) นอกจากนี้ปริมาณแซนโทฟิลล์เพียง 22-26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหารก็เพียงพอสำหรับการให้สีในไข่แดง โดยสีไข่แดงจะเพิ่มขึ้นหลังการให้สารสีใน 10 วัน (Sullivan and Holeman, 1962) ส่วนประสิทธิภาพการสะสมแซนโทฟิลล์ในไข่แดง จะเป็นสัดส่วนผกผันกับปริมาณแซนโทฟิลล์ในอาหาร เช่นการขนส่งแซนโทฟิลล์ไปยังไข่แดงจะลดลงถ้าปริมาณแซนโทฟิลล์ในอาหารเพิ่มขึ้น (Belyavin and Marangos, 1989) ดังนั้นไข่แดงของนกกระทาที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง ให้ค่าสีไข่แดงแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับนกกระทาที่ได้รับข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง จึงน่าจะเป็นเพราะว่าในข้าวโพดไร่สีม่วงมีสารแซนโทฟิลล์เช่นเดียวกับข้าวโพดอาหารสัตว์ทั่ว ๆ ไป ยกเว้นที่บริเวณเยื่อหุ้มเอนโดสเปิร์ม เมื่อผสมในอาหารจึงทำให้การสะสมเม็ดสีเป็นไปตามปกติ

การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงผสมในสูตรอาหารนกกระทาญี่ปุ่น ปรากฏผลว่าข้าวโพดไร่สีม่วงที่ใช้ไม่ส่งผลเสียต่ออัตราการเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน คุณภาพซากในนกกระทาเพศผู้ ผลผลิตไข่ และคุณภาพไข่ในนกกระทาญี่ปุ่นเพศเมียระยะไข่ แสดงให้เห็นว่าแอนโทไซยานินในข้าวโพดไร่สีม่วงไม่มีอันตรายต่อนกกระทาทั้งช่วงระยะขุนและระยะการให้ไข่ สอดคล้องกับ Cao and Prior (1999) ที่รายงานว่าตามปกติมนุษย์จะได้รับแอนโทไซยานินประมาณ 180-215 มิลลิกรัมต่อวันโดยตรงจากผักและผลไม้ที่รับประทานเข้าไป แอนโทไซยานินในผักและผลไม้เมื่อผ่านเข้าสู่ระบบย่อยอาหารของคนแล้วไม่พบว่าส่วนใดจะก่ออันตรายแก่ผู้บริโภคได้ (Horowitz and Gentili, 1969) โดยทั่วไปข้อกำหนดของการใช้สีผสมในอาหารและเครื่องดื่มของมนุษย์จะต้องทำการทดสอบทางพิษวิทยาก่อนที่จะนำออกจำหน่าย แต่เมื่อดูจากธรรมชาติสามารถใช้ผสมในผลิตภัณฑ์โดยตรงได้ โดยไม่ต้องมีการทดสอบทางพิษวิทยาแต่อย่างใด ประเทศญี่ปุ่นได้สกัดแอนโทไซยานิน จากข้าวโพดสีม่วงที่นำเข้าจากประเทศเปรูมาใช้เป็นแหล่งของสารสีธรรมชาติ ในลูกกวาดและน้ำเชื่อมไซรัปเพื่อการค้า ซึ่ง Sugiyama Chemical Institute of Tokyo ได้จดสิทธิบัตรทางการค้าแล้ว (Miniati and Mazza, 1993) แอนโทไซยานินที่สกัดจากธรรมชาติและนิยมใช้ทางการค้าส่วนใหญ่มาจาก red marble, cherry-plum, elderberry, cranberry, cherry และสารละลายของกระเจียบแดง เป็นต้น ส่วนข้าวโพดเมล็ดสีม่วงนิยมใช้เป็นสารสีผสมในพุดดิ้งหรือน้ำชาในประเทศเปรู (http://www.texnews.com/texas97/taste_063097.html; Del Valle, 1997)

นอกจากนี้พบว่านกกระทาญี่ปุ่นที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงให้ผลผลิต เช่น เนื้อและไข่ ไม่แตกต่างจากนกกระทาที่ได้รับข้าวโพดอาหารสัตว์เมล็ดสีเหลือง ที่เป็นเช่นนี้น่าจะเนื่องมาจากข้าวโพดไร่สีม่วงมีส่วนประกอบทางเคมี ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ ค่าชีวภาพของโปรตีน ค่าการใช้ประโยชน์ของโปรตีนสุทธิ ตลอดจนแป้ง amylose ในเมล็ดใกล้เคียงกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองหรือข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นข้าวโพดปกติ (normal corn) ไม่ใช่ข้าวโพดที่มียีนสังเคราะห์แป้งหรือโปรตีนที่ผ่าเหล่าจึงให้ผลการทดลองสอดคล้องกัน

4.5 สรุปผลการทดลอง

ข้าวโพดไร่สีม่วงที่ปรับปรุงพันธุ์จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก สามารถใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานในอาหารนกกระทาได้ โดยไม่ส่งผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพซาก ผลผลิตไข่ และคุณภาพไข่ในนกกระทาญี่ปุ่นทั้งเพศผู้และระยะไข่ โดยไม่ส่งผลเสียต่อไข่ขาวแต่ประการใด

4.6 รายการอ้างอิง

- พรรณระพี อำนวยสิทธิ. 2546. นกกระทายังอยู่ในวงศ์ย่อย *Perdicidae* ของวงศ์ *Phasianidae* หรือ?. สัตวบาลศาสตร์ (13) : 32 - 39.
- สุวรรณ เกษตรสุวรรณ. 2524. การเลี้ยงนกกระทา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 60 น.
- สมยศ จรรยาวิลาศ, โชคชัย เอกทัศนาวรรณ, วิภา สุโรจนะเมธากุล, ชไมพร เอกทัศนาวรรณ, ชีระ ทองเผือก และศิริพงษ์ เทศนา. 2545. การใช้ประโยชน์ของข้าวโพดสีม่วง. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร. 13 แผ่น.
- Belyavin, C.G., and Marangos, A.G. 1989. Natural products of egg yolk pigmentation, pp 239- 260. In Cole, D.J.A. and Heresign (eds). Recent development in poultry nutrition. Anchor Press Inc. London. 1488 p.
- Cao, G. and Prior, R.L. 1999. Measurement of oxygen radical absorbance capacity in biological samples. *Methods Enzymol.* 299: 51-62.
- Cheng, H.H and Kimmura, M. 1990. Mutations and major variants in japanese quails. In Crowford (ed.) *Poultry breeding and genetics*. Elsevier. NewYork.
- Larbier, M. and Leclercq, B. 1994. *Nutrition feeding of poultry*. Nottingham University Press, Sutton Bonington Campus Loughborough, Leicestershire. 305 p.
- Littlefield, L.H., Bletner, J.K., Shirley, H.V., and Goff, O.E. 1972. Locating the site of absorption of xanthophylls in chicken by surgical technique. *Poultry Sci.* 51: 1721-1725.
- Deepesh, N. De. 2000. *Plant cell vacuoles*. CSIRO publishing Collingwood VIC3066, Australia. 288 p.

- Del Valle, F. 1997. Tastes of Latin American draw customers to Rio Grande Valley store[On-line]. Available : <http://www.texnews.com/texas97/taste063097.htm>.
- Feduccia, A. 1999. The origin and evolution of birds. Yale University Press, New Haven and London. 440 p.
- Horowitz, R.M. and Gentili, B. 1969. Taste and structure in phenolic glycoside. J.Agric.Food.Chem. 17(4):696-700.
- Johnsgard, P.A. 1973. Grouse and quails of North America. The University of Nebraska Press, USA. 553 p.
- Miniati, E., and Mazza, G. 1993. Anthocyanin in fruits, vegetables and grains. CRC press, Inc. Florida. p.32
- Moreau and Wayne. 1968. Quoted in McIlvaine, J. 2000. The Biogeography of California Quail (*Callipepla californica*) [On-line]. Available: <http://bss.sfsu.edu/geog/bholzman/courses/316>
- NRC. 1994. Nutrient requirements of poultry. 9th Ed. National Academy Press, Washington, D.C.
- Sibley and Monroe. 1990. Available: http://www.genglab.ucdavis.edu/ding/aves/SAM_inconsistency.html.
- Sullivan, T.W. and Holeman, K.A. 1962. Effect of alfalfa meal, corn gluten meal and other dietary components on egg yolk color. Poultry Sci. 41 : 1474.
- World Ornithological confederation. 2002. The C.O.M. News, September 2002 nr. 3 : Quail and partridges [On-line]. Available: <http://www.conf.org/news/2002/09/sections/p.html>.
- Available: <http://www.texnews.com/texas97/taste063097.html>.

บทที่ 5

การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารไก่ไข่

ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานที่สำคัญในอาหารสุกร ไก่เนื้อ และไก่ไข่ ทำให้ความต้องการใช้มีเพิ่มขึ้นทุกปีโดยเฉพาะในอาหารไก่เนื่องจากเมล็ดข้าวโพดมีรงควัตถุธรรมชาติพวกคาร์โรทีนอยด์ที่ให้เนื้อและไข่ไก่มีสีเหลืองซึ่งไม่พบในปลายข้าว (Gross, 1987) ข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ภายในประเทศนานกว่า 40 ปี ในพื้นที่ปลูก 8.68 ล้านไร่ ให้ผลผลิตโดยรวมประมาณ 3.84 ล้านตันต่อปี (สุฤติ ประชุม กุลชนา และสุพจน์, 2547) เป็นที่ทราบดีว่าปัญหาที่พบทั่วโลกจากการใช้ข้าวโพดเป็นอาหารทั้งคนและสัตว์คือ การปนเปื้อนเชื้อรา *A. flavus* และ *A. parasiticus* ซึ่งผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินที่ก่อให้เกิดโรคในคนและสัตว์ โดยเฉพาะอะฟลาทอกซิน B₁ ที่เปลี่ยนเป็นสารก่อมะเร็งและสารก่อการกลายพันธุ์ในระดับ ดี.เอ็น.เอ. ในคนและสัตว์ได้ (อนงค์, 2546) Georgia et.al (1998) ทำการศึกษาขบวนการชีวสังเคราะห์ของข้าวโพดสีม่วงจำนวน 15 สายพันธุ์ที่ปนเปื้อนเชื้อรา *A. flavus* พบว่าระหว่างขบวนการชีวสังเคราะห์แอนโธไซยานินของข้าวโพดสีม่วง จะทำให้การเจริญของ *A. flavus* และระดับอะฟลาทอกซินลดลง ต่อมา Norton (1999) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแอนโธไซยานินและสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์มาใช้ยับยั้งการสังเคราะห์สารอะฟลาทอกซินในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองพบว่าแอนโธไซยานินและแอนโธไซยานินในรูปแบบ 3-hydroxy ยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *A. flavus* ได้ดีกว่าในรูปแบบของ 3-deoxy โดย monoglycoside ของ pelargonidin สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้มากกว่าในรูปแบบของ diglycoside เท่ากับ 80 และ 5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ในธรรมชาติมีข้าวโพดหลายชนิดและหลากหลายสี ข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นธัญพืชตามธรรมชาติชนิดหนึ่งที่น่าจะมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ เพื่อลดปัญหาสารพิษอะฟลาทอกซิน เนื่องจากข้าวโพดนี้มีสารแอนโธไซยานิน แต่ไม่พบข้อมูลการนำข้าวโพดไร่สีม่วงมาใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารสัตว์ชนิดใดเลย โดยเฉพาะในประเทศไทย

5.1 วัตถุประสงค์

การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษาผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตไข่
2. ศึกษาผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพไข่

5.2 วิธีการวิจัย

การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารไก่ไข่ระดับ 20, 30, 40 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารแบ่งกลุ่มการทดลองเป็น 5 กลุ่ม (ตารางที่ 5.1) แต่ละกลุ่มมี 4 ซ้ำ แต่ละซ้ำใช้ไก่ไข่พันธุ์การค้ำอายุประมาณ $5\frac{1}{2}$ เดือน จำนวน 12 ตัว รวมจำนวนไก่ไข่ที่ใช้ทั้งสิ้น 240 ตัว แต่ละกลุ่มได้รับอาหารทดลองตามความต้องการโภชนะของ NRC (1994) ที่คำนวณให้มีระดับโปรตีนและพลังงานเท่ากัน ไก่ไข่ทดลองแต่ละตัวถูกขังเดี่ยวในกรงคับของโรงเรือนเปิด มีโปรแกรมการให้แสง 16 ชั่วโมงต่อวัน ตลอดการทดลองมีน้ำให้กินตลอดเวลาและให้อาหารวันละ 2 ครั้งคือช่วงเช้าและช่วงเย็น

สูตรอาหารที่ใช้ทดลองมีดังนี้

กลุ่มที่ 1	กลุ่มเปรียบเทียบ (ข้าวโพดสีเหลืองเป็นแหล่งพลังงาน)
กลุ่มที่ 2	ข้าวโพดไร่เมล็ดสีม่วง 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร
กลุ่มที่ 3	ข้าวโพดไร่เมล็ดสีม่วง 30 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร
กลุ่มที่ 4	ข้าวโพดไร่เมล็ดสีม่วง 40 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร
กลุ่มที่ 5	ข้าวโพดไร่เมล็ดสีม่วงเป็นแหล่งพลังงาน

ข้อมูลที่เก็บคือ จำนวนไข่โดยบันทึกจำนวนไข่ทุกวันตลอดการทดลอง แล้วนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ในแต่ละช่วง (period) ช่วงละ 28 วันนาน 5 ช่วง ปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณอาหารที่กินต่อการผลิตไข่ 1 โหล (feed per dozen) ต้นทุนการผลิตไข่ 1 โหล น้ำหนักไข่ และคุณภาพไข่ โดยสุ่มไข่ทดลองใน 3 วันสุดท้ายของแต่ละช่วงทดลอง มาซ้าละ 4 ฟองรวมจำนวนไข่ที่ใช้ทั้งสิ้น 48 ฟองต่อกลุ่มต่อช่วงหรือ 240 ฟองต่อกลุ่มตลอดการทดลอง เพื่อหาความถ่วงจำเพาะ ฮอกยูนิต (haugh unit) ความสูงไข่ขาว ความหนาเปลือกไข่ และค่าสีไข่แดงใช้ Roche Color Fan score

การวิเคราะห์ผลทางสถิติกระทำโดยนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน ด้วยวิธี Analysis of variance และหาปฏิกริยาร่วม (interaction) แบบสุ่มสมบูรณ์ ระหว่างกลุ่มทดลองกับช่วงเวลาที่ทำการทดลอง ถ้าไม่พบปฏิกริยาร่วมดังกล่าว จะนำข้อมูลทุกช่วงการทดลองมารวมหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่มโดยวิธี duncan's new multiple range test จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 5.1 สูตรอาหารไก่ไข่ทดลองที่ใช้ข้าวโพดไร่สีม่วง

วัตถุดิบอาหารสัตว์	ข้าวโพด สีเหลือง	ข้าวโพดไร่สีม่วง (%)			PFC
		20%	30%	40%	
ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง	60.00	40.00	30.00	20.00	0.00
ข้าวโพดไร่สีม่วง	0.00	20.00	30.00	40.00	60.00
รำละเอียด	9.80	9.75	9.74	9.80	9.60
กากถั่วเหลือง (44%)	14.65	14.68	14.68	14.65	14.72
ปลาป่น (55%)	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
เปลือกหอย	6.77	6.85	6.90	6.95	7.10
ไคแอลฟอสเฟต (P18)	1.50	1.30	1.20	1.11	0.87
น้ำมันรำ	0.08	0.22	0.28	0.34	0.51
เกลือ	0.40	0.40	0.40	0.35	0.40
DL-เมทไธโอนีน	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
พรีมิกซ์	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ราคาอาหาร, บาท/กก.	9.51	9.50	9.50	9.49	9.48
โภชนาการจากการคำนวณ :					
โปรตีนรวม, %	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
พลังงานใช้ประโยชน์, Kcal/kg.	2,850	2,850	2,850	2,850	2,850
แคลเซียม, %	3.43	3.41	3.41	3.40	3.40
ฟอสฟอรัสรวม, %	0.58	0.58	0.58	0.58	0.57

หมายเหตุ : - PFC หมายถึงใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นแหล่งพลังงานในสูตรอาหาร

- พรีมิกซ์ 1 กิโลกรัมประกอบด้วย ไบโตามีนเอ 4.8 ล้านหน่วยสากล, ไบโตามีนดี3 0.96 ล้านหน่วยสากล, ไบโตามีนอี 3.2 กรัม, ไบโตามีนเค3 0.8 กรัม, ไบโตามีนบี1 0.4 กรัม, ไบโตามีนบี2 1.6 กรัม, ไบโตามีนบี6 0.4 กรัม, ไบโตามีนบี12 4 มิลลิกรัม, ไบโอดิน 12 มิลลิกรัม, กรดแพนโททีนิก 2 กรัม, ไนอาซีน 6 กรัม, กรดโฟลิก 0.2 กรัม, ธาตุเหล็ก 16 กรัม, ทองแดง 2.4 กรัม, แมงกานีส 24 กรัม, สังกะสี 24 กรัม, ไอโอดีน 0.14 กรัม, ซีลีเนียม 0.028 กรัม, โคลิน 25 กรัม, สารปรุงแต่งอาหารสัตว์ 10 กรัม, สารถนอมอาหารสัตว์ 0.2 กรัม

5.3 ผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในไก่ไข่

5.3.1 ผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารไก่ไข่ต่อผลผลิตไข่

การใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงระดับ 20, 30, 40 เปอร์เซ็นต์ และข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นแหล่งพลังงานในอาหารไก่ไข่พันธุ์การคำเปรียบเทียบกับการใช้ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง เมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาวิเคราะห์หาปฏิกริยาร่วม (interaction) แบบสุ่มสมบูรณ์ระหว่างกลุ่มทดลองกับช่วงเวลาทำการทดลองทั้ง 5 ช่วง ผลปรากฏว่าไม่พบปฏิกริยาร่วมดังกล่าว จึงนำข้อมูลทุกช่วงการทดลองมารวมหาค่าเฉลี่ยและนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสุ่มสมบูรณ์ ปรากฏว่าค่าเฉลี่ยผลผลิตไข่ของไก่ไข่ทุกกลุ่มมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยผลผลิตไข่ช่วงแรกการทดลองมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าปกติ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยทั้งหมด 5 ช่วงการทดลองต่ำกว่าปกติ (ตารางที่ 5.2 และ 5.3) ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากโรงเรือนที่ทดลองเป็นโรงเรือนเปิด และช่วงเริ่มต้นการทดลองมีสภาวะอากาศร้อนจัด อุณหภูมิในโรงเรือนใกล้เคียงวัดได้ประมาณ 36-40 องศาเซลเซียส (ภาคผนวก ข) แต่ช่วงการทดลองที่ 2 ถึง 5 ไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นแหล่งพลังงาน ไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์และไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองมีผลผลิตไข่เพิ่มขึ้นทุกกลุ่มและแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือ 81.32, 80.23, 81.14, 81.03 และ 81.31 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 5.2 และ ภาพที่ 5.1)

ตารางที่ 5.2 ค่าเฉลี่ยผลผลิตไข่ของไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารระดับต่าง ๆ

ระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2547

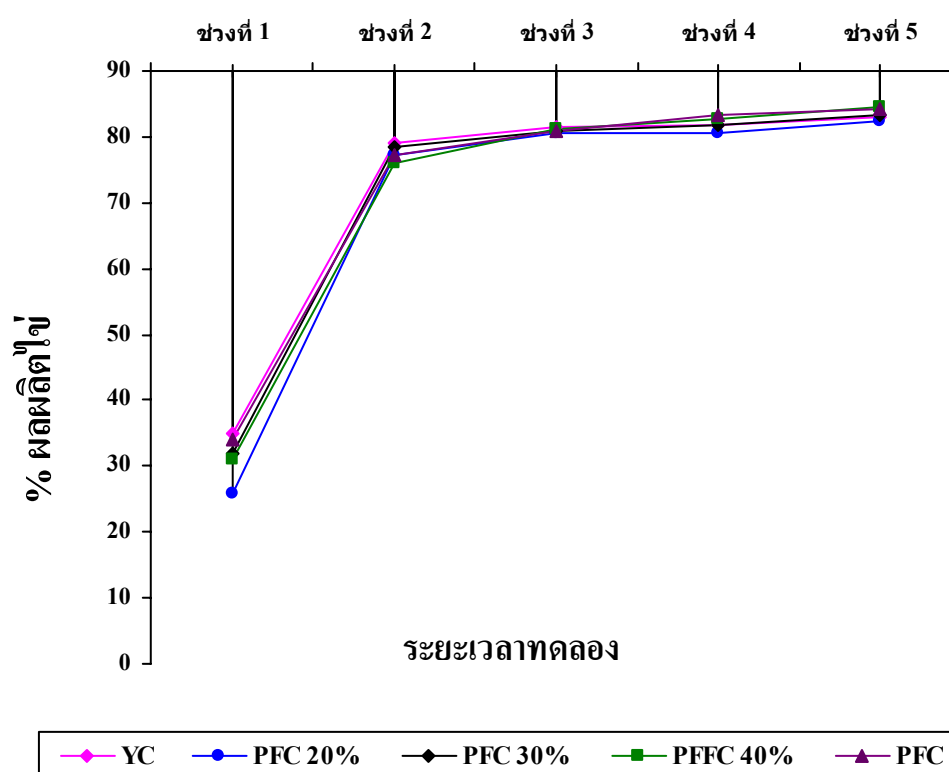
สมรรถภาพการผลิตไข่	ไก่ไข่เริ่มต้น, ตัว	ผลผลิตไข่เฉลี่ย	ผลผลิตไข่เฉลี่ย
		5 ช่วง ¹ , %	4 ช่วง ¹ , %
1. ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง	48	72.02	81.31
2. ข้าวโพดไร่สีม่วง 20%	48	69.36	80.23
3. ข้าวโพดไร่สีม่วง 30%	48	71.31	81.14
4. ข้าวโพดไร่สีม่วง 40%	48	71.01	81.03
5. ข้าวโพดไร่สีม่วง	48	71.85	81.32
Pool±SEM		±2.31	±2.93
Pr>F		0.54	0.97
%CV		3.32	3.22

หมายเหตุ : ¹ ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 5.3 ค่าเฉลี่ยผลผลิตไข่ของไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารระดับต่าง ๆ ช่วงที่ 1 ถึงช่วงที่ 5 ระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2547

ผลผลิตไข่ (%)	ช่วงการทดลองที่					ค่าเฉลี่ย ผลผลิตไข่ ¹
	1	2	3	4	5	
1. ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง	34.90	79.09	81.40	81.85	82.95	72.02
2. ข้าวโพดไร่สีม่วง 20%	25.89	77.38	80.43	80.58	82.51	69.36
3. ข้าวโพดไร่สีม่วง 30%	31.99	78.35	81.03	81.77	83.41	71.31
4. ข้าวโพดไร่สีม่วง 40%	30.95	76.04	81.10	82.59	84.38	71.01
5. ข้าวโพดไร่สีม่วง	33.93	77.16	80.80	83.18	84.15	71.85

หมายเหตุ : ¹ ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)



ภาพ 5.1 ค่าเฉลี่ยของผลผลิตไข่ของไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร 5 ช่วงการทดลอง ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2547 ถึงเดือนกรกฎาคม 2547

5.3.2 ผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารไก่ไข่ต่อปริมาณอาหารที่กิน

ไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงระดับ 20, 30 ,40 เปอร์เซ็นต์ ข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นแหล่งพลังงานและข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองในสูตรอาหารมีปริมาณอาหารที่กินใกล้เคียงกัน ($P>0.05$) คือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 103.18, 102.10, 102.63, 103.30 และ 103.38 กรัมต่อตัวต่อวันตามลำดับ (ตารางที่ 5.4) เมื่อพิจารณาปริมาณอาหารที่กินต่อการผลิตไข่ 1 ฟองและการผลิตไข่ 1 โหล ปรากฏว่าไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงทุกกลุ่มมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง โดยไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นแหล่งพลังงานหลักและข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองมีปริมาณอาหารที่กินต่อการผลิตไข่ 1 ฟองต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติคือ 147.15 และ 148.53 กรัม หรือมีปริมาณอาหารที่กินต่อการผลิตไข่ 1 โหลใกล้เคียงกันคือ 1.77 และ 1.78 กิโลกรัมตามลำดับ ส่วนไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงระดับ 20 ,30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ในอาหารมีค่าเฉลี่ยดังกล่าวแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน (ตารางที่ 5.4)

ตารางที่ 5.4 ค่าเฉลี่ยปริมาณอาหารที่กินของไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร

สมรรถภาพการผลิตไข่	ไก่ไข่ เริ่มต้น(ตัว)	ปริมาณอาหารที่กิน ¹		
		กรัม/ตัว/วัน	ต่อไข่ 1 ฟอง (กรัม)	ต่อไข่ 1 โหล (กก.)
1. ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง	48	103.38	148.53	1.78
2. ข้าวโพดไร่สีม่วง 20%	48	103.18	153.10	1.84
3. ข้าวโพดไร่สีม่วง 30%	48	102.10	151.25	1.79
4. ข้าวโพดไร่สีม่วง 40%	48	102.63	157.05	1.88
5. ข้าวโพดไร่สีม่วง	48	103.30	147.15	1.77
Pool±SEM		±1.09	±0.08	±6.25
Pr>F		0.44	0.17	0.16
%CV		1.06	3.80	3.93

หมายเหตุ : ¹ ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

5.3.3 ผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารไก่ไข่ต่อต้นทุนการผลิตไข่

สำหรับต้นทุนอาหารที่ใช้ในการผลิตไข่ 1 ฟอง (feed cost per egg) และไข่ 1 โหล (feed cost per dozen) ผลปรากฏว่าสูตรอาหารที่ใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงทุกกลุ่มมีต้นทุนการผลิตไข่ 1 ฟองและ 1 โหล แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง กล่าวคือสูตรอาหารที่ใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงและข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองมีต้นทุนการผลิตไข่เท่ากับ 1.40 และ 1.41 บาทต่อฟองตามลำดับ และ 16.74 และ 16.95 บาทต่อการผลิตไข่ 1 โหลตามลำดับ (ตารางที่ 5.5) ส่วนไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงระดับ 20, 30, และ 40 เปอร์เซ็นต์ในอาหารมีต้นทุนการผลิตไข่ 1 ฟองแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับไก่ทั้งสองกลุ่มดังกล่าวคือมีต้นทุนเท่ากับ 1.45, 1.44 และ 1.49 บาทตามลำดับ

ตารางที่ 5.5 ค่าเฉลี่ยปริมาณอาหารที่กินและต้นทุนการผลิตไข่ของไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร

สมรรถภาพการผลิตไข่	ราคาอาหาร (บาท/กก.)	ต้นทุนอาหารต่อ ไข่ 1 ฟอง ¹ (บาท)	ต้นทุนอาหารต่อ ไข่ 1 โหล ¹ (บาท)
1. ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง	9.51	1.41	16.95
2. ข้าวโพดไร่สีม่วง 20%	9.50	1.45	17.45
3. ข้าวโพดไร่สีม่วง 30%	9.50	1.44	17.10
4. ข้าวโพดไร่สีม่วง 40%	9.49	1.49	17.88
5. ข้าวโพดไร่สีม่วง	9.48	1.40	16.74
Pool±SEM		±0.06	±0.73
Pr>F		0.19	0.18
%CV		3.79	3.94

หมายเหตุ : ¹ ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

5.3.4 ผลการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพไข่

จากการตรวจสอบคุณภาพไข่ของไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงทุกกลุ่ม ผลปรากฏว่าไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นแหล่งพลังงาน ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ในอาหารมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง ในด้านน้ำหนักไข่ ค่าฮอกยูนิต และความถ่วงจำเพาะ (ตารางที่ 5.6) โดยมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักไข่เท่ากับ 61.27, 60.15, 60.61, 60.57 และ 60.01 ค่าฮอกยูนิตเท่ากับ 88.61, 88.67, 88.13, 86.10 และ 87.27 เปอร์เซ็นต์ ค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าเท่ากับ 1.085, 1.084, 1.082, 1.086 และ 1.085 ตามลำดับ (ตารางที่ 5.6)

ตารางที่ 5.6 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักไข่ ฮอกยูนิตและความถ่วงจำเพาะของไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารระดับต่าง ๆ

คุณภาพไข่	ไข่ไก่ทดสอบ (ฟอง)	น้ำหนักไข่ ¹ (กรัม/ฟอง)	ค่าฮอกยูนิต ¹ (%)	ความถ่วง จำเพาะ ¹
1. ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง	240	60.01	87.27	1.085
2. ข้าวโพดไร่สีม่วง 20%	240	60.15	88.67	1.084
3. ข้าวโพดไร่สีม่วง 30%	240	60.61	88.13	1.082
4. ข้าวโพดไร่สีม่วง 40%	240	60.57	86.10	1.086
5. ข้าวโพดไร่สีม่วง	240	61.27	88.61	1.085
Pool±SEM		±0.55	±1.88	±0.01
Pr>F		0.22	0.26	0.71
%CV		1.21	2.04	0.41

หมายเหตุ : ¹ มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ส่วนคุณภาพไข่ในด้านความสูงไข่ขาว ความหนาเปลือกไข่ และค่าสีไข่แดง ผลปรากฏว่าค่าเฉลี่ยของไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) กับไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง โดยมีค่าความสูงไข่ขาวเท่ากับ 6.848 และ 6.816 มิลลิเมตร ความหนาเปลือกไข่เท่ากับ 0.401 และ 0.395 มิลลิเมตร และค่าสีไข่แดงที่วัดค่าโดยพัลด์สีของ บริษัท Roche (Roche Color Fan) มีค่าเท่ากับ 7.60 และ 7.88 ตามลำดับ หรือไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงทุกกลุ่มมีสีไข่แดงใกล้เคียงกับไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง (ตารางที่ 5.7)

ตารางที่ 5.7 ค่าเฉลี่ยความสูงไข่ขาว ความหนาเปลือกไข่และค่าสีไข่แดงของไข่ไข่ที่ได้รับ
ข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารระดับต่าง ๆ

คุณภาพไข่	ไข่ไข่ทดสอบ (ฟอง)	ความสูง ไข่ขาว ¹ , มม.	ความหนา เปลือกไข่ ¹ , มม.	ค่าสีไข่แดง ¹
1. ข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง	240	6.816	0.395	7.88
2. ข้าวโพดไร่สีม่วง 20%	240	6.829	0.398	7.90
3. ข้าวโพดไร่สีม่วง 30%	240	6.963	0.397	7.84
4. ข้าวโพดไร่สีม่วง 40%	240	6.981	0.391	7.84
5. ข้าวโพดไร่สีม่วง	240	6.848	0.401	7.60
Pool±SEM		±0.14	±0.01	±1.54
Pr>F		0.30	0.12	0.12
%CV		1.97	1.24	2.11

หมายเหตุ : ¹ มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

5.4 วิจัยณ์

ข้าวโพดไร่สีม่วงที่ใช้ในสูตรอาหารไข่ไข่ระดับ 20, 30 ,40 เปอร์เซนต์ตลอดจนใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหารไข่ไข่พันธุ์การค้า ไม่ส่งผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตไข่และคุณภาพไข่แต่อย่างใด ทั้งนี้จะเนื่องมาจากข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นข้าวโพดชนิดหนึ่งที่เกิดการผ่าเหล่าของยีนที่ควบคุมการสังเคราะห์รงควัตถุสีเหลืองบริเวณเยื่อหุ้มเอนโดสเปิร์มหรือ aleurone ทำให้ได้รงควัตถุสีม่วงที่บริเวณนี้ (http://www.employees.csbsju.edu/ssaupe/biol115/genetics_maize_exercise.htm) ซึ่ง Redenbach (2001) บรรยายว่ายีนที่ทำให้สีของเยื่อ aleurone เปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีม่วงจะไม่มีผลต่อขบวนการสังเคราะห์แป้งในเอนโดสเปิร์ม หรือกล่าวได้ว่าข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นข้าวโพดปกติ แต่เนื่องจากประเทศไทยคุ้นเคยกับการใช้ข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองมากกว่าข้าวโพดเมล็ดสีอื่น ๆ ซึ่งข้าวโพดเป็นพืชที่นำเข้ามาปลูกในประเทศประมาณปี พ.ศ. 2223 แต่รู้จักแพร่หลายในช่วงปี พ.ศ. 2463 โดย มจ. สิทธิพร กฤดากร นำข้าวโพดเมล็ดสีขาวหัวบุบ และข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองหัวบุบ (dent type) มาทดลองปลูกที่ฟาร์มบางเบิด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์และได้ผลดี ทำให้การปลูกข้าวโพดเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์หรือใช้บริโภคมีมากขึ้น ข้าวโพดที่ได้รับความนิยมจะเป็นเมล็ดสีเหลืองมากกว่าเมล็ดสีขาว (สุทัศน์, 2528) และไม่เคยมีการนำข้าวโพดสีอื่น ๆ มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ภายในประเทศไทยเลย

ข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นธัญพืชที่ปรับปรุงพันธุ์ภายใต้สภาพแวดล้อมของประเทศไทย จึงน่าจะมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดใหม่ โดยมีข้อสนับสนุนจากผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ หรือปริมาณแป้ง amylose ของข้าวโพดไร่สีม่วงในการทดลองที่ 1 ว่ามีค่าใกล้เคียงกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง ตลอดจนผลทดลองที่ 2 ที่นำข้าวโพดไร่สีม่วงไปผสมในอาหารนกกระทาญี่ปุ่นเพศผู้และเพศเมียระยะไข่โดยไม่ส่งผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่ แม้ว่าข้าวโพดในธรรมชาติจะมีเมล็ดสีต่าง ๆ มากมาย เช่น สีชมพู (pink corn) สีแดง (red corn) สีเขียว (green corn) สีน้ำเงิน (blue corn) สีน้ำตาล (brown corn) หรือสีม่วง (purple corn) สีเหล่านี้เกิดจากอิทธิพลของยีนควบคุมการสังเคราะห์สี เช่น สีม่วงเกิดจากยีนที่สังเคราะห์แอนโทไซยานิน ได้แก่ ยีน C (colored aleurone) ยีน c2 (colorless) ยีน a (anthocyaninless) ยีน a2 (anthocyaninless2) ยีน R (colored) ส่วนสีน้ำตาลเกิดจากยีน bz (bronze) หรือยีน bz2 โดยยีนใดยีนหนึ่งอยู่ในสภาพ homozygous recessive สำหรับข้าวโพดที่มีสีแดงจะเกี่ยวข้องกับยีน pr (red aleurone) เป็นต้น (Hallauze, 1994) เมื่อพิจารณาคูณค่าของโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดเหล่านี้พบว่าประกอบด้วยโปรตีนประมาณ 8-9 เปอร์เซ็นต์เหมือนข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองทั่วไปและโปรตีนนี้เป็นโปรตีนคุณภาพต่ำ เนื่องจากมีโปรตีน zein เป็นโปรตีนหลัก (Mertz และคณะ, 1964)

การนำข้าวโพดไร่สีม่วงมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในอาหารไก่ไข่ พบว่าช่วงแรกของการทดลองผลผลิตไข่ของไก่ทุกกลุ่มมีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ต่ำ ที่เป็นเช่นนี้น่าจะเนื่องมาจากอากาศในช่วงก่อนการทดลองร้อนจัดคืออุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิดังกล่าวทำให้ไก่ต้องการน้ำดื่มมากกว่าปกติประมาณสองเท่า (สาโรช, 2547) จึงคาดว่าไก่สาวที่ใช้ทดลองอาจเกิดปัญหาการขาดน้ำดื่มในช่วงเวลาสั้น ๆ เช่น ช่วงการเคลื่อนย้ายไก่สาวทดลองจากผู้จำหน่ายมายังโรงเรือนไก่สาวทดแทน หรือในช่วงย้ายไก่สาวจากโรงเรือนไก่สาวทดแทนเข้าสู่โรงเรือนทดลอง ทำให้ส่งผลต่อผลผลิตไข่ในช่วงแรกที่ผิดปกติไป โดย Spiller, Dorminey, and Arscott (1976) ได้จำกัด (restricted) ปริมาณน้ำดื่มแก่ไก่สาวในการทดลองช่วงที่ 1 นาน 15 นาทีใน 1 วัน พบว่าผลผลิตไข่จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ผลผลิตไข่ที่ลดลงนี้จะเกิดในช่วงแรกของการทดลองเท่านั้นและไม่มีผลต่อการให้ไข่ในช่วงการทดลองที่ 2 และ 3 ที่เป็นเช่นนี้ Spiller, et. al. (1976) อธิบายว่าเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสมดุลต่าง ๆ ในร่างกายของไก่ทดลอง เช่นการเพิ่มขึ้นของ plasma uric acid, urea, total protein, sodium, chloride ในซีรัม (serum) และค่า haematocrits (Arad, 1983; Bailey, 1999) ซึ่ง Bell and Freeman (1971) พบว่าไก่ไข่ที่ให้ผลผลิตต่ำมีค่า haematocrits และ plasma protein ในกระแสเลือดสูงกว่าไก่ไข่ที่ให้ผลผลิตสูง โดย Bell and Freeman (1971) คาดว่าอาจเกิดความผิดปกติในการนำโภชนาจากกระแสเลือดเข้า

ไปสะสมในใบแดง ส่วนใบที่กำลังให้ผลผลิตใบถ้าขาดน้ำติดต่อกันนาน 24 ชั่วโมงจะทำให้ผลผลิตลดลงเหลือ 30 เปอร์เซ็นต์และเมื่อได้รับน้ำตามปกติจะกลับมาใบตามเดิมในเวลาประมาณ 25-30 วัน (สาริธ, 2547)

สำหรับคุณภาพใบที่ปรากฏว่าค่าเฉลี่ยของใบทุกกลุ่ม มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในด้านน้ำหนักใบ ความสูงใบขาว ความหนาเปลือกใบ ความถ่วงจำเพาะค่าออกยูนิต ตลอดจนค่าสีใบแดงที่ได้ผลสอดคล้องกับการทดลองในนกกระทาญี่ปุ่นระยะใบที่ใช้ข้าวโพดไร่สีม่วง ส่วนความถ่วงจำเพาะและความหนาเปลือกใบของใบที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงทุกกลุ่มมีค่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับใบของใบที่ได้รับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองซึ่งมีค่าสูงกว่า 1.080 มิลลเมตรทั้งสองกลุ่ม แสดงให้เห็นว่าข้าวโพดไร่สีม่วงใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารไก่ไข่ได้ เนื่องจากตามปกติค่าความถ่วงจำเพาะที่ดีของใบไก่จะอยู่ระหว่าง 1.080-1.088 ค่านี้เป็นค่าที่สัมพันธ์กับความหนาเปลือกใบ โดยใบไก่ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงแสดงว่ามีความหนาเปลือกใบที่ดี (North and Bell, 1990)

จากผลการทดลองในไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงทุกกลุ่ม ปรากฏว่ามีค่าสีใบแดงใกล้เคียงกับใบที่ได้รับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองนั้น สอดคล้องกับการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารนกกระทาญี่ปุ่นเพศเมียระยะใบในการทดลองที่ 2 ซึ่ง Larbier and Leclercq (1994) กล่าวว่าข้าวโพดมีรงควัตถุสีเหลืองหรือแซนโทฟิลล์ประมาณ 25 ppm ในรูป zeaxanthine และ lutein ใบที่ได้รับแซนโทฟิลล์จากเมล็ดข้าวโพดสีเหลือง จะสะสมเม็ดสีในใบแดงสูงกว่าพืชสีเขียวชนิดอื่น โดยแซนโทฟิลล์ในรูป zeaxanthine จะถูกดูดซึมที่ผนังลำไส้เล็กช่วงรอยต่อระหว่าง jejunum และ ilium ส่วนบริเวณ duodenum และลำไส้ใหญ่จะพบการดูดซึมน้อยมาก สารนี้จะเข้าไปสะสมในรังไข่ได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของแซนโทฟิลล์ที่มีในร่างกาย (Littlefield, et.al, 1972; NRC, 1994) นอกจากนี้พบว่าข้าวโพดไร่สีม่วงไม่ทำให้ไข่ขาวผิดปกติแต่อย่างใด

การนี้แสดงให้เห็นว่าข้าวโพดไร่สีม่วงใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานในอาหารไก่ไข่ หรือใช้ประกอบกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองในสูตรอาหารได้โดยไม่ก่อผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ และคุณภาพไข่ เนื่องจากแอนโทไซยานินไม่ใช่สารพิษ (Horowitz and Gentili, 1969) นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้ สามารถใช้อ้างอิงได้ว่าข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นข้าวโพดปกติ หรือ normal corn ชนิดหนึ่งที่มีชั้นผิวห่อบริเวณเยื่อชั้น aleurone เท่านั้นและชั้นนี้ไม่มีผลต่อการสังเคราะห์แป้งในเมล็ดข้าวโพด (Dawe and Freeling, 1990; Becraft and Asuncion-Crabb, 2000) ทำให้ปริมาณ amylose และ amylopectin ของเมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วงที่วิเคราะห์ในงานทดลองที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกับเมล็ดข้าวโพดสีเหลือง

5.5 สรุปผลการทดลอง

ข้าวโพดไร่สีม่วงมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบแหล่งพลังงานชนิดใหม่ ในอาหารไก่ไข่ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตไข่ เช่น ผลผลิตไข่ ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน การเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ 1 โหล ต้นทุนการผลิตไข่ 1 โหล คุณภาพไข่ ในด้านน้ำหนักไข่ ความถ่วงจำเพาะ ค่าออกยูนิต ความหนาเปลือกไข่ ความสูงไข่ขาว และไม่ส่งผลกระทบต่อสีไข่แดงหรือไข่ขาวแต่อย่างใด

5.6 รายการอ้างอิง

- สาโรช คำเจริญ. 2547. อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง. หจก. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา, ขอนแก่น. 669.
- สุทัศน์ ศรีวัฒนพงศ์. 2528. การปรับปรุงพันธุ์พืช. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 353 น.
- สุคฤดี ประเทืองวงศ์ ประชุม จุฑาวรรณะ กุลชญา เกศสุวรรณิ และสุพจน์ กาเข้ม. 2547. การระบาดของโรคข้าวโพดจากแบคทีเรียชนิดใหม่ในประเทศไทย, หน้า 249-262. ใน การประชุมเชิงปฏิบัติการโครงการวิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่าง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ระหว่างวันที่ 19-21 พฤษภาคม 2547 ณ โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา.
- สมยศ จรรยาวิลาส โชคชัย เอกทัศนาวรรณ วิภา สุโรจนะเมธากุล ชไมพร เอกทัศนาวรรณ ธีระ ทองเผือก และศิริพงษ์ เทشنا. 2545. การใช้ประโยชน์ของข้าวโพดสีม่วง. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร. 13 แผ่น.
- อนงค์ บินทวิหค. 2546. สารพิษจากเชื้อรา :อะฟลาทอกซิน. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 322 น.
- Arad, 1983. Journal of Applied Physiology. 54: 234-243. Quoted in Bailey, M. 1999. The water requirements of poultry, pp. 321-337. In Wiseman, J. and Garnsworth, P.C. 1999. Recent development in poultry nutrition 2. Nottingham university Press, Northingham, United Kingdom. 342 p.
- Bailey, M. 1999. The Water requirements of poultry, pp. 321-337. In Wiseman, J. and Garnsworth, P.C. 1999. Recent development in poultry nutrition 2. Nottingham university Press, Northingham, United Kingdom. 342 p.

- Becraft1, B.W. and Asuncion-Crabb, Y. 2000. Positional cues specify and maintain aleurone cell fate in maize endosperm development. *Development* 127, 4039-4048.
- Bell, D.J., and Freeman, B.M. 1971. Physiology and biochemistry of the domestic fowl Vol 2. Academic Press, London. 1151 p.
- Dawe, R.K., and Freeling, M. 1990. Clonal analysis of the cell lineades in the male flower of maize. *Dev. Biol.* 142, 233-245.
- Gross, J. 1987. Pigment in fruits. Academic Press INC. (London) LTD., London. 303 pp.
- Georgia, L. D., Windham, G.L., and Williams, W. P. 1998. The role of maize anthocyanin genes in aflatoxin accumulation in *Aspergillus flavus* infected seed [On-line]. Available : <http://www.intl-pag.org/6/abstracts/90.html>.
- Hallaure, A.R. 1994. Special corn. Published by Library of Congress, USA. 410 p.
- Hencken, H. 1974. Seminar for feed industry: The chemistry and distribution of pigmenting carotenoids in nature and their use for pigment of animal products. *Animal Nutrition Events (Tokyo)* : 29-51.
- Horowitzt ,R.M. and Gentili, B. 1969. Taste and structure in phenolic glycoside. *J.Agric.Food.Chem.* 17(4):696-700
- Larbier, M. and Leclercq, B. 1994. Nutrition feeding of poultry. Nottingham University Press, Sutton Bonington Campus Loughborough, Leicestershire. 305 p.

- Littlefield, L.H., Bletner, J.K., Shirley, H.V., and Goff, O.E. 1972. Locating the site of absorption of xanthophylls in chicken by surgical technique. *Poultry Sci.* 51: 1721-1725.
- Mertz, E.T., E.T., Mertz and O.E. Nelson. 1964. Mutant gene that changes the protein composition and increase the lysine content in maize endosperm. *Science* 145: 279.
- Norton, R.A. 1999. Inhibition of Aflatoxin B1 biosynthesis in *Aspergillus flavus* by anthocyanidins and related flavonoids. *J.Agric.Food.Chem.* 47: 1230-1235.
- North, M.O, and Bell, D.D. 1990. *Comercial Chicken Production Manual*. 4 th ed. NewYork. 190 p.
- NRC. 1994. *Nutrient requirements of poultry*. 9th Ed. National Academy Press, Washington,D.C.
- Redenbach, M. 2001. Transposition II [On-line]. Available : <http://www.unikl.de/FB-Biologie/AG-Cullum/Teaching/Files/Gen1Lec2.pdf>
- Spiller, R.J., Dorminey, R.W., and Arscott, G.H. 1976. *Poultry Sci.* 55: 1871-1881. quoted in Bailey, M. 1999. The water requirements of poultry, pp. 321-337. *In* Wiseman, J. and Garnsworth, P.C. 1999. *Recent Development in Poultry Nutrition 2*. Nottingham university Press, Northingham, United Kingdom. 342 p.
- Available : http://www.employees.csbsju.edu/ssaupe/biol115/genetics_maize_exercise.htm.

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

การประเมินคุณค่าทางโภชนาและการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงในอาหารสัตว์ปีก แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง โดยแต่ละการทดลองสรุปผลได้ดังนี้

1. ข้าวโพดไร่สีม่วงมีส่วนประกอบทางเคมี ปริมาณ amylose, amylopectin ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ปรากฏ (AME) ค่าทางชีวภาพของโปรตีน (BV) และค่าการใช้ประโยชน์โปรตีนสุทธิ (NPU) ใกล้เคียงข้าวโพดอาหารสัตว์เมล็ดสีเหลือง โดยมีระดับสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ บนเมล็ดหลังการเก็บรักษาแบบฝักและกะเทาะเมล็ดในเวลา 90 วันช่วงฤดูร้อนแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าข้าวโพดไร่สีม่วงเป็นข้าวโพดปกติ (normal corn) เช่นเดียวกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองสามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารสัตว์ได้
2. ข้าวโพดไร่สีม่วงสามารถใช้ในสูตรอาหารของนกกระทาญี่ปุ่นเพศผู้ และนกกระทาญี่ปุ่นเพศเมียระยะไข่ได้ในระดับเดียวกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง หรือใช้ร่วมกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองอัตราส่วน 1:1 ได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพซาก สมรรถภาพการผลิตไข่ และคุณภาพไข่
3. ข้าวโพดไร่สีม่วงสามารถใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานได้ เช่นเดียวกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองในสูตรอาหารไก่ไข่ รวมทั้งการใช้ข้าวโพดไร่สีม่วงระดับ 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองในสูตรอาหารได้ โดยไม่ทำให้สมรรถภาพการผลิตไข่และคุณภาพไข่แตกต่างจากไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดเมล็ดสีเหลือง ($P>0.05$)

นั่นคือข้าวโพดไร่สีม่วงที่พัฒนาสายพันธุ์โดย คณะวิชาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก มีศักยภาพที่จะใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงานในอาหารนกกระทาญี่ปุ่นและไก่ไข่ได้ โดยข้อมูลที่ได้นี้สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น เพื่อนำไปพัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวกับข้อเด่นของข้าวโพดไร่สีม่วงที่ต่างจากข้าวโพดเมล็ดสีเหลืองคือ มีแอนโทไซยานินในเมล็ดต่อไป ซึ่งมีการวิจัยหลายงานชี้ชัดว่าแอนโทไซยานินมีคุณสมบัติเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ตามธรรมชาติ สามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระในกระแสเลือด ลดการสะสมไขมันในร่างกาย เป็นสารต้านเชื้อรา (antifungi) และเป็นสารต้านมะเร็งได้ ดังนั้นการที่สัตว์ได้รับอาหารที่ดีย่อมทำให้สัตว์มีสุขภาพดีและส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เช่นเนื้อหรือไข่ดีขึ้นไปด้วย ผลที่ได้รับทางอ้อม

คือทำให้ผู้บริโภคได้รับอาหารที่ปลอดภัยและมีสุขภาพดี นอกจากนี้ยังช่วยลดความสูญเสียทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ เช่น ลดค่ารักษาพยาบาลและจำนวนประชากรที่เจ็บป่วยทั้งคนและสัตว์เนื่องจากอาหารไม่ปลอดภัย ลดการนำเข้าสารเคมีสังเคราะห์ที่ใช้ในการถนอมคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากสัตว์ ตลอดจนส่งเสริมให้มีผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่ปลอดภัย (food safety) จำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์ปริมาณ amylose

อุปกรณ์ที่ใช้

1. ขวดแก้วพร้อมจุก (Volumetric flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เครื่อง spectrophotometer
3. เครื่องชั่งแบบละเอียดถึงหลัก 0.0001 กรัม
4. Water bath หรือ Magnetic stirrer

สารละลายที่ใช้

1. เอทิลแอลกอฮอล์ 95 %
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 N. (NaOH 40 กรัมละลายในน้ำกลั่น ให้มีปริมาตร 1 ลิตร)
3. กรดกลacialอะซิติก (glacial acetic acid) 1 N. (กรดกลacialอะซิติก 60 มิลลิกรัมละลายในน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1 ลิตร)
4. potato amylose
5. สารละลายไอโอดีน (ไอโอดีน 0.2 กรัม และโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2.0 กรัมละลายในน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ถ้าสารละลายไม่หมดให้ทิ้งค้างคืนในที่มืด ควรเก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา)

การเตรียมแป้งจากเมล็ดข้าวโพด

1. นำเมล็ดข้าวโพดโรสมีวงใส่ในเครื่องบดและบดให้ละเอียดที่สุด
2. นำมาร่อนผ่านตะแกรง (sieve) ขนาด 100 mash ถ้าแป้งไม่ผ่านตะแกรงต้องนำกลับไปบดใหม่

วิธีวิเคราะห์

ให้ทำตัวอย่างละ 2 ซ้ำ

1. ชั่งแป้งข้าวโพดโรสมีวง 0.1000 กรัมใส่ลงในขวดแก้วขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 1 มิลลิลิตรลงในตัวอย่าง เขย่าเบา ๆ เพื่อเกลี่ยให้แป้งกระจายออก ระวังอย่าให้แป้งมาเกาะที่ผนังขวด

3. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 N. ปริมาตร 9 มิลลิลิตรลงไป พร้อมล้างแป้งที่เกาะข้างขวด
4. นำมาต้มใน water bath นาน 10 นาที
5. เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าขวดแล้วตั้งทิ้งไว้ 1 คืน
6. แบ่งสารละลายแป้งที่เตรียมไว้ 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดแก้วขนาด 100 มิลลิลิตร ใบใหม่
7. เติมน้ำกลั่น 70 มิลลิลิตร พร้อมใส่กรดกลเซียลอะซิติก (glacial acetic acid) 1 N. ปริมาตร 1 มิลลิลิตร
8. เติมสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
9. เตรียมขั้นตอนข้อที่ 8 เพื่อนำมาใช้เป็น blank
10. วัดการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารละลายที่เป็น blank ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร ทำการปรับค่าให้เป็น 0 จากนั้นจึงค่อยวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

การเป็นกราฟมาตรฐาน (standard curve)

กราฟมาตรฐานได้จากการใช้ potato amylose เป็นสารมาตรฐาน มีขั้นตอนปฏิบัติดังนี้

1. ชั่ง potato amylose 0.0400 กรัม ใส่ในขวดแก้วขนาดจุ 100 มิลลิลิตร
2. เติมเอธิลแอลกอฮอล์ 1 มิลลิลิตรลงในตัวอย่าง เขย่าเบา ๆ เพื่อเกลี่ยให้แป้งกระจายออก ระวังอย่าให้แป้งมาเกาะที่ผนังขวด
3. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 N. ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ลงไป พร้อมล้างแป้งที่เกาะข้างขวด
4. นำมาต้มใน water bath นาน 10 นาที
5. เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าขวดแล้วตั้งทิ้งไว้ 1 คืน
6. แบ่งสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้ 1, 2, 3 และ 4 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดแก้วขนาด 100 มิลลิลิตรใบใหม่อย่างละ 1 ใบ
7. เติมน้ำกลั่น 70 มิลลิลิตร ใส่กรดกลเซียลอะซิติก (glacial acetic acid) 1 N. ปริมาตร 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วที่มีสารละลายมาตรฐานตามลำดับ
8. เติมสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

9. วัดการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารละลายที่เป็น blank ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร ทำการปรับค่าให้เป็น 0 จากนั้นจึงค่อยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน (ควรทำอย่างน้อย 3 ซ้ำและนำมาหาค่าเฉลี่ย)
10. นำค่าเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสงของสารมาตรฐาน potato amylose ทุกค่าความเข้มข้นมาสร้างกราฟมาตรฐาน โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกน Y มีความเข้มข้น 8, 16, 24, 32 และ 40 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและค่าความเข้มข้นของสารพิษมาตรฐานเป็นแกน X
11. เมื่อตรวจวัดค่าเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสงของตัวอย่างแต่ละตัว นำมาคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ amylose ของตัวอย่าง
12. ถ้าไม่มีโปรแกรมคำนวณใช้การคำนวณจากสมการเส้นตรงดังนี้

$$Y = aX + b$$

เมื่อ $Y =$ เปอร์เซ็นต์ amylose

$X =$ ค่าการดูดกลืนแสงหรือค่าเฉลี่ยปริมาณ amylose

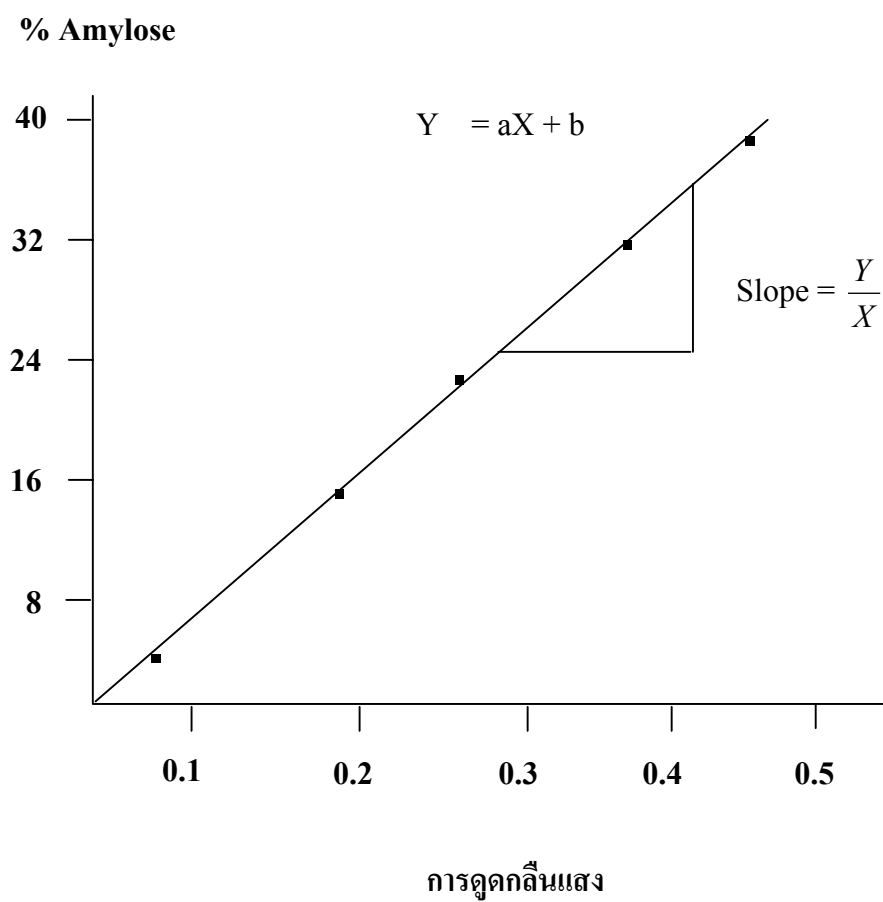
$a =$ คำนวณจาก

$$\frac{\sum XY - \sum X \cdot \sum Y / n}{\sum X^2 - (\sum X)^2 / n}$$

นำค่า Y , X และ a แทนค่าในสมการเพื่อคำนวณหาค่า b จากนั้นจึงนำค่า Y , a และ b มาคำนวณหาค่า X ของตัวอย่าง ก่อนทำการแทนค่าในสูตร $Y = aX + b$ จะต้องคำนวณหาค่า correlation coefficient (R) ก่อน นำค่า R มาเปรียบเทียบกับค่าใน significant value ของ R ที่ $df = n - 1$ (เมื่อ $n =$ จำนวนตัวอย่าง)

$$R^2 = \frac{\sum XY}{\sqrt{\sum X^2 \sum Y^2}}$$

ค่าที่ได้ต้องสูงเกินระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์จึงจะนำค่าต่าง ๆ มาคำนวณต่อไป เพื่อแทนค่าในสมการถดถอย (regression equation), $Y = aX + b$ กราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณ amylose กับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน potato amylose ที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ มีดังนี้



การคำนวณค่า b ในสมการเส้นตรงนี้ อาจใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์กลุ่มตารางคำนวณ (spread sheet) ช่วยในการคำนวณได้

การตรวจสอบสารอะฟลาทอกซิน B₁

อุปกรณ์ที่ใช้

ได้แก่

1. เครื่องอ่านปฏิกิริยาบนไมโครเพลท
2. ไมโครเพลท
3. ที่ดูดสารละลายอัตโนมัติ (autopipete) และหัวดูดพลาสติกหรือทิป (tip)
4. เครื่องปั่นสกัดสาร
5. ตู้แช่แข็ง -20 องศาเซลเซียส
6. อุปกรณ์เครื่องแก้ว
7. กระดาษกรองเบอร์ 4

สารเคมีที่ใช้สกัดสารอะฟลาทอกซิน

1. สารเมทานอล (methanol) และ น้ำกลั่น
2. สารพินมาตรฐานระดับความเข้มข้น 0, 0.2 , 0.5, 1.0 และ 2.0 ng/ml (ppb) เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส
3. เอนไซม์คอนจูเกต AFB₁-HRP conjugate (enzyme conjugate) เก็บช่องแช่แข็ง
4. สาร substrate A และ B เก็บในอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส
5. สาร stopping solution (0.3 M Phosphoric acid) เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส
6. สาร conjugated buffer เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส
7. สาร washing buffer (10 x 0.01 M PBS+0.05% tween 20) เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

การเตรียมสารทดสอบ

1. การเตรียม washing solution
 - นำ washing buffer มาเจือจางเป็น 0.01 M PBS-T โดยเติมน้ำกลั่น 900 มิลลิลิตร
 - เก็บในอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส
 - เมื่อนำมาใช้ให้ตั้งทิ้งไว้ในห้องเพื่อปรับให้เท่าอุณหภูมิห้อง
2. การเตรียม substrate solution

- ผสม substrate A และ substrate B ในอัตราส่วน 1: 1 ควรเตรียมในปริมาณเท่าที่ต้องการเท่านั้น
- ต้องใช้ให้หมดภายใน 1 ชั่วโมง

3. การเตรียม enzyme conjugated

- เติม enzyme conjugate 1 มิลลิลิตรลงในหลอด enzyme conjugate เขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน
- สารที่เตรียมแล้วถ้าใช้ไม่หมดให้เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส
- ส่วน enzyme conjugate เก็บที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

4. การเตรียมสารเมทานอล 70 %

- ผสมเมทานอล 70 มิลลิลิตรกับน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

การสกัดตัวอย่าง

1. ชั่งเมล็ดข้าวโพดที่บดละเอียดแล้ว 20 กรัมใส่ในฟลาสก์ (flask)
2. เติม 100 มิลลิลิตร 70 % เมทานอล ในฟลาสก์ที่มีข้าวโพด ปั่น 2-3 นาทีในเครื่องปั่น
3. ตั้งทิ้งไว้ 5-10 นาที นำส่วนใสมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4
4. เก็บส่วนกรองในหลอดแก้วที่สะอาดและปิดสนิท (ด้วยฝาจุกยาง)
5. สารที่กรองได้มีความเข้มข้น 1:5
6. ถ้าไม่สามารถตรวจได้ทันทีให้เก็บไว้ที่ -20 องศาเซลเซียสเพื่อรอการวิเคราะห์

การเจือจางสารสกัด

1. นำสารสกัดที่กรองมาเจือจางให้ได้อัตราส่วน 1:20 โดยใช้ washing buffer (0.01 M PBS-T) ที่เตรียมไว้เจือจางอัตราส่วน 1:3 (สารสกัดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร และสารละลาย 0.01 M PBS-T 3 มิลลิลิตร)
2. สารสกัดที่ได้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1:20

วิธีการวิเคราะห์

1. ก่อนการวิเคราะห์
 - ต้องนำสารทุกชนิดที่จะใช้มาวางให้อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องก่อน
 - นำ enzyme conjugated ออกจากช่องแช่แข็ง จำนวนหลอดเท่าที่ต้องการ ส่วนเจือจางที่ใช้ไม่หมดให้เก็บในอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสได้
 - นำ Micro Elisa plate ออกจากตู้ฟลอยด์ อย่าให้อุณหภูมิใน 1 plate จะใช้ตรวจสอบตัวอย่างได้ประมาณ 90 ตัวอย่าง เปลี่ยนทิปทุกครั้งที่ใช้

- การดูดสารและปล่อยสารลงใน plate อย่าให้ปลายปิพัสสัมผัสกับสารละลายในหลุม หรือด้านข้างของหลุม
- 2. การออกแบบการหดยศมาตรฐานและสารละลายที่จะทดสอบ

การหดยศสารละลายลงในหลุมไมโครเพลท ต้องหยดน้ำกลั่นเพื่อใช้เป็น blank ทดสอบ ความเข้มข้นของสารพิษมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0 วิธีที่นิยมใช้คือ หยดน้ำกลั่นใน หลุมแรกของไมโครเพลท ต่อจากนั้นจึงหดยศสารพิษมาตรฐานเรียงลำดับความเข้มข้น และหลุมสุดท้ายควรหยดน้ำกลั่นอีกครั้ง
- 3. การวิเคราะห์
 - หดยศสารพิษมาตรฐานอะฟลาทอกซินระดับความเข้มข้น 0, 0.2, 0.5, 1.0 และ 2.0 ng/ml (ppb) ปริมาตร 50 ไมโครลิตรต่อหลุม
 - หดยศสารสกัดตัวอย่างเจือจางลงในหลุมที่เหลือ ปริมาตร 50 ไมโครลิตรต่อหลุม
 - หดยศเอนไซม์คอนจูเกต (AFB1-HRP conjugate) เจือจางใน conjugate buffer
 - เขย่าให้เข้ากันเล็กน้อย แล้วบ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที
 - เมื่อครบกำหนดทดสอบใน plate ทิ้งโดยการคว่ำ plate
 - ล้างหลุมทดสอบด้วย washing buffer (PBS-T) ให้เต็มทุกหลุม แล้วคว่ำทิ้ง ล้าง อย่างน้อย 3 ครั้ง (ต้องมั่นใจว่าล้างสะอาดแล้ว)
 - คว่ำ plate บนกระดาษซับแล้วเคาะให้แห้ง
 - หดยศ substrate solution ที่เตรียมใหม่ ๆ ปริมาตร 100 ไมโครลิตรทุกหลุมทดสอบ
 - บ่มในที่มืด ณ อุณหภูมิห้อง นาน 5-10 นาที จะเกิดปฏิกิริยาเป็นสีฟ้าตามลำดับความเข้มข้นของสารพิษที่มี
 - หยุดปฏิกิริยาด้วย stopping solution (0.5 M phosphoric acid) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร บ่มในที่มืดอุณหภูมิห้องนาน 10 นาที สารในหลุมจะเปลี่ยนสีจากสีฟ้า ไปเป็นสีเหลือง
 - นำมาอ่านค่าความเข้มของแสงด้วยเครื่อง Micro Elisa Reader ที่ช่วงความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร การอ่านค่าควรอ่านภายใน 60 นาทีหลังจากหยุดปฏิกิริยา

การคำนวณปริมาณสารพิษในตัวอย่าง

1. ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ต่อพ่วงกับเครื่องอ่านปฏิกิริยาบนไมโครเพลท คำนวณค่าความเข้มข้นของสารพิษในหลุมทดสอบให้
2. ถ้าไม่มีโปรแกรมคำนวณค่าความเข้มข้นสารพิษผ่านทางเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ให้ นำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากเครื่องอ่านปฏิกิริยาบนไมโครเพลท มาคำนวณหา

เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสง (%maximal binding) โดยสูตรต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสง (\%maximal binding)} = \frac{B}{B_0} \times 100$$

B = ค่าการดูดกลืนแสงของสารพิษมาตรฐานหรือของตัวอย่าง

B_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของสารพิษมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 0 ppb

3. นำค่าเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสงของสารพิษมาตรฐานทุกความเข้มข้น มาสร้างกราฟมาตรฐาน โดยพล็อตค่าที่ได้ลงบนกระดาษกราฟ semi-logarithmic
4. ให้ค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกน Y และค่าความเข้มข้นของสารพิษมาตรฐานเป็นแกน X
5. ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสงของตัวอย่างแต่ละตัวที่คำนวณได้ มาพล็อตลงบนกราฟมาตรฐานบนแกน Y แล้วลากเส้นตรงขนานกับแกน X มาตัดเส้น standard curve จากนั้นลากเส้นตรงจากจุดลงมาตัดที่แกน X ค่าที่อ่านได้บนแกน X ต้องคูณด้วย 20 เนื่องจากสารละลายถูกเจือจางลง 1:20
6. ค่าที่ได้เป็นค่าระดับสารพิษมีหน่วยเป็น ppb
7. ทำเช่นนี้ทุกครั้งที่มีการทดสอบปฏิกิริยาไมโครเพลท

ภาคผนวก ข

ตารางผนวกที่ 3.1ข ค่าอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เป็นเปอร์เซ็นต์ตลอด
การทดลองระหว่างวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2547 ถึง 29 กุมภาพันธ์ 2547

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			% ความชื้นสัมพัทธ์
	อุณหภูมิ	ตุ้มแห้ง	ตุ้มเปียก	
15 ก.พ. 2547	32.0	18.0	16.6	86
16 ก.พ. 2547	32.8	18.2	17.0	88
17 ก.พ. 2547	31.6	20.7	18.5	80
18 ก.พ. 2547	32.2	19.4	20.1	75
19 ก.พ. 2547	33.2	21.0	18.5	77
20 ก.พ. 2547	33.6	25.0	22.6	80
21 ก.พ. 2547	33.8	22.7	20.5	81
22 ก.พ. 2547	34.2	19.5	17.7	83
23 ก.พ. 2547	35.0	19.0	16.9	80
24 ก.พ. 2547	34.7	21.0	18.8	80
25 ก.พ. 2547	35.2	21.1	19.5	85
26 ก.พ. 2547	35.0	20.7	18.5	80
27 ก.พ. 2547	35.1	23.0	21.6	88
28 ก.พ. 2547	35.2	19.4	18.0	87
29 ก.พ. 2547	34.9	24.6	21.0	71
ค่าเฉลี่ย	34.4			80.6
ค่าสูงสุด	35.2			88.0
ค่าต่ำสุด	32.3			71.0

หมายเหตุ : - อุณหภูมิที่ตุ้มแห้งและตุ้มเปียกในการความชื้นสัมพัทธ์บันทึกเวลา 7.00 น.

- อุณหภูมิสูงสุด-สูงสุดต่ำสุดบันทึกในเวลา 15.00 น.

ตารางผนวกที่ 3.2ข ค่าอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เป็นเปอร์เซ็นต์ตลอด
การทดลองระหว่างวันที่ 1 มีนาคม 2547 ถึง 31 มีนาคม 2547

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			% ความชื้นสัมพัทธ์
	อุณหภูมิ	ตุ้มแห้ง	ตุ้มเปียก	
1 มี.ค. 2547	35.7	21.1	19	81
2 มี.ค. 2547	37.0	19.7	17.2	77
3 มี.ค. 2547	37.2	18.6	16.7	82
4 มี.ค. 2547	35.7	20.4	17.7	75
5 มี.ค. 2547	36.3	22.0	19.5	78
6 มี.ค. 2547	35.3	24.3	22.7	86
7 มี.ค. 2547	34.4	25.4	22.4	76
8 มี.ค. 2547	33.3	22.2	18.1	65
9 มี.ค. 2547	32.6	21.0	17.1	66
10 มี.ค. 2547	35.2	19.7	17	75
11 มี.ค. 2547	38.2	21.5	19.2	79
12 มี.ค. 2547	36.1	25.2	22.8	80
13 มี.ค. 2547	37.3	25.9	23.3	79
14 มี.ค. 2547	37.8	26.4	24	81
15 มี.ค. 2547	36.1	26.7	24.3	80
16 มี.ค. 2547	35.4	24.0	22.6	78
17 มี.ค. 2547	36.0	24.7	21.6	75
18 มี.ค. 2547	38.0	23.5	21.5	83
19 มี.ค. 2547	38.5	24.1	20.9	82
20 มี.ค. 2547	36.7	26.3	23.7	79
21 มี.ค. 2547	36.4	24.5	23	87
22 มี.ค. 2547	36.7	26.4	23.9	80
23 มี.ค. 2547	38.2	26.2	24.2	84
24 มี.ค. 2547	36.5	25.0	23.0	84
25 มี.ค. 2547	37.4	24.6	21.0	71
26 มี.ค. 2547	38.4	25.1	22.0	75

ตารางผนวกที่ 3.2ข (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			% ความชื้นสัมพัทธ์
	อุณหภูมิ	ตุ้มแห้ง	ตุ้มเปียก	
27 มี.ค. 2547	38.7	26.0	22.8	75
28 มี.ค. 2547	38.0	26.0	22.5	73
29 มี.ค. 2547	38.2	26.5	23.5	75
30 มี.ค. 2547	38.7	26.8	23.5	78
31 มี.ค. 2547	37.5	26.8	24.0	78
ค่าเฉลี่ย	36.7			78.0
ค่าสูงสุด	38.7			87.0
ค่าต่ำสุด	32.6			65.0

หมายเหตุ : - อุณหภูมิที่ตุ้มแห้งและตุ้มเปียกในการความชื้นสัมพัทธ์บันทึกเวลา 7.00 น.

- อุณหภูมิสูงสุด-สูงสุดต่ำสุดบันทึกในเวลา 15.00 น.

ตารางผนวกที่ 3.3ข ค่าอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เป็นเปอร์เซ็นต์ตลอด
การทดลองระหว่างวันที่ 1 เมษายน 2547 ถึง 30 เมษายน 2547

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			% ความชื้นสัมพัทธ์
	อุณหภูมิ	ตุ้มแห้ง	ตุ้มเปียก	
1 เม.ย. 2547	37.5	26.4	23.1	74
2 เม.ย. 2547	36.7	26.2	22.5	71
3 เม.ย. 2547	38.5	26.1	23.5	79
4 เม.ย. 2547	36.5	25.3	23.5	85
5 เม.ย. 2547	36.7	25.3	22.2	75
6 เม.ย. 2547	37.6	27.7	25.1	80
7 เม.ย. 2547	37.8	27.0	24.0	77
8 เม.ย. 2547	38.4	26.6	22.7	70
9 เม.ย. 2547	37.4	25.9	22.3	72
10 เม.ย. 2547	37.8	26.5	23.2	74
11 เม.ย. 2547	38.9	26.4	23.4	77

ตารางผนวกที่ 3.3ข (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			% ความชื้นสัมพัทธ์
	อุณหภูมิ	ตุ้มแห้ง	ตุ้มเปียก	
12 เม.ย. 2547	39.3	27.5	23.5	70
13 เม.ย. 2547	39.9	27.8	23.9	71
14 เม.ย. 2547	39.6	27.4	24.9	81
15 เม.ย. 2547	40.1	27.0	22.5	66
16 เม.ย. 2547	39.6	27.3	22.7	66
17 เม.ย. 2547	39.6	26.1	21.0	61
18 เม.ย. 2547	40.0	26.5	22.0	66
19 เม.ย. 2547	36.4	26.6	22.4	68
20 เม.ย. 2547	39.7	26.2	23.2	76
21 เม.ย. 2547	39.1	26.6	23.6	77
22 เม.ย. 2547	40.0	28.5	23.2	62
23 เม.ย. 2547	39.4	27.7	23.9	71
24 เม.ย. 2547	40.2	27.0	23.5	70
25 เม.ย. 2547	39.6	28.4	23.9	67
26 เม.ย. 2547	40.3	29.0	24.9	70
27 เม.ย. 2547	40.3	28.5	24.8	73
28 เม.ย. 2547	31.5	24.2	23.5	94
29 เม.ย. 2547	36.2	25.7	24.5	90
30 เม.ย. 2547	38.6	27.0	25.2	86
ค่าเฉลี่ย	38.4			74.0
ค่าสูงสุด	40.3			94.0
ค่าต่ำสุด	31.5			61.0

หมายเหตุ : - อุณหภูมิที่ตุ้มแห้งและตุ้มเปียกในการความชื้นสัมพัทธ์บันทึกเวลา 7.00 น.

- อุณหภูมิสูงสุด-สูงสุดต่ำสุดบันทึกในเวลา 15.00 น.

ตารางผนวกที่ 3.4ข ค่าอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เป็นเปอร์เซ็นต์ตลอด
การทดลองระหว่างวันที่ 1 พฤษภาคม 2547 ถึงวันที่ 17 พฤษภาคม 2547

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			% ความชื้นสัมพัทธ์
	อุณหภูมิ	ตุ้มแห้ง	ตุ้มเปียก	
1 พ.ค. 2547	39.1	28.2	28.8	82
2 พ.ค. 2547	38.2	28.6	25.6	78
3 พ.ค. 2547	37.5	27.5	25.6	81
4 พ.ค. 2547	36.7	26.6	25.9	87
5 พ.ค. 2547	36.3	28.2	25.0	77
6 พ.ค. 2547	39.5	25.5	24.5	92
7 พ.ค. 2547	34.0	25.9	24.4	95
8 พ.ค. 2547	34.2	25.5	24.1	89
9 พ.ค. 2547	35.6	26.5	25.1	89
10 พ.ค. 2547	36.4	27.5	25.6	85
11 พ.ค. 2547	34.2	27.2	24.6	81
12 พ.ค. 2547	34.2	26.7	24.5	90
13 พ.ค. 2547	35.4	26.6	24.1	85
14 พ.ค. 2547	35.1	26.3	24.9	80
15 พ.ค. 2547	34.8	25.5	24.5	83
16 พ.ค. 2547	35.9	26.8	25.5	80
17 พ.ค. 2547	33.0	26.8	25.5	89
ค่าเฉลี่ย	35.9			84.9
ค่าสูงสุด	39.5			95.0
ค่าต่ำสุด	33.0			77.0

หมายเหตุ :- อุณหภูมิที่ตุ้มแห้งและตุ้มเปียกในการความชื้นสัมพัทธ์บันทึกเวลา 7.00 น.

- อุณหภูมิสูงสุด-สูงสุดต่ำสุดบันทึกในเวลา 15.00 น.

ตารางผนวกที่ 3.5ข ค่าสารพิษอะฟลาทอกซิน B1 ที่ตรวจวัดด้วยวิธี ELISA Test
ช่วงการเก็บรักษา 90 วัน มีหน่วยเป็น ppb

ตัวอย่างที่	เมล็ดข้าวโพดสีเหลือง		เมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง	
	ทั้งฝัก	กะเทาะเมล็ด	ทั้งฝัก	กะเทาะเมล็ด
ช่วงเริ่มต้นการทดลอง				
1	3.60	5.60	0.00	0.00
2	3.60	4.00	0.00	7.40
3	3.60	6.60	0.00	10.20
4	2.40	0.00	0.00	4.20
5	3.60	11.40	0.00	6.20
6	4.00	0.00	1.00	0.40
7	0.80	0.00	6.00	0.00
8	1.00	0.00	0.00	0.00
9	1.00	3.60	0.80	0.00
10	0.00	3.80	2.20	0.00
ช่วง 15 วันของการเก็บรักษา				
1	1.50	2.70	4.10	1.20
2	0.00	0.00	1.20	0.95
3	1.25	0.00	2.60	2.90
4	1.55	1.60	1.55	0.00
5	1.30	4.05	0.00	1.10
6	1.70	2.45	0.00	0.00
7	1.20	2.55	0.00	1.80
8	0.00	0.00	2.70	1.90
9	2.80	3.00	0.00	0.00
10	0.55	2.60	2.75	3.55

ตารางผนวกที่ 3.5ข (ต่อ)

ตัวอย่างที่	เมล็ดข้าวโพดสีเหลือง		เมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง	
	ทั้งฝัก	กะเทาะเมล็ด	ทั้งฝัก	กะเทาะเมล็ด
ช่วง 30 วันของการเก็บรักษา				
1	1.40	4.20	0.80	0.00
2	0.60	3.60	0.20	0.00
3	3.20	0.20	0.20	0.20
4	0.80	0.00	0.60	0.00
5	0.00	0.00	0.60	3.60
6	0.80	0.20	4.40	1.60
7	0.80	4.60	5.00	1.20
8	0.80	0.20	4.80	0.60
9	0.20	14.40	5.00	0.20
10	1.60	6.80	1.40	0.80
ช่วง 45 วันของการเก็บรักษา				
1	0.00	1.20	4.80	6.00
2	10.00	4.80	4.80	0.00
3	0.00	8.40	1.60	0.00
4	3.80	4.40	14.60	13.20
5	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	6.80	10.40
7	0.00	4.20	0.00	1.40
8	25.00	6.80	0.00	10.40
9	0.00	4.00	6.00	0.00
10	0.80	10.80	0.00	4.40

ตารางผนวกที่ 3.5ข (ต่อ)

ตัวอย่างที่	เมล็ดข้าวโพดสีเหลือง		เมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง	
	ทั้งฝัก	กะเทาะเมล็ด	ทั้งฝัก	กะเทาะเมล็ด
ช่วง 60 วันของการเก็บรักษา				
1	3.60	0.00	0.60	0.00
2	0.00	0.20	0.00	0.00
3	3.60	0.00	3.80	6.20
4	0.80	1.20	0.80	0.00
5	0.00	3.40	0.00	3.60
6	10.00	3.60	4.80	3.60
7	0.00	3.60	3.20	0.00
8	0.20	3.60	0.00	0.20
9	0.80	5.40	5.20	5.00
10	0.00	0.20	0.00	0.00
ช่วง 75 วันของการเก็บรักษา				
1	0.80	0.00	0.40	0.40
2	0.40	0.20	0.20	0.20
3	0.20	0.00	0.40	0.20
4	0.20	0.00	0.00	0.00
5	0.20	0.80	0.20	0.40
6	0.00	0.00	0.40	0.40
7	0.40	0.40	0.40	0.40
8	0.40	0.00	0.20	0.20
9	0.20	0.00	0.20	0.20
10	0.20	0.20	0.00	0.00

ตารางผนวกที่ 3.5ข (ต่อ)

ตัวอย่างที่	เมล็ดข้าวโพดสีเหลือง		เมล็ดข้าวโพดไร่สีม่วง	
	ทั้งฝัก	กะเทาะเมล็ด	ทั้งฝัก	กะเทาะเมล็ด
ช่วง 90 วันของการเก็บรักษา				
1	0.20	0.00	0.00	0.00
2	1.40	0.00	0.00	0.00
3	0.20	6.40	0.00	0.00
4	0.20	0.04	0.02	0.02
5	0.20	0.20	0.02	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.02	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.02	0.00	0.00

ตารางผนวกที่ 3.6ข การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ GLM ค่าเฉลี่ยของระดับสารพิษ
อะฟลาทอกซิน B₁ ตลอดช่วงการเก็บรักษา 90 วันมีหน่วยเป็น ppb

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	3	3.414	1.138	1.27 ^{ns}	0.29
Contrast					
- T1,T2 VS T3,T4	1	0.930	0.930	1.04 ^{ns}	0.32
- T1,T3 VS T2,T4	1	1.705	1.705	1.90 ^{ns}	0.18
- T2 VS T4	1	1.705	1.705	1.90 ^{ns}	0.18

^{ns} หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางผนวกที่ 3.7ข การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ GLM ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การตรวจพบสารพิษอะฟลาทอกซิน B₁ โดยวิธี ELISA Test ตลอดช่วงการเก็บรักษา 90 วัน

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	3	828.571	276.190	0.59 ^{ns}	0.63
Contrast					
T1,T2 VS T3,T4	1	700.000	700.000	1.51 ^{ns}	0.23
T1,T3 VS T2,T4	1	128.571	128.571	0.28 ^{ns}	0.60
T2 VS T4	1	1.705	1.705	1.90 ^{ns}	0.18

^{ns} หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางผนวกที่ 4.1ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของอัตราการเติบโตสะสมในนกอกระหาญญี่ปุ่นเพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารมีหน่วยเป็นกรัมต่อตัว

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	2	2.9816	1.4908	0.20 ^{ns}	0.79
Exp.Error	9	58.5150	6.5017		
Total	11	61.4966			

%CV = 4.02

^{ns} หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางผนวกที่ 4.2ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณอาหารที่กินสะสมในนกอกระหาญญี่ปุ่นเพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารมีหน่วยเป็นกรัมต่อตัว

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	2	93.1667	46.5833	0.11 ^{ns}	0.90
Exp.Error	9	3,991.7500	443.5278		
Total	11	4,084.9167			

%CV = 5.57

^{ns} หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางผนวกที่ 4.3ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณอาหารที่กินในนกกกระทุงญี่ปุ่นเพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารมีหน่วยเป็นกรัมต่อตัวต่อวัน

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	2	0.1188	0.0594	0.11 ^{ns}	0.90
Exp.Error	9	5.0915	0.5657		
Total	11	5.2103			

%CV = 5.57

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 4.4ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของประสิทธิภาพการใช้อาหารในนกกกระทุงญี่ปุ่นเพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	2	0.0869	0.0435	0.51 ^{ns}	0.61
Exp.Error	9	0.7673	0.0853		
Total	11	0.8542			

%CV = 4.09

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 4.5ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ซากในนกกกระทุงเพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	2	3.1418	1.5709	0.23 ^{ns}	0.79
Exp.Error	9	60.6663	6.7407		
Total	11	63.8080			

%CV = 3.21

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 4.6ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักอวัยวะภายในของนกกกระทา เพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	2	6.3612	3.1806	0.60 ^{ns}	0.57
Exp.Error	9	47.9093	5.3233		
Total	11	54.2705			

%CV = 12.27

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 4.7ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักกึ๋นของนกกกระทาผู้ป่วน เพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	2	0.0212	0.0106	1.53 ^{ns}	0.27
Exp.Error	9	0.0625	0.0069		
Total	11	0.0837			

%CV = 3.85

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 4.8ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักหัวใจของนกกกระทาผู้ป่วน เพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	2	0.0022	0.0011	0.27 ^{ns}	0.78
Exp.Error	9	0.0367	0.0041		
Total	11	0.0389			

%CV = 4.06

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 4.9ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้ออกของนกกะทาญี่ปุ่นเพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	2	6.6111	3.3056	1.91 ^{ns}	0.20
Exp.Error	9	15.6008	1.7334		
Total	11	22.2119			

%CV = 6.88

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 4.10ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสะโพกและน่องของนกกะทาญี่ปุ่นเพศผู้ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	2	2.0760	1.0380	0.48 ^{ns}	0.64
Exp.Error	9	19.5931	2.1770		
Total	11	21.6691			

%CV = 10.57

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 4.11ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ของนกกะทาญี่ปุ่นระยะไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	3	9.3263	3.1088	0.55 ^{ns}	0.66
Exp.Error	12	67.7347	5.6446		
Total	15	77.0610			

%CV = 2.92

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 4.12ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณอาหารที่กินของนกกระทาญี่ปุ่นระยะไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร้สีม่วงในสูตรอาหารมีหน่วยเป็นกรัมต่อตัวต่อวัน

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	3	0.01267	0.0042	1.48 ^{ns}	0.27
Exp.Error	12	0.03412	0.0028		
Total	15	0.04679			

%CV = 0.27

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 4.13ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณอาหารที่กินต่อการผลิตไข่ 1 โหลของนกกระทาญี่ปุ่นระยะไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร้สีม่วงในสูตรอาหาร มีหน่วยเป็นกรัมต่อตัว

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	3	119.4016	39.8005	0.60 ^{ns}	0.63
Exp.Error	12	792.3712	66.0394		
Total	15	911.7728			

%CV = 2.78

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 4.14ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของต้นทุนอาหารต่อการผลิตไข่ 1 โหล (บาท)ของนกกระทาญี่ปุ่นระยะไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร้สีม่วงในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	3	0.00563	0.001875	0.20 ^{ns}	0.89
Exp.Error	12	0.11335	0.009448		
Total	15	0.11898			

%CV = 2.80

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 4.15ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของต้นทุนอาหารต่อการผลิตไข่ 100 ฟอง (บาท)
ของนกกะทากญี่ปุ่นระยะไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	3	0.3683	0.1227	0.19 ^{ns}	0.90
Exp.Error	12	7.8189	0.6516		
Total	15	8.1872			

%CV = 2.79

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 4.16ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของความสูงไข่ขาวของนกกะทากญี่ปุ่นระยะไข่ที่
ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	3	0.0413	0.0137	1.66 ^{ns}	0.23
Exp.Error	12	0.0990	0.0083		
Total	15	0.1400			

%CV = 2.41

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 4.17ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของความหนาเปลือกไข่ของนกกะทากญี่ปุ่น
ระยะไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหารมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	3	0.00000375	0.0000013	0.02 ^{ns}	0.99
Exp.Error	12	0.00061431	0.0000512		
Total	15	0.00061806			

%CV = 3.38

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 4.18ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของน้ำหนักไข่ของนกกกระทาญี่ปุ่นระยะไข่ที่
ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	3	0.0222	0.0074	1.08	0.39
Exp.Error	12	0.0821	0.0068		
Total	15	0.1043			

%CV = 3.32

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 4.19ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าสีไข่แดงของนกกกระทาญี่ปุ่นระยะไข่ที่
ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	3	39.7797	13.2599	555.39**	0.0001
Exp.Error	12	0.2865	0.0239		
Total	15	40.0662			

%CV = 3.65

** หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.01$)

การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มของค่าสีไข่แดงในนกกกระทาญี่ปุ่น

T4	T2	T3	T1
5.24	5.19	5.00	1.51

หมายเหตุ : การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test ค่าเฉลี่ยที่ไม่
ได้อยู่บนเส้นตรงเดียวกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$)

ส่วนค่าเฉลี่ยที่อยู่บนเส้นตรงเดียวกัน มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

T1 หมายถึงกลุ่มที่ได้รับปลายข้าว

T2 หมายถึงกลุ่มที่ได้รับข้าวโพดสีเหลือง

T3 หมายถึงกลุ่มที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง

T4 หมายถึงกลุ่มที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงและข้าวโพดสีเหลือง

ตารางผนวกที่ 5.1ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของผลผลิตไข่เป็นเปอร์เซ็นต์ในไก่ไข่ที่ได้รับ
ข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ 5 ช่วงการทดลองในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	4	17.9485	4.4871	0.81 ^{ns}	0.54
Exp.Error	15	83.5840	5.57227		
Total	19	101.5326			

%CV = 3.32

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 5.2ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของผลผลิตไข่เป็นเปอร์เซ็นต์ในไก่ไข่ที่ได้รับ
ข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ 4 ช่วงการทดลองในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	4	3.2778	0.8194	0.12 ^{ns}	0.97
Exp.Error	15	102.1593	6.8106		
Total	19	105.4371			

%CV = 3.22

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 5.3ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณอาหารที่กิน (กรัมต่อตัวต่อวัน) ใน
ไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	4	4.7231	1.1808	0.99 ^{ns}	0.44
Exp.Error	15	17.8330	1.1889		
Total	19	22.5560			

%CV = 1.06

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 5.4ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณอาหารที่กินต่อการผลิตไข่ 1 ฟอง (กรัม) ในไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	4	244.5355	61.1339	1.84 ^{ns}	0.17
Exp.Error	15	497.8878	33.1925		
Total	19	742.4233			

%CV = 3.80

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 5.5ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณอาหารที่กินต่อการผลิตไข่ 1 โหล (กิโลกรัม) ในไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	4	3.3217	0.8304	1.82 ^{ns}	0.16
Exp.Error	15	6.8594	0.4573		
Total	19	10.1811			

%CV = 3.93

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 5.6ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของต้นทุนปริมาณอาหารที่กินต่อการผลิตไข่ 1 ฟอง (บาท) ในไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	4	0.0209	0.0052	1.76 ^{ns}	0.19
Exp.Error	15	0.0446	0.0029		
Total	19	0.0655			

%CV = 3.79

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 5.7ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของต้นทุนปริมาณอาหารที่กินต่อการผลิตไข่
1 โหล (บาท) ในไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	4	3.3166	0.8291	1.81 ^{ns}	0.18
Exp.Error	15	6.8767	0.4585		
Total	19	10.1933			

%CV = 3.94

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 5.8ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของน้ำหนักไข่ (กรัม/ฟอง) ของไก่ไข่ที่ได้รับ
ข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	4	3.4858	0.8719	1.61 ^{ns}	0.22
Exp.Error	15	8.1302	0.5420		
Total	19	11.6180			

%CV = 1.21

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 5.9ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของความถ่วงจำเพาะของไข่ที่ได้รับ
ข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	4	0.00004231	0.00001058	0.53 ^{ns}	0.71
Exp.Error	15	0.00029931	0.00001995		
Total	19	0.00034163			

%CV = 0.41

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 5.10ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของสอกยูนิตของไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง
ระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	4	18.85977	4.714942	1.47 ^{ns}	0.26
Exp.Error	15	48.20642	3.213762		
Total	19	67.06619			

%CV = 2.04

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 5.11ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของความสูงไข่ขาว (มิลลิเมตร) ของไก่ไข่ที่ได้รับ
ข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	4	0.0042	0.00105	0.79 ^{ns}	0.30
Exp.Error	15	0.0198	0.00132		
Total	19	0.0240			

%CV = 1.97

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 5.12ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของความหนาเปลือกไข่ (มิลลิเมตร) ของไก่ไข่ที่
ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วงระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	4	0.00021	0.00005	2.19 ^{ns}	0.12
Exp.Error	15	0.00036	0.00002		
Total	19	0.00058			

%CV = 1.24

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางผนวกที่ 5.13ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าสีไข่แดงของไก่ไข่ที่ได้รับข้าวโพดไร่สีม่วง
ระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร

SOV	df	SS	MS	F-test	PR>F
Treatments	4	0.2386	0.0597	2.20 ^{ns}	0.12
Exp.Error	15	0.4073	0.0272		
Total	19	0.64593			

%CV = 2.11

ns หมายความว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน นางพรรณระพี อำนวยสิทธิ์

ประวัติการศึกษา:

มัธยมศึกษาตอนต้นและมัธยมศึกษาตอนปลายจบการศึกษาที่ โรงเรียนสตรีวิทยา กรุงเทพฯ ปีการศึกษา 2515 และ 2517 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเอกสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2523 และจบการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาเอกการผลิตสัตว์ คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2528

ประวัติการทำงาน :

เริ่มรับราชการที่คณะวิชาสัตวศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตเกษตร พิษณุโลก เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2523 ต่อมาวิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษาเปลี่ยนสถานะเป็น สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพิษณุโลกในปี พ.ศ. 2535 ปัจจุบันผู้เขียนยังคงทำงานที่เดิม แต่สถาบันยกฐานะเป็น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก

ผลงานที่ได้รับการยกย่อง

- ได้รับรางวัล ผู้นำเสนอผลงานวิจัยดีเด่น อันดับ 2 ใน การประชุมสัมมนาทางวิชาการ สาขาเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 8 ณ สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตร ลำปาง ระหว่าง วันที่ 14-16 มกราคม 2534
- ได้รับรางวัล นักวิจัยที่ควรยกย่อง ใน การประชุมสัมมนาทางวิชาการ ครั้งที่ 18 ณ ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คลองหก ปทุมธานี ระหว่างวันที่ 14 - 18 กุมภาพันธ์ 2544
- ได้รับรางวัล รางวัลดีเด่นการนำเสนอผลงานภาคโปสเตอร์ จากผลงานวิจัยเรื่อง Purple Field Corn : New Feedstuff ใน การประชุมสัมมนานานาชาติเพื่อการผลิตสัตว์และพืชเพื่อความมั่นคงทางอาหารและสิ่งแวดล้อม ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏ จันทบุรี กรุงเทพมหานคร ระหว่างวันที่ 9-11 สิงหาคม 2547