ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

ปริญญา

โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ สัตวบาล

สาขา **ภาควิชา**

เรื่อง การศึกษาผลการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารต่อภูมิคุ้มกัน คุณภาพไข่และการให้ผลผลิตของไก่ไข่

Effect of Dietary Dried Cassava Leave on Immunity Egg Quality and Productivity of Layers

นามผู้วิจัย นางสาวทิพย์วดี พูลเดช

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์อุทัย คันโธ, วท.ม.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์สุกัญญา จัตตุพรพงษ์, วท.ม.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชนินทร์ ติรวัฒนวานิช, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาผลการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารต่อภูมิคุ้มกัน คุณภาพไข่ และการให้ผลผลิตของไก่ไข่

Effect of Dietary Dried Cassava Leave on Immunity Egg Quality and Productivity of Layers

โดย

นางสาวทิพย์วดี พูลเดช

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)
พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทิพย์วดี พูลเดช 2553: การศึกษาผลการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารต่อภูมิคุ้มกัน คุณภาพไข่ และการให้ผลผลิตของไก่ไข่ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์) สาขาโภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์อุทัย คันโธ, วท.ม. 91 หน้า

ศึกษาผลการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารต่อภูมิคุ้มกันของไก่ไข่ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Design; CRD) ใช้ไก่ไข่อายุ 21- 44 สัปดาห์ จำนวน 160 ตัว แบ่งไก่ไข่การทดลองเป็น 5 กลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบด้วย 4 ซ้ำ ซ้ำละ 8 ตัว อาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นสูตรอาหารไก่ไข่ที่มีกากถั่วเหลืองและใบมันสำปะหลังแห้งเป็นแหล่งโปรตีนในระดับ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 % ผลการศึกษาพบว่าไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับใบมันสำปะหลัง 10 % ในสูตรอาหาร มีการเจริญของเซลล์ลิมโฟซัยท์ ชนิดที ในวันที่ 3 และ 7 มากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนการศึกษาปริมาณแอนติออกซิแดนซ์รวม (Total antioxidant capacity; TAC) พบว่าไก่ไข่อายุ 21, 33 และ 45 สัปดาห์ ที่ได้รับอาหารที่มีใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารมีค่า TAC สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยไก่ไข่อายุ 33 สัปดาห์ ที่ได้รับอาหารที่มีใบมันสำปะหลัง 5 และ 7.5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร TAC สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)) นอกจากนี้ไก่ที่กินอาหารสูตรที่มีใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารมีค่า tGSH และ GSH ในเม็ดเลือดแดง สูงกว่าอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนค่า GSH/GSSG ของไก่ไข่ที่อายุ 33 สัปดาห์ กลุ่มที่กินอาหารที่มีใบมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ส่งเสริมการทำงานของระบบกลูตาไธโอนทำให้สัดส่วน GSH/GSSG สูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) การศึกษาใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารต่อคุณภาพไข่ และสมรรถภาพการผลิตไก่ไข่ ใช้ไก่ไข่อายุ 21-44 สัปดาห์ จำนวน 480 ตัว แบ่งเป็น 5 กลุ่มทดลอง แต่ละกลุ่มประกอบด้วย 4 ซ้ำๆ ละ 24 ตัว โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Randomized Complete Block Design; RCBD) อาหารทดลองเป็นสูตรอาหารไก่ไข่ที่ใช้ใบมันสำปะหลังแห้งเป็นแหล่งโปรตีนและสารสีในไข่แดงตามธรรมชาติ พบว่าผลผลิตไข่ มวลไข่และอัตราการเลี้ยงรอด มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่าปริมาณการกินอาหารต่อตัวต่อวัน และปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1 โหล มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยพบว่าปริมาณการกินอาหารเพิ่มขึ้นเมื่อระดับของใบมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทางด้านคุณภาพไข่ พบว่าไก่ไข่ที่ได้รับใบมันสำปะหลังแห้งที่ระดับ 10% ในสูตรอาหาร มีน้ำหนักไข่และค่าฮอฟยูนิต มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางงสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนสีไข่แดงมีระดับคะแนนที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่อระดับใบมันสำปะหลังแห้งเพิ่มขึ้น และสามารถใช้ใบมันสำปะหลังแห้งเป็นอาหารไก่ไข่ได้เป็นอย่างดี โดยไม่ทำให้สภาพการเปลี่ยนแปลงของไข่และคุณภาพของไข่ไก่ตลอดช่วงการเก็บรักษาเกิดการเสียหาย

/ / /

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Thipwadee Pooldech 2010: Effect of Dietary Dried Cassava Leave on Immunity Egg Quality and Productivity of Layers. Master of Science (Animal Nutrition and Feed Technology), Major Field: Animal Nutrition and Feed Technology, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Associate Professor Uthai Kanto, M.S. 91 pages.

Effects of dietary dried cassava leaves (DCL) on immunity of the animal were studies in 160 laying hens aged 21-44 weeks. The animals were divided into 5 groups of 32 animals each. Each group of the animals were further divided into 4 sub-groups (replications) of 8 layers each, and was randomly fed an experimental diet containing 0, 2.5, 5, 7.5 or 10% dried cassava leaves meal for a period of 24 weeks. Results showed that layers on diet containing 10% DCL had significantly higher ($P<0.05$) T-lymphocyte proliferation on day 3 and 7 post-stimulation than those on the diets without DCL. The 21, 33 and 45 week-old layers on diets containing DCL had no significant higher ($P>0.05$) total antioxidant capacity than those on the diet without DCL. Animal on diets containing DCL had no significant differences ($P>0.05$) in tGSH and GSSG but GSH/GSSG ratio in 33 weeks have significant difference ($P<0.05$) than those on the without DCL. The effect of dietary DCL supplementation on performance and egg quality was investigated using 480 Hisex brown laying hens aged 21-44 weeks. The birds were divided into 5 groups of 96 animals each. Each group composed of 4 replications of 24 layers each and was randomly fed an experimental diet containing 0, 2.5, 5, 7.5 or 10% DCL for a period of 24 weeks. Results showed that there were no significant differences in laying performances including hen-day production, hen mortality and egg mass among treatment groups. The increasing levels of DCL in the diets significantly increased dietary intake of the animals ($P<0.05$). Layers on diet containing 10% DCL had no significantly higher egg weight and Haugh unit than those on the control diet containing 0% DCL ($P>0.05$). The increasing of the dietary levels of DCL in layer diet significantly increased yolk color score ($P<0.01$). Dried cassava leaves can be used in hen layer diet at 10% without any adverse effects on performance and egg quality.

_____ / / /

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์อุทัย คันโธ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อาจารย์สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชนินทร์ ติรวัฒนวานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านการศึกษาและให้คำแนะนำและข้อคิดต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ และมีประโยชน์เป็นอย่างมากในการดำรงชีวิต อีกทั้งยังได้ช่วยเรียบเรียงและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นซึ่งส่งผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณมูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีที่กรุณามอบทุนในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการเลี้ยงสัตว์ทดลอง ที่ให้คำแนะนำและฝึกสอนทักษะต่าง ๆ ในการปฏิบัติงาน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการผลิตและการวิเคราะห์อาหาร ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ห้องปฏิบัติการไวรัสวิทยา โภชนศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการปฏิบัติการทางด้านภูมิคุ้มกัน และขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ปริญญาโทและนิสิตปริญญาตรีทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี และเป็นกำลังสำคัญในการปฏิบัติงาน

ขอกราบขอบพระคุณพ่อบุญทรง คุณแม่กัลยา และญาติพี่น้องทุกท่านที่เป็นผู้ให้กำลังใจและโอกาสในการศึกษาตลอดมา รวมทั้งเป็นแบบอย่างที่สอนให้รู้ถึงความพยายามและความอดทนต่ออุปสรรคต่าง ๆ คุณค่าและประโยชน์จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่บิดา มารดา ครู อาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน อีกทั้งจะพยายามรักษาคุณงามความดี ความเพียรพยายาม เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาคุณภาพของผลงานต่อไป

ทิพย์วดี พูลเดช

พฤษภาคม 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	20
อุปกรณ์	20
วิธีการ	26
ผลและวิจารณ์	35
สรุปและข้อเสนอแนะ	67
สรุป	67
ข้อเสนอแนะ	69
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	70
ภาคผนวก	80
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	91

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในใบมันสำปะหลัง	5
2	ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง	9
3	ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในใบมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการลดสารพิษด้วยวิธีต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับใบมันสำปะหลังสด	10
4	ปริมาณของโภชนะในมันสำปะหลัง ใบมันสำปะหลังเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดและกากถั่วเหลือง	12
5	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของโภชนะในใบมันสำปะหลังแห้ง	21
6	สูตรอาหารและองค์ประกอบทางโภชนะของอาหารไก่ไข่ระยะไข่	22
7	ส่วนประกอบใน 1 กิโลกรัมของไวตามิน-แร่ธาตุพรีมิกซ์	23
8	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของโภชนะในอาหารทดลอง	35
9	การเจริญของเซลล์ลิมโฟซัยท์ชนิดที ในเลือดไก่ไข่ที่ตอบสนองต่อการให้ concanavalin A ในวันก่อนการฉีดและที่ 3, 7 วันหลังจากการฉีดกระตุ้นด้วยเม็ดเลือดแดงแกะ	37
10	ปริมาณ total antioxidant capacity (TAC) (μmol/L) ของไก่ไข่ที่อายุ 21, 33 และ 45 สัปดาห์	39
11	ความเข้มข้นของ tGSH GSH GSSG และอัตราส่วนของ GSH/GSSG	40
12	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อปริมาณการกินอาหารต่อตัวต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน)	43
13	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1โหล (กก./ตัว)	43
14	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 โหล (บาท/ไข่ 1 โหล)	44
15	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่ออัตราการเลี้ยงรอดและราคาอาหาร	45

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่ออัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต (hen-day egg production)	46
17	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่ออัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่เมื่อเริ่มการทดลอง (hen-house egg production)	47
18	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อน้ำหนักไข่เฉลี่ย (กรัม/ฟอง)	49
19	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อมวลไข่เฉลี่ย	49
20	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อความหนาเปลือกไข่ (มิลลิเมตร)	51
21	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อค่าความถ่วงจำเพาะ	52
22	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อคะแนนสีไข่แดง	53
23	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อความสูงไข่ขาว (มิลลิเมตร)	54
24	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อค่าฮอฟยูนิต	55
25	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อการสูญเสียน้ำหนักไข่ (เปอร์เซ็นต์) ในระยะเวลาการเก็บรักษาต่างที่กัน	57
26	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อค่าความถ่วงจำเพาะในระยะเวลาการเก็บรักษาแตกต่างกัน	59
27	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อความหนาเปลือกไข่ (มิลลิเมตร) ในระยะเวลาการเก็บรักษาต่างที่กัน	61
28	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อความสูงไข่ขาว (มิลลิเมตร) ในระยะเวลาการเก็บรักษาต่างที่กัน	62
29	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อค่าฮอฟยูนิตในระยะเวลาการเก็บรักษาต่างที่กัน	65
30	ผลการเสริมใบมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อสีไข่แดง(คะแนน)ในระยะเวลาการเก็บรักษาต่างที่กัน	66

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่

1 ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนตลอดการทดลอง 81

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การสังเคราะห์ลินามารินจากกรดอะมิโนวาลีนในหัวมันสำปะหลัง	7
2	ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของลินามาลินและลอสทาสตราลิน โดยเอนไซม์ลินามาเรส	8
3	การรวมตัวของไซยาไนด์กับไธโอซัลเฟตได้สารประกอบไธโอไซยาเนต	10
4	การกำจัดอนุมูลอิสระ	18
5	ปฏิกิริยาการวิเคราะห์ tGSH และ/หรือ GSSG ด้วยวิธี enzymatic recycling method	28
6	แสดงอัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนจำนวนแม่ไก่มีชีวิต (hen-day egg production) ในแต่ละช่วงระยะการทดลอง	48
7	แสดงการสูญเสียน้ำหนักไข่ (เปอร์เซ็นต์) ในระยะเวลาการเก็บรักษาต่างที่กัน	58

ภาพผนวกที่

1	อุณหภูมิเวลาเช้าและเวลาบ่ายภายในโรงเรือนระหว่างการทดลอง	88
2	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนระหว่างการทดลอง	88
3	ระดับความเข้มข้นของน้ำเกลือที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะของไข่ โดยมีค่าตั้งแต่ 1.060, 1.064, 1.068, 1.072, 1.076, 1.080, 1.084, 1.088, 1.092, 1.096, 1.100 และ 1.104	89
4	การใช้พัดสี (yolk color fan) สำหรับวัดความเข้มสีไข่แดง โดยมีสีเหลืองอ่อนถึงสีส้มแดง ตั้งแต่ 1-15	89
5	วิธีการวัดความสูงของไข่ขาว	90
6	เครื่องไมโครมิเตอร์สำหรับวัดความหนาเปลือกไข่	90

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

B cell	=	B lymphocyte
CAT	=	Catalase
DTNB	=	5, 5'-dithiosbis-(2-nitrobenzoic acid)
FAD	=	Flavin Adenine Dinucleotide
FRAP	=	Ferric reducing Ability of Plasma
GCS	=	Glutamyl cysteine synthetase
GPx	=	Glutathione peroxidase
GR	=	Glutathione reductase
GSH	=	Reduced glutathione
GSSG	=	Glutathione disulfide/Oxidized glutathione
GSH/GSSG	=	Reduced/Oxidized glutathione
H_2O_2	=	Hydrogen peroxide
LOOH	=	Lipid hydroperoxide
NADPH	=	Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate
PBS	=	Phosphate buffer saline
ROS	=	Reactive Oxygen Species
SOD	=	Super oxide dismutase
SRBC	=	Sheep red blood cell
T cell	=	T lymphocyte
TAC	=	Total antioxidant capacity
TPTZ	=	2, 4, 6-Tripyridyl-s-Triazine

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาผลการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารต่อภูมิคุ้มกัน คุณภาพไข่ และการให้ผลผลิตของไก่ไข่

Effect of Dietary Dried Cassava Leave on Immunity Egg Quality and Productivity of Layers

คำนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญและมีการปลูกกระจายในทุกภาคของประเทศไทย ยกเว้นในเขตภาคใต้ ในปัจจุบันได้มีการนำหัวมันสำปะหลังในรูปของมันเส้นมาใช้เป็นอาหารสัตว์อย่างแพร่หลาย โดยเป็นวัตถุดิบอาหารพลังงานทดแทนปลายข้าวและข้าวโพดในสูตรอาหารสัตว์ทั่วไป ทำให้มีการปลูกมันสำปะหลังเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเก็บเกี่ยวผลผลิตมันสำปะหลังในแต่ละครั้งจะมีส่วนที่เหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ได้แก่ ใบและส่วนยอดของลำต้น โดยทั่วไปมีความชื้นสูงประมาณ 72 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับสารพิษไซยาไนด์สูง อย่างไรก็ตามหากนำใบมันสำปะหลังนี้มาผึ่งแดดให้แห้งเป็นเวลา 2-3 แดด หรืออบแห้งให้มีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณสารพิษจะลดลงจนอยู่ในระดับต่ำและไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ ซึ่งสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในสูตรอาหารสัตว์ได้ โดยใบมันสำปะหลังมีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูงทั้งที่ไม่ใช่พืชตระกูลถั่ว นอกจากนี้ยังมีไวตามินชนิดต่าง ๆ สารเบต้าแคโรทีนและแซนโทฟิลล์อยู่ในปริมาณมาก จึงสามารถใช้ใบสำปะหลังเป็นแหล่งโปรตีนและสารให้สีในอาหารสัตว์ได้เป็นอย่างดี ซึ่งไม่ส่งผลทางด้านลบต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่ และคุณภาพของไข่ไก่ นอกจากนี้เมื่อสัตว์กินอาหารสูตรใบมันสำปะหลังแห้ง ทำให้สัตว์ได้รับสารไซยาไนด์ในระดับต่ำ ร่างกายของสัตว์จะเปลี่ยนสารไซยาไนด์ดังกล่าวให้เป็นสารไธโอไซยาเนต (thiocyanate) ซึ่งมีพิษน้อยกว่าไซยาไนด์ 200 เท่า และถูกขับออกจากร่างกายโดยการกรองทางไตและขับถ่ายออกมาทางปัสสาวะ ทั้งนี้สารไธโอไซยาเนตสามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogenperoxide; H_2O_2) และมีผลกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) ทำให้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในร่างกายมีประสิทธิภาพดีขึ้น วิภาสิริ (2549) รายงานว่าไก่ไข่ที่กินอาหารสูตรใบมันสำปะหลังแห้งมีอัตราการตายต่ำกว่าไก่ที่กินอาหารสูตรใบกระถินป่น นอกจากนี้ยังมีเปอร์เซ็นต์การไข่สูงกว่ากลุ่มอื่น ซึ่งสอดคล้องกับ จีราภา (2550) ที่พบว่าไก่กระทงที่กินอาหารสูตรใบมันสำปะหลังแห้งมีระดับภูมิคุ้มกันเพิ่มขึ้นตามระดับใบมันสำปะหลังแห้งและปริมาณการกินที่สูงขึ้น ดังนั้นใบมันสำปะหลังแห้งจึงมีศักยภาพในการใช้เป็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุดิบอาหารสัตว์ ซึ่งนอกจากเป็นแหล่งโปรตีนและสารให้สีแล้ว ยังมีความเป็นไปได้ที่เป็นวัตถุดิบอาหารที่ช่วยเพิ่มภูมิต้านทานโรคให้แก่สัตว์ได้อีกด้วย

การศึกษาครั้งนี้ เพื่อศึกษาผลการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารไก่ไข่ต่อการสร้างภูมิต้านทานโรค คุณภาพไข่ และสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่ เพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตไข่ไก่ และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของใบมันสำปะหลังแห้งซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการปลูกมันสำปะหลังอีกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. ต่อการตอบสนองของเซลล์ภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะเจาะจง (specific immunity) ในไก่ไข่ โดยการใช้การเจริญของเซลล์ลิมโฟซัยท์ (lymphocyte proliferation) เป็นตัวบ่งชี้

2. เพื่อศึกษาผลการใช้ใบมันสำปะหลังในระดับที่แตกต่างกันต่อระดับกลูตาไธโอน (glutathione) ในเม็ดเลือดแดง

3. เพื่อศึกษาผลการใช้ใบมันสำปะหลังในระดับที่แตกต่างกันต่อระดับแอนติออกซิแดนซ์รวม โดยใช้ความสามารถของสารแอนติออกซิแดนซ์ในพลาสมาทำการรีดิวส์อนุมูลอิสระ

4. เพื่อศึกษาผลของการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิต และคุณภาพไข่ไก่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

ลักษณะทั่วไปของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย มันสำปะหลังมีชื่อเรียกตามภาษาสากลแตกต่างกันเช่น cassava, tapioca, manioc, mandioca และ yucca ในภาษาไทยเคยเรียกว่า มันไม้ มันสำโรง หรือมันสำปะหลัง สำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกกันเป็นการค้าในปัจจุบันมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz. (เจริญศักดิ์, 2532; ดนัย, 2537) มันสำปะหลังมีการจัดลำดับทางอนุกรมวิธาน ดังนี้ (Lancaster *et al.*, 1982)

Genus	Manihot
Family	Euthorbiaceae
Subdivision	Angiospermae
Class	Dicotyledonae
Order	Geraniales

มันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกได้ดีในเขตร้อนหรือเขตอบอุ่น เจริญได้ในเขตที่มีแร่ธาตุต่ำ ฝนตกน้อย (Onwueme and Charles, 1994) ปลูกได้ทุกพื้นที่ของประเทศไทย การเลือกพันธุ์มันสำปะหลังที่เหมาะสมในการปลูก ควรคำนึงถึงพื้นที่ ความอุดมสมบูรณ์ของดินและการเก็บเกี่ยวผลผลิต (กรมวิชาการเกษตร, 2526) ซึ่งมันสำปะหลังมีลักษณะลำต้นและความสูงแตกต่างกันตามสายพันธุ์และสภาพแวดล้อม ลำต้นมีลักษณะพุ่มสูงประมาณ 1-5 เมตร ลำต้นมีสีต่าง ๆ มากมาย แล้วแต่พันธุ์ เช่น สีเขียวเงิน สีเทาเงิน สีเหลือง และสีน้ำตาล เป็นต้น โดยทุกส่วนของลำต้นมันสำปะหลังจะมียางสีขาวข้น ลักษณะของใบมันสำปะหลังเป็นแบบใบเลี้ยงเดี่ยว (Single leaf) แผ่นใบจะเว้าเป็นแฉก (lobe) มีรูปร่างและจำนวนแฉกแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ปกติจะมี 3-4 แฉก ยาวประมาณ 4-20 เซนติเมตร กว้างประมาณ 1-6 เซนติเมตร ก้านใบยาวประมาณ 5-20 เซนติเมตร สีของใบมันสำปะหลังแตกต่างกันไปตามพันธุ์เช่นเดียวกับสีของลำต้น (เจริญศักดิ์, 2532; ดนัย, 2537) อนึ่งใบมันสำปะหลังสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ เช่น แหล่งโปรตีนและแหล่งให้สารสีแซนโทฟิลล์ เป็นต้น (Enriquez and Ross, 1969) สำหรับระบบรากของมันสำปะหลังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ รากจริง (true root) และรากสะสมหรือหัว (modified or storages roots) ซึ่งรากสะสมนี้เองจะเจริญกลายเป็นหัวมันสำปะหลังโดยเกิดจากการสะสมแป้งใน parenchyma cell อัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เป็นแหล่งสะสมอาหารจำพวกแป้ง โดยทั่วไปมันสำปะหลังต้นหนึ่ง ๆ จะมีหัวระหว่าง 5–15 หัว รูปร่างของหัวสำปะหลังอาจจะป้อมสั้นหรือยาวขึ้นอยู่กับสายพันธุ์

ใบมันสำปะหลัง

ใบมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้หลังจากการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลัง ใบมันสำปะหลังมีคุณค่าทางโภชนาการสูงแต่ยังมีการนำมาใช้ประโยชน์น้อย โดยใบมันสำปะหลังจะมีปริมาณประมาณ 10-40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนที่อยู่เหนือดิน (Khajarern *et al.* , 1977) เมื่อต้นมันสำปะหลังมีอายุมากขึ้น สัดส่วนของใบจะลดลง มันสำปะหลังอายุประมาณ 4 เดือน จะมีอัตราส่วนก้านและกิ่งประมาณ 42 เปอร์เซ็นต์ ใบ 36 เปอร์เซ็นต์ ก้านและยอดประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าอายุประมาณ 12 เดือน จะมีอัตราส่วนของต้นและกิ่งประมาณ 81 เปอร์เซ็นต์ ใบ 7 เปอร์เซ็นต์ และก้านใบ 12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะให้ผลผลิตสดทั้งต้นและใบประมาณ 4,000 กิโลกรัมต่อไร่ (Montaldo,1977)

ใบมันสำปะหลังแห้งได้จากการนำใบมันสำปะหลังรวมทั้งก้านมาตากเป็นเวลา 2-3 แดด เพื่อให้แห้ง และลดสารพิษที่เกิดจากกรดไฮโดรไซยานิค (เจริญศักดิ์, 2532) ดังตารางที่ 1 โดยสอดคล้องกับ Bokanga (1994) กล่าวว่าใบมันสำปะหลังเป็นแหล่งของโปรตีน ไวตามินและ แร่ธาตุที่สำคัญ แต่ในใบมันสำปะหลังนั้นมีสารขัดขวางโภชนะ (anti-nutritive substances) อาทิ กรดไฮโดรไซยานิค แทนนินและเยื่อใยในระดับที่ต่างกันตามช่วงอายุของใบมันสำปะหลัง

ตารางที่ 1 ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในใบมันสำปะหลัง

ชนิดใบมันสำปะหลัง	ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิค (มก./กก.)
ใบมันสำปะหลังสด	113.8
ใบมันสำปะหลังแห้ง (อบแห้ง 70-80 ˚C)	26.1
ใบมันสำปะหลังแห้ง (ตากแดด 2-3 แดด)	16.4

ที่มา: เจริญศักดิ์ (2532)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารพิษไซยาโนจีนิค ไกลโคไซด์ (Cyanogenic glycoside)

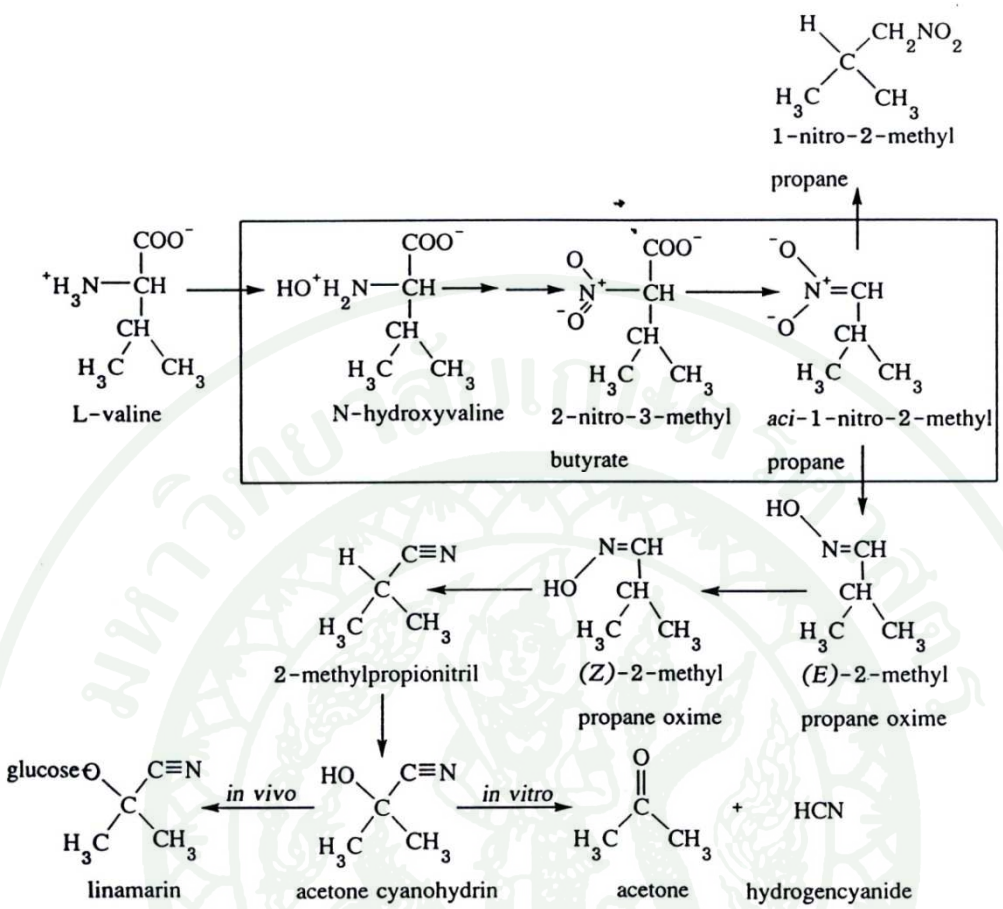
Conn (1994) กล่าวว่าในหัวมันสำปะหลังมีของเหลวสีขาวข้นอยู่ใต้เปลือก เมื่อหัวมันถูกตัด สับ หรือหั่น จะมีน้ำยางสีขาวไหลออกมาพบว่าในน้ำยางนี้มีสารไซยาโนจีนิคไกลโคไซด์ ประกอบด้วย 2 ชนิด คือ

1. ลินามาริน (linamalin) พบในปริมาณ 93 เปอร์เซ็นต์ ของกรดไฮโดรไซยานิคทั้งหมด มีชื่อทางเคมีว่า 2-hydroxyl isobutyronitrile-β-D-glycoside เป็นไกลโคไซด์ของอะซิโตน ไซยาโนไฮดริน (acetone cyanohydrin) ซึ่งสังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนวาลีน (valine) ดังภาพที่ 1

2. โลทอสตราลิน (lotoustralin) พบในปริมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ ของกรดไฮโดรไซยานิค ทั้งหมด มีชื่อทางเคมีว่า 2-hydroxy-2-metylbutyronitrile-β-D-glycoside เป็นไกลโคไซด์ของ เมทิลเอทิลคีโตน ไซยาโนไฮดริน (methylathyketone cyanohydrin) ซึ่งสังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนไอโซลิวซีน (isoleucine)

ส่วนต่างๆ ของมันสำปะหลังยกเว้นเมล็ด มีสารพิษไซยาโนจีนิค ไกลโคไซด์ (cyanogenic glycoside) โดยความเข้มข้นของสารพิษดังกล่าว ขึ้นกับสายพันธุ์ สิ่งแวดล้อม และอายุของพืช สารประกอบนี้จะเกิดการสลายตัว โดยกระบวนการไฮโดรไลซีส (hydrolysis) ด้วยกิจกรรมของ เอนไซม์ลินามาเรส (linamarase) และเอนไซม์ออกซีไนตริเอส (oxynitriase) หรือไฮดรอกซีไนไตรล์ ไลเอส (hydroxynitrile lyase) เอนไซม์กลุ่มนี้จะสลายตัวได้สารพิษกรดไฮโดรไซยานิค (hydrocyanic acid) กลูโคส (glucose) และอะซีโตน (acetone) ส่วนสารโลทอสตราลินเมื่อถูกไฮโดรไลซ์ได้สารพิษกรดไฮโดรไซยานิค กลูโคส และ บิวทาโนน (butanone) (Nartey, 1973; Koch *et al*.,1994) ดังแสดงในภาพที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



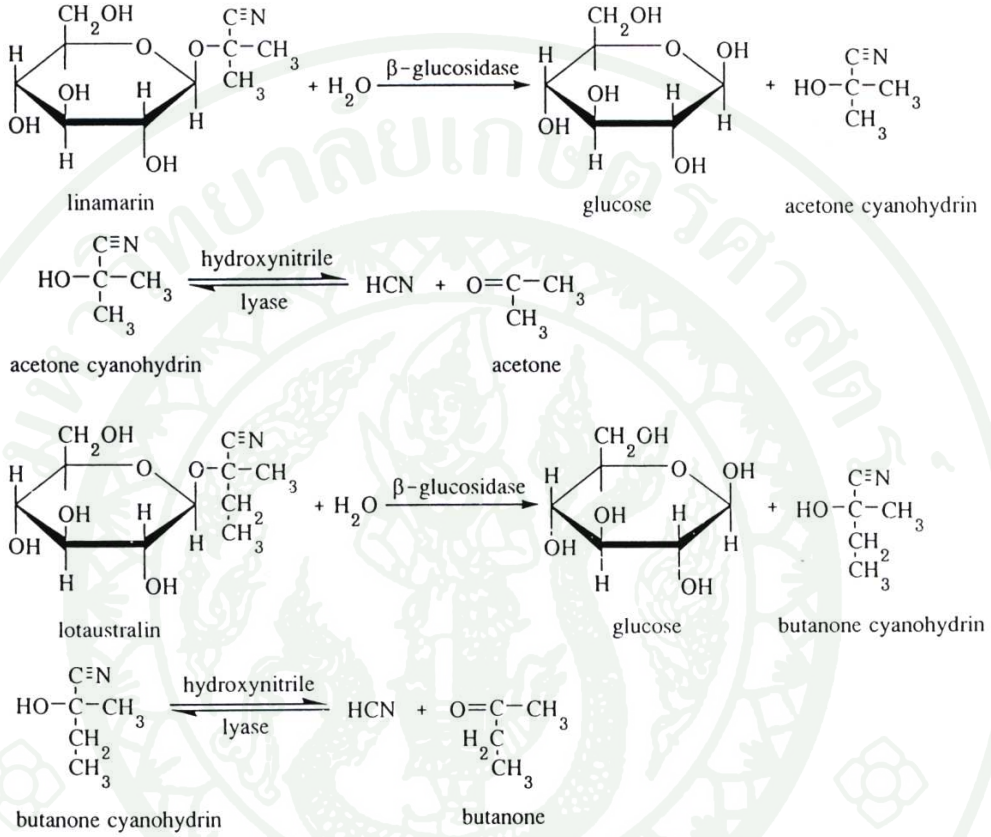
ภาพที่ 1 การสังเคราะห์ลินามารินจากกรดอะมิโนวาลีนในหัวมันสำปะหลัง

ที่มา: Koch *et al*. (1994)

สารไซยาโนจีนิค ไกลโคไซด์มีอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของมันสำปะหลัง เช่น ใบ ลำต้น และหัว เป็นต้น โดยพบอยู่ในส่วนของแวคิวโอล (vacuoles) ส่วนเอนไซม์ลินามาเรสพบอยู่ในไซโตซอล (cytosol) (Cheeke and Shull, 1985) การสลายตัวของสารพิษนี้พบว่าปฏิกิริยาของเอนไซม์จะสูงในใบอ่อนและส่วนเปลือกของหัวมัน แต่ในเนื้อของหัวมันจะเกิดปฏิกิริยาช้ามาก ซึ่งในสภาพการเจริญเติบโตตามปกติจะไม่พบกรดไฮโดรไซยานิคที่ปล่อยออกมา แต่จะพบเมื่อส่วนของเนื้อเยื่อถูกทำลาย หรือถูกบดขยี้ส่วนต่าง ๆ ของลำต้น ซึ่งจะเป็นการเร่งให้เอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยากับสารไซยาโนเจนิค ไกลโคไซด์ และปลดปล่อยกรดไฮโดรไซยานิคออกมา (พิชัย, 2528) โดยกรดไฮโดรไซยานิคจากส่วนเปลือกของหัวจะมีมากกว่าส่วนเนื้อมัน 5 – 10 เท่า ส่วนใบอ่อนมีมากกว่าใบแก่และเนื้อมันสำปะหลัง ดังแสดงในตารางที่ 2 ทั้งนี้สารไซยาโนจีนิคไกลโคไซด์ จะสร้างขึ้นจากส่วนของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ใบมันสำปะหลังแล้วจึงลำเลียงไปเก็บยังส่วนต่างๆ ของมันสำปะหลัง อาทิ ลำต้น หัวมันสำปะหลัง เป็นต้น (เจริญศักดิ์, 2532)



ภาพที่ 2 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของลินามาลินและลอสทาสตราลิน โดยเอนไซม์ลินามาเรส

ที่มา: Conn (1994)

สัตว์ที่ได้รับสารพิษไซยาไนด์และดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย สารพิษไซยาไนด์จะทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ไซโตโครม ออกซิเดส (cytochorme oxidase) ในขบวนการขนส่งอิเลคตรอน (electron transport system) ทำให้ฮีโมโกลบินไม่สามารถส่งออกซิเจนให้กับกระบวนการขนส่งอิเล็กตรอนได้ จึงไม่สามารถสร้าง ATP ได้ ทำให้เนื้อเยื่อขาดพลังงาน สมองขาดออกซิเจน เซลล์เหล่านั้นก็จะตายลงในที่สุด (Johnson *et al.,* 1987) กรดไฮโดรไซยานิคเป็นสารพิษที่สลายตัวได้ง่ายทำให้มีการสลายตัวไปบางส่วนก่อนที่สัตว์จะกินเข้าไปจึงทำให้ความเป็นพิษลดน้อยลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

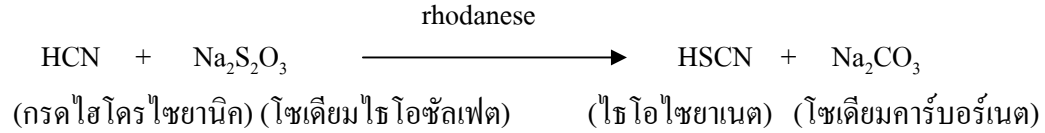
ส่วนของพืช	ไกลโคไซด์		ลินามาเรส
	มก. HCN/มก. น้ำหนักสด	มก.HCN/มก. น้ำหนักแห้ง	มก.HCN/มก. น้ำหนักสด
ยอดอ่อน	490	1,360	730
ใบแก่	380	1,055	100
ก้านใบ	150	417	380
เปลือกลำต้น	535	1,486	81.5
เปลือกหัว	640	1,778	270
เนื้อหัว	140	390	9
มันเส้น	-	30	-
มันเม็ด	-	13.50	-

ที่มา: สาโรช และเยาวมาลย์ (2531)

การลดปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในใบมันสำปะหลังสามารถทำได้หลายวิธี อาทิ การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิมากกว่า 75 องศาเซลเซียส เช่น การต้ม ย่าง ทอด เป็นต้น ซึ่งการตัดหรือสับหัวมันสำปะหลังสดเป็นชิ้นเล็กๆ และผึ่งแดดประมาณ 3-4 แดด (การทำมันเส้น) ทำให้กรดไฮโดรไซยานิคระเหยออกสู่อากาศ ซึ่งปริมาณสารพิษจะลดลงเหลือประมาณ 30 ส่วนต่อล้านส่วน (ppm) (อุทัย และคณะ 2540) ในส่วนของการลดสารพิษดังกล่าวใบมันสำปะหลังนั้น Fasuyi (2005) รายงานว่าการสับใบมันสำปะหลังแล้วนำไปผึ่งแดดสามารถลดปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคได้มากที่สุด (ตารางที่ 3)

นอกจากนี้ในร่างกายของสัตว์ทั่วไปสามารถที่จะเปลี่ยนกรดไฮโดรไซยานิคเป็นสารอื่นที่ไม่เป็นพิษได้ โดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์โรดานีส (rhodanese) ซึ่งมักพบมากที่ตับ ไต และต่อมไทรอยด์ โดยกรดไฮโดรไซยานิคจะรวมตัวกับสารประกอบไธโอซัลเฟต (thiosulfate) ด้วยการทำงานของเอนไซม์โรดานีส ได้สารประกอบไธโอไซยาเนต (thiocyanate) ที่มีพิษน้อยกว่ากรดไฮโดรไซยานิคประมาณ 200 เท่า และถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ (พิชัย, 2528; เจริญศักดิ์, 2532) ดังปฏิกิริยาเคมีดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 การรวมตัวของไซยาไนด์กับไธโอซัลเฟตได้สารประกอบของไธโอไซยาเนต

ที่มา: Cheeke and Shull (1985)

ตารางที่ 3 ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในใบมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการลดสารพิษด้วยวิธีต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับใบมันสำปะหลังสด

ใบมันสำปะหลัง	ปริมาณ HCN (%)
ใบมันสำปะหลังสด	100
ใบมันสำปะหลังผึ่งแดด 2-3 วัน	4.1
ใบมันสำปะหลังอบแห้ง 80 - 90 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง	61.6
ใบมันสำปะหลังอบด้วยไอน้ำ 30 นาที	59
ใบมันสำปะหลังสับ	47.5
ใบมันสำปะหลังอบด้วยไอน้ำ + ผึ่งแดด	44.3
ใบมันสำปะหลังสับ + ผึ่งแดด	3.7

ที่มา: Fasuyi (2005)

คุณค่าทางโภชนาการของใบมันสำปะหลัง

ใบมันสำปะหลังสดทั่วไปมีความชื้นอยู่ประมาณ 72 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับไซยาไนด์อยู่สูงไม่ควรนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ในสภาพยังสดอยู่ อย่างไรก็ตามใบมันสำปะหลังแห้งที่ผ่านการผึ่ง 2-3 แดด หรือผ่านการอบแห้งให้มีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถลดระดับไซยาไนด์ในใบมันสำปะหลังให้ต่ำลง ในระดับที่ไม่เป็นพิษต่อตัวสัตว์ (HCN <30 มก./กก.) ใบมันสำปะหลังแห้งสามารถใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ดี คุณค่าทางโภชนะและองค์ประกอบทางเคมีของใบมันสำปะหลังตากแห้งพบว่ามีปริมาณโปรตีนสูงถึง 20-23 % (Gomez *et al*., 1985) โดยแตกต่างกันตาม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สายพันธุ์ สภาพแวดล้อม และการจัดการปลูกมันสำปะหลัง ใบมันสำปะหลังอาจจัดอยู่ในวัตถุดิบอาหารที่ให้โปรตีน สารสี และเยื่อใย โดยค่าโปรตีนในใบมันสำปะหลังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน การใส่ปุ๋ย และอายุการเก็บเกี่ยว (เจริญศักดิ์, 2532; Fasuyi, 2005)

ใบมันสำปะหลังแห้งมีปริมาณกรดอะมิโนเมทไธโอนีนต่ำ แต่มีกรดอะมิโนไลซีนสูงและมีปริมาณกรดอะมิโนทริปโตเฟนสูงพอสมควรเมื่อเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง (Adewusi and Bradbury, 1993; Adrian and Peyrot, 1971) (ตารางที่ 4) จึงส่งผลให้อาหารที่มีใบมันสำปะหลังแห้งขาดกรดอะมิโนเมทไธโอนีน ดังนั้นการเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนลงในสูตรอาหารที่ใช้ใบมันสำปะหลัง นอกจากจะช่วยชดเชยปริมาณและสัดส่วนของกรดอะมิโนที่ขาดให้เกิดความสมดุลแล้ว เมทไธโอนีนจะเป็นตัวให้ thiol-group (-SH) และไทโอซัลเฟต (thiosulfate; $S_2O_3^{2-}$) ซึ่งเป็นสารที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ (sulfur containing compound) เมื่อไทโอซัลเฟตไปทำปฏิกิริยากับไซยาไนด์จะได้ไทโอไซยาเนต (thiocyanate; SCN) (Nartey, 1973) จึงจะทำให้สัตว์นั้นนำกรดอะมิโนต่าง ๆ ไปใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์โปรตีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับ Eggum (1970) ที่ได้ทำการวิจัยคุณภาพของโปรตีนในใบมันสำปะหลัง และรายงานว่าปริมาณโปรตีนในใบมันสำปะหลังอยู่ระหว่าง 20-30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง มีความเข้มข้นของกรดอะมิโนในระดับเพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ปีก ยกเว้นกรดอะมิโนเมทไธโอนีนเท่านั้นที่ยังไม่อยู่ในระดับที่เพียงพอ การเสริมกรดอะมิโนเมทไธโอนีนลงไปในอาหารผสมที่มีใบมันสำปะหลังแห้งมีผลทำให้คุณค่าทางชีวภาพของโปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 49 เปอร์เซ็นต์ เป็น 80 เปอร์เซ็นต์ และสามารถเพิ่มสมรรถภาพการผลิตของสัตว์ปีกให้มากขึ้น นอกจากนี้ใบมันสำปะหลังมีสารขัดขวางโภชนะ (anti-nutritive substances) อาทิเช่น แทนนิน สารพิษไซยาไนด์ในระดับที่ต่างกันตามช่วงอายุของใบมันสำปะหลัง และมีส่วนประกอบของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่ลดลง แต่จะมีระดับเยื่อใยเพิ่มมากขึ้น เมื่อใบมันสำปะหลังมีอายุมากขึ้น (Ravidran and Ravindran, 1988) ระดับเยื่อใยในอาหารที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้การย่อยได้ของโภชนะอื่น ๆ ลดลงได้ ดังนั้นระดับเยื่อใยในใบมันสำปะหลังจึงเป็นตัวที่จำกัดการใช้ประโยชน์ได้ของใบมันสำปะหลัง และโภชนะอื่น ๆ เช่น พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งใบมันสำปะหลังแก่มีแนวโน้มของกรดอะมิโนต่าง ๆ ในปริมาณที่ลดลงตามปริมาณโปรตีนที่ลดลงเมื่อในใบมันสำปะหลังมีปริมาณของเยื่อใยที่สูงขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 ปริมาณของโภชนะในมันสำปะหลัง ใบมันสำปะหลังเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดและกากถั่วเหลือง

	องค์ประกอบ, % DM			
	มันสำปะหลัง[1]	ข้าวโพด[2]	กากถั่วเหลือง[2]	ใบมันสำปะหลัง[3]
โปรตีน	2.50	8.50	49.40	23.20
ไขมัน	0.30	3.80	0.90	4.80
เยื่อใย	3.50	2.00	9.20	21.90
เถ้า	3.80	1.10	3.50	7.80
แคลเซียม	0.18	0.03	0.32	0.37
ฟอสฟอรัส	0.09	0.27	0.73	0.58
กรดอะมิโน				
ไลซีน	0.04	0.25	6.32	7.11[1]
เมท+ซีส	0.02	0.25	3.04	2.53[1]
ทรีโอนีน	0.05	0.36	4.14	4.70[1]
ทริปโตเฟน	0.01	0.05	1.30	1.09[1]
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ Kcal/kg	3,145	3,524	2,606	2702[1]

หมายเหตุ: [1] Muller *et al.,* 1974

[2] NRC., 1984

[3] Devendra, 1977

Sugahara *et al.* (1969) รายงานว่าไก่ที่ได้รับกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบไม่เพียงพอในสูตรอาหาร จะมีผลต่อการเจริญเติบโตมากกว่าการขาดกรดอะมิโนไลซีนในปริมาณที่เท่ากัน นอกจากนี้ยังพบว่าไก่ที่ได้รับอาหารที่ขาดเมทไธโอนีนจะมีการสังเคราะห์โปรตีนลดลง เมื่อเทียบกับไก่กลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณของกรดอะมิโนเมทไธโอนีนตามต้องการ (Hiramoto *et al.*, 1990) นอกจากใบมันสำปะหลังจะเป็นแหล่งของโปรตีนแล้ว Onwueme (1978) ยังพบว่าใบมันสำปะหลังจะมีไวตามินและสารให้สีอยู่ในปริมาณมากด้วย โดยมีไวตามินซี 200 มิลลิกรัม ไวตามิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอ 10,000 IU ไวตามินบี 1 (thiamine) 0.27 มิลลิกรัม ไวตามินบี 2 (riboflavin) 0.34 มิลลิกรัม แคโรทีน 53 มิลลิกรัม/100 กรัม และแซนโทซิลล์ 92 มิลลิกรัม/100 กรัม

การเสริมสารให้สี

อาหารไก่กระทงและไก่ไข่ซึ่งต้องการสารแซนโทฟิลล์ในอาหารเพื่อใช้สะสมเป็นสารสีเหลืองที่ผิวหนังไก่กระทงหรือสารสีเหลืองในไข่แดงของไข่ไก่ จึงจำเป็นต้องมีการเสริมสารแซนโทฟิลล์ในสูตรอาหารสัตว์ปีกที่ใช้มันสำปะหลังในระดับสูง เพื่อให้อาหารมีปริมาณสารให้สีเพียงพอแก่ความต้องการ ถ้าหากให้ไก่กระทงและไก่ไข่กินอาหารที่มีสารแซนโทฟิลล์น้อยกว่าความต้องการหรือไม่มีการให้สารแซนโทฟิลล์เพิ่มในอาหารจะมีผลทำให้สีผิวหนังในซากไก่กระทงซีดและไขมันขาวขณะที่ไก่ไข่ให้ไข่แดงมีสีซีด ทั้งนี้เนื่องจากภายในร่างกายของสัตว์ปีกไม่สามารถสังเคราะห์สารแซนโทฟิลล์ขึ้นมาเองได้ (Fox and Vevers, 1960) โดยทั่วไปอุตสาหกรรมการผลิตไก่ไข่จำเป็นจะต้องให้ความสำคัญกับสีของไข่แดง ซึ่งมักนิยมและพึงพอใจสีไข่แดงที่มีสีเหลืองอมส้ม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้บริโภคแต่ละประเทศที่จะนิยมสีของไข่แดงแตกต่างกันออกไป

สารให้สีที่ใช้ในอาหารสัตว์ได้มาจาก 2 แหล่ง ได้แก่ สารให้สีจากธรรมชาติและสารให้สีจากการสังเคราะห์ ซึ่งสารให้สีจากธรรมชาติพบได้ทั้งในพืชสีเขียวหรือสีเหลือง และในตัวสัตว์น้ำ พืชที่เป็นแหล่งสารให้สีโดยเฉพาะ สารแซนโทฟิลล์ที่นำไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารในการเลี้ยงสัตว์โดยทั่วไปจะให้สารให้สีเหลืองและสีเหลืองอมส้ม ได้แก่ ดอกดาวเรือง และพบในส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น พืชตระกูลหญ้า ใบกระถิน ใบมันสำปะหลังป่น สาหร่าย เมล็ดข้าวโพด ยีสต์บางชนิด เป็นต้นส่วนสารให้สีอีกแหล่งคือสารแคโรทินอยด์สังเคราะห์ (synthetic carotenoids หรือ synthetic pigments) ในปัจจุบันนิยมใช้กันอยู่คือ สารกลุ่มอะโปแคโรโทนิคแอซิคเอทธิลเอสเทอร์ (β-apo-8'-carotenoid acid ethyl ester) สารกลุ่มแคนธาแซนทีน (canthaxanthin) สารกลุ่มซิตรานาแซนทีน (citranaxanthin) และสารกลุ่มแอสตาแซนทีน (astaxanthin) โดยมีชื่อทางการค้าว่าแคโรฟิลล์ (Carophyll) ซึ่งมี 4 ชนิดด้วยกัน คือคือ แคโรฟิลล์สีเหลือง (Carophyll Yellow) มีสารกลุ่ม ลูทีน (lutein) เป็นองค์ประกอบ สำหรับแคโรฟิลล์สีแดง (Carophyll Red) มีสารกลุ่มแคนธาแซนทีนเป็นองค์ประกอบ ส่วนแคโรฟิลล์สีส้ม (Carophyll Orange) มีสารกลุ่มซีแซนนิน (Zeaxanthin) เป็นองค์ประกอบ และแคโรฟิลล์สีชมพู (Carophyll Pink) มีสารกลุ่มแอสตาแซนทีน (astaxanthin) องค์ประกอบ แต่ที่นิยมนำไปใช้เพื่อเพิ่มระดับสีของไข่แดงและสีผิวของไก่กระทง คือแคโรฟิลล์สีเหลือง แคโรฟิลล์สีแดงและแคโรฟิลล์สีส้ม (Belyavin and Marangos, 1980)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การใช้ใบมันสำปะหลังในอาหารสัตว์

Lheukwumere *et al*. (2008) พบว่าการกินได้ อัตราการเจริญเติบโตและ อัตราการแลกเนื้อ (FCR) ของไก่เนื้อที่กินอาหารที่มีใบมันสำปะหลัง 5 % และไก่เนื้อที่กินอาหารในกลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับอาหารที่มีใบมันสำปะหลัง 10 และ 15 % โดยพบว่าเมื่อใช้ใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารเพิ่มมากขึ้น ทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของวัตถุแห้ง โปรตีนและ NFE มีระดับที่ลดลง จากผลการทดลองพบว่าสามารถใช้ใบมันในสูตรอาหารไก่เนื้อระยะสุดท้ายที่ระดับ 5 % โดยที่ไม่มีผลที่เป็นอันตรายต่อตัวไก่ และผลทางด้านการเจริญเติบโต ระดับของใบมันสำปะหลังที่สามารถใช้ได้ดีไม่ควรเกิน 5 % หากเกินจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง ซึ่งระดับการใช้ใบมันสำปะหลังในระดับ 10-15 % สามารถใช้ได้ แต่อาจให้ผลไม่ดีเท่ากับระดับ 0-5 % ในไก่พื้นเมืองระยะเล็ก แต่จะให้ผลดีในไก่พื้นเมืองระยะไก่รุ่น และไก่ไข่ (นันทรัตน์, 2535) ซึ่งวิภาสิริ และคณะ (2548) ได้ศึกษาการใช้ใบมันสำปะหลังเป็นอาหารไก่ไข่ พบว่าแม่ไก่ที่กินอาหารใช้ใบมันสำปะหลังเป็นแหล่งของสารให้สีในสูตรอาหาร มีผลผลิตไข่และคะแนนสีของไข่แดงสูงกว่าแม่ไก่ที่กินอาหารที่ใช้ใบกระถินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งการนำใบมันสำปะหลังแห้งป่นเลี้ยงไก่ไข่ในระดับต่าง ๆ กันพบว่า การเสริมใบมันสำปะหลังแห้งป่นช่วยทำให้สีของไข่แดงเพิ่มสูงขึ้นตามระดับของใบมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมสารสีสังเคราะห์และกลุ่มที่ใช้ข้าวโพดพบว่าอาหารที่เสริมใบมันสำปะหลังแห้งมีสีของไข่แดงน้อยกว่าทั้ง 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่เสริมสารสีสังเคราะห์ให้ค่าสีของไข่แดงสูงที่สุด แต่สมรรถภาพการผลิตและคุณภาพของไข่มีแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในระดับสูงอาจทำให้สูตรอาหารมีเยื่อใยสูงและมีความฟ่ามมาก ทำให้ปริมาณการกินอาหารของสัตว์ไม่เพียงพอ ระดับใบมันสำปะหลังแห้งที่ใช้ในอาหารไก่ไข่จึงไม่ควรเกิน 5-7 % (ทวีศักดิ์และคณะ, 2542) สอดคล้องกับการศึกษาของจีราภา (2550) พบว่าสามารถใช้ใบมันสำปะหลังแห้งไม่ควรเกิน 5 % ในสูตรอาหารไก่กระทง การเพิ่มระดับของใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารให้สูงขึ้น มีผลทำให้ไก่กระทงมีสมรรถภาพการผลิตลดลง แต่ไก่กระทงมีระดับของภูมิคุ้มกันและระบบแอนติออกซิแดนซ์รวมที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ไก่กระทงที่กินอาหารที่มีใบมันสำปะหลังมีสุขภาพที่ดีขึ้น

ศึกษาการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งทดแทนกากถั่วเหลือง พบว่าสามารถลดระดับไนโตเจนในระบบทางเดินอาหารได้ Bui *et al*. (2000) ได้ศึกษาผลการใช้โปรตีนใบมันสำปะหลังทดแทนโปรตีนจากกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารสุกรระยะรุ่น พบว่าการใช้โปรตีนใบมันสำปะหลังทดแทน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โปรตีนกากถั่วเหลือง 35 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสุกรระยะดังกล่าว หรือเท่ากับการใช้ใบมันสำปะหลังในระดับ 14 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร มีผลทำให้สุกรระยะรุ่น มีการย่อยได้ของโภชนะและปริมาณการสะสมโปรตีนในแต่ละวันไม่แตกต่างจากสูตรอาหารที่ใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองล้วน การใช้โปรตีนใบมันสำปะหลังทดแทนโปรตีนจากกากถั่วเหลืองเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้การย่อยได้ของโภชนะและการสะสมโปรตีนของร่างกายต่อวันลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน Eruvbetine *et al.,* (2003) รายงานว่าสามารถใช้ใบมันสำปะหลังแห้งเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลืองได้บางส่วนในสูตรอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว นอกจากนี้ใบมันสำปะหลังยังมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าใบกระถินป่นแต่ไม่ควรใช้เกิน 20 % วัตถุแห้งในสูตรอาหาร โดยข้อจำกัดในการนำใบมันสำปะหลังแห้งไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว คือปริมาณของเยื่อใยที่มีสูงในใบมันสำปะหลังและมีค่าการย่อยได้ของโปรตีนต่ำ Lopez (1989)

ระบบภูมิคุ้มกันโรค

ในธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต มีขบวนการช่วยให้ร่างกายสามารถดำเนินชีวิตอยู่ได้ เมื่อสภาพแวดล้อมปกติ หรือสภาพแวดล้อมที่มีมลพิษ รวมไปถึงเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งขบวนการที่ร่างกายใช้ป้องกันตนเองเรียกว่า ระบบภูมิคุ้มกัน ทั้งนี้สันนิภา (2549) กล่าวว่าหน้าที่สำคัญของระบบภูมิคุ้มกัน ได้แก่การเฝ้าระวังและป้องกันการบุกรุกของสิ่งแปลกปลอม หรือเชื้อโรคจากสิ่งแวดล้อม รวมไปถึงกับการตรวจตราและกำจัดเซลล์ที่ผิดปกติภายในร่างกาย

การตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน แบ่งออกได้เป็น 2 วิธี (Abbas *et al*., 2000) คือ การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ (non-specific immune response) เป็นการตอบสนองอย่างง่ายๆ เกิดขึ้นเมื่อได้รับสิ่งแปลกปลอมครั้งแรก หรือทำงานร่วมกับระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะและวิธีการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะ (specific immune response) เกิดขึ้นเมื่อร่างกายไม่สามารถจำกัดแอนติเจนแปลกปลอมนั้นออกไปด้วยวิธีแบบไม่จำเพาะ ซึ่งเป็นการตอบสนองเป็นสองส่วน คือ humoral immunity โดยใช้แอนติบอดีเป็นตัวกำจัดสิ่งแปลกปลอมมี B-cells และ plasma cells เป็นผู้รับผิดชอบและ cell mediated immunity ตอบสนองโดยการทำหน้าที่ของ T-cells เช่น cytotoxic T lymphocytes, natural killer cells และ phagocytes

1. การตอบสนองแบบไม่จำเพาะ (non-specific immune response) เป็นวิธีการง่ายๆ เกิดเมื่อร่างกายได้รับสิ่งแปลกปลอมเป็นครั้งแรก และเมื่อได้รับครั้งต่อไปร่างกายจะใช้ในการกำจัดสิ่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แปลกปลอมโดยทำงานร่วมกับระบบการตอบสนองแบบจำเพาะ (specific immune system) ตัวอย่างเซลล์ที่ทำหน้าที่ในระบบภูมิคุ้มกันประเภทไม่จำเพาะเจาะจงต่อสิ่งแปลกปลอม ได้แก่ ไลโซไซม์ (lysozyme) แมคโครฟาจ (macropgage) ฟาโกไซติคเซลล์ (phagocytic cell)

2. การตอบสนองแบบจำเพาะ (specific immune response) เป็นวิธีที่ยุ่งยากซับซ้อน เกิดเมื่อร่างกายไม่สามารถกำจัดสิ่งแปลกปลอมนั้นออกไปได้โดยวิธีไม่จำเพาะ วิธีการนี้จะมีปฏิกิริยาเฉพาะเจาะจงต่อเชื้อที่เคยกระตุ้นมาก่อนหรือเชื้อที่คล้ายคลึงกันเท่านั้น ภูมิคุ้มกันชนิดนี้อาจจะได้รับการถ่ายทอดจากมารดาในระหว่างที่ทารกอยู่ในครรภ์ ซึ่งจะมีผลคุ้มครองได้ในระยะแรกของชีวิต หรืออาจเกิดการกระตุ้นโดยธรรมชาติจากการติดเชื้อและจากสิ่งแวดล้อม หรือเกิดจากการที่เราทำให้เกิดขึ้น เช่น จากการฉีดวัคซีน เป็นต้น เซลล์ที่มีหน้าที่รับผิดชอบ คือลิมโฟซัยท์ ซึ่งสิ่งแปลกปลอมนั้นจะต้องมีคุณสมบัติเป็นแอนติเจนหรืออิมมูโนเจน (immunogen) ภูมิคุ้มกันชนิดนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด (มนตรี, 2521)

2.1 ภูมิคุ้มกันด้านสารน้ำ (humoral immunity) หมายถึง ภูมิคุ้มกันจำเพาะที่ใช้สารน้ำ (humor) คือแอนติบอดี ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่มีอยู่ในกระแสเลือด เรียกว่าอิมมูโนโกลบูลิน (immunoglobulin) เพื่อทำลายจุลชีพที่ลุกล้ำเข้าไปในร่างกาย โดยแอนติบอดีจะมีความจำเพาะในการกำจัดแอนติเจน ภูมิคุ้มกันชนิดนี้สามารถถ่ายทอดจากคนหนึ่งไปอีกคนหนึ่งได้ทางซีรั่ม (มนตรี, 2521) โดยปกติภูมิคุ้มกันด้านสารน้ำมีหน้าที่ทำลายสารพิษที่สร้างโดยเชื้อโรคชนิดต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีหน้าที่หยุดการก่อโรคของเชื้อโรคนั้นๆ และทำลายเชื้อโรคนั้นด้วยกระบวนการจับกลุ่ม (agglutination) หรือการทำลายเชื้อโรคด้วยกระบวนการเขมือบกิน และแอนติบอดีนี้ทำหน้าที่เป็นสาร opsonin เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการเขมือบกิน ทำให้กระบวนการเขมือบกินเกิดได้ง่ายขึ้น (Paul, 1999) ซึ่ง Tizard (2004) กล่าวว่า แอนติบอดี ผลิตจาก B-cell เรียกว่า อิมมูโนโกลบูลิน (Ig) ประกอบไปด้วย 5 ชนิด คือ IgG, IgA, IgM, IgD และ IgE

2.2 ภูมิคุ้มกันชนิดพึ่งเซลล์ (cell-mediated immunity) หมายถึง ภูมิคุ้มกันจำเพาะที่ใช้เซลล์ที่จำเพาะต่อแอนติเจนเป็นสื่อโดยเฉพาะอย่างยิ่งเซลล์ลิมโฟซัยท์ ภูมิคุ้มกันที่อาศัยเซลล์เป็นสื่อนี้เป็นกลไกที่สำคัญในการทำลายจุลินทรีย์ที่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในเซลล์และเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย ซึ่งแอนติบอดีไม่สามารถทำลายได้ (มนตรี, 2521) กลไกการสร้างความต้านทานนี้จะผ่านตัวกลางที่เรียกว่า lymphokine หรือ cytokine ที่เซลล์น้ำเหลืองสร้างขึ้นในรูปสารละลายและมีผลทำลายสิ่งแปลกปลอมที่เข้าร่างกาย (Tizard, 2000) หรือร่วมกับเซลล์อื่นๆ เช่น killer cell (K-cell), natural killer cell (NK-cell), แมคโครฟาจ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อนุมูลอิสระในร่างกาย

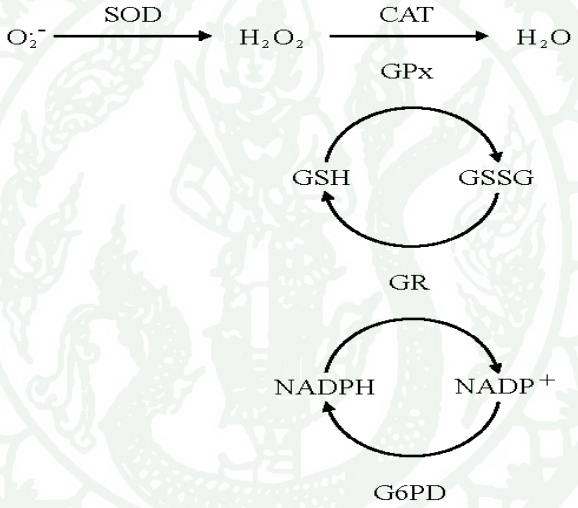
สารอนุมูลอิสระ (free radical) ในร่างกายเกิดจากขบวนการเมแทบอลิซึมในร่างกาย และเกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น มลภาวะและความเครียดที่สัตว์ได้รับ ซึ่งอนุมูลอิสระเป็นผลมาจากสภาวะความเป็นอิเล็กตรอนเดี่ยวเป็นอิสระไม่มีคู่ เป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ง่าย ดังนั้นจึงต้องดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลขององค์ประกอบเซลล์ข้างเคียงมาเพื่อให้ตัวเองครบคู่ และอยู่ในสภาพที่เสถียร เช่น โปรตีน ไขมัน โดยเฉพาะกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ เป็นต้น การดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลข้างเคียงมาเป็นส่วนประกอบ ส่งผลให้โมเลกุลข้างเคียงขาดอิเล็กตรอน และเกิดเป็นอนุมูลอิสระอีก ทำให้ต้องมีการดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลข้างเคียงอื่นๆ มาเป็นองค์ประกอบอย่างต่อเนื่องและเป็นลูกโซ่ (นวลจันทร์ และคณะ, 2548)

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นโดยส่วนใหญ่เป็นอนุมูลอิสระที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ (reactive oxygen species; ROS)) เช่น superoxide anion radical (O^{-}_{2}) , peroxide anion (O^{2}_{2}) , $^{1}O_{2}$ (singlet oxygen) ซึ่งสารพวกนี้เกิดจากโมเลกุลของออกซิเจนที่ได้รับอิเล็กตรอน สารพวก hydroxyl radical (OH^{-}) เป็นเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากการกระตุ้นโดย Fe^{2+} เช่น hydrogen peroxide (H_2O_2) สารพวก nitric oxide radical (NO^{-}) ซึ่งเป็นสารที่เหมือนกับ endothelium-derived relaxing factor (EDRF) ซึ่งเป็นสารพวก cytotoxic มีหน้าที่ในการกำจัดเชื้อโรค พวกเชื้อรา โปรโตซัว และเซลล์ที่ไม่ดี (malignant cell) ทำให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือดและเกิดการอักเสบ สารพวก hypochlorite ion (OCl^{-}) เกิดจากการที่เซลล์เม็ดเลือดขาว (leukocytes) ทำลายเชื้อโรคที่เข้าสู่ร่างกาย เช่น HOCl และสารพวก lipid peroxide เช่น LO^{-}, LOO^{-}, L^{-} และ LOOH (Heim *et al*., 2003)

สารพวก ROS เป็นตัวกลางที่ทำให้เกิดอาการบวม รวมทั้งส่งผลต่อเกล็ดเลือด (platelets) เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดนิวโทรฟิล หรือแมคโครฟาจ จนกระทั่งกลไกการสังเคราะห์ ecosanoid และชนิดของไซโตไคน์ (cytokines) ทำให้เกิดการอักเสบของอวัยวะหนึ่งไปอีกอวัยวะหนึ่ง เช่น จากตับไปไตหรือปอด ทำให้เนื้อเยื่อเกิดการ oxidative stress ส่งผลให้อวัยวะต่างๆ เกิดความล้มเหลว (Parke and Parke, 1995) หรือทำให้เกิดอาการชา เนื่องจากเนื้อเยื่อเกิด oxidative stress ส่งผลให้ระดับของกลูตาไธโอน (glutathione; GSH) ในเนื้อเยื่อลดลง ต้องมีการสร้างกลูตาไธโอนขึ้นมาใหม่เพื่อป้องกันเนื้อเยื่อถูกทำลาย (Liu *et al*., 1993)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ร่างกายสามารถกำจัดสารพวก ROS ได้โดยใช้ระบบกลูตาไธโอนโดยเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (superoxide dismutase; SOD) จะเปลี่ยนอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide radical; O^{-}_{2}) ให้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogenperoxide; H_2O_2) จากนั้นเอนไซม์แคตะเลส (catalase; CAT) จะเปลี่ยนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้เป็นน้ำ เช่นเดียวกับเอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase; GPx) จะเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนจากกลูตาไธโอนเป็นกลูตาไธโอนไดซัลไฟด์ (glutathione disulfide; GSSG) ซึ่งสามารถเปลี่ยนกลับมาเป็น GSH ได้โดยเอนไซม์กลูตาไธโอนรีดักเตส (glutathione reductase; GR) และนิโคตินาไมด์ อะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ฟอสเฟส (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate; NADPH) ที่ได้จากขบวนการ pentose phosphate pathway (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 การกำจัดอนุมูลอิสระ

ที่มา: Heffner and Repine (1989)

กลูตาไธโอน (Glutathione)

กลูตาไธโอน (γ-glutamylcysteinylglycine; GSH) ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทไตรเปปไทด์ (tripeptide) ประกอบด้วยกรดอะมิโน 3 ชนิด คือ ไกลซีน (glycine) ซีสทีอีน (cysteine) และกรดกลูตามิก (glutamic acid) (Kidd, 1997) จากโครงสร้างของกลูตาไธโอนพบว่ามีสารประกอบซัลไฮดริก (SH) ร่วมเกาะอยู่ด้วยที่ตำแหน่งของซีสทีอีน ซึ่งยึดเหนี่ยวด้วยพันธะคู่ โมเลกุลต่ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประมาณ 0.5–10 mmol/L ในเซลล์ของสัตว์ และพบมากในส่วนของไซโซอล (cytosol) ของเซลล์ (85–90 %) ส่วนที่เหลือพบใน organelles ต่างๆ ภายในเซลล์ เช่นไมโตคอนเดรีย (mitochondria) และเปอร์ออกไซด์ (peroxisome) (Lu, 2000) ในส่วนของ GSH ภายนอกของเซลล์พบในปริมาณเพียงเล็กน้อยประมาณ 2–20 mmol/L ในพลาสมา GSH สามารถถูกออกซิไดซ์เป็น GSSG ด้วยสารพวก electrophilic เช่น อนุมูลอิสระ, ออกซิเจนและไนโตรเจนโดยทันที (Jones, 2002)

กลูตาไธโอนสามารถช่วยลดความเสียหายของเซลล์ที่เกิดจากสภาวะการขาดโปรตีนในอาหาร สภาวะ oxidative stress และ สภาวะการเกิดโรคต่าง ๆ ซึ่งสภาวะ oxidative stress สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดโรคต่างๆได้ง่าย รวมถึงการติดเชื้อไวรัสด้วย (Sies, 1999) สัดส่วนของ GSH:GSSG เป็นตัวบ่งชี้ถึงอัตราของ redox สารพิษในเซลล์ ซึ่งหมายถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ แต่อัตราการ redox นั้นนอกจากขึ้นอยู่กับ GSH:GSSG แล้วยังขึ้นอยู่กับ redox couples อื่นๆ เช่น $NADPH/NADP^+$ (Sies, 1999; Jones, 2002 and Wu *et al*., 2003)

อรอนงค์ (2549) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการใช้มันสำปะหลังและ ข้าวโพดในสูตรอาหาร ต่อการสร้างภูมิคุ้มกันต่อโรคอหิวาต์สุกร (swine fever) โดยใช้รูปแบบอาหาร 2 ชนิด ได้แก่ ชนิดผงและชนิดอัดเม็ด พบว่าหลังทำวัคซีนอหิวาต์สุกร 14 และ 28 วัน ระดับแอนติบอดีต่อโรคอหิวาต์สุกรของสุกรทุกกลุ่มเพิ่มขึ้นจากก่อนทำวัคซีน และผลของวัตถุดิบแหล่งอาหารพลังงานและรูปแบบอาหารต่อระดับแอนติบอดีต่อโรคอหิวาต์สุกร ระดับกลูตาไธโอน (GSH) และการเจริญของเซลล์ลิมโฟซัยท์ของสุกรทุกกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าสุกรที่กินอาหารสูตรมันเส้นมีระดับกลูตาไธโอนในเม็ดเลือดแดงสูงกว่าสุกรที่กินอาหารสูตรที่ใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงาน 33.64 เปอร์เซ็นต์ ($P=0.06$) และการเจริญของเซลล์ลิมโฟซัยท์มีมากกว่าสุกรที่กินอาหารสูตรที่ใช้ข้าวโพดเป็นแหล่งพลังงาน 50 เปอร์เซ็นต์($P=0.07$) การเลี้ยงสุกรด้วยมันสำปะหลังทั้งในรูปแบบอาหารผงและอาหารอัดเม็ ให้ผลในด้านการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันแบบสารน้ำ แตกต่างจากการเลี้ยงด้วยอาหารข้าวโพดอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การเลี้ยงสุกรด้วยมันสำปะหลังมีผลในการกระตุ้นการสร้างกลูตาไธโอน ซึ่งจะช่วยลดอนุมูลอิสระและมีผลในการกระตุ้นภูมิคุ้มกันแบบพึ่งเซลล์ ทำให้ร่างกายมีความสามารถในการสร้างภูมิคุ้มกันดีขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. สัตว์ทดลอง

ไก่ไข่พันธุ์ไฮเซกบราวน์ อายุ 21 สัปดาห์ จำนวน 640 ตัว

2. โรงเรือน

โรงเรือนทดลองระบบปิด มีขนาดก ว้าง 8 เมตร ยาว 60 เมตร สูง 3 เมตร ควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนด้วย ระบบทำความเย็นแบบระเหยไอน้ำ (evaporative cooling system) ภายในมีกรงตับพื้นลวดขนาด 20×40×36 เซนติเมตร รางอาหารขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร ลึก 10 เซนติเมตรและ ระบบการให้น้ำอัตโนมัติแบบหัวหยด (nipple)

3. อาหารทดลอง

โดยใช้อาหารทดลองทั้งหมด 5 สูตร ดังนี้

สูตรที่ 1: อาหารใช้ ข้าวโพด + กากถั่วเหลือง เป็นหลัก (อาหารสูตรควบคุม)
สูตรที่ 2: อาหารใช้ ข้าวโพด + กากถั่วเหลือง เป็นหลัก + ใบมันสำปะหลังแห้ง 2.5 เปอร์เซ็นต์
สูตรที่ 3: อาหารใช้ ข้าวโพด + กากถั่วเหลือง เป็นหลัก + ใบมันสำปะหลังแห้ง 5 เปอร์เซ็นต์
สูตรที่ 4: อาหารใช้ ข้าวโพด + กากถั่วเหลือง เป็นหลัก + ใบมันสำปะหลังแห้ง 7.5 เปอร์เซ็นต์
สูตรที่ 5: อาหารใช้ ข้าวโพด + กากถั่วเหลือง เป็นหลัก + ใบมันสำปะหลังแห้ง 10 เปอร์เซ็นต์

อาหารทดลองทุกสูตรให้มีโภชนะต่าง ๆ ครบตามความต้องการของไก่ไข่ตามคำแนะนำของ NRC (1994) องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 6 ซึ่งการนำใบมันสำปะหลังแห้งมาใช้ในการทดลองครั้งนี้เลือกใช้เฉพาะใบมันสำปะหลังโดยมีส่วนของก้านและกิ่งใบมันสำปะหลังอยู่น้อยที่สุด เนื่องจากต้องการเพิ่มระดับของโปรตีนและลดปริมาณของเยื่อใยลงโดยร่อนใบมันสำปะหลังแห้งด้วยมุ้งเขียวเบอร์ 26 เพื่อแยกส่วนของก้านที่มีส่วนของเยื่อใยที่สูง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ออกจากใบมันสำปะหลังแห้ง ซึ่งโภชนะใบมันสำปะหลังแห้งที่ใช้ในการทดลองแสดงไว้ดังในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของโภชนะในใบมันสำปะหลังแห้ง

องค์ประกอบทางโภชนะ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)
ความชื้น	8.8
โปรตีน	20.4
ไขมัน	5.24
เยื่อใย	14.6
เถ้า	9.95
แคลเซียม	1.07
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	0.16
พลังงานรวมทั้งหมด (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	4524

1. อุปกรณ์และสารเคมี

4.1 อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างเลือดของไก่ไข่

4.1.1 กระบอกฉีดยาขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร

4.1.2 เข็มฉีดยาขนาด 1 นิ้ว เบอร์ 24 และเบอร์ 23

4.1.3 Heparin

4.1.4 แอลกอฮอล์ 70 %

4.1.5 สำลี

4.1.6 ถุงมือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 สูตรอาหารและองค์ประกอบทางโภชนะของอาหารไก่ไข่ระยะไข่

วัตถุดิบอาหาร	สูตรอาหารทดลอง					ราคา[1/]
(กิโลกรัม)	1	2	3	4	5	(บาทต่อกก.)
ข้าวโพด	58.15	56.85	55.15	53.6	51.85	8.60
กากถั่วเหลือง	18.5	17.25	16.45	15.5	14.75	16.40
ถั่วเหลืองเอ็กทรูด	8	8	8	8	8	18.60
ปลาป่น	3	3	3	3	3	28.00
ใบมันสำปะหลัง	-	2.5	5	7.5	10	5.50
น้ำมันรำ	1	1	1	1	1	20.00
ไดแคลเซี่ยมฟอสเฟต	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	24.00
เกลือ	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	3.50
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.2	0.25	0.25	0.25	0.25	240.00
เปลือกหอย	9	9	9	9	9	1.50
พรีมิกซ์[2/]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	85.50
รวม	100	100	100	100	100	-
โปรตีน (%)	17.68	17.53	17.54	17.50	17.53	
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (กิโลแคลอรี/ก.ก.)	2775.75	2771.90	2765.61	2760.85	2754.05	
ไขมัน (%)	4.51	4.62	4.73	4.84	4.94	
เยื่อใย (%)	3.18	3.44	3.71	3.98	4.26	
แคลเซี่ยม (%)	4.01	4.03	4.06	4.09	4.12	
ฟอสฟอรัส (%)	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	
ไลซีน (%)	0.96	0.97	0.99	1.01	1.04	
เมท+ซิส (%)	0.80	0.83	0.82	0.81	0.80	
ทริปโตเฟน(%)	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	
ทรีโอนีน (%)	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78	

หมายเหตุ [1/]ราคาวัตถุดิบอาหาร (บาทต่อกิโลกรัม) : เดือนพฤศจิกายน 2551

[2/] ส่วนประกอบของพรีมิกซ์ไวตามินและแร่ธาตุแสดงในตารางที่ 7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ส่วนประกอบใน 1 กิโลกรัมไวตามิน-แร่ธาตุของพรีมิกซ์

วิตามิน	ปริมาณ
วิตามินเอ	12.0 IU (ล้านหน่วยสากล)
วิตามินดี	2.4 IU (ล้านหน่วยสากล)
วิตามินอี	4.00 กรัม
วิตามินเค	1.00 กรัม
วิตามินบี 1	1.00 กรัม
วิตามินบี 2	5.00 กรัม
วิตามินบี 6	1.00 กรัม
วิตามินบี 12	0.15 กรัม
กรดโฟลิค	0.50 กรัม
กรดนิโคตินิก	30.0 กรัม
กรดแพนโทเธนิก	13.80 กรัม
ไบโอติน	0.30 กรัม
โคลีนคลอไรด์	0.25 กรัม
แมงกานีส	65.0 กรัม
เหล็ก	60.0 กรัม
สังกะสี	60.0 กรัม
ทองแดง	10.0 กรัม
ไอโอดีน	0.60 กรัม
ซิลีเนียม	0.10 กรัม
สารถนอมคุณภาพอาหารสัตว์รวม	4.80 กรัม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับศึกษาการเจริญพัฒนาของเซลล์ลิมโฟซัยท์ชนิดที (T-lymphocyte)

4.2.1 iscove modifies Dulbecco medium (IMDM) (Gibthai Co., ltd)

4.2.2 ficoll-paque plus (Amersham Bioscience)

4.2.3 fetal calf serum

4.2.4 antibiotic (penicillin และ streptomycin)

4.2.5 concavanalin A

4.2.6 WST-8 working solution (cell counting kit-8; Dojindo Molecular Technologies Incorporation)

4.2.7 phosphate buffer saline (PBS) pH 7.4

4.2.8 7 % sheep red blood cell (SRBC)

4.2.9 Centifuge tube ขนาด 15 และ 50 มิลลิลิตร

4.2.10 Microtube ขนาด 2 มิลลิลิตร

4.2.11 Pasteur pipette

4.2.12 Hematocytometer และ hematocrit tube

4.2.13 Flat-bottomed 96 well plates

4.2.14 Auto-pipette (single channel และ multi-channels)

4.2.15 Centrifuge

4.2.16 Biohazard carbinet

4.2.17 CO_2 incubator

4.2.18 Counting chamber

4.2.19 กล้องจุลทรรศน์

4.3 อุปกรณ์และสารเคมีในการวัดความสามารถรวมของสารต้านอนุมูลอิสระในการรีดิวซ์เหล็กเฟอริกโดยวิธี Ferric reducing ability of plasma (FRAP) assay ในพลาสม่าของไก่ไข่

4.3.1 Sodium acetate จากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.3.2 TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazine)จากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.3.3 Hydrochloric acid (HCl)

4.3.4 Ferric chloride จากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.3.5 Ferrous sulfate จากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.3.6 เครื่อง DTX 880 Multimode Detector ของ Beckman Couter

4.3.7 Waterbath

4.4 อุปกรณ์ และสารเคมีในการวิเคราะห์ระบบกลูตาไธโอน

4.4.1 เครื่อง ELISA reader

4.4.2 96 well plate

4.4.3 Eight multi-channel pipette

4.4.4 Metaphosphoric acid จากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.4.5 Sodium phosphate จากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.4.6 Ethylene Diamine Tetra Acetic acid-Na (EDTA –Na) จากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.4.7 Oxidized glutathione (GSSG) จากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.4.8 Triethanolamine จากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.4.9 5,5'-dithiosbis-(2-nitrobenzoic acid) (DTNB)จากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.4.10 NADPH จากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.4.11 Glutathione reductase (GR) จากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.4.12 2-vinylpyridine จากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

การทดลองที่ 1 การศึกษาผลการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งต่อการตอบสนองของเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะเจาะจง ระดับกลูตาไธโอนและแอนติออกซิแดนซ์รวม

ศึกษาผลของการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในระดับต่างๆ ในรูปอาหารผงต่อการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันโรคในไก่ไข่แบบจำเพาะเจาะจง (specific immunity) โดยใช้การเจริญพัฒนาของเซลล์ลิมโฟซัยท์ เป็นตัวบ่งชี้การตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันแบบพึ่งเซลล์ (cell-medieted immunity; CMI) ใช้ระดับกลูตาไธโอนในเม็ดเลือดแดงเป็นตัวบ่งชี้สภาวะรีดอกซ์ของเซลล์ในไก่ไข่ และใช้ค่า total antioxidant capacity (TAC) ในพลาสม่าเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณแอนติออกซิแดนซ์ที่ได้รับจากอาหาร

1. แผนการทดลอง

การทดลองที่ 1 ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) ใช้ไก่ไข่จำนวน 160 ตัว แบ่งไก่ออกเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 8 ตัว ทำการสุ่มไก่ไข่แต่ละกลุ่มให้กินอาหารทดลองสูตรใดสูตรหนึ่ง (จาก 5 สูตรของอาหารทดลอง) โดยทำการทดลองเป็น 6 ระยะ ๆ ละ 28 วัน

2. การให้อาหารและน้ำ

เลี้ยงไก่ไข่ในกรงตับที่มีความหนาแน่น 920 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตัว (2 ตัวต่อช่อง) ในโรงเรือนระบบปิด ให้ไก่ได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) โดยไก่ได้รับน้ำผ่านระบบน้ำหยด (nipple) ใช้ผ้าม่านสีดำปิดข้างโรงเรือน เพื่อลดรังสีความร้อนจากภายนอกเข้าสู่โรงเรือน ใช้ระบบควบคุมภาพแวดล้อมด้วยระบบทำความเย็นแบบระเหยไอน้ำ (evaporative cooling system) และด้วยระบบการระบายอากาศแบบอุโมงค์ลม (tunnel ventilation system)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลตั้งแต่เริ่มทำการทดลองในระยะแรก จนถึงระยะสุดท้ายของการทดลอง มีการสุ่มไก่ในแต่ละซ้ำเพื่อเก็บตัวอย่างเลือดและซีรั่มนำมาศึกษาดังต่อไปนี้

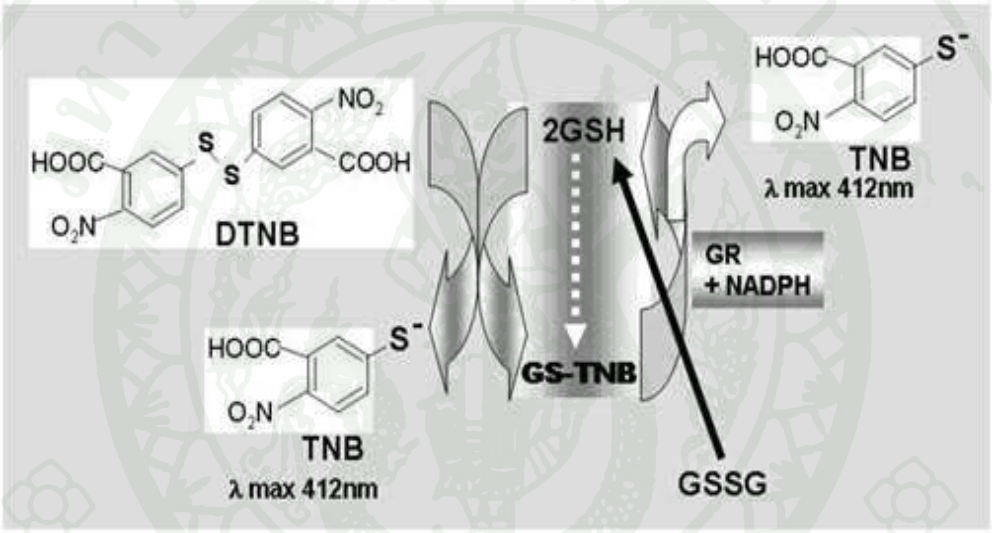
3.1 ศึกษาการเจริญพัฒนาของเซลล์ลิมโฟซัยท์ ชนิดที ฉีด 7% sheep red blood cell (SRBC) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เข้ากระแสเลือดไก่ โดยฉีดเข้าเส้นเลือดดำบริเวณปีกครั้งแรก เมื่อถึงช่วงกลางของทดลองระยะที่ 3 (วันที่ 14 ของระยะที่ 3) เพื่อกระตุ้นการเจริญพัฒนาของเซลล์ลิมโฟซัยท์ ในการตอบสนองต่อสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย โดยก่อนการกระตุ้นด้วยเม็ดเลือดแดงแกะ ทำการเก็บเลือดไก่บริเวณปีกจากกลุ่มทดลองละ 3 ตัว ตัวละ 4 มิลลิลิตรหลังจากการกระตุ้นครั้งแรก 7 วัน ทำการกระตุ้นครั้งที่ 2 โดย ฉีด 7 % sheep red blood cell (SRBC) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร/ตัว เข้ากระแสเลือดไก่ จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างเลือดปริมาตร 4 มิลลิลิตรในหลอดฉีดยาที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (heparin) ในวันที่ 0, 3 และ 7 วันภายหลังจากการฉีดกระตุ้นด้วย 7 % SRBC ครั้งที่ 2 โดยทำการสุ่มไก่ซ้ำละ 3 ตัว นำตัวอย่างเลือดที่ได้มาละลายใน phosphate buffered saline (PBS) แยกเมล็ดเลือดขาวโดยใช้ ficoll-paque ปั่นเหวี่ยงที่แรง 400 g ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที ล้างเม็ดเลือดขาวด้วย PBS 3 ครั้ง จากนั้นเตรียมตัวอย่างเซลล์ เพื่อตรวจหาการเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ของเซลล์ลิมโฟซัยท์ ตามขั้นตอนของ Tadashi *et al.* (2002) โดยใช้ WST-8 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 450 nm. ค่าที่ได้จะออกมาเป็นค่า optical density (OD value)

3.2 ศึกษาผลของใบมันสำปะหลังแห้ง ต่อความเข้มข้นของ tGSH GSH GSSG และ GSH/GSSG ในตัวอย่างเม็ดเลือดแดง วิเคราะห์ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ (duplicated) โดยวิธี enzymatic recycling assay (ดัดแปลงวิธีการจาก Tietze, 1969; Imam and Mehvar, 2006) ทำการเก็บตัวอย่างเลือดไก่ที่ระยะการทดลองที่ 1, 3 และ 6 ของการทดลอง โดยทำการสุ่มไก่ซ้ำละ 3 ตัวเพื่อเจาะเลือดปริมาตร 2 มิลลิลิตร/ตัว ในหลอดฉีดยาที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (heparin) นำตัวอย่างเลือดไปปั่นเหวี่ยงที่แรง 1,000 g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แยกพลาสมาเพื่อใช้ตรวจกลูตาไธโอน เติม HPLC-grade water แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่แรง 10,000 g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เก็บส่วนใสด้านบน (erythrocyte lysate) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณกลูตาไธโอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2.1 วิเคราะห์หาปริมาณกลูตาไธโอนรวม (Total glutathione; tGSH)

ทำการวัด tGSH ในตัวอย่างด้วยวิธี enzymatic recycling method โดยใช้เอนไซม์กลูตาไธโอนรีดักเทสเพื่อหาความเข้มข้นของ tGSH ใน microtiter plate assay โดยอาศัยหลักการดังนี้ หมู่ sulhydryl ของ GSH จะทำปฏิกิริยากับ 5,5'-dithiobis-2-nitrobenzoic acid (DTNB) และ ให้สีเหลืองของ 5-thio-2-nitrobenzoic acid (TNB) ซึ่งถูกวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 nm อัตราการสร้าง TNB เป็นสัดส่วนโดยตรงต่อปฏิกิริยาการย้อนกลับ ซึ่งการย้อนกลับนี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อความเข้มข้นของ tGSH การเกิดปฏิกิริยาแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาจากการวิเคราะห์ tGSH และ/หรือ GSSG ด้วยวิธี enzymatic recycling method

ที่มา: Rahman *et al.*,(2006)

3.2.2 วิเคราะห์หาปริมาณออกซิไดซ์กลูตาไธโอน (oxidized glutathione: GSSG)

การวัดความเข้มข้นของ GSSG ในตัวอย่างเม็ดเลือดแดง โดยวิธี enzymatic recycling assay ซึ่ง GSSG ที่วัดเกิดจากปฏิกิริยารีดักชั่น ของ DTNB ไปเป็นรีดิวซ์กลูตาไธโอน ดังนั้นการวัดเฉพาะ GSSG ต้องกำจัด GSH โดยเติม 2-vinylpyridine เพื่อไปกำจัด GSH ก่อนทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการเดียวกับการวิเคราะห์ tGSH คำนวณความเข้มข้นได้จากการเปรียบเทียบกับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความเข้มข้นกับกราฟมาตรฐาน ความเข้มข้นของ GSSG รายงานผลเป็นค่า tGSH, GSSG และอัตราส่วนของ GSH/GSSG เพื่อเป็นดัชนีบ่งชี้ภาวะรีดอกซ์ภายในเซลล์เม็ดเลือดแดง

3.3 วิเคราะห์หาปริมาณแอนติออกซิแดนซ์รวม (total antioxidant capacity; TAC)

ทำการเก็บตัวอย่างเลือดไก่ที่ระยะการทดลองที่ 1, 3 และ 6 ของการทดลอง โดยทำการเจาะเลือดปริมาตร 2 มิลลิลิตร ในหลอดฉีดยาที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (heparin) โดยสุ่มไก่ซ้ำละ 3 ตัว หลังจากนั้นนำตัวอย่างเลือดไปปั่นเหวี่ยงที่แรง 1,000 g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เก็บตัวอย่างพลาสม่าเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่า TAC โดยวิธี Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) ซึ่ง FRAP reagent เตรียมได้จาก อัตราส่วนของ acetate buffer pH 3.6 : TPTZ (tripyridytriazine) : Iron (III) chloride hexahydrate ในสัดส่วน 10: 1: 1 นำ FRAP reagent 180 ไมโครลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 18 ไมโครลิตร จากนั้นใส่ตัวอย่างพลาสม่า 6 ไมโครลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร (ดัดแปลงจากวิธีการของ Benzie and Strain (1996)) ทันทีและบันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 4 นาที นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปหาความเข้มข้นของแอนติออกซิแดนซ์รวมโดยเปรียบเทียบกับ standard curve ของ Iron (II) sulphate

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design: CRD และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 2003)

5. สถานที่ทำการทดลอง

1. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

2. ห้องปฏิบัติการไวรัสและซีรั่มวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ห้องปฏิบัติการโภชนศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร

6. ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มการทดลอง : เดือนกันยายน พ.ศ. 2551
สิ้นสุดการทดลอง : เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2552

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่และคุณภาพไข่

1. แผนการทดลอง

การทดลองที่ 2 ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design; RCBD) แบ่งไก่ไข่จำนวน 480 ตัว ออกเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 24 ตัว ทำการสุ่มไก่ไข่แต่ละกลุ่มให้กินอาหารทดลองสูตรใดสูตรหนึ่งจาก 5 สูตรของอาหารทดลอง เป็นระยะเวลา 24 สัปดาห์

2. การให้อาหารและน้ำ

เลี้ยงไก่ไข่บนกรงตับที่มีความหนาแน่น 920 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตัว (2 ตัวต่อกรง) ในโรงเรือนระบบปิด ให้ไก่ได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) โดยไก่ได้รับน้ำผ่านระบบน้ำหยด (nipple) ใช้ผ้าม่านสีดำปิดข้างโรงเรือน เพื่อลดรังสีความร้อนจากภายนอกเข้าสู่โรงเรือน ใช้ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมด้วยระบบทำความเย็นแบบระเหยน้ำ (evaporative cooling system) และด้วยระบบการระบายอากาศแบบอุโมงค์ลม (tunnel ventilation system)

3. การบันทึกข้อมูล

ศึกษาการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตไก่ไข่ และคุณภาพไข่ การบันทึกผลการทดลองแบ่งเป็น 6 ช่วง ๆ ละ 4 สัปดาห์ คือช่วงที่ไก่ไข่อายุ 21–24, 25–28, 29–32, 33–36, 37–40 และ 41–44 สัปดาห์ตามลำดับ
โดยแต่ละช่วงเวลามีการบันทึกข้อมูลดังนี้

1. บันทึกปริมาณอาหารที่กินทุกซ้ำในแต่ละสัปดาห์
2. บันทึกผลผลิตไข่ในแต่ละวัน
3. บันทึกจำนวนไก่ป่วยและจำนวนไก่ตายในแต่ละสัปดาห์
4. สุ่มตัวอย่างอาหารทดลองสูตรต่าง ๆ ทุกซ้ำ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโภชนะต่าง ๆ ในอาหาร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. การตรวจวัดคุณภาพไข่ โดยเก็บไข่ในทุก ๆ 3 วันสุดท้ายของระยะการทดลอง โดยทำเก็บทุกระยะการทดลอง ในทุกซ้ำตลอดการทดลอง เพื่อทำการตรวจวัดคุณภาพไข่ ดังนี้

5.1 บันทึกน้ำหนักไข่ทุกซ้ำในแต่ละกลุ่ม

- น้ำหนักฟองไข่

- ค่าความเข้มสีไข่แดง โดยใช้พัดวัดสีไข่ (yolk colour fan) ที่มีสีเหลืองอ่อนถึง สีส้ม -แดง ตั้งแต่ 1-15 (คะแนน)

- ความหนาเปลือกไข่ โดยใช้ไมโครมิเตอร์สำหรับวัดความหนาผิวโค้ง โดยหักเปลือกไข่ ไม่ติดเยื่อหุ้มไข่จากแนวกึ่งกลางฟองไข่ขนาด 0.5×0.5 เซนติเมตร จำนวน 3 ชิ้น วัดค่าเป็นมิลลิเมตร

- ความถ่วงจำเพาะของไข่ โดยการลอยในน้ำเกลือที่มีความถ่วงจำเพาะต่าง ๆ ตั้งแต่ 1.060, 1.064, 1.068, 1.072, 1.076, 1.080, 1.084, 1.088, 1.092, 1.096, 1.100 และ 1.104 ใช้ไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer) วัดความถ่วงจำเพาะให้ได้ตามกำหนด แล้วนำไข่ที่ต้องการทดสอบมาลอยในน้ำเกลือที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ จากน้อยไปหามาก หากไข่ฟองใดมีส่วนเปลือกลอยเหนือผิวน้ำ โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร (ขนาดเท่าเหรียญบาท) แสดงว่าไข่ฟองนั้นมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับความถ่วงจำเพาะของน้ำเกลือนั้น ๆ

5.2 ทำการสุ่มไข่มาทุกซ้ำในแต่ละกลุ่ม โดยสุ่มมาซ้ำละ 4 ฟองเพื่อทำการตรวจวัดความสูงของไข่ขาวโดยใช้ชุดตรวจสอบคุณภาพไข่ขาวที่ประกอบด้วย QCD ชุดแสดงผลระบบดิจิตอล และ Albumen Height Gauge ได้ค่าความสูงไข่ขาวเป็นมิลลิเมตร โดยบันทึกเป็นค่าฮอฟยูนิตระดับคะแนนสีของไข่แดง และความหนาของเปลือกไข่ ทำการคำนวณค่าฮอฟยูนิตจากสมการ $HU = 100 \times \log [H + 7.57 - 1.7W^{0.37}]$ เมื่อ HU คือ ค่าฮอฟยูนิต H คือความสูงไข่ขาว (mm) และ W คือน้ำหนักฟองไข่ (g) (Roush, 1981)

6. ทำการศึกษาอายุการเก็บของไข่และการเปลี่ยนแปลงสภาพของไข่ที่อายุการเก็บ 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ ของระยะการทดลองที่ 1, 3 และ 6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นำค่าต่าง ๆ ที่บันทึกมาคำนวณหาค่าต่าง ๆ (North and Bell, 1990) ดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินในช่วงการทดลอง}}{(28\ \text{วัน} \times \text{จำนวนไก่เมื่อสิ้นสุดช่วงการทดลอง})}$$

$$\text{ปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1 โหล} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินในช่วงการทดลอง} \times 12}{\text{จำนวนไข่ในช่วงการทดลอง}}$$

$$\text{อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต (hen - day production; HD)(\%)} = \frac{\text{จำนวนไข่ในช่วงการทดลอง} \times 100}{(28\ \text{วัน} \times \text{จำนวนไก่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง})}$$

$$\text{น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟอง} = \frac{\text{น้ำหนักไข่}}{\text{จำนวนไข่}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การตาย} = \frac{\text{จำนวนไก่ตายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนไก่เริ่มต้นการทดลอง}}$$

มวลไข่ = อัตราการให้ผลผลิตไข่ของแม่ไก่มีชีวิต (%) × น้ำหนักไข่เฉลี่ย (กรัม)

ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 โหล = ราคาอาหารxปริมาณอาหารที่กินที่ใช้ผลิตไข่ 1 โหล

4. การวิเคราะห์ทางเคมี

ทำการสุ่มวัตถุดิบอาหารก่อนการผสมและตัวอย่างอาหารทดลองที่ผสมเสร็จแล้ว เพื่อวิเคราะห์โภชนะต่าง ๆ คือ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และเถ้า โดยวิธี proximate analysis ตามวิธีของ AOAC (1990) วิเคราะห์พลังงานรวมในอาหารโดยใช้เครื่อง Bomb calorimeter (รุ่น PARR 1261) และวิเคราะห์ปริมาณ แคลเซียม ฟอสฟอรัส ตามวิธีของ AOAC (1990) ดัดแปลงโดย อังคณา และดวงสมร (2523)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลความแปรปรวนของข้อมูล (analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design; RCBD และทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 2003)

$$Y_{ij} = \mu + \rho_i + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตจากเพศที่ i ทรีทเมนต์ที่ j

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวม

ρ_i คือ อิทธิพลเนื่องจากระยะเวลาการทอลอง (block) ที่ i เมื่อ i = 1, 2, 3, 4, 5, 6

τ_j คือ อิทธิพลเนื่องจากทรีทเมนต์ (treatment) ที่ j เมื่อ j = 1, 2, 3, 4, 5

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

6. สถานที่ทำการทดลอง

1. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

2. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

3. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

7. ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มการทดลอง : เดือนกันยายน พ.ศ. 2551

สิ้นสุดการทดลอง : เดือนมีนาคม พ.ศ. 2552

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโภชนะทางเคมีของอาหารทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะต่าง ๆ ของอาหารทดลองแต่ละสูตรด้วยวิธี proximate analysis และการใช้ bomb calorimeter แสดงไว้ใน ตารางที่ 8 ซึ่งผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง พบว่าอาหารทดลองทุกสูตรมีปริมาณโภชนะต่าง ๆ ใกล้เคียงกับปริมาณโภชนะที่ได้จากการคำนวณ

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของโภชนะในอาหารทดลอง

องค์ประกอบทางโภชนะ (เปอร์เซ็นต์)	สูตรอาหารทดลอง				
	1	2	3	4	5
ความชื้น	9.5	9.7	8.2	8.4	9.1
โปรตีน	17.08	17.12	17.37	17.38	17.42
ไขมัน	3.97	5.09	5.04	4.13	4.51
เยื่อใย	2.93	3.75	4.15	4.33	4.54
เถ้า	14.19	14.96	16.47	14.50	14.71
แคลเซียม	4.20	4.03	5.02	5.08	5.17
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	0.51	0.52	0.52	0.54	0.51
พลังงานรวมทั้งหมด (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	4024.76	4130.33	4119.28	4140.45	4107.64

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 1 การศึกษาผลการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งต่อการตอบสนองของเซลล์ภูมิคุ้มกันในไก่ไข่ ระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะเจาะจง ระดับกลูตาไธโอนและแอนติออกซิแดนซ์รวม

1. การศึกษาการทำงานของเซลล์ลิมโฟซัยท์ ชนิดที (T-lymphocyte)

จากผลการศึกษาการทำงานของเซลล์ลิมโฟซัยท์ ชนิดที ที่ตอบสนองต่อ concvanalin A พบว่า วันที่ก่อนการฉีดกระตุ้นด้วย 7 % SRBC ไก่ไข่กลุ่มที่กินอาหารที่มีระดับใบมันสำปะหลังแห้งทุกกลุ่มในสูตรอาหารมีการเจริญเติบโตของเซลล์ลิมโฟซัยท์ ชนิดที แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนวันที่ 3 ภายหลังการฉีดกระตุ้นด้วย 7 % SRBC ไก่ไข่กลุ่มที่กินอาหารที่มีระดับใบมันสำปะหลังแห้ง 5 7.5 และ 10 % ในสูตรอาหาร มีการเจริญเติบโตของเซลล์ลิมโฟซัยท์ ชนิดที มากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และในวันที่ 7 หลังจากการฉีดกระตุ้นด้วย 7 % SRBC ไก่ไข่กลุ่มที่กินอาหารที่มีระดับใบมันสำปะหลังแห้ง 7.5 และ 10 % ในสูตรอาหาร มีการเจริญของเซลล์ลิมโฟซัยท์มากกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 9)

การใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในระดับที่สูงขึ้น มีผลให้การเจริญของเซลล์ลิมโฟซัยท์ชนิดทีสูงขึ้น ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งบ่งบอกถึงการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันแบบพึ่งเซลล์ (cellular immunity) ที่สูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณกลูตาไธโอนที่สูงขึ้นจากการกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์มากขึ้นของไฮโปไธไซโอยาเนต (Mary *et al.,* 2001) และเอนไซม์ในระบบเปอร์ออกซิเดสเช่น กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดสในระบบแอนติออกซิแดนซ์ โดยกลูตาไธโอนที่สูงขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอินเตอร์ลิวคิน 2 (IL-2) ซึ่งเป็นซัยโตไคน์ที่ชักนำให้เกิดการเพิ่มจำนวนของเซลล์ลิมโฟซัยท์ ชนิดที และกระตุ้นให้เซลล์ลิมโฟซัยท์ ชนิดบี มีการสร้างอิมมูโนโกลบูลินมากขึ้น (Calra *et al.,* 1999) กระตุ้นให้มีการเพิ่มขึ้นของ cytotoxic T cell และ NK cell ชักนำให้เซลล์ทั้งสองชนิดสร้างอินเตอร์เฟอรอนเกรมมา (IFNγ) และอินเตอร์ลิวคิน 5 (IL-5) โดยเซลล์ลิมโฟซัยท์ชนิดทีและเซลล์ลิมโฟซัยท์ชนิดบีมีความต้องการระดับกลูตาไธโอนภายในเซลล์ที่เพียงพอสำหรับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเซลล์ รวมทั้งการกระตุ้น (activation) ของ Cytotoxic T killer cell และการทำหน้าที่พิเศษของเซลล์ลิมโฟซัยท์ชนิดที (specific T-cell function) (Kidd, 1997)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 การเจริญของเซลล์ลิมโฟซัยท์ชนิดที ในเลือดไก่ไข่ที่ตอบสนองต่อการให้ concanavalin A ในวันก่อนการฉีดและที่ 3, 7 วันหลังจากการฉีดกระตุ้นด้วยเม็ดเลือดแดงแกะ

กลุ่มทดลอง (ใบมันสำปะหลัง; %)	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 7
0	0.247 ± 0.002	$0.367^{ข}$ ± 0.010	$0.471^{ข}$ ± 0.007
2.5	0.249 ± 0.002	$0.397^{ข}$ ± 0.021	$0.470^{ข}$ ± 0.007
5	0.253 ± 0.005	$0.434^{ก}$ ± 0.006	$0.466^{ข}$ ± 0.015
7.5	0.252 ± 0.007	$0.436^{ก}$ ± 0.009	$0.501^{ก}$ ± 0.004
10	0.254 ± 0.005	$0.440^{ก}$ ± 0.005	$0.517^{ก}$ ± 0.010
P-value	0.4288	0.0014	0.0058

หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (mean± standard error)
^{ก,ข} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

Chen *et al.* (1994) ได้รายงานการศึกษาผลของกลูตาไธโอนต่อการผลิต IL-2 พบว่าเมื่อระดับกลูตาไธโอนเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้มีการผลิต IL-2 เพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งชี้ให้เห็นว่ากลูตาไธโอนที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ระดับของ IL-2 เพิ่มขึ้นด้วย แสดงว่ากลูตาไธโอนมีผลต่อระบบภูมิคุ้มกัน โดยผ่านการควบคุมการสังเคราะห์ IL-2 ซึ่งจากการศึกษาของ Multhoff *et al.* (1995) พบว่าระดับกลูตาไธโอนมีผลต่อระดับการเกิด lymphocyte activation โดยปริมาณกลูตาไธโอนในระดับต่ำ มีผลต่อศักยภาพในการเพิ่มจำนวนเซลล์ (proliferation capacity) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และยังมีรายงานว่า กลูตาไธโอนมีความเกี่ยวข้องกับการทำงานและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของลิมโฟซัยท์ โดยปริมาณกลูตาไธโอนในเซลล์ที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มการทำงานของลิมโฟซัยท์ เมื่อมีการเหนี่ยวนำด้วยไมโตเจน รวมทั้งมีผลทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนของเซลล์มากขึ้น ในขณะที่ปริมาณของกลูตาไธโอนในเซลล์ลดลงจะส่งผลให้การเพิ่มจำนวนของเซลล์ลดลง แต่ไม่มีผลต่อการทำงานของเซลล์ (Fidalus *et al.*, 1987)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การศึกษาปริมาณแอนติออกซิแดนซ์รวม (total antioxidant capacity :TAC)

จากการศึกษาปริมาณแอนติออกซิแดนซ์รวม (total antioxidant capacity; TAC) โดยใช้ความสามารถของสารแอนติออกซิแดนซ์ในพลาสม่าทำการรีดิวซ์ Fe^{3+} - TPTZ (ferric- tripyridyltriazine) ให้เป็น Fe^{2+} - TPTZ (ferrous- tripyridyltriazine) พบว่า ไก่ไข่อายุ 21 และ 45 สัปดาห์ กลุ่มที่กินอาหารที่มีใบมันสำปะหลังในสูตรอาหาร มีค่า TAC แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยไก่ไข่ที่อายุ 45 สัปดาห์มีปริมาณของสารแอนติออกซิแดนซ์รวมลดลงในทุกกลุ่มการทดลองอาจเป็นเพราะช่วงอายุไข่ที่มากขึ้น มีอัตราการให้ผลผลิตไข่ลดลง จึงส่งผลให้ไก่ไข่มีความเครียดจากการให้ผลผลิตลดลงทำให้มีการสร้างระดับของสารแอนติออกซิแดนซ์ลดลง เพื่อรักษาสภาวะสมดุลของเซลล์ ส่วนไก่ไข่ที่อายุ 33 สัปดาห์ กลุ่มที่กินอาหารที่มีใบมันสำปะหลัง 7.5 % ในสูตรอาหารมีค่า TAC สูงสุดและมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.1455$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยปริมาณของค่า TAC ในพลาสม่ามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อระดับของใบมันสำปะหลังเพิ่มมากขึ้นจนกระทั้งระดับใบมันสำปะหลัง 7.5% ในสูตรอาหาร (ตารางที่ 10) แต่ค่า TAC ในพลาสม่ากลับมีปริมาณลดลงเมื่อใช้ใบมันสำปะหลังในระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารซึ่งสอดคล้องกับ จีราภา (2550) ซึ่งพบว่าไก่กระทงที่อายุ 28 และ 35 วัน มีปริมาณของค่า TAC ในพลาสม่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารไก่กระทง และปริมาณการกินอาหารของไก่กระทงที่เพิ่มขึ้น ($P<0.05$)

จากผลการทดลองที่ไก่ไข่อายุ 33 สัปดาห์ เป็นช่วงอายุของการไข่ที่ 12 สัปดาห์ ซึ่งเป็นช่วงที่ไก่ไข่มีสมรรถภาพการให้ผลผลิตสูงสุดตามสายพันธุ์และอายุไก่ไข่ (อรวรรณ, 2547) ซึ่งไก่ไข่อยู่ในสภาวะความเครียดในการให้ไข่ ซึ่งจะไปกระตุ้นให้ร่างกายมีการตอบสนองเพื่อรักษาภาวะสมดุลไว้ โดยส่วนที่เกี่ยวกับสารต้านอนุมูลอิสระในกระแสเลือดก็มีแนวโน้มที่มากขึ้น เนื่องจากร่างกายเกิดความเครียดจะกระตุ้นการสร้างสารอนุมูลอิสระโดยเฉพาะ ROS (reactive oxygen species) จะเพิ่มสูงขึ้นตามระดับความเครียดที่เพิ่มสูงขึ้น (Dorge, 2002) เพื่อควบคุมระดับสารอนุมูลอิสระเหล่านี้ไว้ไม่ให้สูงจนเป็นอันตรายต่อเซลล์ ดังนั้นไก่ไข่ที่ได้รับใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหาร ซึ่งมีระดับของไซยาไนด์ (HCN) อยู่ในปริมาณเล็กน้อย เมื่อสัตว์ได้รับเข้าสู่ร่างกาย HCN จะทำปฏิกิริยากับไธโอซัลเฟตถูกเปลี่ยนเป็นไธโอไซยาเนต (thiocyanate) เพื่อลดความเป็นพิษของ HCN แต่ในขณะเดียวกันก็เป็นสารที่ช่วยกำจัดอนุมูลอิสระต่างๆ โดยไธโอไซยาเนตจะกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้เปลี่ยนเป็นน้ำและสารไฮโปไธโอไซยาเนต ในขณะเดียวกันร่างกายจะกระตุ้นการสังเคราะห์กลูตาไธโอนเพิ่มขึ้น เพื่อช่วยเปลี่ยนสารไฮโปไธโอไซยาเนตกลับไปเป็นสาร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตั้งต้น (substrate) เพื่อยับยั้งไม่ให้ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อีกครั้ง ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องและเกิดอนุมูลอิสระเกิดขึ้นอีก (Mary *et al.,* 2001)

ตารางที่ 10 ปริมาณสารแอนติออกซิแดนซ์รวม (Total Antioxidant Capacity: TAC) (μmol/L) ในพลาสม่าของไก่ไข่ที่อายุ 21, 33 และ 45 สัปดาห์

กลุ่มทดลอง (ใบมันสำปะหลัง; %)	21 สัปดาห์	33 สัปดาห์	45 สัปดาห์
0	980.7 ± 36.13	854.85 ± 54.24	811.69 ± 68.45
2.5	1058.3 ± 82.17	981.70± 76.53	816.69 ± 55.38
5	1024.4 ± 61.60	1025.07 ± 69.90	856.09 ± 46.46
7.5	1033.6 ± 81.54	1086.7 ± 81.40	836.81 ± 50.26
10	1034.5 ± 113.39	914.48 ± 53.20	805.85 ± 68.17
P-value	0.9714	0.1445	0.9726

หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (mean± standard error)

3. การศึกษาปริมาณกลูตาไธโอนในเม็ดเลือดแดงไก่ไข่

จากการศึกษา พบว่า ไก่ไข่อายุ 21 33 และ 45 สัปดาห์ กลุ่มที่กินอาหารที่มีระดับของใบมันสำปะหลังทุกกลุ่มการทดลอง มีปริมาณของกลูตาไธโอนโดยรวม (tGSH) และรีดิวซ์กลูตาไธโอน (GSH) ในเม็ดเลือดแดงไก่ไข่ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่ในทุกระยะมีแนวโน้มของปริมาณ tGSH และ GSH สูงขึ้นเมื่อระดับของใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารสูงขึ้น (ตารางที่ 11) เช่นเดียวกับปริมาณของออกซิไดซ์กลูตาไธโอน (GSSG) ในเม็ดเลือดแดงของไก่ไข่ที่อายุ 21 และ 45 สัปดาห์ ที่มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ส่วนไก่ไข่ที่อายุ 33 สัปดาห์ มีปริมาณ GSSG ในเม็ดเลือดแดง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 ความเข้มข้นของ tGSH GSH GSSG และอัตราส่วนของ GSH/GSSG

ค่า	กลุ่มทดลอง	อายุ (สัปดาห์)		
		21	33	45
กลูตาไธโอน โดยรวม tGSH (µmol/L)	0	421.7 ± 72.09	603.4 ± 39.27	606.78 ± 50.54
	2.5	423.4 ± 72.26	593.7 ± 41.51	619.66 ± 70.88
	5	535.4 ± 70.53	580.6 ± 41.96	644.06 ± 37.17
	7.5	487.1 ± 87.14	603.7 ± 122.6	638.11 ± 43.22
	10	465.4 ± 60.76	504.0 ± 87.41	669.79 ± 58.15
รีดิวซ์กลูตาไธโอน GSH (µmol/L)	0	354.37 ± 64.84	531.1 ± 40.91	538.86 ± 47.78
	2.5	350.94 ± 68.83	507.8 ± 41.35	554.62 ± 69.74
	5	461.78 ± 62.02	534.3 ± 43.67	563.69 ± 34.65
	7.5	402.67 ± 83.30	528.4 ± 116.2	559.54 ± 42.95
	10	400.67 ± 60.47	450.4 ± 84.46	583.42 ± 59.76
ออกซิไดซ์ กลูตาไธโอน GSSG (µmol/L)	0	67.34 ± 15.40	$72.31^{กข}$ ± 10.69	67.92 ± 10.12
	2.5	72.50 ± 16.51	$85.87^{ก}$ ± 6.08	65.04 ± 13.42
	5	73.66 ± 14.60	$46.33^{ก}$ ± 4.63	80.37 ± 14.33
	7.5	84.43 ± 9.88	$70.31^{กข}$ ± 13.20	78.56 ± 13.06
	10	64.77 ± 6.35	$53.66^{ขค}$ ± 5.31	86.37 ± 11.74
รีดิวซ์ต่อออกซิไดซ์ กลูตาไธโอน GSH/GSSG (µmol/L)	0	9.59 ± 2.27	$8.87^{ข}$ ± 1.16	10.66 ± 2.07
	2.5	8.22 ± 2.39	$6.54^{ข}$ ± 0.99	11.60 ± 2.39
	5	7.32 ± 1.13	$13.35^{ก}$ ± 2.13	10.33 ± 1.95
	7.5	5.49 ± 1.09	$7.43^{ข}$ ± 1.25	10.91 ± 2.45
	10	6.95 ± 1.13	$8.78^{ข}$ ± 1.58	8.47 ± 1.53

หมายเหตุ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (mean± standard error)

^{ก,ข,ค} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยพบว่าระดับของใบมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณของ GSSG มีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับสัดส่วนของรีดิวซ์ต่อออกซิไดซ์กลูตาไธโอน (GSH/GSSG) ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจากผลการศึกษาในตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่ากลุ่มที่เสริมใบมันสำปะหลังที่ 5 % มีปริมาณของ GSSG น้อยส่งผลให้สัดส่วนของ GSH/GSSG มีปริมาณที่สูงเมื่อเปรียบกับกลุ่มอื่น แต่ปริมาณของ GSH ในเม็ดเลือดแดงที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติส่งผลให้สัดส่วนของ GSH/GSSG มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังนั้นแสดงว่าอัตราส่วนของ GSH/GSSG เป็นตัวบ่งชี้สภาวะผิดปกติของรีดอกซ์ภายในเซลล์และทำหน้าที่รักษาสมดุลรีดอกซ์ภายในเซลล์ด้วย

จากการศึกษาโดย Alvarado *et al.* (2006) รายงานว่าการเสริมอาหารที่มีแอนติออกซิแดนซ์สามารถฟื้นฟู redox homeostasis ในกรณีที่เกิดความเครียดโดยช่วยให้มีระดับแอนติออกซิแดนซ์ เช่น GSH (reduced form), SOD, CAT และ GPx เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลให้ oxidative damage ของไขมันลดต่ำลงด้วย ทั้งนี้การเสริมอาหารที่มีแอนติออกซิแดนซ์ให้สัตว์ที่ไม่ได้อยู่ในสภาวะเครียดไม่ช่วยให้ความสามารถของการเป็นแอนติออกซิแดนซ์สูงขึ้น ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้เห็นได้ว่าการเสริมใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ ซึ่งใบมันสำปะหลังมีสารออกฤทธิ์ตามธรรมชาติที่เป็นตัวต้านอนุมูลอิสระคือ สารประกอบฟีนอลลิก (Sumere, 1989) ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น จึงช่วยส่งเสริมการทำงานของ GSH ในการกำจัดอนุมูลอิสระภายในเซลล์ทำให้การออกซิเดชั่นของ GSH ไปเป็น GSSG ลดลงส่งผลให้สัดส่วน GSH/GSSG สูงขึ้นเมื่อไก่ไข่มีอายุการไข่ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งกลูตาไธโอนจัดเป็นสารต้านออกซิเดชั่นที่มีความสำคัญต่อภายในเซลล์มาก โดยมีรายงานว่า ความเครียดจะกระตุ้นการขับของกลูตาไธโอนภายในเซลล์ออกสู่ภายนอกเซลล์ ซึ่งมีผลทำให้ระดับของกลูตาไธโอนในกระแสเลือดสูงขึ้น โดยสอดคล้องกับค่า TAC (total antioxidant capacity) ที่เพิ่มขึ้นซึ่งจะเห็นได้จากตารางที่ 10 ในช่วงอายุไก่ไข่ 33 สัปดาห์ซึ่งเป็นช่วงที่ไก่ไข่ให้ผลผลิตสูงสุด ส่งผลให้มีค่า TAC (total antioxidant capacity) ในพลาสม่าสูงกว่าช่วงที่อายุ 45 สัปดาห์ที่เป็นช่วงที่ผลผลิตไข่ลดลงแสดงดังภาพที่ 5 ช่วงที่ให้ผลผลิตสูงร่างกายจะสร้างแอนติออกซิแดนซ์เพื่อลดผลกระทบจากความเครียดที่เกิดจากขบวนการเมแทบอลิซึมภายในร่างกาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตในไก่ไข่และคุณภาพไข่

1. ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน และปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1 โหล

ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งระดับต่าง ๆ ในอาหารไก่ไข่ พบว่าช่วงการทดลองที่ 1 และ 6 กลุ่มที่ใช้ใบมันสำปะหลังแห้ง 7.5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารมีปริมาณการกินอาหารมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) (ตารางที่ 12) แต่ในช่วงการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5 พบว่ากลุ่มที่ใช้ใบมันสำปะหลังมีปริมาณการกินอาหารต่อตัวต่อวันไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยอัตราการกินอาหารของไก่ไข่มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระดับของใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารสูงขึ้นตามลำดับ เนื่องจากระดับของเยื่อใยในสูตรอาหารที่มีใบมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบมีระดับเยื่อใยที่สูงขึ้น (ตารางที่ 8) ส่งผลต่อค่าการย่อยได้ของโภชนะอื่นๆ ลดลง จึงอาจส่งผลให้ไก่ไข่ต้องกินอาหารเพิ่มมากขึ้นให้ได้รับสารอาหารที่เพียงพอกับความต้องการของไก่ในการให้ผลผลิต แสดงว่าปริมาณเยื่อใยที่สูงขึ้นจากการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งไม่ใช่ข้อจำกัดต่อการกินได้ของไก่ไข่ จากตารางที่ 12 พบว่าเมื่ออายุการให้ไข่มากขึ้นจนถึงช่วงที่ 3 ของการทดลองมีการกินได้ที่สูงที่สุด โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงแรกของการทดลอง และเริ่มมีปริมาณการกินอาหารลดลงเมื่อช่วงที่ 4 เนื่องจากปริมาณการกินอาหารของไก่ไข่นั้นสอดคล้องกับปริมาณการให้ผลผลิตไข่ที่สูงขึ้น

ช่วงการทดลองที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 กลุ่มที่ใช้ใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารมีปริมาณอาหารที่ใช้ในการผลิตไข่ 1 โหลเพิ่มที่ขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่ในช่วงการทดลองที่ 6 กลุ่มที่ใช้ใบมันสำปะหลังที่ระดับ 7.5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร มีปริมาณอาหารที่ใช้ในการผลิตไข่ 1 โหลที่มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 13) และพบว่ากลุ่มที่ได้รับใบมันสำปะหลังในระดับที่สูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้การใช้ปริมาณในการผลิตไข่ 1 โหลเพิ่มมากขึ้น โดยช่วงระยะเวลาการให้ผลผลิตนั้นไม่ส่งผลต่อการใช้อาหารในการผลิตไข่ 1 โหล โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ของทุกกลุ่มการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อปริมาณการกินอาหารต่อตัวต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน)

ใบมันสำปะหลัง	ช่วงระยะเวลาการทดลอง (Period)						
(%)	1	2	3	4	5	6	P-value
0	92.60^{ก,dc}	103.71^{b}	113.89^{a}	97.93^{bc}	99.99^{bc}	89.42^{ข,d}	<.0001
2.5	98.67^{ข,b}	108.43^{a}	111.63^{a}	110.43^{a}	96.30^{b}	87.47^{ก,c}	<.0001
5	96.13$^{ขค,\ b}$	109.04^{a}	112.85^{a}	110.52^{a}	97.98^{b}	97.40$^{ก,\ b}$	<.0001
7.5	108.21$^{ก,\ a}$	107.75^{a}	113.92^{a}	105.82^{a}	97.84^{b}	99.88$^{ก\ ,b}$	0.0019
10	99.65^{ข,b}	108.83^{ab}	118.85^{a}	107.85^{b}	106.10^{bc}	96.65^{กข,c}	0.0092
P-value	<.0001	0.5273	0.4787	0.1131	0.1676	0.0104	

หมายเหตุ $^{ก,\ ข,ค}$ อักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ P<0.01)

$^{a,\ b,\ c}$ อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ตารางที่ 13 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1โหล (กก./ตัว)

กลุ่มทดลอง	ช่วงระยะเวลาการทดลอง (Period)						
(ใบมันสำปะหลัง; %)	1	2	3	4	5	6	P-value
0	1.44	1.36	1.44	1.27	1.37	1.40^{ขค}	0.0735
2.5	1.38	1.37	1.41	1.45	1.39	1.36^{ก}	0.5804
5	1.50	1.42	1.45	1.48	1.47	1.48^{กข}	0.5206
7.5	1.66	1.40	1.45	1.40	1.41	1.51^{ก}	0.0539
10	1.50	1.42	1.53	1.44	1.49	1.49^{กข}	0.1775
P-value	0.1496	0.6335	0.2118	0.0655	0.0586	0.0292	

หมายเหตุ $^{ก,\ ข,ค}$ อักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ P<0.05)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 โหลและราคาอาหาร

ผลการทดลองการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งระดับต่าง ๆ ในอาหารไก่ไข่ พบว่าต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 โหล มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 14) ซึ่งจะเห็นได้ว่าต้นทุนในการผลิตไข่ไก่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อระดับของใบมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นถึง 5 เปอร์เซ็นต์ แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับของใบมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นถึง 10 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 14) และระยะเวลาของการทดลองในแต่ละช่วงการทดลองก็ไม่ส่งผลให้ต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 โหลแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เนื่องจากกลุ่มที่เสริมด้วยใบมันสำปะหลังที่ระดับ 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ มีการกินอาหารต่อตัวต่อวันที่สูงขึ้น แต่ก็สามารถให้ผลผลิตที่สูงกว่ากลุ่มอื่น จึงส่งผลให้ต้นทุนค่าอาหารมีแนวโน้มที่ลดลง ถึงแม้ว่าราคาอาหารในแต่ละสูตรจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติก็ตาม (P<0.01) ดังตารางที่ 15 เนื่องมาจากใบมันสำปะหลังนั้นเป็นผลพลอยได้จากการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูก แต่มีปริมาณของโภชนะที่ค่อนข้างสูง จึงสามารถใช้เป็นโปรตีนเพื่อทดแทนการใช้แหล่งโปรตีนชนิดอื่นที่มีราคาแพงในสูตรอาหารได้

ตารางที่ 14 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตไข่ 1 โหล (บาท/ไข่ 1 โหล)

กลุ่มทดลอง	ช่วงระยะเวลาการทดลอง (Period)						
(ใบมันสำปะหลัง; %)	1	2	3	4	5	6	P-value
0	17.22	16.19	17.28	15.17	16.45	16.74	0.0735
2.5	16.32	16.29	16.76	17.26	16.58	16.15	0.5804
5	17.65	16.64	17.03	17.41	17.35	17.36	0.5206
7.5	19.25	16.15	16.88	16.25	16.41	17.55	0.0540
10	17.24	16.18	17.58	16.54	17.02	17.10	0.1268
P-value	0.2574	0.8842	0.6477	0.0989	0.2546	0.1710	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. อัตราการเลี้ยงรอด

ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งระดับต่าง ๆ ในอาหารไก่ไข่ พบว่ามีผลทำให้อัตราการเลี้ยงรอดของไก่ไข่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 15) โดยไม่พบการตายของไก่ทุกกลุ่มการทดลอง อาจเนื่องมาจากเป็นการเลี้ยงตามสภาวะปกติคือความหนาแน่นต่ำ ในครั้งนี้ทดลองเลี้ยงภายใต้ระบบการเลี้ยงในโรงเรือนที่มีการระบายอากาศด้วยระบบระเหยไอน้ำ ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอย่างเหมาะสม ทำให้สัตว์ทดลองอยู่ในสภาพแวดล้อมที่สุขสบาย อีกทั้งไก่ไข่ทุกกลุ่มได้รับการจัดการเลี้ยงดูที่เหมือนกัน

ตารางที่ 15 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่ออัตราการเลี้ยงรอดและราคาอาหาร

กลุ่มทดลอง (ใบมันสำปะหลัง; %)	ราคาอาหาร (บาท/กก)	อัตราการเลี้ยงรอด(%)
0	11.93[ก]	100
2.5	11.87[ข]	100
5	11.73[ค]	100
7.5	11.58[ง]	100
10	11.44[จ]	100
P-value	<.0001	-

หมายเหตุ [ก,ข,ค,ง,จ] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

4. อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนจำนวนแม่ไก่มีชีวิต (hen-day egg production) และอัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่เมื่อเริ่มการทดลอง (hen-house egg production)

ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งระดับต่าง ๆ ในอาหารไก่ไข่ พบว่าอัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิตมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแต่ประการใด (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมในทุกระยะการทดลอง (ตารางที่ 13) แต่มีแนวโน้มอัตรา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การให้ผลผลิตสูงขึ้นเมื่อระดับของใบมันสำปะหลังสูงขึ้น จากตารางที่ 13 พบว่าช่วงการทดลองที่ 2, 3 และ 4 กลุ่มที่ใช้ใบมันสำปะหลัง 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่ไก่ไข่ให้ผลผลิตสูงที่สุด และพบว่าการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งในระดับ 7.5 เปอร์เซ็นต์ของทุกช่วงการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จะเห็นได้ว่าการให้ผลผลิตของไก่ไข่ในกลุ่มที่เสริมใบมันสำปะหลัง 7.5 เปอร์เซ็นต์มีแนวโน้มของการให้ผลผลิตไข่ลดลงช้ากว่ากลุ่มควบคุม

ตารางที่ 16 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่ออัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต (hen-day egg production)

กลุ่มทดลอง	ช่วงระยะเวลาการทดลอง (Period)						
(ใบมันสำปะหลัง; %)	1	2	3	4	5	6	P-value
0	77.27^{c}	91.70^{a}	94.34^{a}	92.44^{a}	90.06^{ab}	85.49^{b}	<.0001
2.5	86.75	94.90	94.94	91.22	90.36	85.97	0.0637
5	77.49^{c}	92.22^{ab}	93.22^{a}	89.39^{ab}	89.91^{ab}	88.13^{b}	<.0001
7.5	80.32^{b}	92.78^{a}	93.75^{a}	90.47^{a}	91.03^{a}	88.24^{a}	0.0119
10	80.24^{c}	92.33^{a}	92.78^{a}	89.58^{a}	90.77^{ab}	86.64^{b}	<.0001
P-value	0.3724	0.4805	0.5752	0.4217	0.9302	0.6368	

หมายเหตุ $^{a, b, c}$ อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

การที่แม่ไก่ไข่มีอัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่เริ่มการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับอัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนจำนวนแม่ไก่ มีชีวิต เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้ ไม่มีการตายของไก่ไข่เกิดขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเสริมใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ที่ระดับสูงขึ้นไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของไก่ไข่ นอกจากนี้ยังส่งผลในการช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่ได้ เนื่องจากในใบมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีระดับโปรตีนสูง เยื่อใยค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับใบมันสำปะหลังทั่วไป และสามารถนำมาใช้ทดแทนแหล่งของโปรตีนในสูตรอาหารได้ โดยไม่ส่งผลทางด้านลบแก่ตัวสัตว์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

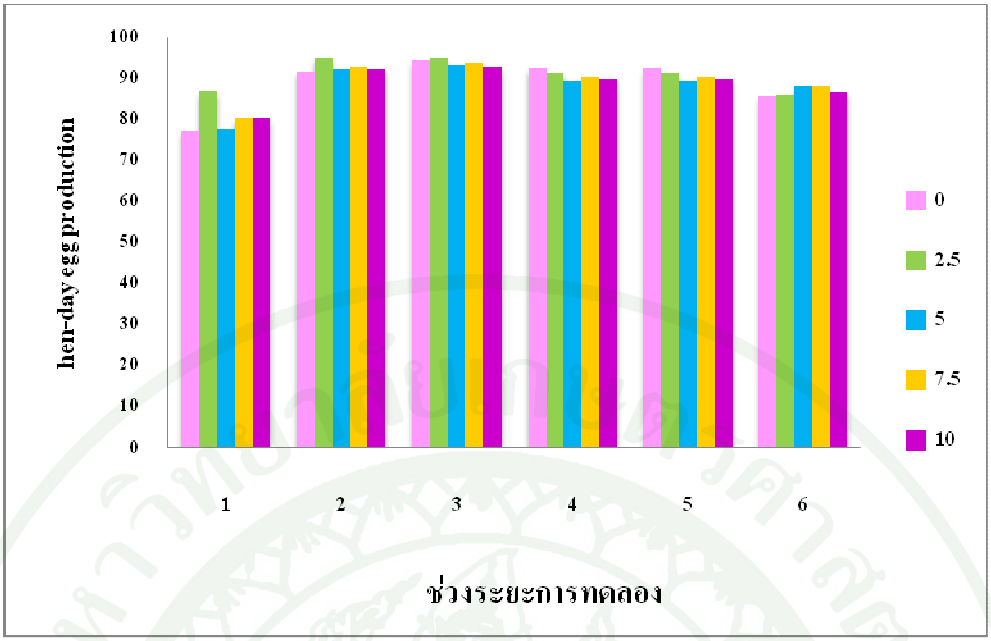
ส่วนระดับกรดไฮโดรไซยานิคในใบมันสำปะหลังแห้งป่นก็อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อตัวสัตว์แต่ประการใด (สาโรจน์ และ เยาวมาลย์, 2531) แต่ระดับกรดไฮโดรไซยานิคในระดับต่ำในอาหารดังกล่าวกลับมีผลไปกระตุ้นทำให้มีกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในร่างกายให้สูงมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกรดไฮโดรไซยานิคในอาหารเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสารไธโอไซยาเนตโดยเอนไซม์โรดานีสที่มีอยู่ตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ ในร่างกาย สารไธโอไซยาเนตจะมีผลไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์กลูตาไทออนเปอร์ออกซิเดส ซึ่งนอกจากจะช่วยในการสร้างเสริมภูมิต้านทานโรคของสัตว์แล้วยังจัดได้ว่าเป็นสารต่อต้านการเกิดออกซิเดชันหรือเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) ช่วยกำจัดอนุมูลอิสระในร่างกาย รวมทั้งเป็นสารช่วยแก้ผลกระทบจากความเครียดในร่างกายด้วย (Jiyang *et al*, 2003) จึงมีผลทำให้ไก่ไข่ที่กินอาหารใบมันสำปะหลังมีการสังเคราะห์โปรตีนสูงขึ้นและทำให้เปอร์เซ็นต์การให้ผลผลิตไข่มีแนวโน้มสูงกว่าไก่ไข่ที่กินอาหารสูตรควบคุมดังจะเห็นได้จากภาพที่ 6 การใช้ใบมันสำปะหลังระดับ 2.5 เปอร์เซ็นต์น่าจะให้ผลได้ดีในช่วงแรกของการทดลอง แต่พอไก่มีอายุมากขึ้นหรือในไก่นั้น (ช่วงระยะเวลาที่ 6) จะเห็นได้ว่าการเสริมใบมันสำปะหลังมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตดีกว่ากลุ่มควบคุม

ตารางที่ 17 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่ออัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่เมื่อเริ่มกทดลอง (hen-house egg production)

กลุ่มทดลอง (ใบมันสำปะหลัง; %)	ช่วงระยะเวลาการทดลอง (Period)						
	1	2	3	4	5	6	P-value
0	77.27^{c}	91.70^{a}	94.34^{a}	92.44^{a}	90.06^{ab}	85.49^{b}	<.0001
2.5	86.75	94.90	94.94	91.22	90.36	85.97	0.0637
5	77.49^{c}	92.22^{ab}	93.22^{a}	89.39^{ab}	89.91^{ab}	88.13^{b}	<.0001
7.5	80.32^{b}	92.78^{a}	93.75^{a}	90.47^{a}	91.03^{a}	88.24^{a}	0.0119
10	80.24^{c}	92.33^{a}	92.78^{a}	89.58^{a}	90.77^{ab}	86.64^{b}	<.0001
P-value	0.3724	0.4805	0.5752	0.4217	0.9302	0.6368	

หมายเหตุ $^{a, b, c}$ อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต (hen-day egg production) ในแต่ละช่วงระยะการทดลอง

ผลการเสริมใบมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพไข่

1. น้ำหนักไข่เฉลี่ยและมวลไข่

ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งระดับ 2.5, 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่ไข่ พบว่ามีผลทำให้น้ำหนักไข่เฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ในทุกระยะการทดลอง แต่หากพิจารณาผลของระยะเวลาการให้ไข่ของแม่ไก่ไข่ต่อน้ำหนักไข่เฉลี่ย พบว่า ไก่ไข่ที่กินอาหารทดลองสูตรต่างๆ มีน้ำหนักไข่เฉลี่ยที่มีอายุการไข่ต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสิติ ($P<0.05$) ยกเว้นแม่ไก่ไข่ที่กินสูตรอาหารมีใบมันสำปะหลัง 0% และ 2.5% (ตารางที่ 18) โดยรวมน้ำหนักไข่เฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออายุของไก่เพิ่มมากขึ้น โดยส่งผลให้น้ำหนักไข่ของไก่ไข่ที่ได้รับใบมันสำปะหลัง 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงระยะเวลาแรกของการทดลอง โดยช่วงระยะเวลาการทดลองที่ 5 และ 6 มีน้ำหนักไข่ที่สูงที่สุด ทั้งนี้น้ำหนักไข่เฉลี่ยมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระดับของใบมันสำปะหลังแห้งสูงขึ้น เป็นผลมาจากไก่ไข่ได้รับปริมาณโภชนะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่สูงขึ้น จากปริมาณการกินอาหารต่อตัวต่อวันที่สูงขึ้น (ตารางที่ 12) ส่งผลให้มีน้ำหนักไข่เฉลี่ยสูงขึ้น

ตารางที่ 18 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อน้ำหนักไข่เฉลี่ย (กรัม/ฟอง)

กลุ่มทดลอง	ช่วงระยะเวลาการทดลอง (Period)						
(ใบมันสำปะหลัง; %)	1	2	3	4	5	6	P-value
0	58.25	62.04	63.67	64.27	65.18	59.74	0.1339
2.5	58.38	61.44	63.49	63.85	64.34	58.87	0.0674
5	59.53^{c}	62.83^{bc}	63.93^{bc}	65.57^{b}	70.42^{a}	66.85^{ab}	0.0023
7.5	58.35^{c}	61.51^{b}	62.73^{b}	64.71^{a}	65.63^{a}	65.58^{a}	<.0001
10	57.61^{c}	61.25^{b}	62.31^{b}	64.41^{a}	65.04^{a}	64.29^{a}	<.0001
P-value	0.3112	0.4340	0.4997	0.3229	0.1503	0.1530	

หมายเหตุ $^{a, b, c}$ อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ตารางที่ 19 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อมวลไข่เฉลี่ย

กลุ่มทดลอง	ช่วงระยะเวลาการทดลอง (Period)						
(ใบมันสำปะหลัง; %)	1	2	3	4	5	6	P-value
0	45.00^{c}	56.89^{a}	60.07^{a}	59.41^{a}	58.68^{a}	50.96^{b}	<.0001
2.5	50.57^{b}	58.28^{a}	60.27^{a}	58.23^{a}	58.12^{a}	50.82^{b}	0.0118
5	46.12^{b}	57.94^{a}	59.60^{a}	58.62^{a}	63.36^{a}	58.92^{a}	<.0001
7.5	46.92^{b}	57.08^{a}	58.82^{a}	58.54^{a}	59.74^{a}	57.88^{a}	0.0002
10	46.19^{c}	56.55^{ab}	57.83^{ab}	57.71^{ab}	59.04^{a}	55.71^{b}	<.0001
P-value	0.4055	0.6217	0.4318	0.7309	0.2537	0.1041	

หมายเหตุ $^{a, b, c}$ อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทางด้านมวลไข่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เมื่อไก่ไข่มีอายุเพิ่มมากขึ้นและให้ผลผลิตไข่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มวลไข่เฉลี่ยมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) โดยพบว่าช่วงระยะเวลาที่ 3 มีมวลไข่เฉลี่ยสูงที่สุด (ตารางที่ 19) เนื่องจากไก่ไข่มีอัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิตสูงกว่าช่วงระยะแรกของการทดลอง ส่งผลให้มวลไข่เฉลี่ยสูงขึ้น ซึ่งมวลไข่นั้นเป็นค่าที่ได้จากผลคูณของน้ำหนักเฉลี่ยและอัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต (North and Bell,1990)

2. ความหนาเปลือกไข่และความถ่วงจำเพาะ

ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งระดับต่าง ๆ ในอาหารไก่ไข่ต่อความหนาเปลือกไข่ในแต่ละช่วงระยะเวลาการทดลองที่ 1, 2, 3, 4 และ 6 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 20) ยกเว้นช่วงการทดลองที่ 5 ที่การใช้ใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารมีความหนาเปลือกไข่มากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยช่วงระยะเวลาของการทดลองมีผลต่อความหนาเปลือกไข่ของทุกกลุ่มการทดลอง โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) จากตารางที่ 20 จะเห็นได้ว่าความหนาเปลือกไข่ในช่วงแรกของการทดลองมีค่ามากกว่าช่วงการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ของการทดลอง เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงอายุไก่ที่ให้ผลผลิตสูงกว่าช่วงแรกและช่วงท้ายของการทดลอง ดังภาพที่ 6 ซึ่งความหนาของเปลือกไข่ที่มากแสดงถึงความแข็งแรงของฟองไข่ โดยเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเคลื่อนย้ายไข่และลดเปอร์เซ็นต์การแตกของไข่ไก่ลงได้ ทั้งนี้ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความหนาของเปลือกไข่ คือ พันธุกรรม โภชนะ ช่วงเวลาการให้ไข่ การผลัดขน และสภาพแวดล้อมในโรงเรือน (Tullett, 1987) นอกจากนี้มีการรายงานว่า ไก่ไข่ที่มีอายุมากจะมีความสามารถในการสร้างเปลือกไข่ได้ลดลง เนื่องจากมีปัญหาเรื่องการดูดซึมแคลเซียม ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเปลือกไข่ คือ แคลเซียมคาร์บอเนต (Chowdhury and Smith, 2001)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 20 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อความหนาเปลือกไข่ (มิลลิเมตร)

กลุ่มทดลอง	ช่วงระยะเวลาการทดลอง (Period)						
(ใบมันสำปะหลัง; %)	1	2	3	4	5	6	P-value
0	0.42^{a}	0.36^{d}	0.36^{d}	0.38^{b}	0.36^{ข,cd}	0.37^{bc}	<.0001
2.5	0.42^{a}	0.35^{c}	0.35^{c}	0.38^{b}	0.36$^{ข, c}$	0.36^{c}	<.0001
5	0.43^{x}	0.38^{y}	0.36^{y}	0.38^{y}	0.37$^{กข, y}$	0.36^{y}	0.0379
7.5	0.43^{a}	0.36^{de}	0.34^{e}	0.39^{b}	0.37$^{กข ,bc}$	0.37^{cd}	<.0001
10	0.42^{a}	0.35^{c}	0.35^{c}	0.39^{ab}	0.38$^{ก, bc}$	0.36^{c}	0.0008
P-value	0.6343	0.6463	0.0822	0.7470	0.0407	0.1711	

หมายเหตุ $^{ก, ข, ก}$ อักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ P<0.05)

$^{a, b, c}$ อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

$^{x, y}$ อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ด้านความถ่วงจำเพาะของไข่ไก่นั้น ไก่ไข่ที่ได้รับใบมันสำปะหลังแห้ง 2.5, 5 และ 7.5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารและกลุ่มควบคุม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยพบว่าช่วงการทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีค่าความถ่วงจำเพาะที่สูงกว่าช่วงแรกและช่วงท้ายของการทดลองเช่นกันความหนาเปลือกไข่ (ตารางที่ 21) โดยความหนาของเปลือกไข่มีความสัมพันธ์กับค่าความถ่วงจำเพาะของไข่โดยตรง ถ้าเปลือกไข่มีความแข็งแรงจะส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าสูงเช่นกัน เมื่อความหนาไม่แตกต่าง ค่าความถ่วงจำเพาะก็ไม่แตกต่างเช่นกัน แต่จากตารางที่ 21 พบว่าระดับของใบมันสำปะหลังแห้ง 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารแสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาไม่ส่งผลกระทบต่อความหนาเปลือกไข่โดยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 21 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อค่าความถ่วงจำเพาะ

กลุ่มทดลอง	ช่วงระยะเวลาการทดลอง (Period)						
(ใบมันสำปะหลัง; %)	1	2	3	4	5	6	P-value
0	1.081^{b}	1.093^{a}	1.092^{a}	1.090^{a}	1.089^{a}	1.091^{a}	0.0034
2.5	1.094^{x}	1.093^{x}	1.093^{x}	1.094^{x}	1.085^{y}	1.089^{xy}	0.0368
5	1.089^{x}	1.096^{x}	1.096^{x}	1.091^{x}	1.075^{y}	1.091^{x}	0.0288
7.5	1.098^{x}	1.093^{xy}	1.092^{xy}	1.091^{xyz}	1.084^{z}	1.090^{yz}	0.0235
10	1.089	1.093	1.092	1.091	1.084	1.091	0.2492
P-value	0.0780	0.3774	0.3774	0.4011	0.3707	0.6164	

หมายเหตุ $^{a, b, c}$ อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)
^{x,y,z} อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

3. สีไข่แดง

ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งระดับต่าง ๆ ในอาหารไก่ไข่ มีผลทำให้คะแนนสีไข่แดงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 22) ของทุกช่วงการทดลอง โดยการใช้ใบมันสำปะหลังในระดับสูงขึ้นมีผลทำให้คะแนนสีไข่แดงมีระดับสูงขึ้นตามลำดับ ไก่ไข่ที่กินอาหารซึ่งเสริมใบมันสำปะหลังระดับ 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ให้คะแนนสีของไข่แดงแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีคะแนนสีไข่แดงมากกว่าระดับ 2.5 เปอร์เซ็นต์และสูตรที่ไม่ได้ใช้ใบมันสำปะหลัง เนื่องมาจากปริมาณแซนโทฟิลล์ในสูตรอาหารสูงขึ้น และประกอบมาจากการกินอาหารต่อตัวต่อวันที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ไก่ไข่ได้รับปริมาณโภชนะและแซนโทฟิลล์ที่สูงขึ้น ซึ่งช่วงระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้นหรืออายุไก่ที่ได้รับใบมันสำปะหลังเพิ่มมากขึ้นมีผลให้คะแนนสีไข่แดงสูงกว่าช่วงแรกของการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) โดยสอดคล้องกับ Santos *et al.,* (2004) รายงานว่าการเสริมสารสกัดจากดอกดาวเรืองที่มีปริมาณแซนโทฟิลล์รวมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สีของไข่แดงเพิ่มขึ้นตามปริมาณแซนโทฟิลล์ที่เพิ่มขึ้นในอาหาร ซึ่งสารแซนโทฟิลล์มีอิทธิพลต่อการเกิดสีของไข่แดงคือ สารแซนโทฟิลล์ที่ภายในโมเลกุลจะมีออกซิเจน (oxygen) ไฮดรอกซิล (hydroxyl) คีโต (keto) และหมู่เอสเทอร์ (ester group) ทำหน้าที่เป็นหมู่ฟังชั่นนอล (functional group) ที่ทำให้เกิดสีในไข่แดง ซึ่งการสะสมสารแซนโทฟิลล์ในไข่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แดงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วตามปริมาณแซนโทฟิลล์ในอาหาร หลังจากที่ไก่ได้รับสารแซนโทฟิลล์จากอาหารเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์จะเป็นระยะเวลาที่ทำให้สารแซนโทฟิลล์เกิดการตอบสนองและเกิดความคงตัวของสารสีในไข่แดง (Belyavin and Marangos, 1980)

ตารางที่ 22 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อคะแนนสีไข่แดง

กลุ่มทดลอง	ช่วงระยะเวลาการทดลอง (Period)						
(ใบมันสำปะหลัง; %)	1	2	3	4	5	6	P-value
0	8.06^{ข,c}	8.60^{ก,b}	9.17^{ก,a}	8.86^{ก,ab}	9.14^{ก,a}	9.14^{ง,a}	0.0006
2.5	8.70^{ก,b}	9.68^{ข,a}	9.81^{ข,a}	9.58^{ข,a}	9.87^{ข,a}	9.62^{ก,a}	<.0001
5	8.79^{ก,c}	10.06^{กข,ab}	10.41^{ก,a}	9.85^{กข,b}	10.12^{กข,ab}	9.72^{ขค,b}	<.0001
7.5	9.06^{ก,c}	10.00^{กข,b}	10.56^{ก,a}	10.02^{ก,b}	10.47$^{ก b}$	9.85^{ข,a}	<.0001
10	9.12^{กข,c}	10.12^{ก,b}	10.56^{ก,a}	10.21^{ก,b}	10.20^{กข,b}	10.16^{ก,b}	<.0001
P-value	0.0004	<.0001	0.0001	<.0001	<.0001	<.0001	

หมายเหตุ $^{ก, ข, ค}$ อักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ P<0.01)

$^{a, b, c}$ อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

4. ความสูงไข่ขาวและค่าฮอฟยูนิต (Haugh unit)

ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งระดับต่าง ๆ ในอาหารไก่ไข่ มีผลทำให้ค่าความสูงของไข่ขาวแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 23) โดยความสูงไข่ขาวมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อไก่ไข่ได้รับใบมันสำปะหลังสูงขึ้น แต่เมื่อไก่ไข่มีอายุไข่มากขึ้นส่งผลให้ค่าความสูงไข่ขาวมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) ในทุกระดับการใช้ใบมันสำปะหลัง ยกเว้นระดับ 7.5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 23 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อความสูงไข่ขาว (มิลลิเมตร)

กลุ่มทดลอง	ช่วงระยะเวลาการทดลอง (Period)						
(ใบมันสำปะหลัง; %)	1	2	3	4	5	6	P-value
0	9.46[a]	9.31[a]	8.69[ab]	8.93[a]	9.06[a]	8.07[b]	0.0174
2.5	9.85	9.44	9.25	9.31	9.21	8.61	0.4893
5	10.84[a]	9.29[bc]	8.99[bc]	9.34[bc]	9.67[b]	8.95[c]	<.0001
7.5	11.62	10.56	9.31	9.20	9.62	8.72	0.0887
10	10.54[a]	10.22[a]	9.37[b]	9.48[b]	9.14[b]	8.44[c]	<.0001
P-value	0.0912	0.3986	0.5396	0.5474	0.3388	0.0680	

หมายเหตุ [a, b, c] อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ช่วงแรกของการทดลองไก่ไข่ที่มีได้รับใบมันสำปะหลัง 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ให้ค่าฮอฟยูนิตสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01) แต่เมื่ออายุไข่มากขึ้นส่งผลให้มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควมคุม (ตารางที่ 24) โดยค่าฮอฟยูนิตที่ขึ้นตามระดับของใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารที่สูงขึ้น โดยแปรผันตรงกับค่าความสูงไข่ขาว ซึ่งค่าฮอฟยูนิตเป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพไข่ไก่ และความสดของไข่ไก่ ทั้งนี้ค่าที่ได้มาจากการเทียบค่าระหว่างน้ำหนักไข่และความสูงไข่ขาว จากผลการทดลองในตารางที่ 23 แสดงให้เห็นว่า การเสริมใบมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ส่งผลให้ค่าความสูงไข่ขาวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ค่าฮอฟยูนิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าฮอฟยูนิตมีความแตกต่างกันเนื่องมาจากน้ำหนักไข่ไก่และความสูงของไข่ขาว จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมใบมันสำปะหลังแห้ง มีการกินได้ต่อตัวต่อวันสูงจึงทำให้ไก่ไข่ได้รับระดับโภชนะในแต่ละวันสูงกว่ากลุ่มควบคุม และทำให้มีคุณภาพไข่ขาวดีกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) เนื่องจากปริมาณโภชนะที่ไก่ได้รับสูงขึ้นส่งผลให้มีการเพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนในระดับที่เพียงพอต่อการให้ผลิตไข่ ซึ่งระดับของโปรตีนที่ไก่ไข่ได้รับจากอาหารจะส่งผลโดยตรงต่อการสร้างโปรตีนในไข่ขาวภายในฟองไข่ (Tan *et al.*, 1988) และใบมันสำปะหลังจะมีผลต่อการลดผลกระทบจากความเครียดมากกว่ากลุ่มควบคุม ทำให้ความเครียดลดลงและทำให้ค่าฮอฟยูนิตสูงขึ้น โดยระดับของสารต้านอนุมูลอิสระในใบมันสำปะหลังนั้นทำให้ไข่ขาวสูงขึ้น และเมื่อไก่ไข่ได้รับโปรตีนที่เพียงพอต่อการให้ผลผลิต แสดงให้เห็นว่าไก่ไข่มีสามารถในการนำโปรตีนที่ได้รับจาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาหารไปใช้ในการสังเคราะห์เป็นโปรตีนในไข่ขาวได้ดี จึงส่งผลให้ไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับการเสริมใบมันสำปะหลังมีการสร้างโปรตีนไข่ขาวได้เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 23) นอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากการที่สัตว์มีความเครียดน้อยลงเห็นได้จากค่า TAC ในพลาสม่าของไก่ไข่ ที่เพิ่มมากขึ้นจากการได้รับใบมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 10) แสดงให้เห็นว่าไก่ไข่ได้รับสารต่อต้านอนุมูลอิสระจากอาหารมากขึ้น ทำให้ไก่ไข่ได้รับผลกระทบจากความเครียดลดลงกว่ากลุ่มควมคุม ทำให้มีการสังเคราะห์โปรตีนเพิ่มมากขึ้น และมีไข่ขาวข้นขึ้น

ตารางที่ 24 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งต่อค่าฮอฟ์ยูนิต

กลุ่มทดลอง	ช่วงระยะเวลาการทดลอง (Period)						
(ใบมันสำปะหลัง; %)	1	2	3	4	5	6	P-value
0	95.79^{ก,a}	95.43^{a}	92.50^{a}	92.77^{a}	93.35^{a}	87.96^{b}	0.0024
2.5	97.72^{ขค}	96.12	95.53	95.20	94.21	90.81	0.0998
5	102.03^{ก,a}	95.25^{ab}	93.21^{ab}	95.03^{ab}	96.13^{b}	92.22^{c}	0.0002
7.5	102.42^{ก,a}	97.95^{ab}	95.52^{bc}	93.77^{bc}	95.79^{bc}	90.91^{c}	0.0045
10	101.0^{กข,a}	99.40^{ab}	96.14^{bc}	95.70^{bc}	94.27^{c}	89.58^{d}	<.0001
P-value	0.0055	0.2849	0.5335	0.4839	0.5493	0.1174	

หมายเหตุ $^{ก, ข, ค}$ อักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ P<0.01)

$^{a, b, c}$ อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลการเสริมใบมันสำปะหลังแห้งในอาหารไก่ไข่ ต่อคุณภาพของไข่เก็บรักษา

1. การสูญเสียน้ำหนักไข่

ผลการเสริมใบมันสำปะหลังระดับต่าง ๆ ในอาหารไก่ไข่ไม่ส่งผลต่อการสูญเสียน้ำหนักไข่และเก็บรักษาแต่อย่างใด โดยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) (ตารางที่ 25) แต่ไก่ไข่อายุ 44 สัปดาห์ในระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 7 วัน กลุ่มที่เสริมใบมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารมีการสูญเสียน้ำหนักไข่มากกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ทางด้านระยะเวลาการเก็บรักษาที่มากขึ้นส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำหนักไข่ที่เพิ่มมากขึ้น จากตารางที่ 25 เมื่อไก่ไข่มีอายุที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อการสูญเสียน้ำหนักไข่ที่เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P>0.01) อาจเนื่องมาจากน้ำหนักไข่สูงขึ้น และสอดคล้องกับความหนาเปลือกไข่ที่ลดลงเมื่อไก่อายุมากขึ้น (ตารางที่ 20) จึงส่งผลต่อการสูญเสียน้ำในฟองไข่ ทั้งนี้เนื่องจากการเสื่อมสลายของโปรตีนโอโวมิวซิน (ovomucin) ซึ่งเป็นไกลโคโปรตีนที่ทำให้ไข่ขาวมีลักษณะคล้ายวุ้น ข้น และนูน (Austic, 1977) รวมไปถึงการสูญเสียน้ำในไข่ขาว ซึ่ง Rose (1997) ได้รายงานว่าโดยปกติไข่ขาวมีน้ำเป็นองค์ประกอบถึง 74 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บไข่ไว้เป็นระยะเวลานานมีผลทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้น สำหรับการสูญเสียน้ำในไข่ขาวเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะ คือการสูญเสียน้ำโดยผ่านออกทางรูที่เปลือกไข่ และการซึมของน้ำผ่านเข้าไปในไข่แดง เป็นผลให้น้ำหนักของไข่เก็บรักษาลดลง สอดคล้องกับผลการทดลองในครั้งนี้ที่พบว่าเมื่อเก็บรักษาไข่นานขึ้นน้ำหนักไข่สูญเสียก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วยดังภาพที่ 7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

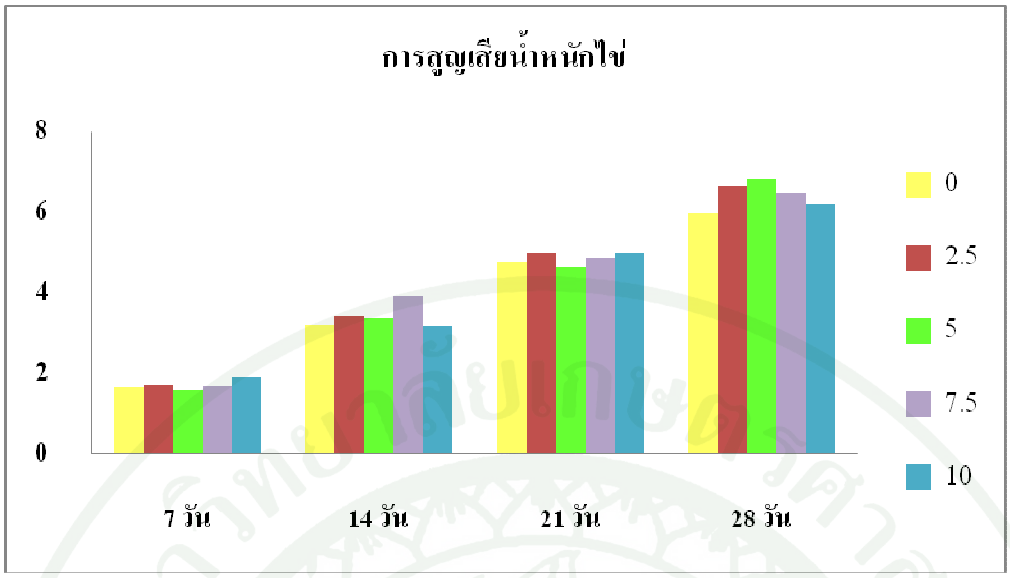
ตารางที่ 25 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อการสูญเสียน้ำหนักไข่ (เปอร์เซ็นต์) ในระยะเวลาการเก็บรักษาต่างที่กัน

ระยะเวลา	กลุ่มทดลอง	24 สัปดาห์	32 สัปดาห์	44 สัปดาห์	P-value
7 วัน	0	1.61^{ab}	1.44^{b}	1.88^{ข,a}	0.0678
	2.5	1.58^{b}	1.51^{b}	2.02^{ข,a}	0.0003
	5	1.44^{b}	1.45^{b}	1.89^{ข,a}	0.0007
	7.5	1.50^{b}	1.44^{b}	2.06^{ข,a}	0.0003
	10	1.53^{b}	1.52^{b}	2.70^{ก,a}	0.0014
	P-value	0.5506	0.6508	0.0141	
14 วัน	0	2.85^{b}	3.01^{b}	3.73^{a}	0.0446
	2.5	2.79^{b}	3.13^{b}	4.34^{a}	0.0005
	5	2.85^{b}	2.82^{b}	4.45^{a}	0.0005
	7.5	3.79	2.99	4.98	0.2743
	10	2.98^{b}	3.05^{b}	3.48^{a}	0.0431
	P-value	0.3686	0.8345	0.3550	
21 วัน	0	4.36	4.63	5.24	0.0715
	2.5	4.73	4.73	5.43	0.2078
	5	4.46^{b}	4.15^{b}	5.26^{a}	0.0003
	7.5	4.54^{b}	4.38^{b}	5.69^{a}	0.0089
	10	4.65^{b}	4.41^{b}	5.90^{a}	0.0002
	P-value	0.6928	0.1544	0.4372	
28 วัน	0	5.37^{b}	5.61^{b}	6.95^{a}	<.0001
	2.5	5.95	6.41	7.55	0.0720
	5	6.00	6.62	7.86	0.2520
	7.5	5.21^{b}	5.85^{b}	8.39^{a}	0.0029
	10	5.44^{b}	5.98^{b}	7.17^{a}	0.0162
	P-value	0.1886	0.5959	0.4861	

หมายเหตุ ^{ก,ข} อักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ P<0.05)

^{a,b} อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 7 แสดงการสูญเสียน้ำหนักไข่ (เปอร์เซ็นต์) ในระยะเวลาการเก็บรักษาต่างที่กัน

2. ค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาเปลือกไข่

ผลการเสริมใบมันสำปะหลังระดับต่าง ๆ ในอาหารไก่ไข่ พบว่ามีผลทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะในแต่ระยะเวลาของเก็บรักษา 7, 14, 21 และ 28 วัน มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 26) ทางด้านอายุไก่ไข่ที่มากขึ้นและอายุการเก็บรักษาที่ 7 และ 28 วัน โดยกลุ่มที่ได้รับใบมันสำปะหลัง 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร ค่าความถ่วงจำเพาะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งการเก็บรักษาไข่ไว้นานขึ้นมีผลทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของไข่ไก่ลดลงตามระยะเวลาเก็บรักษาที่นานขึ้น ทั้งนี้ Austic (1977) พบว่า อุณหภูมิ ความชื้น และระยะเวลาในการเก็บรักษาไข่มีผลให้เกิดการสูญเสียน้ำในฟองไข่ การเก็บไข่ไว้นานจึงมีผลทำให้เกิดการสูญเสียน้ำผ่านออกทางรูที่เปลือกไข่มากขึ้น ทำให้ช่องอากาศในฟองไข่ขยายใหญ่มากขึ้น ความถ่วงจำเพาะของไข่เก็บรักษาจึงมีค่าลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 26 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อค่าความถ่วงจำเพาะในระยะเวลาการเก็บรักษาแตกต่างกัน

ระยะเวลา	กลุ่มทดลอง	24 สัปดาห์	32 สัปดาห์	44 สัปดาห์	P-value
7 วัน	0	1.122	1.076	1.074	0.3988
	2.5	1.118	1.071	1.067	0.3285
	5	1.078^{x}	1.076^{xy}	1.071^{y}	0.0290
	7.5	1.080^{a}	1.075^{b}	1.068^{b}	0.0004
	10	1.077^{x}	1.073^{x}	1.069^{y}	0.0300
	P-value	0.6417	0.3825	0.1065	
14 วัน	0	1.062^{b}	1.064^{a}	1.060^{c}	0.0031
	2.5	1.063	1.061	1.060	0.2317
	5	1.063	1.063	1.060	0.1100
	7.5	1.058	1.059	1.060	0.9489
	10	1.062	1.062	1.060	0.3066
	P-value	0.5448	0.3510	0.5732	
21 วัน	0	1.060	1.060	1.056	0.4053
	2.5	1.060	1.061	1.060	0.5721
	5	1.060	1.060	1.060	0.6224
	7.5	1.060	1.060	1.059	0.6483
	10	1.060	1.060	1.060	0.6224
	P-value	0.5732	0.5732	0.4380	
28 วัน	0	1.060	1.060	1.051	0.1078
	2.5	1.056	1.056	1.045	0.3378
	5	1.056	1.060	1.032	0.0597
	7.5	1.056^{a}	1.060^{a}	1.037^{b}	0.0021
	10	1.060^{x}	1.056^{x}	1.041^{y}	0.0442
	P-value	0.7362	0.5732	0.5562	

หมายเหตุ $^{x, y}$ อักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ P<0.05)

$^{a, b, c}$ อักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไก่ไข่ที่มีอายุมากมีค่าความถ่วงจำเพาะสอดคล้องกับความหนาเปลือกไข่ โดยที่ระยะเวลาเก็บรักษาที่ 7 และ 14 วัน ส่งผลให้เปลือกไข่มีความหนาลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) (ตารางที่ 27) จะเห็นได้ชัดจากระยะเวลาเก็บรักษาที่ 21 วันกลุ่มที่ได้รับใบมันสำปะหลังแห้ง 10 เปอร์เซ็นต์ อายุของไก่ไข่มีผลต่อการลดลงของความหนาเปลือกไข่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) และไก่ไข่ที่อายุ 24 สัปดาห์ที่ระยะเวลาการเก็บ 28 วัน กลุ่มที่ได้รับใบมันสำปะหลังแห้งมีค่าความหนาเปลือกไข่มากกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$)

3. ความสูงไข่ขาวและค่าฮอฟ์ยูนิต

โดยปกติการเก็บไข่ไว้เป็นระยะเวลานานมีผลทำให้ความสูงไข่ขาวลดลง ซึ่งจากการทดลองนี้ค่าความสูงไข่ขาวของแต่ละกลุ่มทดลองที่อายุ 44 สัปดาห์ในช่วง 7 วันแรกของการเก็บรักษาไข่ไก่มีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.0292$) โดยกลุ่มที่เสริมใบมันสำปะหลังแห้งที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร (ตารางที่ 28) ทำให้ความสูงไข่ขาวสูงที่สุด ส่วนที่ระดับอื่นแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาไข่นานขึ้น ความสูงไข่ขาวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และความสูงไข่ขาวมีค่าลดลงเมื่ออายุของไก่เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) และพบว่ากลุ่มที่ใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารมีความสูงไข่ขาวกว่ากลุ่มควบคุมในทุกระยะการเก็บรักษา (ตารางที่ 28) โดยความสูงไข่ขาวเป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพไข่ และความสดของไข่ ไข่ไก่สดมีโปรตีนโอโวมิวซิน (ovomucin) ในปริมาณสูง ทำให้ไข่ขาวข้น นูน ซึ่งในใบมันสำปะหลังมีสารประกอบฟีนอลลิกในกลุ่มของ ฟลาโลนอยด์ กรดฟีนอลลิก และแทนนิน จะป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นโดยทำหน้าที่เป็นตัวให้ไฮโดรเจน อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาจะถูกทำให้เป็นสารที่มีความเสถียรส่งผลให้ลดการทำลายโปรตีน (โอภา และคณะ, 2550) ทำให้คุณภาพของไข่ขาวและค่าฮอฟ์ยูนิตของไข่เก็บรักษาคงสภาพได้นานขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 27 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อความหนาเปลือกไข่ (มิลลิเมตร) ในระยะเวลาการเก็บรักษาต่างที่กัน

ระยะเวลาเก็บ	กลุ่มทดลอง	24 สัปดาห์	32 สัปดาห์	44 สัปดาห์	P-value
7 วัน	0	0.41 [a]	0.33 [b]	0.35 [b]	<.0001
	2.5	0.40 [a]	0.33 [b]	0.36 [b]	0.0001
	5	0.41 [a]	0.34 [b]	0.36 [b]	0.0016
	7.5	0.42 [a]	0.34 [b]	0.37 [b]	0.0001
	10	0.41 [a]	0.32 [c]	0.37 [b]	<.0001
	P-value	0.7176	0.1131	0.5600	
14 วัน	0	0.40 [a]	0.33 [c]	0.35 [b]	<.0001
	2.5	0.41 [a]	0.33 [b]	0.35 [b]	<.0001
	5	0.40 [a]	0.33 [b]	0.35 [b]	<.0001
	7.5	0.41 [a]	0.32 [b]	0.34 [b]	<.0001
	10	0.39 [a]	0.32 [b]	0.35 [b]	0.0006
	P-value	0.6398	0.7725	0.8621	
21 วัน	0	0.35	0.33	0.35	0.1850
	2.5	0.35	0.33	0.36	0.0699
	5	0.34	0.34	0.36	0.2840
	7.5	0.35	0.33	0.35	0.1920
	10	0.35 [a]	0.33 [b]	0.36 [a]	0.0095
	P-value	0.6461	0.8188	0.9079	
28 วัน	0	0.33 [ก]	0.32	0.34	0.0997
	2.5	0.34 [ขค]	0.33	0.36	0.0574
	5	0.35 [กข]	0.33	0.34	0.4135
	7.5	0.35 [ก,a]	0.33 [b]	0.34 [ab]	0.0012
	10	0.34 [ขค]	0.33	0.34	0.4406
	P-value	0.0131	0.4240	0.6101	

หมายเหตุ [ก, ข,ค] อักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

[a, b, c] อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 28 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อความสูงไข่ขาว (มิลลิเมตร) ในระยะเวลาการเก็บรักษาต่างที่กัน

ระยะเวลา	กลุ่มทดลอง	24 สัปดาห์	32 สัปดาห์	44 สัปดาห์	P-value
7 วัน	0	4.00^{xy}	5.30^{x}	3.65^{ฃ,y}	0.0133
	2.5	4.31	5.27	3.93^{ฃ}	0.2910
	5	4.65^{x}	4.92^{x}	3.48^{ฃ,y}	0.0144
	7.5	4.59^{b}	5.27^{a}	3.96^{ฃ,b}	0.0047
	10	4.88	4.72	5.40^{ก}	0.7570
	P-value	0.3923	0.5459	0.0292	
14 วัน	0	3.79^{a}	4.26^{a}	3.06^{b}	0.0084
	2.5	3.00^{b}	4.20^{a}	2.79^{b}	0.0080
	5	3.25^{xy}	4.22^{x}	2.52^{y}	0.0192
	7.5	3.34^{b}	4.23^{a}	2.70^{b}	0.0026
	10	3.54	3.76	3.10	0.2927
	P-value	0.2937	0.7955	0.2733	
21 วัน	0	2.40^{a}	2.97^{a}	1.48^{b}	0.0014
	2.5	2.83^{a}	3.21^{a}	1.50^{b}	0.0002
	5	3.11^{a}	3.10^{a}	1.56^{b}	<.0001
	7.5	2.79^{b}	3.62^{a}	1.59^{c}	<.0001
	10	3.03^{a}	3.33^{a}	1.83^{b}	0.0054
	P-value	0.0895	0.3385	0.6041	
28 วัน	0	2.51^{a}	3.24^{a}	1.36^{b}	0.0017
	2.5	1.88^{b}	2.79^{a}	1.44^{b}	0.0020
	5	2.23^{b}	2.69^{a}	1.29^{c}	<.0001
	7.5	2.22^{a}	2.44^{a}	1.29^{b}	0.0002
	10	2.22^{a}	2.65v	1.43^{b}	0.0037
	P-value	0.2099	0.2408	0.7431	

หมายเหตุ $^{ก, ข}$ อักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ P<0.05)

$^{x, y}$ อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

$^{a, b, c}$ อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทางด้านของค่าฮอฟยูนิต พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ส่งผลให้มีค่าลดลงซึ่งแปรผันตามความสูงไข่ขาวที่ลดลง โดยไก่ไข่ที่อายุ 44 สัปดาห์ โดยกลุ่มที่ใช้ใบมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์พบว่าช่วงระยะเวลา 7 วันแรกของการเก็บรักษาค่าฮอฟยูนิตมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 29) โดยกลุ่มที่ใช้ใบมันสำปะหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ที่อายุการเก็บ 7 และ 14 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งกลุ่มที่เสริมใบมันสำปะหลังนั้นมีแนวโน้มของค่าฮอฟยูนิตสูงกว่ากลุ่มควบคุมในทุกช่วงอายุของไก่ไข่ แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นไม่มีผลทำให้มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกลุ่มทดลอง จากตารางที่ 29 จะเห็นได้ว่าคุณภาพของไข่เก็บรักษาของไข่ 21 และ 28 วัน จากไก่อายุ 24 และ 32 สัปดาห์ มีค่าฮอฟยูนิตมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มไก่ไข่ที่อายุ 44 สัปดาห์ ดังนั้นไม่ควรเก็บไข่ของไข่ที่ได้จากไก่ที่อายุมากนานเกิน 14 วัน

4. สีไข่แดง

ผลการเสริมใบมันสำปะหลังระดับต่าง ๆ ในอาหารไก่ไข่ พบว่า สีไข่แดงในระยะเวลาการเก็บรักษา 7 วันที่อายุไก่ไข่ 24 สัปดาห์ มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 30) และการเก็บรักษา 14 วัน ไก่ไข่อายุ 32 และ 44 สัปดาห์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เมื่อเก็บรักษาไข่ระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้คะแนนสีไข่แดงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อระดับของใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารสูงขึ้นโดยกลุ่มที่เสริมใบมันสำปะหลังมีแนวโน้มของสีไข่แดงสูงขึ้น ในช่วงการเก็บรักษาที่ 21 และ 28 วัน อาจเป็นผลมาจากไข่ไก่มีการสูญเสียของน้ำในไข่ขาวและไข่แดงส่งผลให้สีของไข่แดงมีความเข้มข้นมากขึ้น

ทางด้านอายุไก่ไข่ที่เพิ่มมากขึ้นมีผลต่อคะแนนสีไข่แดงที่เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นผลมาจากการสะสมของปริมาณสารแซนโทฟิลล์เป็นระยะเวลานานขึ้นและเนื่องจากใบมันสำปะหลังมีสารที่ออกฤทธิ์ทางธรรมชาติคือ สารประกอบฟีนอลลิก หลายชนิด ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลลิก และแทนนิน เป็นต้น สารธรรมชาติดังกล่าวเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ที่มีผลโดยตรงต่อความคงทนของเม็ดสีในไข่แดง ซึ่งสารดังกล่าวจะเป็นตัวกระตุ้นให้สารสีมีความคงทนในไข่แดง (Kirunda *et al*., 2001)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากผลการศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาที่ต่างกัน เมื่อระยะเวลานานมากขึ้นส่งผลให้คุณภาพไข่ไก่ลดลง อาทิเช่นความสูงไข่ขาว ความถ่วงจำเพาะ และค่าฮอฟยูนิต แต่มีผลให้คะแนนสีของไข่แดงเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากการสูญเสียของน้ำหนักไข่ที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนทางด้านอายุของไก่ไข่มีผลต่อการระยะเวลาการเก็บรักษา โดยไข่ที่ได้จากไก่ที่มีอายุน้อยกว่ามีระยะเวลาการเก็บรักษาไข่ได้นานกว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 29 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อค่าฮอฟยูนิตในระยะเวลาการเก็บรักษาต่างที่กัน

ระยะเวลาเก็บ	กลุ่มทดลอง	24 สัปดาห์	32 สัปดาห์	44 สัปดาห์	P-value
7 วัน	0	56.72^{xy}	68.72^{x}	53.25$^{ข, y}$	0.0471
	2.5	62.35	62.37	54.02^{ข}	0.2466
	5	64.71^{a}	64.55^{b}	49.29$^{ข, b}$	0.0085
	7.5	65.75^{a}	67.62^{a}	55.68$^{ข, b}$	0.0047
	10	68.07	68.30	65.08^{ก}	0.6416
	P-value	0.2753	0.5354	0.0126	
14 วัน	0	57.74^{a}	58.07^{a}	43.73^{b}	0.0010
	2.5	45.18^{b}	56.66^{a}	38.27^{b}	0.0119
	5	50.51^{x}	55.91^{x}	35.53^{y}	0.0156
	7.5	50.49^{a}	57.49^{a}	36.41^{b}	0.0006
	10	52.20	53.71	43.02	0.2112
	P-value	0.1831	0.9175	0.2579	
21 วัน	0	34.32^{a}	43.83^{a}	9.215^{b}	<.0001
	2.5	43.23^{a}	45.09^{a}	9.355^{b}	<.0001
	5	46.93^{a}	46.21^{a}	9.684^{b}	<.0001
	7.5	40.81^{a}	50.79^{a}	10.382^{b}	0.0001
	10	46.05^{a}	47.35^{a}	19.109^{b}	0.0022
	P-value	0.0764	0.6039	0.5332	
28 วัน	0	37.54	47.82	9.573	<.0001
	2.5	19.52^{b}	40.02^{a}	10.21^{b}	0.0045
	5	31.33	39.11	9.512	<.0001
	7.5	32.85	34.78	9.356	<.0001
	10	31.81^{a}	36.58^{a}	8.820^{b}	0.0009
	P-value	0.0638	0.1727	0.3572	

หมายเหตุ $^{x, y}$ อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

$^{a, b, c}$ อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 30 ผลการเสริมใบมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่ต่อสีไข่แดง (คะแนน) ในระยะเวลาการเก็บรักษาต่างที่กัน

ระยะเวลาเก็บ	กลุ่มทดลอง	24 สัปดาห์	32 สัปดาห์	44 สัปดาห์	P-value
7 วัน	0	7.81$^{ข, b}$	8.12^{b}	8.62^{a}	0.0038
	2.5	8.50^{ก}	8.25	8.93	0.0965
	5	8.81^{ก}	8.18	8.91	0.0902
	7.5	8.37^{กข}	8.50	9.06	0.0599
	10	8.69$^{ก ,b}$	8.17^{c}	9.43^{b}	0.0003
	P-value	0.0235	0.2641	0.1190	
14 วัน	0	8.31^{a}	7.18^{ข,b}	8.62^{ก,a}	0.0007
	2.5	8.50^{b}	7.75^{ก,c}	9.18^{กขค,a}	0.0005
	5	8.43	8.25^{ก}	8.77^{ขค}	0.4169
	7.5	7.01	8.18^{ก}	9.56^{ก}	0.3187
	10	8.06^{y}	8.06$^{ก, y}$	9.31$^{กข ,x}$	0.0406
	P-value	0.7693	0.0022	0.0253	
21 วัน	0	8.68^{ข}	9.06^{ค}	8.75	0.0946
	2.5	9.18^{กข,b}	9.62^{ข,a}	8.87^{b}	0.0064
	5	9.50^{ก}	9.50^{ขค}	9.37	0.8563
	7.5	9.72^{ก}	9.81^{กข}	9.06	0.0846
	10	9.50$^{ก ,y}$	10.12$^{ก, x}$	9.56^{y}	0.0353
	P-value	0.0152	0.0035	0.0055	
28 วัน	0	8.37^{ค,b}	9.87^{ก,a}	8.79^{b}	0.0054
	2.5	8.79^{ขค}	9.06^{ข}	9.62	0.0702
	5	9.64^{ก,xy}	10.12^{ก,x}	9.10^{y}	0.0180
	7.5	9.25^{กข}	10.00^{ก}	9.62	0.0742
	10	9.43^{ก}	10.06^{ก}	9.50	0.0905
	P-value	0.0030	0.0241	0.0585	

หมายเหตุ $^{ก, ข,ค}$ อักษรต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

$^{x, y}$ อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

$^{a, b, c}$ อักษรต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารต่อภูมิคุ้มกัน คุณภาพไข่และการให้ผลผลิตไก่ไข่ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ไก่ไข่กลุ่มที่กินอาหารที่มีระดับใบมันสำปะหลังแห้ง 7.5 และ 10 % ในสูตรอาหาร มีการเจริญของเซลล์ลิมโฟซัยท์ ชนิดที มากกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในวันที่ 3 และ 7 ภายหลังจากการฉีดกระตุ้นด้วย 7 % SRBC แสดงให้เห็นว่าระดับของใบมันสำปะหลังแห้งช่วยกระตุ้นการทำงานของเซลล์ลิมโฟซัยท์ ชนิดที

2. ไก่ไข่อายุ 21, 33 และ 45 สัปดาห์ ที่ได้รับอาหารที่มีใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารมีค่า TAC สูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และไก่ไข่อายุ 33 สัปดาห์ ที่ได้รับอาหารที่มีใบมันสำปะหลัง 5 และ 7.5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร TAC สูงกว่ากลุ่มที่กินอาหารที่ไม่มีใบมันสำปะหลังอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยการเพิ่มระดับของ TAC จากการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งมีผลในการลดผลกระทบจากความเครียดของไก่ไข่ ซึ่งเห็นผลชัดเจนในช่วงไก่ไข่อายุ 33 สัปดาห์

3. ไก่ไข่ที่กินอาหารที่มีระดับใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารมีค่า tGSH GSH ในเม็ดเลือดแดงแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนค่าสัดส่วน GSH/GSSG และ GSSG ของไก่ไข่ที่อายุ 33 สัปดาห์ ในกลุ่มที่กินอาหารที่มีใบมันสำปะหลังมีความแตกต่างกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งไก่ไข่ที่ได้รับใบมันสำปะหลัง 5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารส่งเสริมการทำงานของระบบกลูตาไธโอนทำให้สัดส่วน GSH/GSSG สูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแสดงว่าใบมันสำปะหลังช่วยในการรักษาสมดุลรีดอกซ์ภายในเซลล์

4. ผลของการใช้ใบมันสำปะหลังในระดับ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารไก่ไข่ส่งผลให้ผลผลิตไข่ มวลไข่และอัตราการเลี้ยงรอด มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่แม่ไก่มีปริมาณการกินต่อตัวต่อวันเพิ่มขึ้นเมื่อระดับของใบมันสำปะหลังแห้งในอาหารเพิ่มขึ้น และใช้อาหารในการผลิตไข่ 1 โหลเพิ่มมากขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งการใช้ใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารทำให้ต้นทุนค่าอาหารไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

5. การเสริมใบมันสำปะหลังในระดับที่สูงขึ้น มีผลให้คะแนนของสีไข่แดงสูงขึ้น และไข่ไก่มีคุณภาพดีขึ้นกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.01$) ทั้งนี้สามารถใช้ใบมันสำปะหลังแห้งสามารถใช้เสริมในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ถึง 10% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพไข่แต่ประการใด ซึ่งระดับการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารควรมีการปรับสูตรอาหาร เพื่อให้ระดับโภชนะตรงตามความต้องการของไก่ไข่

6. ระดับการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งเป็นอาหารไก่ไข่ สามารถเก็บไข่ไก่ในระยะเวลาต่างๆ โดยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่ไก่ไข่ที่อายุมากขึ้นมีผลต่อการเก็บรักษาไก่ไข่ให้มีคุณภาพลดลง เมื่อระยะเวลานานขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าสามารถใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารไก่ไข่ได้ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร แต่ใบมันสำปะหลังแห้งที่นำมาเป็นวัตถุดิบอาหารนั้นต้องมีคุณภาพดี มีโปรตีนสูง และเยื่อใยต่ำ และมีการปรับสูตรอาหารเพื่อให้โภชนะเพียงพอต่อความต้องการของไก่ไข่

2. ใบมันสำปะหลังแห้งที่ใช้ในสูตรอาหารไก่ไข่ ต้องเป็นใบมันสำปะหลังที่ผ่านขบวนการทำให้แห้งเพื่อให้ความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ และระดับของไซยาไนด์ไม่เกิน 30 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งเป็นระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์

3. การใช้ใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารมีผลให้ระดับแอนติออกซิแดนซ์ และระบบของกลูตาไธโอนในครั้งนี้ ส่งผลมีระดับที่สูงขึ้น จึงควรมีการศึกษาการประเมินค่าความเครียดจากภาวะออกซิเดชั่น อาทิเช่น malondialdehyde ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขบวนการ lipid peroxidation ด้วย ซึ่งจะสามารถช่วยอธิบายเกี่ยวกับการใช้ใบมันสำปะหลังเป็นแหล่งของสารแอนติออกซิแดนซ์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2526. **มันสำปะหลัง: เอกสารวิชาการเล่มที่ 7.** สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

จีราภา เตียวสมบูรณ์กิจ. 2550. **ผลการใช้ใบมันสำปะหลังแห้งในสูตรอาหารต่อภูมิคุ้มกันของไก่กระทง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. 2532. **มันสำปะหลัง การปลูก อุตสาหกรรมแปรรูปและการใช้ประโยชน์.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทวีศักดิ์ เตชะเกรียงไกร อุทัย คันโธ และสุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2542. ประสิทธิภาพของสารสีจากใบมันสำปะหลังในอาหารไก่ไข่. *ใน* **เรื่องเต็ม การประชุมวิชาการครั้งที่ 38 สาขาสัตว์ สัตวแพทย์ศาสตร์ ประมง.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นันทรัตน์ พลสว่าง. 2535. **ผลของระดับการใช้ใบมันสำปะหลังเลี้ยงไก่พื้นเมืองในระยะเล็ก**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นวลจันทร์ พารักษา, ทวีศักดิ์ ส่งเสริม และสินชัย พารักษา. 2548. การวัดฤทธิ์การต้านออกซิเดชั่น, น. 20-24. *ใน* นวลจันทร์ พารักษา และสิรินทร์พร สินธุวณิช, **บรรณาธิการ. คู่มือการวิจัย 3 การทดสอบฤทธิ์ของสมุนไพรในสัตว์ปีกและสุกร.** โรงพิมพ์เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัลพับลิเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.

ดนัย ศุภาหาร. 2537. พฤกษศาตร์และพันธุศาตร์ของมันสำปะหลัง, น.14-30. *ใน* **เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง.** กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

พิชัย สราญรมย์. 2528. **ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับมันสำปะหลัง สำหรับการศึกษาระดับปริญญา**. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มนตรี ตู้จินดา. 2521. **โรคภูมิแพ้**. โครงการตำราศิริราช คณะแพทย์ศาสตร์ ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

วิภาสิริ สภารัตนานันท์ อุทัย คันโธ สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และอรุณี อิงคากุล. 2548. การใช้มันเส้นและใบมันสำปะหลังในสูตรอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพ และปริมาณโปรตีนในไข่ไก่, น. 43-52. *ใน* **เรื่องเต็ม การประชุมวิชาการครั้งที่ 43 สาขาสัตว์ สัตวแพทย์ศาสตร์ ประมง.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สันนิภา สุรทัตต์. 2549. **วิทยาภูมิคุ้มกันทางสัตวแพทย์ภาคปฏิบัติ**. คณะสัตวแพทย์ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สาโรช ค้าเจริญ และ เยาวมาลย์ ค้าเจริญ. 2531. **การใช้มันสำปะหลังในอาหารสุกร เป็ด ไก่.** ชุมชนสหกรณ์ผู้เลี้ยงสุกรจำกัด. กรุงเทพฯ. 34น.

อังคณา หาญบรรจง และ ดวงสมร สินเจิมศิริ. 2532. **การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพอาหารสัตว์.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ มูลธง. 2549. **ผลของการใช้มันสำปะหลังในสูตรอาหารต่อการหมักย่อยในลำไส้ กลูตาไธโอนและภูมิคุ้มกันในสุกรระยะรุ่น**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรวรรณ ชินราศรี. 2547. **เทคโนโลยีการผลิตสัตว์ปีก.** ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม. 206น.

อุทัย คันโธ, สุกัญญา จัตตุรพรพงษ์ และวิไลลักษณ์ ชาวอุทัย. 2540. **การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์**. มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ และภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

โอภา วัชระคุปต์ ปรีชา บุญจูง จันทนา บุยรัตน์ และ มาลีรักษ์ อัตต์สินทอง. 2550. **สารต้านอนุมูลอิสระ**. พี.เอส.พริ้นท์, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Abbas, A. K., A. H. Licthman and J. S. Pober. 2000. **Cellular and Molecular Immunology.** **4th** ed. W.B. Saunders Company, USA. 553p.

Adewusi, S. R. A. and J. H. Bradbury. 1993. Carotenoid in cassava; comparison of open column and HPLC methods of analysis. **J. Sci. Food. Agri**. 62: 375- 383.

Adrian, J. and F. Peyrot. 1971. Possible use of the cassava leaf (*Manihot utilissima*) in human nutrition. **Plant Foods Human Nutrition.** 2: 61-65.

Alvarado, C., P. Alvarez., L. Jimenez and M. DL. Fuente. 2006. Oxidative stress in leukocytes from young prematurely aging mice in reversed by supplementation with biscuits rich in antioxidants. **Develop. Compara. Immunol.** 30: 1168-1180.

AOAC. 1990**. Official Method of Analysis.** 15th ed. Association of Official Agricultural Chemists, Inc., Virginia.

Austic, R. E. 1977. Role of the shell gland in determination of albumen quality. **Poult. Sci**. 59: 202-210.

Benzie, I. F. F. and J. J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power" : The FRAP Assay. **Anal. Biochem**. 239: 70-76.

Belyavin, C. G. and A.G. Marangos. 1980. Natural products for egg yolk pigmentation, pp. 47-68. *In* W. Haresign and D. J. A. Cole, eds. **Recent Advance in Animal Nutrition.** Butterworths, London.

Bokanga, A. 1994. Processing of cassava leaves for human consumption. **Acta Hort**. 375: 203-207.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Bui, H. N. P., B. Ogle and J. E. Lindberg. 2000. Effect of replacing soybean protein with cassava leaf protein in cassava root meal based diets for growing pigs on digestibility and N retention. **Anim. Feed Sci. and Tech.** 83: 223-235.

Carla, G.T., J.P. Alan and S. R. Peter. 1999. Splenocyte glutathione and CD3-mediated cell proliferation are reduced in mice fed a protein deficient diet. **J. Nutrition.** 127: 44-50.

Cheeke, P. R. and L. R. Shull. 1985. **Natural Toxicants in Feed and Poisonous Plant**. AVI Publishing Company, Inc. Westport, Conecticut.

Chen, G., S. H. Wang and C. A. Converse. 1994. Glutathione increases interleukin-2 production in human lymphocytes**. Int. J. Immunophamacol.** 16(9): 755-760.

Chowdhury, S. R. and T. K. Smith. 2001. Effects of dietary 1,4-diaminobutane (putresaine) on eggshell quality and laying performance of hens laying thin-shelled eggs. **Poultry Sci**. 80:1702-1709.

Conn, E. E. 1994. Cyanogenesis A perspective, pp. 31-44. *In* M. Bokanga, A. J. A. Essers, N. Poulter, H. Rosling and O. Tewe, eds. **Acta Horticulture**: International Workshop on Cassava Safety**,** 1-4 March 1994, Ibadan, Nigeria.

Devendra, C**.** 1977. Cassava as a feed source for ruminants. In Nestel, B., and Graham II. eds., *Cassava as Animal Feed.* Proceedings of a workshop held at the University of Guelph, 18–20 April, 1977. Ottawa, International Development Research Centre, IDRC-095e, 107-119.

Dorge, W. 2002. Free radicals in physiological control of cellular function. **Physiol. Rev.** 82 : 47-95.

Eggum, B. O. 1970. The protein quality of cassava leaves. **Brith. J. of Nutri.** 24: 761-768.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Enriquez, F. Q and E. Ross. 1969. The nutritive value of cassava leaf meal. **Poult. Sci.** 48: 846-853.

Eruvbetine, D. I. D. Tajudeen, A. T. Adeosun and A. A. Olojede. 2003. Cassava (*Manihot esculenta*) leaf and tuber concentrate in diets for broiler chickens. **Bioresource Tech.** 86: 277–281

Fasuyi, A. O. 2005. Nutrient composition and processing effects on cassava leaf (*Manihot esculenta*, Crantz) antinutrients. **Pakis. J. Nutr.** 4 (1): 37-42.

Fidalus, R. K., P. Ginoouves, D. Lawrence and M. F. Tsan. 1987. Modulation of intracellular glutathione concentrations alters lymphocyte activation and proliferation. **Exp. Cell. Res.** 170(2): 269-275.

Fox, H. M. and G. Vevers. 1960. **The Nature of Animal Colours**. Sidgwick and Jackson Ltd., London. Heffner, J.E. and J. E. Repine. 1989. Pulmonary strategies of antioxidant defense. **Am Rev Respir Dis**. 140:531-554.

Gomez, C. G., M. Vadic Viso, J. Santos and C. Hoyos. 1985. Evaluation of cassava root meal prepared from low and high cyanide containing cultivars in pig and broiler diets. **Nutr. Report Int.** 28: 693-704.

Heffner, J. E and J. E. Repine. 1989. Pulmonary strategies of antioxidant defense. **Am Rev Respir Dis**. 140:531-554.

Heim, K. E., A. R. Tagliaferro and D. J. Bobilya. 2003. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. **J. Nutri. Biochem**. 13: 572-584.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Hiramoto, K., T. Muramatsu, and J. Okumura. 1990. Effect of methionine and lysine deficiencies on protein synthesis in the liver and oviduct and in the whole body of laying hens. **Poult. Sci**. 69: 84–89.

Imam, H.S. and R. Mehvar. 2006. Rapid determination of reduced and oxidized glutathione levels using a new thiol-masking reagent and the enzymatic recycling method: application to the rat liver and bile sample. **Anal. Bio. Anal. Chem.** 385(1): 105-113.

Jiyang, C., C. Yan, S. Shaguna, F. Satoru, R.W. Compansand and D. P. Jones. 2003. Inhibition of influenza infection by glutathione. **Free Radic. Biol. Med.** 34: 928-936.

Johnson, J. D., C. G. William, B. D. Kevin, and I. E. Gray. 1987. Peroxidation of brain lipids following cyanide intoxication in mice. **Toxicon**. 46: 21-28

Jones, D. P. 2002. Redox potential of GSH/GSSG couple: assay and biological significance. **Methods Enzymol.** 348: 93–112.

Khajarern, J. M., S. Terapuntuwat, S. Khajarern and S. Soontornsorn. 1977. Determination of basic chemical parameters of cassava root products of different originprocessing technology and quality, pp 15-30. *In* **KKU-IDR Cassava/Nutrition Project Annual Report.** Khon Kaen University, Khon Kaen.

Kidd, P. M. 1997. Glutathione: systemic protectant against oxidative and free radical damage. **Altern. Med. Rev.** 2:155-76.

Kirunda, D. F, K. S. E. Scheideler and S. R. McKee. 2001. The efficacy of vitamin E (DL-α- tocophryl acetate) supplementation in hen diets to alleviate egg quality deterioration associated with high temperature exposure. **Poult. Sci**. 80: 1378-1383.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Koch, B. M., S. Ole, S. Elizabeth, A. K. Rachel, L. Du, B. Soren, A. H. Babara and L. M. Berger. 1994. Possible use of a biotechnological approach to optimize and regulate the content and distribution of cyanogenic glucosides in cassava to increase food safety, pp. 40-60.

Lancaster, P. A., J. S. Ingram, M. Y. Lim and D. G. Coursey. 1982. Traditional cassava base food: survey of processing techniques. **Econ Bot**. 36: 12-45.

Lheukwumere, C. E, C. Ndubuisi, E. A. Mazi and M. U. Onyekwere. 2008. Performance, Nutrient utilization and organ characteristics of broilers fed cassava leaf meal (M*anihot esculenta* Crantz). **Pakis. J. Nutr.** 7 (1): 13-16.

Liu, J.Y., S.J. Lin and J.K. Lin. 1993. Inhibitory effects of curcumin on protein kinase C activity induced by 12-O-tetradecanoyl-phorbol-13-acetate in NIH 3T3 cells. **Carcinogenesis.** 14: 857–861.

Lopez, P, L. 1989. The use of shrubs and tree fodders by non-ruminant. **Proceeding of a workshop.** Denpaser, Indonesia.

Lu, S. C. 2000. Regulation of glutathione synthesis. **Cell Regul**. 36: 95-116.

Mary, A., D. Troy, A. R. Vikram, B. Leo, H. M. Kevin, C. M. Jennifer, L. H. Stanley and S. Arne. 2001. Eosinophil peroxidase oxidation of thiocyanate. **J. Biol. Chem.** 276: 215-224.

Montaldo, A. 1977. Whole plant utilization of cassava for animal feed: pp. 95-106. *In* **Cassava as Animal Feed: Proceeding of Workshop.** Universitty of Guelph, Guelph.

Muller, Z., Chou, X. C. and X. C. Nah**.** 1974. Cassava as a total for cereals in livestock and poultry rations. **World Animal Rev**. 12: 19– 24.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Multhoff, G., T. Meier, C. Botzler, M. Wiesnet, A. Allenbacher, W. Wilmans and R. D. Issels. 1995. Differential effects of ifosfamide on the capacity of cytotoxic T lymphocyte and natural killer cells to lyse their target cells correlate with intracellular glutathione levels. **The American Society of Hematology.** 85(8): 2124-2131.

Nartry, F. 1973. Biosynthesis of cyanogenic glcosides in cassava (Manihot spp.), pp. 73-87. *In* B. Nestel and R. MacIntyre eds. **Chronic Cassava Toxicity**. Int. Dev. Res. Center, IDRCO10e, Ottawa.

Nation Research Council (NRC). 1994. **Nutrient Requirements of Poultry.** 9th ed. Revised BC. National Academy Press, Washington, D. C.

NRC. 1984. **Nutrient require ments of poultry**. 8th revised ed. National Research Council, NAS. Washington, D. C.

North, M. O. and D. D. Bell. 1990. **Commercial Chicken Production Manual**. 4th ed. Van Nostrand Reinhold, New York. 913 p.

Onwueme, I. C. 1978. **The Tropical Tober Crops**. The Pitman Press, Great Britain.

Onwueme, I. C and W. B. Charles. 1994. **Tropical root and tuber crops: Production, perspectives and future prospects**. FAO Plant Production and Protection Paper. Rome, Italy.

Paul, H. M. 1999**. Stress Physiology in Animal**. Sheffield Academic Press, Sheffeild.

Rahman, I. A. Kode and S. K. Biswas. 2006. Assay for quantitative determination of glutathione and glutathione disulfide levels using enzymatic recycling method. **Nature Protocols**. V1. 6: 3159-3165

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Ravindran G and V. Ravindran. 1988. Changes in the nutritional composition of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) leaves during maturity. **J. Food Chem.** 27: 299-309.

Rose, S. P. 1997. **Principle of Poultry Science**. CAB International, Wallingford

Roush, W. B. 1981. TI59 calculator program for haugh unit calculator. **Poult. Sci.** 60: 1086-1088.

SAS. 2003. **SAS Use's Guide: Statistic**. SAS Institue Inc., North Carolina. USA.

Santos, B. O., X. O. Osorio and E. O. Oviedo-Rondón. 2004. Evaluation of xanthophylls extracted from *Tagetes erectus* (Marigold Flower) and *Capsicum Sp.* (Red Pepper Paprika) as a pigment for egg-yolks compare with synthetic pigments **Int. J. Poultry Sci.** 3(11): 685-689.

Sies, H. 1999. Glutathione and its cellular functions. **Free Radic**. **Biol. Med.** 27: 916–921.

Sugahara, M., D. H. Baker and H. M. Scott. 1969. Effect of different patterns of amino acid on performance of chicks fed amino acid–deficient diets. **J. Nutr.** 97: 29–32.

Tadashi, M., M. Wongi and S. L. Hyun. 2002. Lymphocyte proliferation response during *Eimeria tenella* infection assessed by a new, reliable, nonradioactive colorimetric assay. **Avian Dis**. 46 (1): 10-16.

Tan, J.Z., H.I. Chen and A. Q. Zeng. 1988. Energy and protein requirement of putain laying duck. **Chinese J. Anim. Sci**. 6: 3-8.

Tietze, F. 1969. Enzymatic method for quantitative determination of nanogram amounts of total and oxidized glutathione: Application to mammalian blood and other tissues. **Anal. Biochem**. 27: 502-522.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Tizard, I. R. 2000. **Veterinary Immunology: An Introduction**. 6th ed. W. B. Saunders Company. Philadelphia, London, Toronto, Montreal, Sydney, Tokyo.

Tizard, I. R. 2004. **Veterinary Immunology**. 7th ed. Elsevier, China.

Tullett, S. G. 1987. Egg shell formation and quality, pp. 123-146. *In* R.G Well and C. G. Belyavin, eds. **Egg Quality-Current Problems and Recent Advances**. Carfax Publishing Company, London.

Sumere, Van. C. F. 1989. Phenol and Phenolic acids, *In* R. J. Grayer, ed. **Method in Plant Biochemistry**. University of Reading, UK

Wu, G., Y. Z. Fang, S. Yang, J. R. Lupton and N. D. Turner. 2003. Glutathione metabolism and its implications for health. Downloaded from. **J.nutrition.org** on December 13, 2006.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนตลอดการทดลอง

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิเวลาเช้า (°C)	อุณหภูมิเวลาเย็น (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)
12/9/2551	24.2	25.0	85.0
13/9/2551	26.8	28.2	85.0
14/9/2551	24.6	30.7	85.5
15/9/2551	28.3	29.0	84.0
16/9/2551	25.2	28.9	82.0
17/9/2551	25.0	27.7	82.0
18/9/2551	24.7	28.3	82.0
19/9/2551	25.0	26.5	83.0
20/9/2551	23.9	28.6	83.0
21/9/2551	24.9	27.8	82.0
22/9/2551	24.4	29.3	80.0
23/9/2551	24.2	28.0	79.0
24/9/2551	25.5	29.5	79.5
25/9/2551	25.7	28.1	78.5
26/9/2551	24.6	28.7	80.0
27/9/2551	25.0	34.4	82.0
28/9/2551	25.2	31.4	83.0
29/9/2551	25.0	30.5	83.5
30/9/2551	24.7	30.0	80.5
1/10/2551	24.8	28.2	83.5
2/10/2551	25.3	27.8	83.0
3/10/2551	23.5	26.9	84.0
4/10/2551	25.0	28.6	84.0
5/10/2551	24.8	30.3	83.0
6/10/2551	24.5	29.9	83.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิเวลาเช้า (°C)	อุณหภูมิเวลาเย็น (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)
7/10/2551	25.2	30.0	83.0
8/10/2551	24.5	27.7	82.5
9/10/2551	24.8	29.6	84.5
10/10/2551	25.9	30.7	86.5
11/10/2551	25.8	30.4	86.5
12/10/2551	24.5	30.0	86.0
13/10/2551	24.6	29.8	85.5
14/10/2551	24.0	29.2	85.0
15/10/2551	25.5	29.7	86.5
16/10/2551	26.1	30.1	86.0
17/10/2551	25.2	29.5	85.5
18/10/2551	25.3	26.3	83.0
19/10/2551	24.1	26.0	83.5
20/10/2551	24.4	26.8	86.0
21/10/2551	24.0	30.3	85.5
22/10/2551	25.1	30.6	86.0
23/10/2551	24.8	29.9	86.5
24/10/2551	24.5	30.2	86.0
25/10/2551	24.8	25.9	86.5
26/10/2551	25.0	28.5	87.0
27/10/2551	24.8	28.4	87.0
28/10/2551	25.4	27.4	87.0
29/10/2551	24.0	27.6	86.5
30/10/2551	25.7	27.0	87.0
31/10/2551	24.8	28.7	87.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิเวลาเช้า (°C)	อุณหภูมิเวลาเย็น (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)
1/11/2551	24.7	29.7	88.0
2/11/2551	24.6	30.2	87.0
3/11/2551	24.7	28.6	87.5
4/11/2551	24.7	28.8	86.0
5/11/2551	24.1	29.2	86.5
6/11/2551	24.7	28.2	86.5
7/11/2551	24.0	28.5	86.5
8/11/2551	24.2	28.6	86.5
9/11/2551	24.8	27.2	84.5
10/11/2551	24.3	27.1	83.0
11/11/2551	23.2	27.1	74.5
12/11/2551	21.5	27.5	75.0
13/11/2551	20.6	26.4	75.5
14/11/2551	20.3	26.8	75.0
15/11/2551	22.1	27.1	75.0
16/11/2551	23.6	27.1	78.5
17/11/2551	24.2	26.3	81.0
18/11/2551	24.2	26.3	81.0
19/11/2551	24.2	27.2	78.5
20/11/2551	24.2	28.0	78.5
21/11/2551	22.8	28.4	77.5
22/11/2551	23.2	26.8	79.0
23/11/2551	23.0	27.0	80.0
24/11/2551	23.0	28.1	80.5
25/11/2551	24.6	26.9	77.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิเวลาเช้า (°C)	อุณหภูมิเวลาเย็น (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)
26/11/2551	24.0	26.9	77.0
27/11/2551	23.9	27.2	77.0
28/11/2551	21.5	26.9	70.5
29/11/2551	20.3	26.3	71.5
30/11/2551	20.3	23.5	71.0
1/12/2551	20.4	26.5	69.0
2/12/2551	21.2	26.7	70.0
3/12/2551	18.6	28.1	71.0
4/12/2551	20.8	29.3	74.5
5/12/2551	21.4	27.2	74.5
6/12/2551	23.0	25.9	73.0
7/12/2551	22.4	26.2	74.0
8/12/2551	21.3	27.5	74.5
9/12/2551	19.4	26.0	74.0
10/12/2551	17.6	27.6	73.0
11/12/2551	17.3	27.9	73.0
12/12/2551	19.0	28.4	73.0
13/12/2551	17.5	28.6	74.0
14/12/2551	18.9	25.8	74.5
15/12/2551	20.8	27.8	75.5
16/12/2551	19.6	26.3	74.0
17/12/2551	20.3	28.6	74.0
18/12/2551	20.0	27.3	72.5
19/12/2551	19.2	26.9	71.0
20/12/2551	18.3	27.8	71.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิเวลาเช้า (°C)	อุณหภูมิเวลาเย็น (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)
21/12/2551	18.6	28.9	72.0
22/12/2551	19.0	29.2	72.5
23/12/2551	20.4	26.8	73.5
24/12/2551	21.1	27.8	74.0
25/12/2551	20.4	26.3	72.5
26/12/2551	23.2	26.5	73.0
27/12/2551	22.8	26.4	73.5
28/12/2551	23.1	26.5	73.5
29/12/2551	21.2	27.3	76.0
30/12/2551	22.0	27.8	75.5
31/12/2551	22.2	27.2	76.0
1/1/2552	22.0	25.6	71.0
2/1/2552	21.3	25.9	70.0
3/1/2552	20.6	27.1	70.5
4/1/2552	20.9	27.5	72.5
5/1/2552	18.7	26.4	73.0
6/1/2552	18.3	25.9	72.5
7/1/2552	18.8	26.8	72.0
8/1/2552	20.5	27.8	72.0
9/1/2552	20.0	24.8	72.0
10/1/2552	17.7	23.7	67.5
11/1/2552	16.5	23.5	65.5
12/1/2552	15.9	24.6	66.5
13/1/2552	17.6	25.0	65.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

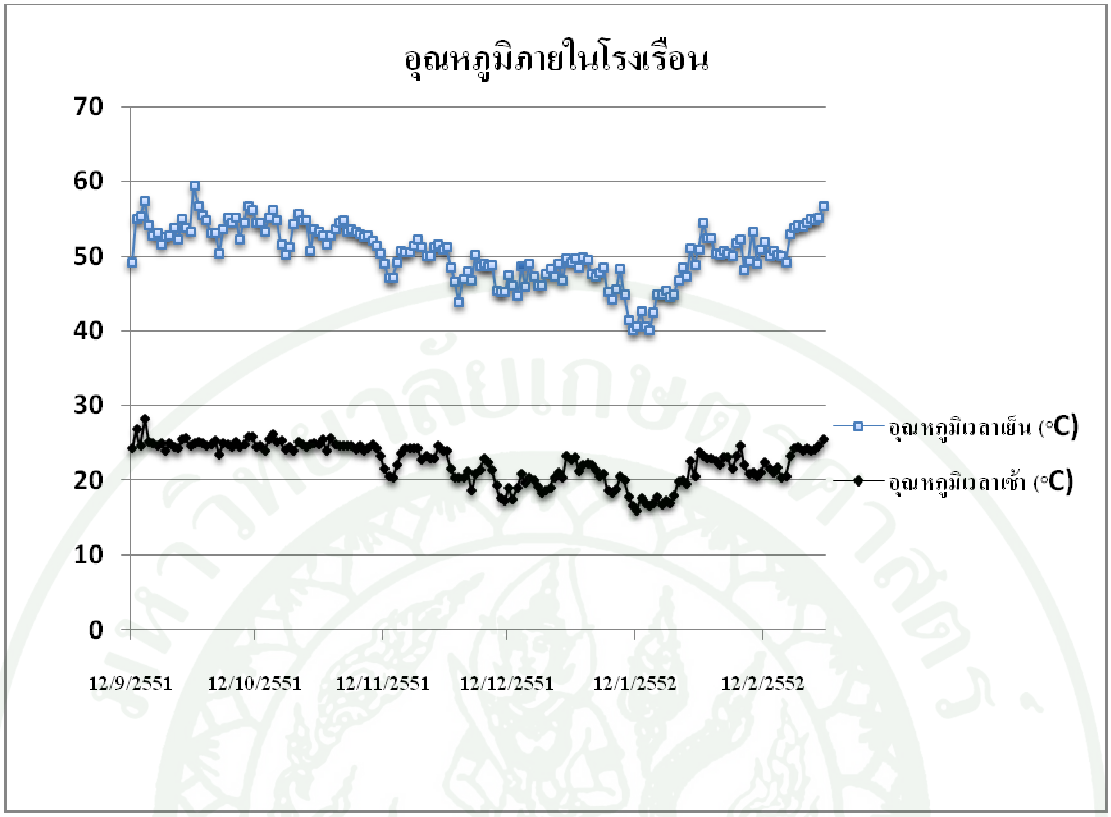
วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิเวลาเช้า (°C)	อุณหภูมิเวลาเย็น (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)
14/1/2552	17.0	23.6	65.5
15/1/2552	16.5	23.6	67.0
16/1/2552	17.0	25.5	67.5
17/1/2552	17.7	27.1	67.0
18/1/2552	16.8	28.0	68.0
19/1/2552	17.2	28.1	69.5
20/1/2552	17.0	27.5	71.5
21/1/2552	17.9	26.9	72.0
22/1/2552	19.8	26.9	72.5
23/1/2552	20.0	28.50	72.0
24/1/2552	19.5	27.8	74.5
25/1/2552	22.5	28.5	73.0
26/1/2552	20.6	28.1	75.5
27/1/2552	23.8	27	77.5
28/1/2552	23.3	31.2	77.0
29/1/2552	22.9	29.5	76.5
30/1/2552	22.9	29.4	77.0
31/1/2552	22.6	27.8	79.0
1/2/2552	22.0	28.2	79.5
2/2/2552	23.1	27.5	80.0
3/2/2552	23.1	27.2	79.0
4/2/2552	21.5	28.5	79.0
5/2/2552	23.2	28.5	73.0
6/2/2552	24.7	27.5	87.0
7/2/2552	22.0	26.1	83.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

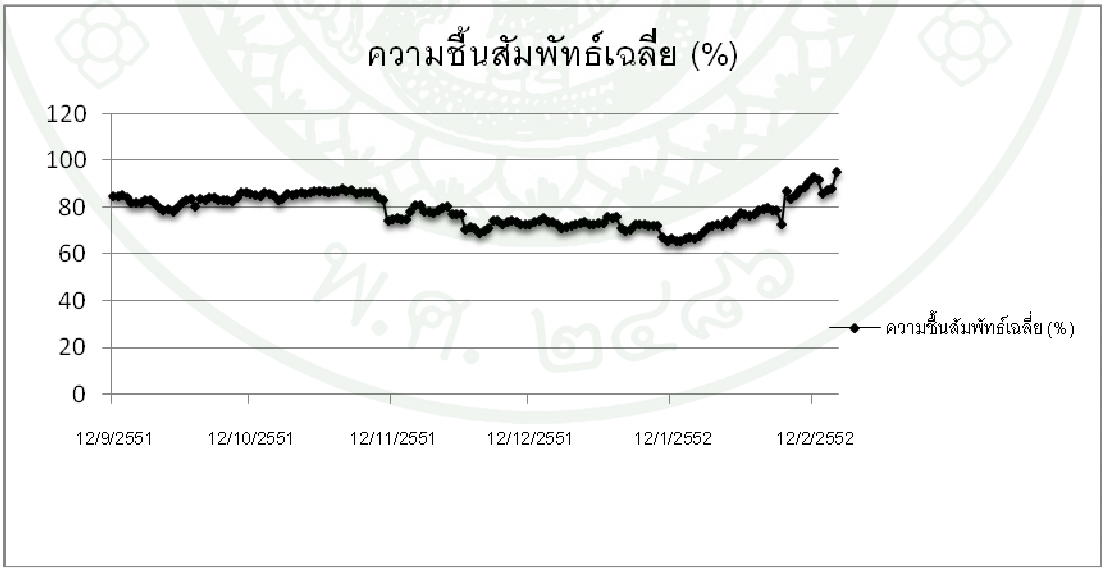
ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	อุณหภูมิเวลาเช้า (°C)	อุณหภูมิเวลาเย็น (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)
8/2/2552	20.8	28.5	85.5
9/2/2552	21.0	32.2	87.5
10/2/2552	20.6	28.4	88.5
11/2/2552	21.1	29.8	91.0
12/2/2552	22.4	29.5	93.0
13/2/2552	21.5	28.4	92.0
14/2/2552	21.1	29.6	86.0
15/2/2552	21.7	28.5	87.5
16/2/2552	20.4	29.6	88.0
17/2/2552	20.6	28.5	95.5
18/2/2552	23.2	29.7	-
19/2/2552	24.3	29.5	-
20/2/2552	24.4	29.7	-
21/2/2552	24.0	29.9	-
22/2/2552	24.3	30.1	-
23/2/2552	24.0	31.0	-
24/2/2552	24.1	30.6	-
25/2/2552	24.6	30.5	-
26/2/2552	25.4	31.2	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 1 อุณหภูมิเวลาเช้าและเวลาบ่ายภายในโรงเรือนระหว่างการทดลอง

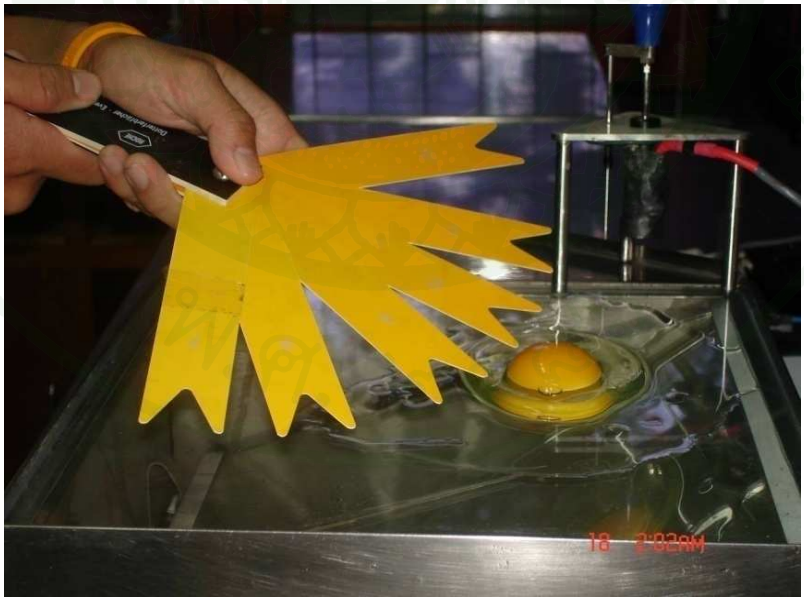


ภาพผนวกที่ 2 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนระหว่างการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์คุณภาพไข่

ภาพผนวกที่ 3 ระดับความเข้มข้นของน้ำเกลือที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะของไข่ โดยมีค่าตั้งแต่ 1.060, 1.064, 1.068, 1.072, 1.076, 1.080, 1.084, 1.088, 1.092, 1.096, 1.100 และ 1.104



ภาพผนวกที่ 4 การใช้พัดสี (yolk color fan) สำหรับวัดความเข้มสีไข่แดง โดยมีสีเหลืองอ่อนถึงสีส้มแดง ตั้งแต่ 1-15

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ 5 วิธีการวัดความสูงของไข่ขาว

ภาพผนวกที่ 6 เครื่องไมโครมิเตอร์สำหรับวัดความหนาเปลือกไข่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวทิพย์วดี พูลเดช
วัน เดือน ปี ที่เกิด	20 มีนาคม พ.ศ. 2526
สถานที่เกิด	กาญจนบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เกษตรศาสตร์) (เกียรตินิยมอันดับ 1) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2549
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์