



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

ปริญญา

โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์

สัตวบาล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การเสริมเชื้อใยเข้มข้นต่อน้ำหนักกระเพาะบด และสมรรถภาพทางการผลิตของไก่สาวและ
ไก่ไข่

The Supplementation of Raw Fiber Concentrate on Gizzard Weight and Production
Performances of Pullet and Laying Hen

นามผู้วิจัย นายพงษ์ศักดิ์ นาคราช

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูวเรศ เรืองพานิช, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อตมามงกูร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ระพีพงษ์ พานีวิวรรธน์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อตมามงกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเสริมเชื้อใยเข้มข้นต่อน้ำหนักกระเพาะบด และสมรรถภาพทางการผลิตของไก่สาวและไข่ไข่

The Supplementation of Raw Fiber Concentrate on Gizzard Weight and Production Performances
of Pullet and Laying Hen

โดย

นายพงษ์ศักดิ์ นาคราช

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์)

พ.ศ. 2555

พงษ์ศักดิ์ นาคราช 2555: การเสริมเยื่อใยเข้มข้นต่อน้ำหนักกระเพาะบด และสมรรถภาพ
ทางการผลิตของไก่สาวและไก่ไข่ ปรินญาวิทยาสตรมหาบัณฑิต (โภชนศาสตร์และ
เทคโนโลยีอาหารสัตว์) สาขาโภชนศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ยูเรศ เรืองพานิช, Ph.D. 119 หน้า

การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมเยื่อใยเข้มข้น (raw fiber
concentrate, RFC) ต่อพัฒนาการของกระเพาะบด และสมรรถภาพทางการผลิตของไก่สาวและไก่
ไข่ โดยแบ่งการบันทึกข้อมูลเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงไก่สาว ทำการทดลองโดยเลี้ยงไก่สาวที่อายุ 7 ถึง
18 สัปดาห์ จำนวน 720 ตัว แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ ซ้ำละ 60 ตัว โดยได้รับอาหารทดลอง 2
สูตรที่มีระดับเยื่อใยเท่ากัน คือ 5.5% แต่แหล่งเยื่อใยแตกต่างกัน คือ เยื่อใยรวม 5.5% จากอาหาร
และ 5.5% (4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC) ผลการทดลองพบว่า การเสริม RFC ส่งผลให้
น้ำหนักกระเพาะบดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ขณะที่สมรรถภาพการผลิตของไก่
สาวของทั้งสองกลุ่มนั้นพบว่าไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) ในช่วงไก่ไข่ นั้นได้ทำการทดลองโดยใช้
ไก่สาวจากทั้ง 2 กลุ่ม ที่อายุ 18 สัปดาห์ กลุ่มละ 288 ตัว โดยให้แต่ละกลุ่มได้รับอาหารทดลองที่มี
เยื่อใยแตกต่างกัน 3 สูตร คือ เยื่อใยรวม 3.5% และ 4.0% จากอาหาร และเยื่อใย 4.0% (3.5% จาก
อาหาร + 0.5% จาก RFC) ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยด้านเยื่อใยในอาหารไก่สาว เยื่อใยในอาหาร
ไก่ไข่ และปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างเยื่อใยในอาหารไก่สาวกับเยื่อใยในอาหารไก่ไข่ ไม่มีผลต่อ
สมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ น้ำหนักทางเดินอาหารและกระเพาะบด ปริมาณ *Lactobacillus*
spp. และ *Bifidobacterium* spp. ในไส้ติ่ง ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายและ pH ของสิ่งย่อยในไส้
ติ่ง ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็กส่วน ไอลีียม ปริมาณแอมโมเนียและความชื้นในสิ่ง
ขับถ่าย ($P > 0.05$) แต่พบว่าการเสริม RFC 0.5% ส่งผลให้น้ำหนักไข่สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

Pongsak Nakharach 2012: The Supplementation of Raw Fiber Concentrate on Gizzard Weight and Production Performances of Pullet and Laying Hen. Master of Science (Animal Nutrition and Feed Technology), Major Field: Animal Nutrition and Feed Technology, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Mrs. Yuwares Ruangpanit, Ph.D. 119 pages.

The objective of this study was to determine the supplementation of raw fiber concentrate (RFC) on gizzard weight and production performances of pullet and laying hen. During pullet period, a total of 720 pullets at 7 WOA were divided into 2 dietary treatments, including diet containing crude fiber (CF) 5.5% from diet and 5.5% (4.83% from diet + 0.67% from RFC). Bird received diet containing 0.67% fiber from RFC had significant higher relative empty gizzard weight at 18 WOA ($P < 0.05$). However, no significant difference in growth performances were observed between the two treatments ($P > 0.05$). During laying hen period, 288 pullets from each group in pullet period were divided into 3 dietary treatments, including crude fiber 3.5% and 4.0% from the diet and 4.0% (3.5% from diet + 0.5% from RFC). No significant differences in production performances, egg quality, gastrointestinal tract and gizzard weight, cecal microbial population, volatile fatty acid and pH in cecal content, histology of ileum and ammonia and moisture in excreta were observed among dietary treatments. However, the supplementation of 0.5% fiber from RFC in diet significantly increased egg weight ($P < 0.05$).

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยิวเรศ เรืองพานิช อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสกสม อาดมางกูร และอาจารย์ ดร. ระพีพงษ์
พานีวิวรรธน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา
คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ตลอดจนแนวทางการดำเนินชีวิต

ขอขอบคุณ บริษัท J. Rettenmaier & Söhne (JRS) ประเทศเยอรมัน ที่ให้ทุนสนับสนุน
งบประมาณด้านการทดลอง ทำให้งานวิจัยสามารถดำเนินไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ฟาร์มไก่
หลวงสุวรรณวาจกกสิกิจ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
กรุงเทพฯ ที่ให้การสนับสนุนพันธุ์ไก่และสถานที่เพื่อใช้ในการทดลอง พร้อมความช่วยเหลือและ
คำแนะนำต่างๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะ
เกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และ
เอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิเคราะห์อาหารทดลอง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อทวิศักดิ์ และคุณแม่ประไพ นาคราช ที่ให้การอบรมสั่งสอน
ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด และเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่งในการทำ
วิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้การอบรมสั่งสอน
ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท ที่มีส่วนช่วยเหลือและสนับสนุน
ข้าพเจ้าเสมอมา คุณค่าและประโยชน์จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่บิดา มารดา ครู อาจารย์ และ
ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พงษ์ศักดิ์ นาคราช

พฤษภาคม 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	46
ผลและวิจารณ์	61
สรุปและข้อเสนอแนะ	84
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	85
ภาคผนวก	100
ภาคผนวก ก ภาพและตารางผลการทดลอง	101
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ทางเคมี	115
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	119

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบของเชื้อใยรวมและสัดส่วนของ NSP ที่พบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ (g/kg DM)	5
2	การย่อยได้ของส่วนประกอบในเชื้อใย	9
3	เชื้อใยชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณอุจจาระ	11
4	ชนิดและปริมาณเชื้อใยที่มีผลต่อระดับคอเลสเตอรอลในเลือด	11
5	ประเภทของลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในปัจจุบัน	14
6	องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสที่พบได้ในผลิตภัณฑ์ย่อยได้และของเสียจากการเกษตร	15
7	แบคทีเรียสามัญที่พบในระบบทางเดินอาหารของไก่	29
8	การแบ่งกลุ่มของสกุล Lactobacillus	32
9	การจัดกลุ่มอาหารที่ใช้ทดลอง	47
10	ส่วนประกอบและองค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้ในการทดลอง	48
11	ส่วนประกอบใน 1 กิโลกรัมของพรีมิกซ์วิตามิน-แร่ธาตุ	49
12	องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารไก่สาวที่ใช้ในการทดลอง (เปอร์เซ็นต์)	64
13	ผลของการเสริม RFC ต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและปริมาณอาหารที่กินของไก่สาว	64
14	ผลของการเสริม RFC ต่อปริมาณน้ำที่กินและค่าความสม่ำเสมอของมูลของไก่สาว	65
15	ผลของการเสริม RFC ต่อน้ำหนักของทางเดินอาหารและกระเพาะบดของไก่สาว	65
16	องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารไก่ไข่ที่ใช้ในการทดลอง (เปอร์เซ็นต์)	72
17	ผลของการเสริม RFC ต่อปริมาณอาหารที่กินและน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น	73
18	ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตของไข่	74
19	ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อน้ำหนักฟองไข่และมวลไข่	75
20	ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1 กก. และจำนวนไข่สกปรก	76
21	ผลของการเสริม RFC ต่อน้ำหนักทางเดินอาหารและกระเพาะบด (ไม่มีอาหาร)	77
22	ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อองค์ประกอบของฟองไข่	78
23	ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพไข่	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
24	ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อปริมาณ <i>Lactobacillus</i> spp. และ <i>Bifidobacterium</i> spp. ในไส้ติ่ง	80
25	ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายและ pH ของสิ่งย่อยในไส้ติ่ง	81
26	ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็กส่วนไอลีียม	82
27	ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อปริมาณแอมโมเนียและความชื้นในมูล	83
ตารางผนวกที่		
ก1	ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนตลอดการทดลองช่วงไก่สาว	102
ก2	ความชื้นสัมพัทธ์เวลาเช้าและเวลาเย็นภายในโรงเรือนไก่สาว	106
ก3	ผลของการเสริม RFC ต่อปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยของไก่สาว	112
ก4	ผลของการเสริม RFC ต่อน้ำหนักตัวของไก่สาว	113
ก5	น้ำหนักตัวเฉลี่ยเริ่มต้นการทดลองในระยะไก่ไข่	114

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การจัดแบ่งกลุ่ม non-starch polysaccharide	6
2	โครงสร้างของ Cellulose	18
3	โครงสร้างของ hemicellulose	20
4	โครงสร้างของ xylan	21
5	โครงสร้างของ Lignin-polysaccharide matrix	22
6	ระบบสืบพันธุ์ของไก่เทศเมีย	24
7	กระบวนการเมแทบอลิซึมกลูโคสและฟรุกโตสโดย homofermentative lactic acid bacteria ผ่านทางวิถีไกลโคไลซิส (glycolysis pathway)	33
8	กระบวนการเมแทบอลิซึมกลูโคสและฟรุกโตสโดย heterofermentative lactic acid bacteria ผ่านทางวิถีฟอสโฟคีโตเลส (phosphoketolase pathway)	35
9	กระบวนการเมแทบอลิซึมกลูโคสโดย <i>Bifidobacterium</i> spp.	36
10	ผลของการย่อยสลายสารอาหารและสารเมแทบอลิท์โดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่	41
11	ผลของการเสริม RFC ต่อน้ำหนักตัวของไก่สาว	62
ภาพผนวกที่		
ก1	อุณหภูมิเวลาเข้าและเวลาเย็นภายในโรงเรือนไก่สาว	105
ก2	ความชื้นสัมพัทธ์เวลาเข้าและเวลาเย็นภายในโรงเรือนไก่สาว	106
ก3	อุณหภูมิเวลาเข้าและเวลาเย็นภายในโรงเรือนไก่ไข่	111
ก4	ความชื้นสัมพัทธ์เวลาเข้าและเวลาเย็นภายในโรงเรือนไก่ไข่	112
ก5	ปริมาณอาหารที่กินในช่วงไก่สาว	113

การเสริมใยเข้มข้นต่อน้ำหนักกระเพาะปอด และสมรรถภาพทางการผลิต ของไก่สาวและไก่ไข่

The Supplementation of Raw Fiber Concentrate on Gizzard Weight and Production Performances of Pullet and Laying Hen

คำนำ

ใยเป็นส่วนหนึ่งของผนังเซลล์พืชที่สัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถย่อยได้ แต่นับว่าเป็นองค์ประกอบสารอาหารที่สำคัญ ใยที่มีอยู่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ได้มาจากพืชมีความแตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ โดยมีทั้งประโยชน์และโทษต่อตัวสัตว์ ระดับใยที่เหมาะสมและชนิดของใยจะมีผลในหลายด้าน เช่น กระบวนการผลิตอาหารสัตว์ การย่อยและการดูดซึมสารอาหาร ความสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร และการขับถ่าย ในที่สุดก็จะส่งผลมาถึงสมรรถภาพการผลิตของสัตว์โดยรวม ซึ่งหมายถึงการขาดทุนหรือได้กำไรของผู้เลี้ยงสัตว์เอง ลิกโนเซลลูโลส (lignocelluloses) เป็นโครงสร้างหลักของพืช ประกอบด้วย ลิกนิน (lignin) เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) และ เซลลูโลส (cellulose) (Betts *et al.*, 1991) ด้วยคุณสมบัติทางเคมีและส่วนประกอบในลิกโนเซลลูโลส ทำให้มีทั้งข้อดี เช่น การพองตัวเมื่ออยู่ในทางเดินอาหารมีผลต่อการเพิ่มขนาดกระเพาะปอด กระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์เยื่อบุผิวของลำไส้ส่วน ไอลีียม ทำให้เกิดความสมดุลของแบคทีเรียในลำไส้ ขับถ่ายสะดวก ลด pH ในลำไส้ ส่วนข้อเสีย เช่น ลดการดูดซึมของสารอาหารบางชนิด การกินได้ลดลง ลิกโนเซลลูโลสส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากอุตสาหกรรมป่าไม้และเกษตรกรรม ซึ่งการนำลิกโนเซลลูโลสมาใช้ในอาหารสัตว์เป็นแนวทางในการสร้างมูลค่าเพิ่มได้ (Howard *et al.*, 2003)

ไก่ขันนับว่าเป็นสัตว์ที่ให้ผลผลิตยาวนาน ดังนั้นการเตรียมไก่สาวที่มีคุณภาพและการเลี้ยงไก่ไข่ให้สามารถให้ผลผลิตได้ยาวนานนับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ด้วยข้อดีของใยเข้มข้นที่ปราศจากเชื้อราและสารพิษจากเชื้อรา การพองตัวเมื่ออยู่ในอาหารส่งผลต่อการเพิ่มขนาดของกระเพาะปอด นอกจากนี้การหมักย่อยใยเข้มข้นของจุลินทรีย์ยังให้ผลผลิตกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid, SCFA) ประกอบด้วย กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก ซึ่งดูดซึมเข้าสู่ร่างกายเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน กรดบิวทิริกยังมีบทบาทต่อการเจริญซ่อมแซมและเสถียรภาพของเยื่อบุผนังทางเดินอาหาร ระดับ pH ในทางเดินอาหารที่เกิดจากระดับกรดไขมันสาย

สั้่นยังเป็นปัจจัยร่วมในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อโรค และส่งเสริมจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ จึงส่งผลในการควบคุมโรค และช่วยให้สัตว์มีสุขภาพดี ด้วยเหตุนี้จึงนำมาซึ่งงานวิจัยเพื่อศึกษาผลของการเสริมเยื่อใยเข้มข้น (raw fiber concentrate, RFC) ต่อน้าหนักกระเพาะบด และสมรรถภาพทางการผลิตในไก่สาวและไก่ไข่



วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของการใช้เชื้อใยหมักขึ้น ต่อน้ำหนักกระเพาะบดและสมรรถภาพทางการผลิตของไก่สาว
2. เพื่อศึกษาผลของการใช้เชื้อใยหมักขึ้น ต่อสมรรถภาพทางการผลิตและคุณภาพไข่ของไก่ไข่
3. เพื่อศึกษาผลของการใช้เชื้อใยหมักขึ้น ต่อน้ำหนักกระเพาะบดและนิเวศวิทยาในลำไส้ของไก่ไข่

การตรวจเอกสาร

เยื่อใยเป็นส่วนของผนังเซลล์พืชที่สัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถย่อยได้ แต่นับว่าเป็นองค์ประกอบสารอาหารที่สำคัญ เยื่อใยที่มีอยู่ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ได้มาจากพืชมีความแตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ โดยมีทั้งประโยชน์และโทษต่อตัวสัตว์ ระดับเยื่อใยที่เหมาะสมและชนิดของเยื่อใยจะมีผลในหลายด้าน เช่น กระบวนการผลิตอาหารสัตว์ การย่อยและการดูดซึมสารอาหาร ความสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร และการขับถ่าย ในที่สุดก็จะส่งผลมาถึงสมรรถภาพการผลิตของสัตว์โดยรวม ซึ่งหมายถึงการขาดทุนหรือได้กำไรของผู้เลี้ยงสัตว์เอง

เยื่อใยรวม (crude fiber)

เยื่อใยรวมหรือเยื่อใยอาหาร เป็นส่วนประกอบของพืชที่ไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ในร่างกายมนุษย์หรือสัตว์กระเพาะเดี่ยว (Trowell *et al.*, 1976; Southgate and White, 1980; Heaton, 1983; Jenkins, 1988) แต่อาจถูกย่อยสลายได้บางส่วนโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ เยื่อใยพบทั่วไปในส่วนที่เป็นผนังเซลล์ และไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ (Southgate, 1976) ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) เพกติน (pectin) กัม (gums) มิวซิเลจ (mucilages) และลิกนิน (lignin) (Roehrig, 1984)

เยื่อใยพืชทุกชนิดเป็นโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ยกเว้นลิกนินที่เป็นโพลีเมอร์ (polymer) ของสารฟีนิลโพรเพน (phenyl propane) ในความหมายทางเคมี เยื่อใยหมายถึงวัตถุดิบที่เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch polysaccharide; NSP) แป้งเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบในธัญพืช ซึ่งใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักในอาหารสัตว์ปีก คำว่า insoluble NSP เป็นคำที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น แต่แตกต่างจากคำว่า soluble NSP ซึ่งเมื่อมีสัดส่วนในอาหารสัตว์ปีกมากขึ้น จะเป็นสาเหตุของปัญหาต่างๆ ที่คุ้นเคย เช่น ความชื้น มูลเหนียว มูลติดกัน และวัสดุรองพื้นเปียก จึงมีการแบ่งแยก NSP ออกเป็น good NSPs และ bad NSPs เมื่อพูดถึง NSPs ปกติจะหมายถึง bad NSPs คือ soluble NSP จึงต้องมีการใช้ NSP enzymes เพื่อจะขจัดปัญหาต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น (Roehrig, 1984)

การใช้ผลิตผลพลอยได้ในอาหารสัตว์มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากวัตถุดิบที่ให้พลังงานและโปรตีนถูกนำไปใช้เป็นอาหารของมนุษย์มากขึ้น จากการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก ดังนั้น

ผลิตผลพลอยได้จากเกษตรกรรม อุตสาหกรรมอาหารมนุษย์และอาหารสัตว์จึงถูกเลือกมาใช้เป็น วัตถุประสงค์อาหารสัตว์มากขึ้น มีการแข่งขันและการคิดหาวัตถุประสงค์ใหม่ๆ มาใช้ในอาหารสัตว์มากขึ้น จึง มีความจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาข้อมูลของวัตถุประสงค์นั้นๆ ของผู้ทำสูตรอาหารสัตว์ เช่น เยื่อใย ซึ่งไม่ ค่อยได้รับความสนใจมากนัก เพื่อใช้ประโยชน์จากเยื่อใยได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยวัตถุประสงค์ แต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบของเยื่อใยที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของเยื่อใยรวมและสัดส่วนของ NSP ที่พบในวัตถุประสงค์อาหารสัตว์ (g/kg DM)

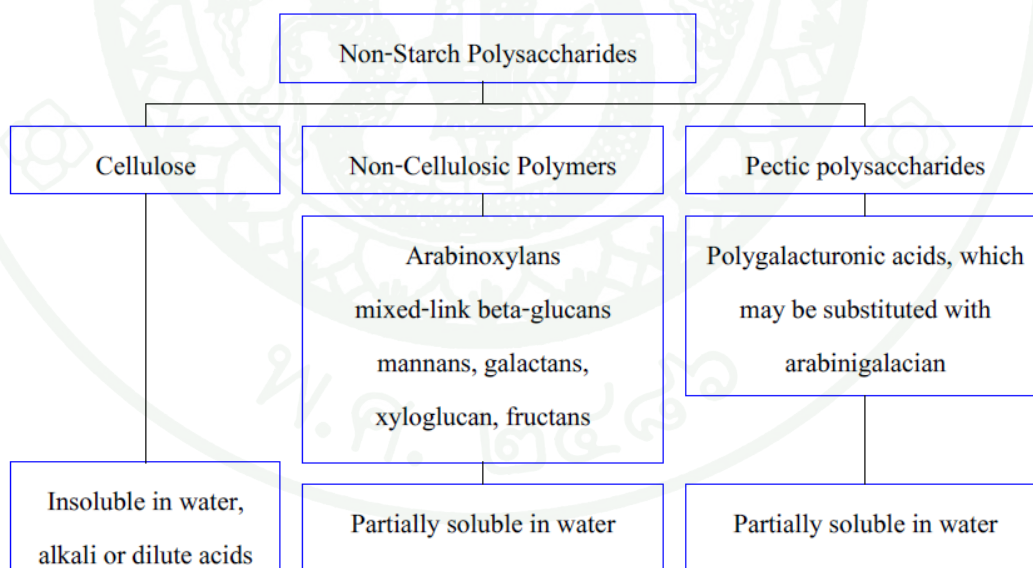
วัตถุประสงค์อาหารสัตว์	เยื่อใยรวม	เบต้า-กลูแคน	เพนโตแซน	NSP ทั้งหมด
ข้าวสาลี (Wheat)	20-34	2-15	55-95	75-106
ข้าวไรด์ (Rye)	22-32	5-30	75-91	107-128
ทริทิกาลี (Triticale)	30	2-20	54-69	74-103
ข้าวบาเลย์ (Barley)	42-93	15-107	57-70	135-172
ข้าวโอ๊ต (Oats)	80-123	30-66	55-69	120-296
ข้าวโพด (Maize)	19-30	1-2	40-43	55-117
รำข้าวสาลี (Wheat bran)	106-136	No data	150-250	220-337
กากถั่วเหลือง (Soybean meal)	34-99	No data	30-45	180-227
กากเรพซีด (Rapeseed meal)	109-159	No data	No data	187
ต้นถั่ว (Fodder peas)	56-72	No data	No data	156

ที่มา: AWT (2005)

NSP เป็น polysaccharide ประกอบด้วย น้ำตาลหลายชนิดนอกเหนือจากกลูโคส จับกันด้วย พันธะ β -1-3 และ β -1-4 glycosidic NSP แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ cellulose (ไม่ละลายน้ำ) non-cellulosic polymer และ pectic polysaccharide (ละลายน้ำ) ดังภาพที่ 1 (Choct and Kocker, 2002) ทำให้ NSP มีสูตรโครงสร้างหลากหลาย ด้วยเหตุนี้เอนไซม์ในสัตว์กระเพาะเดี่ยวจึงไม่ สามารถย่อยสลาย NSP ได้ NSP ที่ละลายน้ำจะเพิ่มความหนืดของสิ่งย่อยในทางเดินอาหาร และเมื่อ NSP แยกตัวจะมีลักษณะเป็นสารเหนียวคล้ายวุ้น ซึ่งจะไปห่อหุ้มสารอาหารชนิดอื่น ทำให้เอนไซม์ จากสัตว์ไม่สามารถเข้าไปย่อยได้ NSP จึงเป็นสารยับยั้งการใช้ประโยชน์ของโภชนาอื่น

(anti-nutrients) ทำให้มีผลลดการเจริญเติบโตและสมรรถภาพการผลิตของไก่ รวมทั้งลดการย่อยได้ของโภชนา โดยเฉพาะไขมัน (วรรณพร และ พันทิพา, 2543; Langhout, 2000) NSP ที่ละลายน้ำประกอบด้วย กัม (gum) และเพกติน (pectin) ซึ่งเป็นยางเหนียวหนืดและหมักย่อยอย่างรวดเร็วในลำไส้ใหญ่ส่วนต้น ส่วน NSP ที่ไม่ละลายน้ำ เช่น ไร่ข้าวสาลี ข้าวไรย์ ข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น ซึ่งไม่เป็นยางเหนียวหนืดจะถูกหมักย่อยอย่างช้า ๆ ในลำไส้ใหญ่ (Mroz *et al.*, 2000) การหมัก NSP ที่ไม่ละลายน้ำโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่จะผลิตกรดไขมันสายสั้น โดยเฉพาะกรดบิวทิริก ซึ่งมีบทบาทในการบำรุงรักษาสุขภาพและความสมบูรณ์ของเซลล์เยื่อของลำไส้ใหญ่

การเสริมไร่ข้าวสาลีจะยับยั้งการหมัก resistant starch ที่ส่วนไส้ตั้ง แต่จะเพิ่มการหมักในลำไส้ใหญ่ส่วนต้นและในอุจจาระเป็น 2 เท่า ผลจากการหมักจะได้กรดบิวทิริกในปริมาณสูงและแอมโมเนียต่ำกว่าในลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย NSP ที่ไม่ละลายน้ำจะเพิ่มปริมาตรของอาหารในช่องทางเดินอาหาร (lumen) ทำให้เจือจางสารพิษและสารก่อมะเร็ง นอกจากนี้จะเพิ่มการขนส่งสิ่งย่อยผ่านลำไส้ใหญ่และลดเวลาการสัมผัสของสารที่เป็นพิษต่อมิวโคซา (mucosa) ของลำไส้ใหญ่ จึงป้องกันการเกิดมะเร็งในส่วนลำไส้ใหญ่ได้ (Govers *et al.*, 1999)



ภาพที่ 1 การจัดแบ่งกลุ่ม non-starch polysaccharide

ที่มา: Choct and Kocker (2002)

ส่วนประกอบทางเคมีของเยื่อใย

เยื่อใยแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน (Southgate, 1976; Bingham *et al.*, 1979; Claus, 1984 และ Robert and Nip, 1984)

1. โครงสร้างหลักที่เป็นโพลีแซคคาไรด์ (structural polysaccharides) ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคติน

เซลลูโลส เป็นส่วนประกอบหลักที่พบในผนังเซลล์พืช ประมาณร้อยละ 10-25 ของ ส่วนประกอบทั้งหมดเป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส (glucose) จับกันด้วย β -1,4 glucosidic bond มีลักษณะโครงสร้างเป็นโซ่ตรง ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) ไม่ละลายในน้ำและค้างเข้มข้น แต่ละลายในกรดซัลฟูริกเข้มข้น ซึ่งแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่สามารถย่อยได้เล็กน้อย

เฮมิเซลลูโลส เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช และเป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลไซโลส (xylose) จับกันด้วย 1,4 pentosidic bond มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา ประกอบด้วยน้ำตาลเพนโตส (pentose) น้ำตาลเฮกโซส (hexose) และมีกรดกลูโคนิก (glucuronic acid) ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้มีคุณสมบัติแตกต่างไปจากเซลลูโลส คุณสมบัติไม่ละลายในน้ำและเจือจาง ถูกย่อยโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ได้มากกว่าเซลลูโลส

เพคติน เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช และ middle lamella มีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา ประกอบด้วยกรดและน้ำตาลหลายชนิด มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำและอุ้มน้ำได้ โดยจับกันในโมเลกุล ทำให้เกิดลักษณะเป็นเจล (gel) เพคตินสามารถย่อยสลายได้หมดในร่างกายมนุษย์ โดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่

2. โครงสร้างหลักที่ไม่เป็นโพลีแซคคาไรด์ (structural non-polysaccharides) ประกอบด้วย ลิกนิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช ประกอบด้วยโพลีเมอร์ของไฮดรอกซีฟีนิลโพรเพน (hydroxyphenylpropane) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำและไม่ถูกย่อยโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่

3. โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่โครงสร้างหลัก (non-structural polysaccharides) ประกอบด้วย กัม และมิวซิเลจ พบมากในสาหร่ายทะเล

กัม เป็นส่วนที่พืชหลั่งออกมาเมื่อมีบาดแผล โดย secretory cell ของพืช ลักษณะเป็นยางเหนียวข้น กัมหลายชนิดใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ช่วยกระจายไขมัน ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายคือ กัวกัม (guar gum) หรือกาแลคโตแมนแนน (galactomannan) ได้จากอินเดียนคลัสเตอร์บี (Indian cluster bean) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cyamopsis tetragonolobus* ด้วยคุณสมบัติในการคูดน้ำและรวมกับสารอื่นได้ดี มักใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ เครื่องสำอาง ยา บุหรี่ และอุตสาหกรรมอาหาร เช่น เติมลงในซอส น้ำสลัด ไอศกรีม เซอร์เบท อาหารแช่แข็ง และอาหารสุนัข (Jenkins *et al.*, 1979)

มิวซิเลจ เป็นส่วนประกอบของเมล็ดพืชส่วนเอนโดสเปิร์ม (endosperm)

ส่วนประกอบทั้งสามส่วนนี้ พบได้ในธัญพืช ผัก และผลไม้ ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เซลลูโลส ร้อยละ 62-76 เซลลูโลส ร้อยละ 17-32 และลิกนิน ร้อยละ 2-17.4 ตามลำดับ

คุณสมบัติทางกายภาพของเยื่อใยอาหาร

1. เยื่อใยไม่สามารถถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็กของมนุษย์ แต่จะถูกย่อยด้วยแบคทีเรียและเกิดการหมักภายในลำไส้ ทำให้อุจจาระมีปริมาณเพิ่มขึ้น ปริมาณการถูกย่อยสลายของเยื่อใยขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเยื่อใยอาหาร (Claus, 1984) (ตารางที่ 2)

แม้ว่าเยื่อใยไม่สามารถถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์ในร่างกายมนุษย์ แต่การหมักในลำไส้ใหญ่ทำให้โพลีแซคคาไรด์ถูกย่อยได้มาก โดยเฉพาะเพคติน กัม มิวซิเลจ และเฮมิเซลลูโลส บางตัวถูกย่อยได้อย่างสมบูรณ์ จึงไม่มีผลต่อการขับถ่าย ลิกนินถูกย่อยได้น้อยมาก (Heaton, 1983) ส่วนเซลลูโลสย่อยได้เพียงบางส่วนเท่านั้น เนื่องจากมีโครงสร้างแข็งแรง ยากต่อการย่อยสลายของแบคทีเรีย (Heaton, 1983 และ Jenkins, 1988)

ตารางที่ 2 การย่อยได้ของส่วนประกอบในเยื่อใย

ส่วนประกอบในเยื่อใย	ปริมาณการย่อยได้ (ร้อยละ)
ลิกนิน	0-5
เซลลูโลส	30-50
เฮมิเซลลูโลส	40-50
มิวซิเลจ	60-70
กัม	70-80
เพคติน	80-100

ที่มา: Claus (1984)

2. ความสามารถในการอุ้มน้ำ เป็นคุณสมบัติที่สำคัญ เพราะทำให้รู้สึกอิ่มเร็วและช่วยให้เยื่อใยในลำไส้มีน้ำหนักมากขึ้นและนุ่มขึ้น ลำไส้จึงขยายใหญ่ ช่วยให้เยื่อใยมีการเคลื่อนที่เร็ว เยื่อใยอาหารอยู่ในลำไส้ใหญ่เป็นเวลานาน ทำให้แรงดันภายในลำไส้ลดลง เป็นการลดระยะเวลาที่อุจจาระตกค้างในลำไส้และใช้พลังงานในการขับถ่ายน้อย ปริมาณของอุจจาระมาก (Jenkins, 1988) ซึ่งเป็นผลมาจากเยื่อใยที่ไม่ย่อยสลายโดยแบคทีเรีย ส่วนไขมันและโปรตีนนั้น ไม่มีผลต่อการเพิ่มน้ำหนักอุจจาระ (Cumming *et al.*, 1978) เยื่อใยแต่ละชนิดมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ไม่เท่ากัน เฮมิเซลลูโลสอุ้มน้ำได้ดีที่สุด เซลลูโลสรองลงมา (Eastwood *et al.*, 1980)

3. ความสามารถในการดูดซึมสารอินทรีย์ เยื่อใยสามารถดูดซึมสารอินทรีย์ได้ เช่น กรดน้ำดี (bile acid) คอเลสเตอรอล และสารพิษต่างๆ ลิกนินมีบทบาทสำคัญในการดูดซับกรดน้ำดี ส่วนเพคตินและกัมนั้นสามารถแยกกรดน้ำดีออกมากับอุจจาระได้ สำหรับเซลลูโลสมีผลในการดูดซับน้อยมาก นอกจากนี้ยังสามารถดูดซึมสารต่างๆ ได้ จากนั้นจะถูกขับออกทางอุจจาระ

4. คุณสมบัติให้ความชื้นหนืด เยื่อใยบางชนิด ได้แก่ กัวกัมและเพคติน เมื่อละลายน้ำแล้วทำให้เกิดเจลแต่โยอาหารบางชนิด เช่น เซลลูโลสและลิกนิน ไม่มีคุณสมบัตินี้ (Jenkins *et al.*, 1979)

คุณสมบัติทางเคมีของเยื่อใย

คุณสมบัติในการจับกับสารที่มีประจุบวกของส่วนประกอบของใยอาหารทำให้เกิดการจับกับแร่ธาตุในอาหารได้ เช่น สังกะสี แคลเซียม และเหล็ก อาหารที่มีใยอาหารสูงทำให้ร่างกายดูดซึมเกลือแร่ได้น้อยลง ซึ่งเกลือแร่มักถูกขับออกมากับอุจจาระ (Van *et al.*, 1982)

บทบาทของเยื่อใย

1. เพิ่มปริมาณอุจจาระ อุจจาระที่เพิ่มขึ้นเกิดจากส่วนของเยื่อใยที่เหลือจากการย่อย ปริมาณการอุ้มน้ำของเยื่อใยและปริมาณแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นในอุจจาระ จากการศึกษาดังกล่าวจะเห็นได้ว่า รำข้าวสาลี (ดิบ) สามารถเพิ่มปริมาณอุจจาระได้ดีกว่ารำข้าว (ผ่านการขัดสีและอบแห้ง) ทั้งนี้เนื่องจากกรรมวิธีในการขัดสีและอบแห้งได้ทำลายโครงสร้างของใยอาหาร จึงทำให้ลดคุณสมบัติในการอุ้มน้ำลงและถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียได้มากขึ้น

Anderson and Chen (1979) รายงานว่า พวก NSP ที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคตินและกัวกัม มีผลต่อการเพิ่มปริมาณอุจจาระน้อย ทั้งนี้เป็นเพราะแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ สามารถย่อยสลายใยอาหารพวกนี้ได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งปริมาณอุจจาระที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากชนิดของเยื่อใย ได้แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เชื้อยชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณอุจจาระ

ชนิดของเชื้อย	ปริมาณอุจจาระที่เพิ่มขึ้นจากปกติ (ร้อยละ)
รำข้าวโอ๊ต	15
กัวกัม	20
รำข้าวสาลี (ผ่านการขัดสีและอบแห้ง)	24
แอปเปิ้ล	40
กะหล่ำปลี	67
เซลลูโลส	75
รำข้าวสาลี (ดิบ)	80-127

ที่มา: Anderson and Chen (1979)

2. ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด Kay and Truswell (1980) รายงานว่า เชื้อยพวก โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่เซลลูโลสชนิดที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคตินและกัวกัม มีประสิทธิภาพในการลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้ดีที่ปริมาณการใช้ตั้งแต่ 10.0-14.0 กรัมต่อวัน เป็นเวลาดั้งแต่ 10 วัน ถึง 5 สัปดาห์ สามารถลดระดับคอเลสเตอรอลได้ถึงร้อยละ 5.0-18.0 เมื่อเทียบกับปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดตามปกติ ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะเป็นเจลของเพคตินจะจับกับกรดน้ำดีทำให้การดูดซึมกลับของกรดน้ำดีมีน้อยลงจึงต้องใช้คอเลสเตอรอลในร่างกายในการสร้างกรดน้ำดีเพิ่มขึ้น ระดับคอเลสเตอรอลจึงลดลง

Anderson and Chen (1983) ได้รายงานถึงเชื้อยอาหารชนิดต่างๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน ที่มีผลต่อระดับคอเลสเตอรอลในเลือด (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ชนิดและปริมาณเชื้อยที่มีผลต่อระดับคอเลสเตอรอลในเลือด

ชนิดของเชื้อย	ปริมาณ (กรัม/วัน)	ผลของระดับคอเลสเตอรอลในเลือด
เซลลูโลส	16	ไม่มีผลทำให้ระดับคอเลสเตอรอลเปลี่ยนแปลง
รำข้าวสาลี	17	เพิ่มระดับคอเลสเตอรอลในอัตราร้อยละ 1
ข้าวโอ๊ตที่ไม่ได้ขัดสี	15	ลดระดับคอเลสเตอรอลในอัตราร้อยละ 15

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ชนิดของเยื่อใย	ปริมาณ (กรัม/วัน)	ผลของระดับคอเลสเตอรอลในเลือด
รำข้าวโอ๊ต	27	ลดระดับคอเลสเตอรอลในอัตราร้อยละ 17
เพคติน	25	ลดระดับคอเลสเตอรอลในอัตราร้อยละ 13
กัวกัม	16	ลดระดับคอเลสเตอรอลในอัตราร้อยละ 16
ถั่ว	30	ลดระดับคอเลสเตอรอลในอัตราร้อยละ 19

ที่มา: Anderson and Chen (1983)

เยื่อใยประเภทเซลลูโลสไม่มีผลในการลดระดับคอเลสเตอรอล เนื่องจาก เยื่อใยอาหารประเภทนี้สามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้เพียงเล็กน้อย ส่วนรำข้าวสาลีมีผลในการเพิ่มระดับคอเลสเตอรอลได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ข้าวโอ๊ต เพคติน กัวกัม และถั่ว สามารถลดระดับคอเลสเตอรอลได้ ทั้งนี้เป็นเพราะเยื่อใยอาหารเหล่านี้สามารถดูดซับสารอินทรีย์โดยเฉพาะกรดน้ำดีได้มากกว่า

3. ทำให้อิ่มนาน เยื่อใยพวกเซลลูโลสและลิกนินมีส่วนที่เป็นของแข็งอยู่มาก จึงย่อยได้ช้ากว่าอาหารที่เป็นของเหลว ส่วนเยื่อใยที่ให้ความข้นหนืดพวกเพคตินและกัวกัม ความหนืดทำให้อาหารเคลื่อนตัวช้าลงจึงอยู่ในกระเพาะอาหารได้นานขึ้น นอกจากนี้เยื่อใยอาหารที่เกิดเป็นเจลนั้นสามารถลดปริมาณอาหารที่บริโภคได้ และจากการศึกษาของ Heaton (1983) พบว่า การบริโภคอาหารที่มีเยื่อใยต่ำ จะได้รับพลังงานมากขึ้น เนื่องจากอาหารที่มีเยื่อใยต่ำ เช่น แป้ง น้ำตาล สามารถบริโภคได้ง่าย บริโภคได้มากและไม่ต้องใช้พลังงานในการกินมาก

4. เยื่อใยเคลื่อนที่ในทางเดินอาหารเร็ว ทำให้ลำไส้ไม่ต้องทำงานหนักในการบีบรัดให้เยื่อใยเคลื่อนที่ จึงเกิดแรงดันภายในลำไส้ลดลง ลดอาการผนังลำไส้โป่งพอง (diverticulosis) ลดอาการเกร็งของกล้ามเนื้อบริเวณปากทวารหนัก

5. ไม่ทำให้อ้วน อาหารที่มีปริมาณเยื่อใยอาหารสูงประกอบด้วย กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) คอเลสเตอรอล และน้ำตาลบริสุทธิ์ (refined sugar) ต่ำ ทำให้ไม่เกิดโรคอ้วน (Claus, 1984)

6. ลดสารพิษในทางเดินอาหาร เยื่อใยจะจับสารพิษต่างๆ และขับออกทางอุจจาระ ทำให้ความเป็นพิษลดลง (Kay and Truswell, 1980)

ข้อเสียของเยื่อใย

1. เกิดการหมักของใยอาหารในลำไส้ใหญ่ มีการสร้างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ทำให้ท้องอืดเฟ้อ (Claus, 1984)
2. ลักษณะที่เกิดเจลของส่วนประกอบในใยอาหารจะขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ ทำให้การดูดซึมอาหารลดลง
3. คุณสมบัติสามารถจับสารที่มีประจุบวกของส่วนประกอบของเยื่อใยอาหารที่มีผลขัดขวางการดูดซึมแร่ธาตุต่างๆ อาหารที่ควรบริโภคจึงควรประกอบด้วยเยื่อใยอาหารที่ไม่มากกว่า 15-20 กรัมต่อวัน ซึ่งเป็นปริมาณที่ปลอดภัยต่อการนำแร่ธาตุไปใช้ประโยชน์ (Toma and Curtis, 1986)

ลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose)

ลิกโนเซลลูโลส (lignocelluloses) เป็นองค์ประกอบหลักในโครงสร้างของพืชที่ให้เนื้อไม้ และพืชที่ไม่ให้เนื้อไม้ เช่น ไม้ยืนต้น หญ้า ลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วย ลิกนิน (lignin) เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) และเซลลูโลส (cellulose) (Betts *et al.*, 1991) ลิกโนเซลลูโลสส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากอุตสาหกรรมป่าไม้และเกษตรกรรม ซึ่งการนำลิกโนเซลลูโลสมาใช้ในอาหารสัตว์เป็นแนวทางในการสร้างมูลค่าเพิ่มได้ โดยทำผลิตภัณฑ์ให้ได้มาตรฐาน จะมีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 50-65 ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ ไม่มี mycotoxin และมีการควบคุมกระบวนการผลิตให้อุณหภูมิเหมาะสม (Howard *et al.*, 2003) ด้วยคุณสมบัติทางเคมีและส่วนประกอบในลิกโนเซลลูโลส ทำให้มีทั้งข้อดี เช่น การพองตัวเมื่ออยู่ในทางเดินอาหารมีผลต่อการเพิ่มขนาด

กระเพาะบด กระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์เยื่อหุ้มของลำไส้ส่วน ไอลีียม ทำให้เกิดความสมดุลของแบคทีเรียในลำไส้ ขับถ่ายสะดวก ลด pH ในลำไส้ ส่วนข้อเสีย เช่น ลดการดูดซึมของสารอาหารบางชนิด การกินได้ลดลง

ชีวมวลถือได้ว่าเป็นมวลของวัตถุดิบที่รีไซเคิลจากวัสดุชีวภาพใดๆ ที่มีความหลากหลายอยู่บนโลกและมีการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ พืชหรือชิ้นส่วนของพืช องค์ประกอบของพืช เช่น แป้ง โปรตีน ไขมัน และเยื่อใย เป็นต้น ผลพลอยได้จากกระบวนการแปรสภาพผลิตผลทางการเกษตร เช่น เมล็ดพืชที่ผ่านการหมัก สกัด หรือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม ซึ่งลิกโนเซลลูโลสก็ถือเป็นผลิตผลพลอยได้เช่นกัน และมีการนำไปใช้ในการสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่มีใช้ในปัจจุบัน (Smith *et al.*, 1987) ดังแสดงในตารางที่ 5

จากที่ได้กล่าวในข้างต้น ลิกโนเซลลูโลสประกอบไปด้วย ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส ซึ่งในวัตถุดิบชีวภาพแต่ละชนิดจะมีสัดส่วนของลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส ที่แตกต่างกันไป (Betts *et al.*, 1991; Sun and Cheng, 2002) (ดังแสดงในตารางที่ 6)

ตารางที่ 5 ประเภทของลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในปัจจุบัน

วัตถุดิบลิกโนเซลลูโลส	ส่วนที่เหลืออยู่	การใช้ประโยชน์
การเก็บเกี่ยวเมล็ดธัญพืช		
ข้าวสาลี, ข้าวเจ้า, ข้าวโอ๊ต, ข้าวบาเลย์ และข้าวโพด	ฟาง, ชังข้าวโพด, ลำต้น, เปลือก	อาหารสัตว์, เชื้อเพลิง, บำรุงดิน
กระบวนการแปรสภาพเมล็ดธัญพืช		
ข้าวโพด, ข้าวสาลี, ข้าวเจ้า	น้ำเสีย, รำ	อาหารสัตว์
การเก็บเกี่ยวผักและผลไม้	เมล็ด, เปลือกผลไม้, ผิว, ผลไม้และน้ำผลไม้ที่ถูกคัดออก	อาหารสัตว์บดและสัตว์น้ำ, สกัดน้ำมันจากเมล็ด
กระบวนการแปรสภาพผักและผลไม้	เมล็ด, เปลือกผลไม้, น้ำเสีย, ผลไม้และน้ำผลไม้ที่ถูกคัดออก	อาหารสัตว์บดและสัตว์น้ำ, สกัดน้ำมันจากเมล็ด

ตารางที่ 5 (ต่อ)

วัตถุดิบลิกโนเซลลูโลส	ส่วนที่เหลืออยู่	การใช้ประโยชน์
อ้อยและผลิตภัณฑ์ให้น้ำตาล	ชานอ้อย	เชื้อเพลิง
พืชและเมล็ดพืชที่ให้น้ำมัน		
ถั่ว, เมล็ดฝ้าย, ผลมะกอก, ถั่วเหลือง เป็นต้น	ผิว, เปลือก, เยื่อใย, กากที่เกิด จากการบีบน้ำมัน, น้ำเสีย	อาหารสัตว์, ปุ๋ย, เชื้อเพลิง
ของเสียจากสัตว์	มูลและของเสียต่างๆ	บำรุงดิน
อุตสาหกรรมการทำป่าไม้	ไม้ที่เหลือ, เปลือกต้นไม้, ใบไม้ เป็นต้น	บำรุงดิน, เผาทิ้ง
ลิกโนเซลลูโลสที่เป็นของเสีย	หนังสือพิมพ์เก่า, กระดาษ, กระดาษแข็ง, เฟอร์นิเจอร์เก่า	มีส่วนน้อยที่นำกลับมาใช้ ใหม่
หญ้า	หญ้าที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์	เผาทิ้ง

ที่มา: Smith *et al.* (1987)

ตารางที่ 6 องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสที่พบได้ในผลิตภัณฑ์พลอยได้และของเสียจากการเกษตร

วัตถุดิบลิกโนเซลลูโลส	เซลลูโลส (ร้อยละ)	เฮมิเซลลูโลส (ร้อยละ)	ลิกนิน (ร้อยละ)
ลำต้นไม้เนื้อแข็ง	40-45	24-40	18-25
ลำต้นไม้เนื้ออ่อน	45-50	25-35	25-35
เปลือกถั่ว	25-30	25-30	30-40
ซังข้าวโพด	45	35	15
กระดาษ	85-99	0	0-15
ฟางข้าวสาลี	30	50	15
ฟางข้าวเจ้า	32.1	24	18
ใบไม้	15-20	80-85	0
ฝักเมล็ดฝ้าย	80-95	5-20	0
หนังสือพิมพ์	40-45	25-40	18-30
ของเสียจากสุกร	6	28	No data

ตารางที่ 6 (ต่อ)

วัตถุดิบลิกโนเซลลูโลส	เซลลูโลส (ร้อยละ)	เฮมิเซลลูโลส (ร้อยละ)	ลิกนิน (ร้อยละ)
มูลโคเนื้อส่วนที่เป็นของแข็ง	1.6-4.7	1.4-3.3	2.7-5.7
หญ้า	25-40	25-50	10-30

ที่มา: Betts *et al.* (1991); Sun and Cheng (2002)

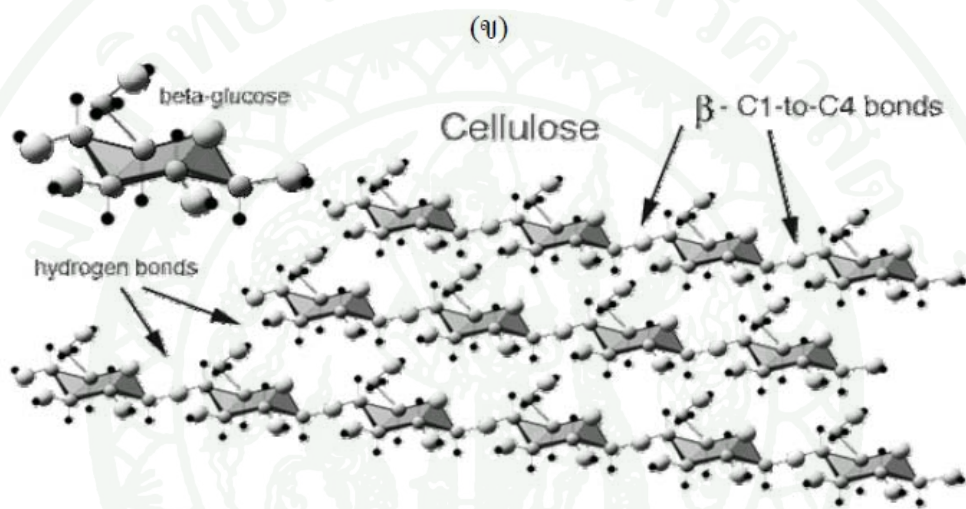
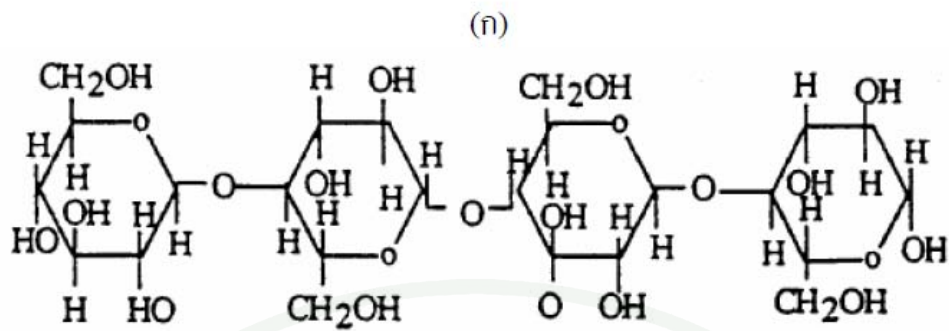
ในการแปรสภาพทางชีวภาพของลิกโนเซลลูโลส เพื่อให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีประโยชน์และเพิ่มมูลค่าต้องผ่านกระบวนการหลายขั้นตอน (Howard *et al.*, 2003) ขั้นตอนต่างๆ ประกอบด้วย

1. การปรับสภาพ ด้วยวิธีเชิงกล เคมี หรือชีวภาพ
2. การย่อยสลายโพลีเมอร์ เพื่อผลิตเป็นโมเลกุลที่เผาผลาญได้ง่าย เช่น น้ำตาลที่ประกอบด้วยห้าและหกคาร์บอน
3. การทำให้โมเลกุลใช้ประโยชน์ได้ทางชีวภาพที่สนับสนุนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือผลิตภัณฑ์ทางเคมี
4. การแยกและการทำให้บริสุทธิ์

เซลลูโลส (cellulose)

เซลลูโลส (cellulose) เป็น polysaccharides ที่มีมากที่สุดในธรรมชาติ เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช ซึ่งถือเป็นส่วนของเยื่อใย ทนต่อการย่อยได้ด้วยกรดและเบส ประกอบด้วยกลูโคสเป็นจำนวนมากเชื่อมกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะแบบ β -1, 4-glycosidic อย่างมีระเบียบ (ภาพที่ 2) ซึ่งพันธะนี้ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ของสัตว์ชั้นสูง แต่จุลินทรีย์มีเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) ที่สามารถย่อยพันธะนี้ได้ ดังนั้นสัตว์กระเพาะเดี่ยวจึงไม่สามารถใช้อาหารที่มีเยื่อใยสูงได้ ในขณะที่สัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โคนและกระบือสามารถใช้ได้ดีเพราะมีจุลินทรีย์ใน

กระเพาะหมัก (reticulorumen) และในไส้ติ่ง (caecum) ช่วยในการย่อยพันธะดังกล่าว (บุญล้อม, 2546) เซลลูโลสมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 20,000 ถึง 750,000 ดาลตัน ซึ่งเท่ากับ 100-4,000 หน่วย กลูโคส โมเลกุลของเซลลูโลสเรียงตัวเป็นมัดเรียกว่า fibril โดยมีพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่าง หมู่ไฮดรอกซิลของน้ำตาลกลูโคสที่อยู่ใกล้กันของเซลลูโลสสายหนึ่งกับเซลลูโลสอีกสายหนึ่ง เชื่อมต่อกันเป็น fibril นอกจากนี้เซลลูโลสที่พบในทั้งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งมีความทนต่อกรดได้มากกว่าเฮมิเซลลูโลส (Eriksson *et al.*, 1990) บริเวณที่มีการจัดเรียงโมเลกุลของเซลลูโลส อย่างเป็นระเบียบสูงเรียกว่าบริเวณ crystalline ส่วนบริเวณที่มีการจัดเรียงไม่เป็นระเบียบหรือมีความเป็นระเบียบน้อยเรียกว่าบริเวณ amorphous หรือ paracrystalline ซึ่งบริเวณที่มีการจัดเรียงไม่ เป็นระเบียบนี้จะยอมให้เอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยาเพื่อย่อยสลายพันธะต่างๆ ได้ง่ายกว่าบริเวณที่เป็น ระเบียบ (Reese, 1976)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของ cellulose

(ก) โครงสร้าง 2 มิติ

(ข) โครงสร้าง 3 มิติ

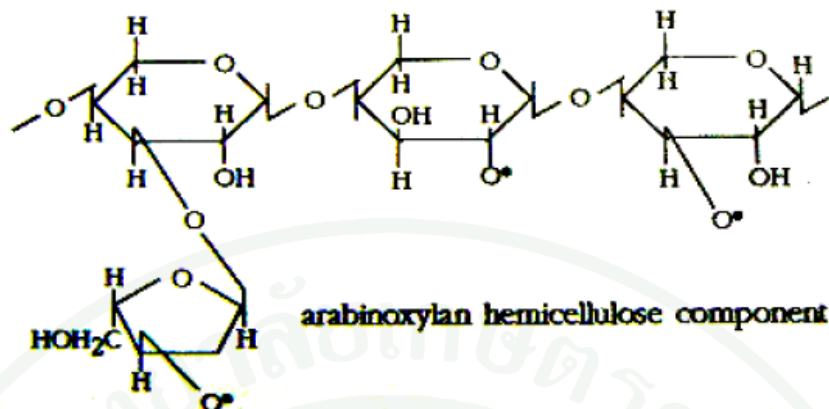
ที่มา: (ก) Eriksson *et al.* (1990)

(ข) Blamire (2004)

เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชเช่นกัน เอนไซม์จากสัตว์กระเพาะเดี่ยวไม่สามารถย่อยได้ แต่ย่อยได้โดยจุลินทรีย์เช่นเดียวกับเซลลูโลส โดยที่

เฮมิเซลลูโลสมีได้มีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส แต่เป็นส่วนหนึ่งของผนังเซลล์ ระหว่างตำแหน่งที่เซลล์ต่อกันอยู่ เรียกว่า middle lamella พบในชั้นอ่อนของพืชที่กำลังเจริญเติบโต และพบบริเวณผิวนอกที่หุ้มเมล็ดถั่ว (hulls) (พันทิพา, 2543) เฮมิเซลลูโลสพบในปริมาณมากในเมล็ดข้าวโพดและรำข้าวสาลี ซึ่งสามารถถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารส่วนปลายได้ประมาณร้อยละ 50-80 (เสกสม, 2545) เฮมิเซลลูโลสเป็น heteropolysaccharides ที่ประกอบด้วยน้ำตาลมากกว่า 2 ชนิด น้ำตาลที่พบมาก ได้แก่ ไซโลส (D-xylose) อะราบิโนส (arabinose) ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 ตัว นอกจากนี้ยังมีกลูโคส (D-glucose) แมนโนส (D-mannose) กาแล็กโทส (D-galactose) และกรดกลูคูโรนิก (D-glucuronic acid) เชื่อมกันด้วยพันธะแบบ β -1, 4 และอาจมี side chain ด้วย (ภาพที่ 3) เฮมิเซลลูโลสอาจจำแนกตามชนิดของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบได้เป็น mannan, galactan, xylan, glucomannan, arabinoxylan และ arabinogalactan เป็นต้น (บุญล้อม, 2546) xylan เป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุดในการเฮมิเซลลูโลส โดยมีโครงสร้างหลักที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -1,4-linkage ของน้ำตาลไซโลส และมีกิ่งก้านเป็นน้ำตาลหรืออนุพันธ์ของน้ำตาลต่างๆ (Eriksson *et al.*, 1990) เฮมิเซลลูโลสที่พบในธรรมชาติมักอยู่รวมกับลิกนินเซลลูโลสจึงทำให้ผนังเซลล์ของพืชมีความแข็งแรงและยืดหยุ่น (Kirk, 1983)



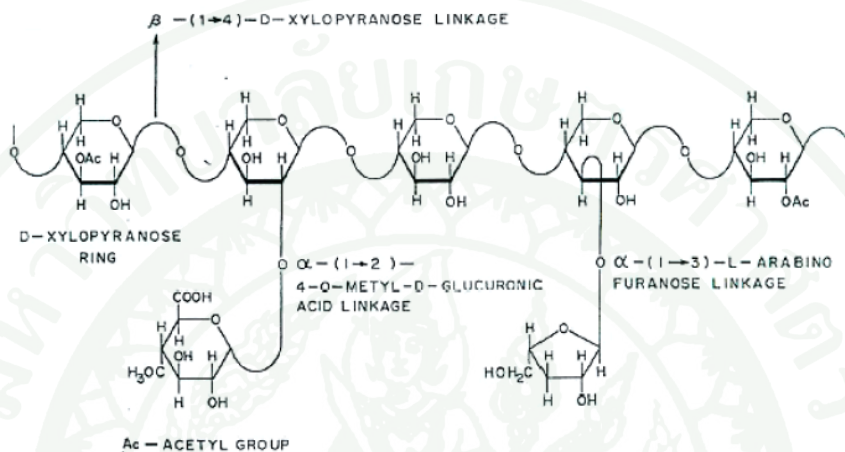
ภาพที่ 3 โครงสร้างของ hemicelluloses

ที่มา: Voet and Voet (1995)

เฮมิเซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ซึ่งถูกย่อยด้วยกรดได้ดีกว่าเซลลูโลสและยังสามารถย่อยได้ด้วยด่าง เฮมิเซลลูโลสมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ ชนิดของน้ำตาลส่วนใหญ่ที่พบได้แก่ D-xylose, D-mannose, D-galactose, D-glucose, L-arabinose, 4-O-methyl-D-glucuronic, D-galacturonic acid และ D-glucuronic acid ส่วนน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในเฮมิเซลลูโลสที่พบไม่บ่อยนัก เช่น L-rhamnose, L-fucose และ methylated neutral sugars โพลีแซคคาไรด์ที่สำคัญที่จัดเป็นเฮมิเซลลูโลสคือ ไซแลน (xylan) และแมนแนน (mannan) ไซแลนประกอบด้วย D-xylopyranose ประมาณ 200 หน่วย ไซแลนจากแหล่งต่างๆ จะมีโครงสร้างหลักเหมือนกันแต่ต่างกันตรงโซ่ด้านข้าง โดยโซ่ด้านข้างที่พบทั่วไปได้แก่ L-arabinofuranose, D-glucuronic acid, 4-O methyl-D-glucuronic acid และ acetic acid (Goodwin and Mercer, 1972; Wong *et al.*, 1988) แสดงดังภาพที่ 4

ไซแลนเป็นเฮเทอโรโพลีแซคคาไรด์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน มีน้ำตาลไซโลสเป็นโครงสร้างหลัก และมีกิ่งก้านเป็นน้ำตาลและอนุพันธ์ของน้ำตาลต่างๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายไซแลนมักพบ acidic และ arabinoxylooligosaccharides ด้าน non-reducing end เพราะอีกด้านหนึ่งของพันธะมีกิ่งก้านช่วยป้องกันการย่อยสลายด้วย xylanase นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพต่อความจำเพาะต่อการทำงานของ xylanase ด้วย เนื่องจากโครงสร้างของไซแลนทำให้ย่อยได้ยาก จึงต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของเอนไซม์หลายชนิด ได้แก่ เอนไซม์ในกลุ่มย่อยไซแลน ซึ่ง

ประกอบด้วยเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยโครงสร้างหลักซึ่งได้แก่ endoxylanase และ β -xylosidase และเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยโซ่กิ่ง (branch chain) ได้แก่ α -glucuronidase acetyl xylan esterase, α -arabinofuranosidase และ phenolicacid esterase โดยเอนไซม์ทั้งสองกลุ่มทำงานร่วมกันในการเปลี่ยนไซแลนให้เป็นน้ำตาลไซโลส (Eriksson *et al.*, 1990)



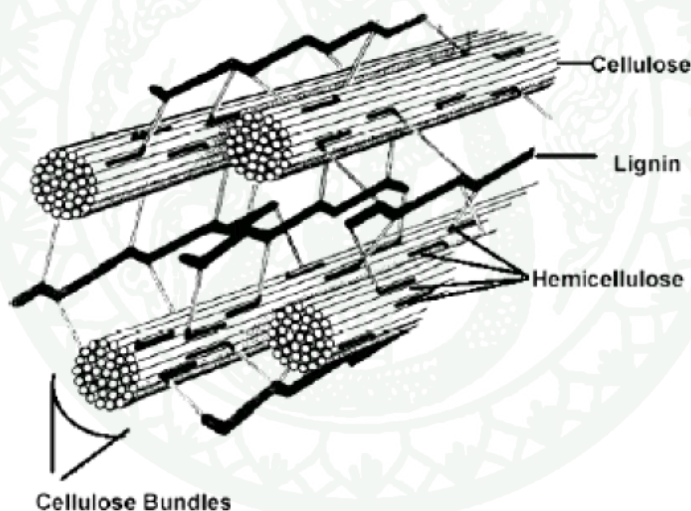
ภาพที่ 4 โครงสร้างของ xylan

ที่มา: Eriksson *et al.* (1990)

ในธรรมชาติโครงสร้างไซแลนมักอยู่ร่วมกับคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ ซึ่งเชื่อมกันแบบ noncovalent และส่วนใหญ่ไซแลนในเฮมิเซลลูโลสยึดเกาะกับเซลลูโลสด้วยพันธะไฮโดรเจน ดังนั้นไซแลนจึงมีบทบาทเป็นตัวประสานกันระหว่างโครงสร้างเส้นใยของผนังเซลล์พืช มีการตั้งสมมติฐานว่าเส้นใยเซลลูโลสถูกล้อมรอบเป็นโครงสร้าง lignin-polysaccharide matrix (Patrick, 2002)

ลิกนิน (lignin)

ลิกนินไม่จัดเป็นคาร์โบไฮเดรต แต่เป็นอนุพันธ์ของสารฟีนิลโพรเพน (phenyl propane) เนื่องจากมักอยู่ร่วมกับเฮมิเซลลูโลสในผนังเซลล์ของพืช (ภาพที่ 5) และในการวิเคราะห์อาหารแบบพรอกซิเมต (proximate analysis) พบลิกนินประมาณร้อยละ 3.20-6.64 อยู่รวมในส่วนของเชื้อใยรวม (crude fiber; CF) จึงมักถูกเรียกพร้อมกับคาร์โบไฮเดรตประเภทโครงสร้าง และเรียกรวมว่า ลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) ซึ่งลิกโนเซลลูโลสมีอยู่ประมาณร้อยละ 34-59 (ปรีชาและทวีพร, 2551) ลิกนินช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของต้นพืช เมื่อพืชมีอายุมากขึ้นก็จะมีสัดส่วนของลิกนินเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทำให้ย่อยได้ยากมากขึ้น เพราะเอนไซม์จากสัตว์ไม่สามารถย่อยได้ นอกจากนี้ยังไปขัดขวางไม่ให้เอนไซม์เข้าไปย่อยโภชนะตัวอื่นๆ ที่อยู่ในเซลล์พืชอีกด้วย ในพืชอ่อนและเมล็ดพืชมีลิกนินต่ำ ทำให้สัตว์กระเพาะเดี่ยวสามารถใช้ประโยชน์ได้ดี (บุญล้อม, 2546)



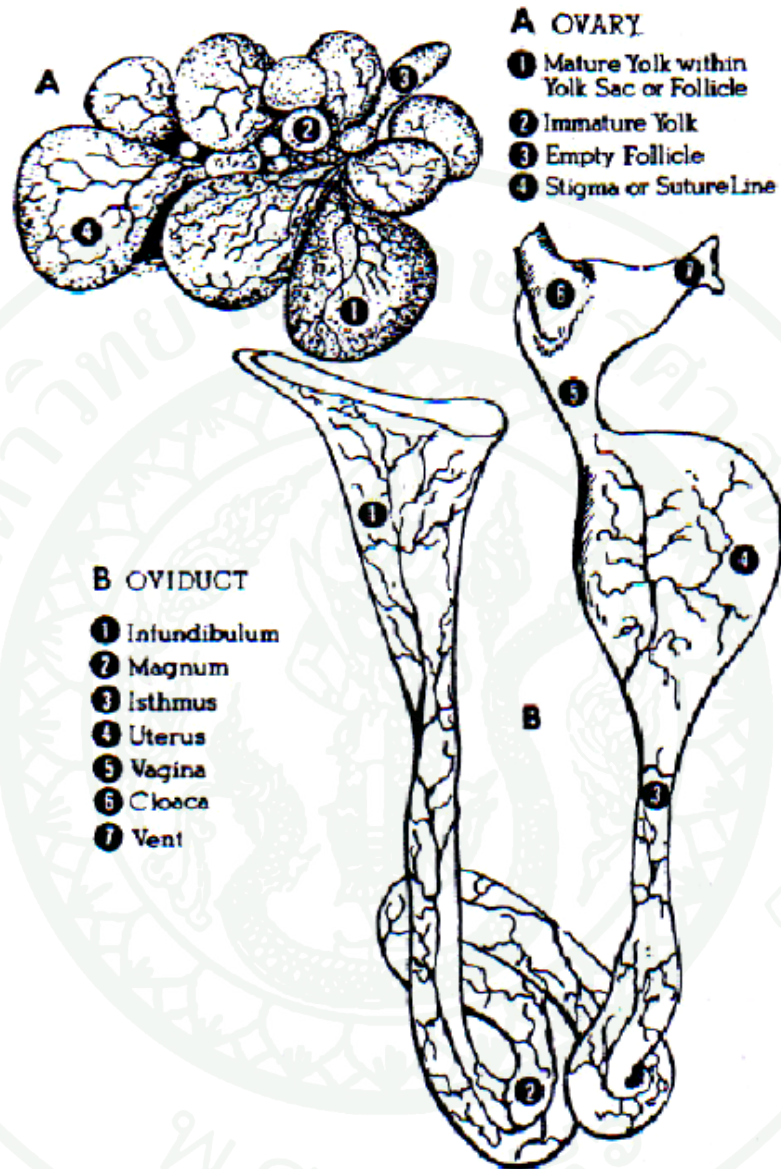
ภาพที่ 5 โครงสร้างของ lignin-polysaccharide matrix

ที่มา: Patrick (2002)

กระบวนการสร้างไข่

สัตว์ปีกเพศเมียมีระบบสืบพันธุ์ที่ประกอบด้วยรังไข่ (ovary) และท่อนำไข่ (oviduct) (ภาพที่ 6) ซึ่งรังไข่ของสัตว์ปีกมีเพียงข้างซ้ายเท่านั้น นอกจากทำหน้าที่ในการสร้างไข่แล้ว รังไข่ยังทำหน้าที่เป็นต่อมไร้ท่อ โดยผลิตฮอร์โมนเพศเมีย (estrogen) ฮอร์โมนเพศผู้ (androgen) และฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน (progesterone) ฮอร์โมนเพศเมียมีผลทำให้ท่อนำไข่ขยายใหญ่ขึ้น กระจกเชิงกรานและก้นขยายกว้าง ทำให้เกิดการสร้างโปรตีนและไขมันเพื่อใช้ในการสร้างไข่ ทำให้เกิดการนำแคลเซียมมาสร้างเปลือกไข่ และเกิดการสร้างกระดูกเมดัลลารี (medullary bone) และเกิดลักษณะของขนในเพศเมีย ฮอร์โมนเพศผู้มีผลทำให้ไก่ตัวเมียมีนิสัยข่มเหงรังแกกัน ช่วยในการเจริญของเหนียงและหงอน และทำหน้าที่ร่วมกับฮอร์โมนโปรเจสเตอโรนที่ทำหน้าที่ในการกระตุ้นการสร้างไข่ขาว

รังไข่ประกอบด้วยส่วนเมดัลลาและคอร์เทกซ์ ส่วนของคอร์เทกซ์มีฟอลลิเคิลที่อยู่ในช่วงการเจริญเติบโตในระยะต่างๆ มากมาย บริเวณผิวนอกมี germinal epithelium ปกคลุมอยู่ ในระยะที่เป็นตัวอ่อนเนื้อเยื่อนี้จะเจริญเข้ามาจากชั้นผิวกลายเป็น primary oocyte ในระยะแรกของการเจริญเติบโตของตัวอ่อนจะมีรังไข่และท่อนำไข่ทั้ง 2 ข้าง แต่หลังจากฟักไข่ได้ 8 วัน รังไข่และท่อนำไข่ข้างขวาจะหยุดการเจริญเติบโตและฝ่อไป ทำให้เหลือรังไข่และท่อนำไข่เพียงข้างซ้ายเท่านั้นเมื่อฟักออกเป็นตัวในรังไข่จะมี oocyte จำนวนหลายพันฟองซึ่งสามารถมองเห็นไข่บางฟองได้ด้วยตาเปล่า oocyte เหล่านี้จะไม่เพิ่มจำนวนจนกว่าจะถึงวัยสาว (อายุ, 2538) รังไข่แขวนติดกับผนังช่องท้องด้านบนโดยเยื่อ mesovarium และเชื่อมติดกับเส้นเลือดดำทาง ovarian stalk ซึ่งประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เส้นเลือด ระบบประสาท และกล้ามเนื้อเรียบ ในช่วงอายุ 3-4 เดือน มีน้ำหนัก 0.3-0.5 กรัม แต่จะเพิ่มขนาดขึ้นอย่างรวดเร็วเป็น 2 กรัม เมื่ออายุ 18-20 สัปดาห์ และก่อนที่จะมีการวางไข่น้ำหนักจะเพิ่มเป็น 4-6 กรัม โดยการขยายขนาดเซลล์ภายในรังไข่และถุงหุ้มไข่ (follicle) เมื่อถึงวัยเจริญพันธุ์รังไข่ซึ่งมีฟองไข่อ่อน (oocyte) อยู่ภายในจำนวนหลายๆ ฟองจะมีการเจริญอย่างรวดเร็ว และจะมีการแบ่งขนาดในการเจริญเติบโต ฟองไข่แต่ละฟองจะมีขนาดใหญ่อขึ้น เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 40 มม. น้ำหนักประมาณ 20 กรัม เมื่อใบแรกเจริญเติบโตเต็มที่แล้วก็จะมีการตกไข่ ฟองไข่ที่มีขนาดเล็กลงไปจะเจริญขึ้นมาแทนที่และจะตกในวันถัดมาจนครบ 4-6 ฟอง หลังจากนั้นจะหยุดฟักประมาณ 24-36 ชั่วโมง แล้วจึงเริ่มมีการตกไข่ต่อเนื่องกันอีก จำนวนไข่แต่ละชุดที่แม่ไก่ไข่ติดต่อกันทุกวัน โดยไม่หยุดเรียกตบไข่ (clutch)



ภาพที่ 6 ระบบสืบพันธุ์ของไก่เทศเมีย

ที่มา: North and Bell (1990)

การสร้างไข่แดง

ไข่แดงไม่ใช่เซลล์สืบพันธุ์แต่เป็นแหล่งอาหารของเซลล์เล็กๆ ที่เรียกว่า บลาสโตเดิร์ม เมื่อเข้าสู่วัยสาวขนาดของรังไข่และท่อนำไข่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก โดยก่อนที่แม่ไก่จะวางไข่ฟองแรก 11 วัน การทำงานของระบบฮอร์โมนเพศจะเริ่มขึ้นโดยฮอร์โมน FSH (follicle stimulating hormone) จากต่อมใต้สมองส่วนหน้าจะไปกระตุ้น ovarian follicle ให้มีการขยายขนาดขึ้น หลังจากนั้นรังไข่จะเริ่มอยู่ในสภาพที่สามารถทำงานได้ ทำให้เกิดการสร้างฮอร์โมนเอสโตรเจน โปรเจสเตอโรน และเทสโทสเตอโรน ทำให้เกิดการสะสมสารอาหารโปรตีนและไขมันในฟองไข่ ซึ่งสารอาหารเหล่านี้ส่งมาจากตับผ่านทางกระแสเลือด ทำให้ไข่แดงจะสุกได้ภายใน 1-2 วัน ต่อมาไข่แดงฟองที่ 2 จะเริ่มเจริญ เมื่อไข่ฟองแรกออกจากตัวแม่ไก่ ไข่แดงอีก 5-10 ฟอง จะเข้ากระบวนการเจริญต่อไป ดังนั้นการที่ไข่แต่ละฟองสุกต้องใช้เวลา 10-11 วัน การสะสมสารต่างๆ ในไข่แดงจะช้ามากในระยะแรก แต่เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางไข่ได้ 6 มม. ไปแล้วการสะสมสารต่างๆ จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การเกิดสีในไข่แดงเนื่องจากการสะสมสารแซนโทฟิลล์ (xanthophylls) ซึ่งเป็นรงควัตถุที่เป็นแหล่งสารสีในอาหาร การสะสมจะเกิดขึ้นมากในช่วงกินอาหารทำให้มีสีเข้ม และจะสะสมน้อยในช่วงที่อดอาหารทำให้มีสีจาง การสะสมจะเริ่มสะสมจากชั้นนอกเข้าไปหาชั้นใน แถบเข้มและแถบสว่างในไข่แดงจะมี 7-11 ชั้น ตามระยะเวลาการสร้างไข่ (อาวูธ, 2538)

การตกไข่

ไข่ที่กำลังเจริญและขยายขนาดจะอยู่ภายในเยื่อบางๆ ที่เรียกว่า ฟอลลิเคิล ซึ่งฟอลลิเคิลแต่ละอันจะยึดอยู่กับก้านกระเปาะเล็กๆ ของรังไข่ที่เรียกว่า follicular stalk บริเวณผิวของถุงหุ้มไข่แดงจะมีเส้นเลือดแดงจำนวนมากมาหล่อเลี้ยง ยกเว้นตอนกลางของไข่ ซึ่งจะเป็นบริเวณที่ถุงหุ้มไข่เกิดการฉีกขาดเรียกแนวนี้ว่า stigma เมื่อไข่แดงสุก รังไข่จะหลั่งฮอร์โมนโปรเจสเตอโรนไปที่สมองส่วนไฮโปทาลามัส ซึ่งส่งผลกระตุ้นต่อไปยังต่อมใต้สมองส่วนหน้าให้หลั่งฮอร์โมน LH (leuteinizing hormone) มาที่รังไข่เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดการตกไข่ ซึ่งฮอร์โมนนี้จะหลั่งออกมามากที่สุดในเวลา 4-6 ชั่วโมง ก่อนที่แม่ไก่จะเกิดการตกไข่ (Johnson and van Tienhoven, 1990) ทำให้ถุงหุ้มไข่เกิดการฉีกขาด ไข่ที่สุกจะตกสู่ท่อนำไข่ส่วนปากแตร ไข่ที่ตก (ovum) ประกอบด้วยเยื่อหุ้มไข่ (vitelline membrane) เซลล์สืบพันธุ์ (germinal disc) และส่วนประกอบของไข่แดง (yolk) การตกไข่ในครั้งแรกเกิดจากการกระตุ้นโดยระบบประสาทและฮอร์โมน การตกไข่ฟองต่อมาจะเกิดหลังจากการวางไข่ฟองแรก 10-40 นาที ไข่ในแต่ละชุดที่ตกไข่จะมี 4-6 ฟอง แม่ไก่ที่ให้ไข่ดีจะมีตัว

ไข่จะยาวและระยะห่างระหว่างดับสัน หลังจากเกิดการตกไข่แล้ว ยังต้องใช้เวลาในการสร้างไข่ขาว เยื่อหุ้มไข่ และเปลือกไข่อีก 23-26 ชั่วโมง ถ้าแม่ไก่ใช้เวลาในการสร้างนานกว่า 24 ชั่วโมง จะทำให้ การวางไข่ในแต่ละวันช้าลงและทำให้การตกไข่เกิดขึ้นช้าตามไปด้วย ไข่ที่วางในตอนบ่ายจะอยู่ใน ท่อนำไข่นานกว่าไข่ที่วางในตอนเช้าและหลังจากตอนบ่ายไปแล้วจะไม่เกิดการตกไข่ แม่ไก่ที่ดัดไข่นาน จะวางไข่ฟองแรกในตอนเช้า การตกไข่ฟองต่อมาจะเกิดเร็ว ทำให้ช่วงเวลาที่แม่ไก่วางไข่เข้าไป ในแต่ละวันสั้นลง เมื่อแม่ไก่เริ่มไข่ในช่วงอายุสัปดาห์แรก การตกไข่จะไม่สม่ำเสมอ และอาจตกไข่ เพียง 2-4 ฟองเนื่องจากระบบฮอร์โมนยังไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้แม่ไก่ที่เริ่มไข่ใหม่ๆ มักจะเกิดไข่ แผลเนื่องจากรังไข่ทำงานมากเกินไป มักเกิดในไก่เนื้อมากกว่าไก่ไข่ (อาวูธ, 2538)

การสร้างไข่ขาว (egg white formation)

เมื่อไข่แดงผ่านเข้าสู่ magnum ที่ผนังจะมีเซลล์ที่เรียกว่า goblet cell อยู่เป็นจำนวนมาก ทำหน้าที่สร้างไข่ขาว (albumen) ที่มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็น โปรตีนมาห่อหุ้มไข่แดงไว้ ไข่ขาวใน ฟองไข่แบ่งได้เป็น 4 ส่วน คือ

1. Chalaziferous layer หรือ inner thick white เป็นไข่ขาวชั้นชั้นในสุดที่ห่อหุ้มไข่แดงไว้ ไข่ขาวส่วนนี้มีประมาณร้อยละ 3 ของไข่ขาวทั้งหมด ไข่ขาวชั้นนี้มีลักษณะเป็นเกลียวทั้งสองด้าน ของไข่แดง ทำหน้าที่ยึดไข่แดงให้อยู่ตรงกลางฟองไข่
2. Inner thin white เป็นไข่ขาวที่ห่อหุ้มชั้นของ chalazae ไว้ มีลักษณะเป็นไข่ขาวเหลว มี ประมาณร้อยละ 17 ของไข่ขาวทั้งหมด
3. Thick albumen หรือ firm อยู่ถัดจาก inner thin white ออกมา ประกอบด้วยสารมิวซิน (mucin) มีลักษณะเป็นไข่ขาวข้น ไข่ขาวชั้นนี้มีประมาณร้อยละ 60 ของไข่ขาวทั้งหมด
4. Outer thin albumen เป็นไข่ขาวส่วนนอกสุด ห่อหุ้มไข่ขาวส่วนอื่นๆ ไว้ทั้งหมด มี ลักษณะเป็นไข่ขาวเหลว เช่นเดียวกับชั้นของ inner thin white มีประมาณร้อยละ 20 ของไข่ขาว ทั้งหมด

การสร้างเยื่อเปลือกไข่ (shell membrane formation)

เยื่อไข่แดงที่หุ้มด้วยไข่ขาวผ่านเข้าไปในส่วน isthmus ก็จะสร้างเยื่อเปลือกไข่ชั้น 2 ชั้น คือ เยื่อเปลือกไข่ชั้นใน (inner shell membrane) และเยื่อเปลือกไข่ชั้นนอก (outer shell membrane) ในตอนแรกฟองไข่ที่มีเยื่อเปลือกไข่แล้วนั้นจะมีลักษณะหยาบๆ เมื่อผ่านเข้าไปใน uterus ก็จะมีการดูดซึมน้ำเข้าไปในฟองไข่ทำให้ฟองไข่นั้นโป่งออกจนมีลักษณะเป็นรูปไข่ เยื่อเปลือกไข่ชั้นในจะมีความหนาประมาณ 0.015 มิลลิเมตร และเยื่อเปลือกไข่ชั้นนอกจะมีความหนาประมาณ 0.05 มิลลิเมตร เยื่อเปลือกไข่ทั้ง 2 ชั้นจะติดกันแน่นจนแยกกันไม่ออก ยกเว้นส่วนที่เป็นช่องอากาศ (air cell) ของฟองไข่ เยื่อเปลือกไข่ทั้งสองชั้นจะแยกจากกัน โดยมีอากาศแทรกอยู่ตรงกลาง (วรวิทย์, 2531)

การสร้างเปลือกไข่ (the egg shell formation)

เมื่อฟองไข่ที่ถูกห่อหุ้มด้วยเยื่อเปลือกไข่เคลื่อนเข้าสู่ uterus ต่อมสร้างเปลือกไข่ (shell gland) ที่ผนังของ uterus ก็จะสร้างเปลือกไข่ชั้นห่อหุ้มฟองไข่จนเป็นไข่ที่สมบูรณ์ ซึ่งต้องใช้เวลาช่วงนี้ประมาณ 20 ชั่วโมง เปลือกไข่มีส่วนประกอบเกือบทั้งหมดเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เปลือกไข่ด้านในจะติดสนิทอยู่กับเยื่อเปลือกไข่ด้วย โครงสร้างชั้นในสุดที่เรียกว่า basal cap โดยจะฝังติดอยู่ในเยื่อเปลือกไข่ชั้นนอก ลักษณะโครงสร้างของเปลือกไข่ประกอบด้วย แคลเซียมคาร์บอเนต ที่มีลักษณะเป็นแท่งๆ มาต่อกัน ตรงรอยต่อระหว่างแท่งจะไม่สนิทจึงมีช่องว่างหรือรูพรุน (pores) มากมายบนเปลือกไข่ ซึ่งมีประโยชน์ในการแลกเปลี่ยนก๊าซและการระเหยของน้ำออกจากฟองไข่ ไข่ไก่แต่ละฟองจะมีรูพรุนเหล่านี้อยู่ประมาณ 6,000-8,000 รู ส่วนนอกสุดของเปลือกไข่จะมีสารอินทรีย์ (organic material) ซึ่งเรียกว่า cuticle เคลือบที่ผิวของฟองไข่ทั้งหมดไว้ทำหน้าที่ปิดรูพรุนที่เปลือกไข่เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำออกจากฟองไข่มากเกินไป และป้องกันแบคทีเรียรวมทั้งเชื้อโรคอื่นๆ ที่จะเข้าไปทำลายฟองไข่และเปลือกไข่ ในขณะที่แม่ไก่ยังไม่ออกไข่ cuticle นี้จะเปื่อยและมีหน้าที่ในการหล่อลื่นฟองไข่ด้วย เมื่อไข่ออกมาภายนอกแล้ว cuticle จะแห้งอย่างรวดเร็วเคลือบอยู่บนผิวของเปลือกไข่ (วรวิทย์, 2531)

จุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว

ระบบทางเดินอาหาร ในสัตว์แรกเกิดจะไม่มีจุลินทรีย์เป็นองค์ประกอบ แต่จุลินทรีย์จากสภาพแวดล้อมจะเข้าไปในระบบทางเดินอาหารภายในระยะเวลาไม่กี่นาทีหลังคลอด แบคทีเรียในระบบทางเดินอาหารจะมีการเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของอาหารที่กิน ระบบทางเดินอาหารเป็นส่วนที่จะมีจุลินทรีย์จำนวนมากและแตกต่างกันถึง 400-500 ชนิด โดยเฉพาะในลำไส้ใหญ่ส่วน โคลอนจะมีจุลินทรีย์มากที่สุดประมาณ 10¹¹ เซลล์/กรัมของมูล และในลำไส้ใหญ่จะมีจุลินทรีย์อยู่ประมาณ 50 ชนิด โดยจะมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของอาหาร (บุษบา, 2543) ในทางเดินอาหารของไก่พบแบคทีเรียสามัญหลายชนิด ดังตารางที่ 7

จุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายชนิด ซึ่งจะอาศัยอยู่ในกระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก และ โดยเฉพาะลำไส้ใหญ่ซึ่งมีจุลินทรีย์หนาแน่น เพราะในบริเวณนี้มีความเหมาะสมทางสรีรวิทยาและทางชีวเคมีมากกว่าส่วนอื่น จุลินทรีย์เหล่านี้จะเกาะจับอยู่บริเวณ เยื่อเมือกในลำไส้ หรืออาศัยอยู่ในร่องระหว่างวิลไลหรือคริปต์ (Salminen *et al.*, 1993)

Maxwell and Stewart (1995) ได้รายงานจำนวนและชนิดของจุลินทรีย์ที่อาศัยในระบบทางเดินอาหารโดยการตรวจนับจากมูล พบว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของจุลินทรีย์ที่แยกได้จากมูล และของเหลวจากไส้ติ่ง (cecal content) จะเป็นแบคทีเรียแกรมบวก เช่น สเตปโตคอคคัส และส่วนที่เหลือจะเป็นกลุ่มแกรมลบ จุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารดังกล่าว ยังสามารถแบ่งตามผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์ได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. ประเภทที่ทำให้เกิดโรค (pathogenic microorganism) คือ จุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อให้เกิดโรคต่างๆ หรือทำให้ร่างกายเกิดความผิดปกติ เช่น แบคทีเรียพวก *E. coli*, *Salmonella spp.* และ *Vibrio cholera* เป็นต้น ซึ่งก่อให้เกิดอาการท้องเสียโดยทำให้มีของเหลวในลำไส้มากขึ้น (อุทัย, 2535; Kyriakis, 1983; Pollmann, 1986) โดยเฉพาะเมื่อเกิดความเครียดสูงจากการเปลี่ยนอาหารและการเปลี่ยนสภาพแวดล้อม ทำให้สุขภาพอ่อนแอ ระดับภูมิคุ้มกันต่ำ และมีการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร จึงก่อให้เกิดความไม่สมดุลของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจำนวน *E. coli* จะมีปริมาณสูง (Kyriakis, 1983) ซึ่ง *E. coli* เป็นแบคทีเรียที่มีอยู่โดยทั่วไปในทางเดินอาหารและเป็นสาเหตุให้เกิดอาการท้องเสีย (Pollmann, 1986)

2. ประเภทที่ไม่ก่อให้เกิดโรค (non-pathogenic microorganism) คือ จุลินทรีย์ที่ไม่ก่ออันตรายต่อร่างกาย นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในหลายกรณี เช่น จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์จะสามารถสร้างโคโลนีเคลือบผิวของ villi ที่ผนังลำไส้ แข็งและครอบครองพื้นที่บนเยื่อทางเดินอาหารได้ดี นอกจากนี้ยังหลั่งสารทำลายจุลินทรีย์ก่อโรคไม่ให้มีมากเกินไปจนเป็นอันตรายต่อร่างกายสัตว์ ทำให้เกิดสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร และการหมักย่อยของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ยังก่อให้เกิดกรดไขมันสายสั้นซึ่งเป็นประโยชน์ต่อระบบทางเดินอาหารสัตว์อีกด้วย (Tannock, 1999) จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ แลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*) สเตรปโตคอคคัส (*Streptococcus faecium*) บาซิลลัส (*Bacillus subtilis*) ไบฟิโดแบคทีเรียม (*Bifidobacterium*) และ ยีสต์ เป็นต้น (อุทัย, 2535; John et al., 1989)

ตารางที่ 7 แบคทีเรียสามัญที่พบในระบบทางเดินอาหารของไก่

Savage (1977) Wu (1987)	Savage (1977) Wu (1987)
Bacteroides	Bacteroides <i>Bacteroides spp.</i>
Bifidobacterium	<i>Bacteroides fragilis</i>
Clostridium	<i>Bifidobacterium bifidus</i>
Escherichia	<i>Clostridium perfringens</i>
Eubacterium	<i>Clostridium beijerinckii</i>
Fusobacterium	<i>Clostridium spp.</i>
Gemminger	<i>Eubacterium spp.</i>
Lactobacillus	<i>Fusobacterium spp.</i>
Peptostreptococcus	<i>Gemmiger formicilis</i>
Propionibacterium	<i>Lactobacillus acidophilus</i>
Staphylococcus	<i>Lactobacillus fermentum</i>
Streptococcus	<i>Lactobacillus salivarius</i>
	<i>Micrococcus spp.</i>
	<i>Streptococcus faecium</i>
	<i>Streptococcus faecalis</i>
	<i>Ruminococcus</i>

ที่มา: Savage (2001)

เชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ เหล่านี้จะอยู่ในสภาพที่สมดุล แต่หากสมดุลของเชื้อจุลินทรีย์สูญเสียไป ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากสาเหตุต่างๆ เช่น ถูกสุกรมี่ความเครียด อุณหภูมิสูงหรือต่ำมากผิดปกติ ถูกเลี้ยงอย่างแออัด การเคลื่อนย้าย ภาวะการอดอาหารหรือนมไม่พอกิน การเปลี่ยนอาหารอย่างกะทันหัน หรือใช้ยาปฏิชีวนะที่ออกฤทธิ์ได้กว้างขวาง (broad spectrum antibiotics) อาจมีผลรบกวนภาวะความสมดุลของจุลินทรีย์ประจำถิ่น (normal flora) ที่มีภายในลำไส้ ซึ่งอาจทำให้เชื้อโรคลำไส้หรือเชื้อ *E. coli* เพิ่มจำนวนขึ้นได้ (Lyons, 1987)

จุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ก่อให้เกิดโรค

จุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่กลุ่มที่ไม่ก่อโรคหรือจุลินทรีย์เพื่อสุขภาพ ได้แก่ *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* จุลินทรีย์ทั้งสองชนิดจัดอยู่ในกลุ่ม lactic acid bacteria และนิยมนำมาใช้ในรูปโปรไบโอติกผสมในอาหารคนและสัตว์ (Gibson and Roberfroid, 1995) จัดเป็นจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ประโยชน์ของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์คือ (John *et al.*, 1989; Gibson and Roberfroid, 1995)

1. สร้างกรดไขมันสายสั้น ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทิริก และกรดโพรพิโอนิก และกรดแลคติก ทำให้ค่าพีเอชในทางเดินอาหารลดลง จึงมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคได้ และยังสามารถผลิตสารที่ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์แกรมบวกและแกรมลบได้โดยตรง
2. ผลิตสารปฏิชีวนะเช่น *Lactobacillus plantarum* ผลิต lactolin, *Lactobacillus acidophilus* ผลิต acidophilin, l-Lactocidin, acidolin เป็นต้น และออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น *Salmonella*, *Streptococci*, *Kerbsiella*, *Pseudomonas*, *E. coli* และ *Clostridium perfringens*
3. ปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้โดยการแข่งขันแย่งอาหารและพื้นที่ในการเกาะจับเชื่อมผนังลำไส้ ทำให้จำนวนจุลินทรีย์ก่อโรคลดลง
4. สร้างวิตามิน โดยเฉพาะวิตามินบี และสร้างน้ำย่อย เช่น เคซีนฟอสฟาเตส (casein phosphatase) และไลโซไซม์ (lysozyme)

5. ช่วยปรับประชากรจุลินทรีย์สุขภาพอื่น ๆ ในลำไส้ใหญ่ให้คงสภาพอยู่หลังจากได้รับยาปฏิชีวนะ

6. Bifidobacterium ทำให้สารพิษ เช่น แอมโมเนีย เปลี่ยนเป็นรูปเกลือแอมโมเนียม ไม่ถูกดูดซึมเข้าร่างกาย ทำให้ระดับแอมโมเนียในเลือดต่ำ และ Bifidobacteria จะไม่สร้างสารพิษ เช่น ออลิฟาติกเอมีน (aliphatic amine) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide) หรือ ไนไตรท์ (nitrite)

7. Bifidobacterium สร้างสารที่เป็น immunomodulator กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย เพิ่มความต้านทานต่อเซลล์มะเร็ง

ดังนั้น Bifidobacterium และ Lactobacillus จึงเป็นจุลินทรีย์สุขภาพที่พบมากในลำไส้ใหญ่ มีบทบาทสำคัญในการป้องกันโรคและเสริมสุขภาพแก่ร่างกาย โดยการสร้างกรดไขมันสายสั้น กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อโรค (Gibson and Roberfroid, 1995) ปัจจัยส่งเสริมการเจริญของ Bifidobacteria หรือ Bifidus factor คือ สารจำพวกไกลโคโพรตีน ซึ่งประกอบด้วยกลูโคส กาแลกโตส ฟรุคโตส และ N-acetyl glucosamine จากการศึกษาของ Gibson *et al.* (1999) ใช้โอลิโกฟรุคโตส (oligofructose, OF) และอินูลิน (inulin) เสริมในอาหารคนอาสาสมัคร พบว่าช่วยกระตุ้นการเจริญของ Bifidobacterium ขณะที่เชื้ออันตรายและก่อโรค เช่น *E. coli* และ *Clostridium* มีปริมาณลดลง เป็นผลจากการหลั่ง inhibitory substance ซึ่งสารตัวนี้จะไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของพีเอช และจะมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค

สมบัติทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของ Lactobacillus

Lactobacillus เป็นแบคทีเรียแกรมบวก โคโลนีขนาดเล็ก (2-5 มิลลิเมตร) ขอบเรียบ ผิวหน้าขรุขระ เรียบ ทึบ เซลล์มีรูปร่างหลากหลาย เช่น ท่อนยาวบาง ท่อนสั้น หรือทรงรี ไม่เคลื่อนที่ ไม่มีสปอร์ และมีสัดส่วนของเบส G + C ของ DNA ระหว่าง 32-53 mol % จัดอยู่ในกลุ่ม microaerophilic หรือ facultative bacteria เจริญได้ดีบนอาหารแข็งในสภาวะที่มีกาซออกซิเจนต่ำ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 5-10 ที่อุณหภูมิเหมาะสม 30-40 องศาเซลเซียส จัดเป็นจุลินทรีย์ในกลุ่ม lactic acid bacteria สามารถหมักย่อยอาหารให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นกรดแลกติก พบได้ทั่วไปในแหล่งที่มีคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นสารอาหารหลักที่เชื้อจุลินทรีย์ต้องการ เช่น น้านม

รวมถึงในแหล่งธรรมชาติต่าง ๆ เช่น ในเยื่อเมือกมนุษย์ สัตว์ พืช แหล่งน้ำทิ้ง และในผลิตภัณฑ์อาหารหมักหรืออาหารที่กำลังจะเน่าเสีย (Sneath *et al.*, 1986)

Lactobacillus เป็นสกุลที่ใหญ่ มีสมาชิกมากมาย จึงได้มีการจัดกลุ่มของ Lactobacilli ออกเป็น 3 กลุ่ม โดยอาศัยเกณฑ์ทางชีวเคมี สรีรวิทยา และความสัมพันธ์ทางพันธุศาสตร์ ดังแสดงในตารางที่ 8 (Axelsson, 1998)

ตารางที่ 8 การแบ่งกลุ่มของสกุล Lactobacillus

สมบัติของ Lactobacillus	กลุ่ม A	กลุ่ม B	กลุ่ม C
หมักเพนโทส	-	+	+
สร้าง CO ₂ จากกลูโคส	-	-	+
สร้าง CO ₂ จากกลูโคเนท	-	+	+
สร้าง phosphoketolase	-	+	+
ตัวอย่างของกลุ่ม	<i>L. acidophilus</i>	<i>L. casei</i>	<i>L. brevis</i>
	<i>L. delbruckii</i>	<i>L. curvatus</i>	<i>L. buchneri</i>
	<i>L. helveticus</i>	<i>L. plantarum</i>	<i>L. fermentum</i>
	<i>L. salivarius</i>	<i>L. sake</i>	<i>L. reuteri</i>

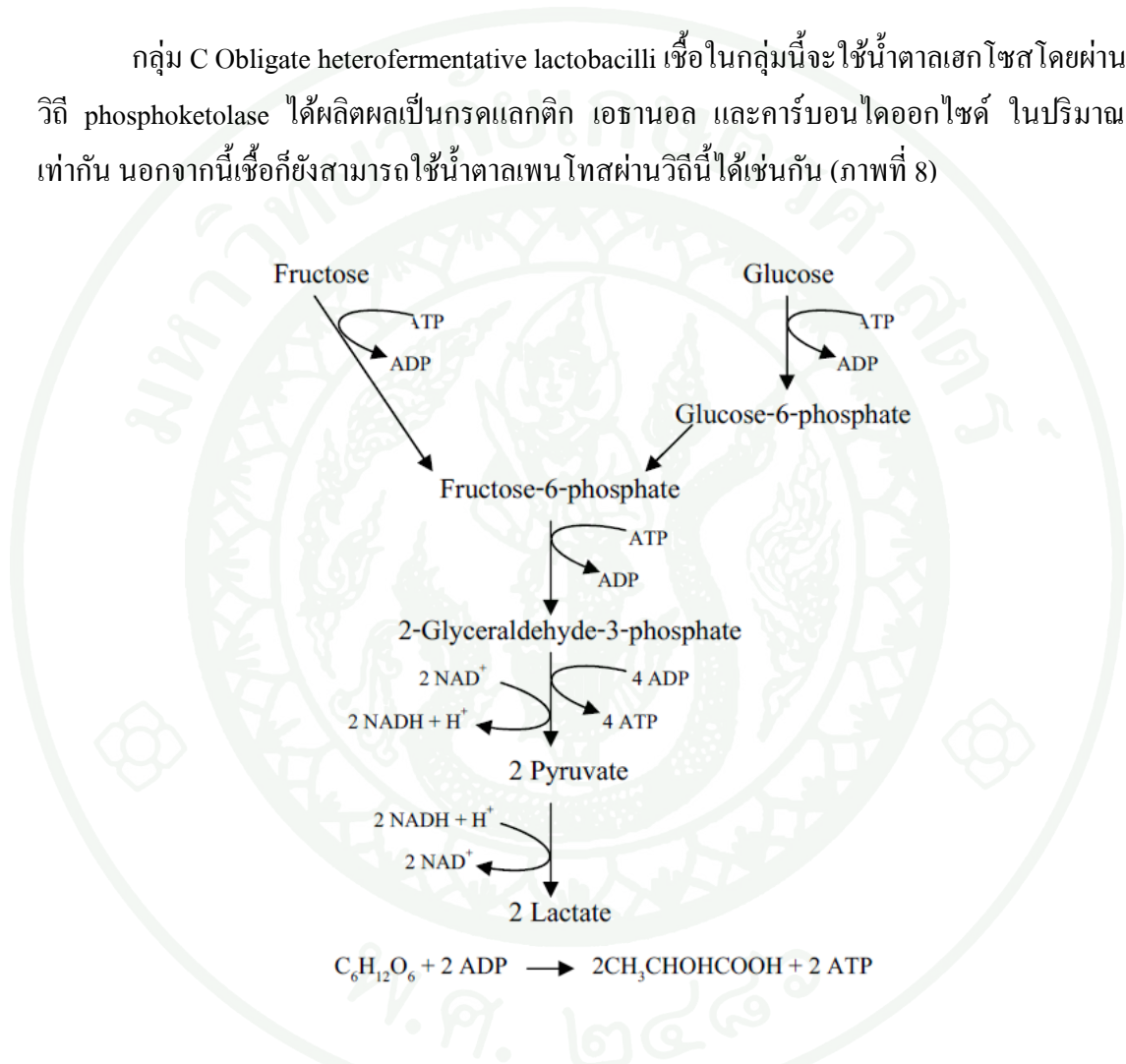
หมายเหตุ + ให้ผลเป็นบวก
- ให้ผลเป็นลบ

ที่มา: Axelsson (1998)

กลุ่ม A Obligately homofermentative lactobacilli เชื่อในกลุ่มนี้จะใช้น้ำตาลเฮกโซส โดยผ่านวิถี Embden-Meyerhof-Parnas (EMP) ได้ผลิตผลเป็นกรดแลกติกมากกว่า 85% เนื่องจากมีเอนไซม์ fructose 1,6 bisphosphate-aldolase แต่ไม่มีเอนไซม์ phosphoketolase ดังนั้นจึงไม่สามารถหมักน้ำตาลกลูโคเนทและน้ำตาลเพนโทสได้ (ภาพที่ 7)

กลุ่ม B Facultatively homofermentative lactobacilli เชื้อในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะใช้น้ำตาลเฮกโซส โดยผ่านวิถี EMP ได้ผลิตผลหลักเป็นกรดแลคติกและสามารถผลิตเอนไซม์ทั้ง fructose 1, 6 biphosphate-aldolase และ phosphoketolase แต่ในสถานะที่มีน้ำตาลกลูโคส เอนไซม์ในวิถี phosphoketolase จะถูกกดไว้

กลุ่ม C Obligate heterofermentative lactobacilli เชื้อในกลุ่มนี้จะใช้น้ำตาลเฮกโซสโดยผ่านวิถี phosphoketolase ได้ผลิตผลเป็นกรดแลคติก เอทานอล และคาร์บอนไดออกไซด์ ในปริมาณเท่ากัน นอกจากนี้เชื้อก็ยังสามารถใช้น้ำตาลเพนโทสผ่านวิถีนี้ได้เช่นกัน (ภาพที่ 8)



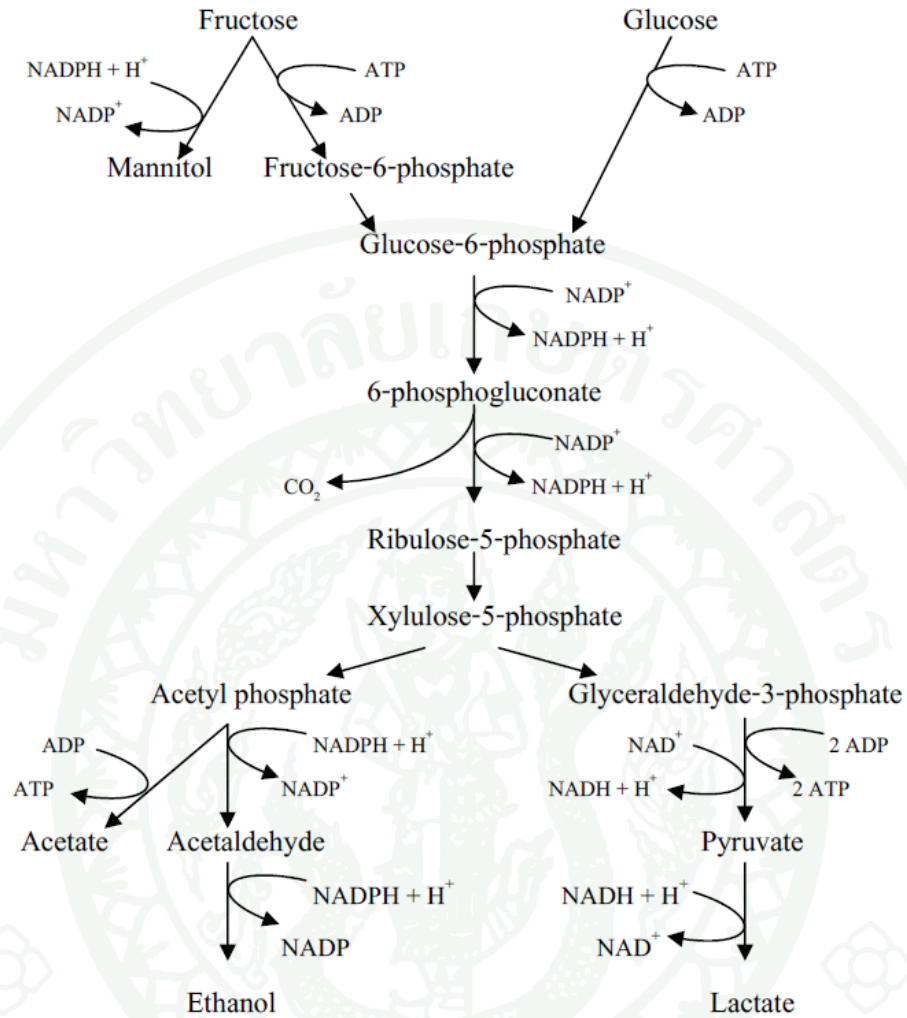
ภาพที่ 7 กระบวนการเมแทบอลิซึมกลูโคสและฟรุกโตสโดย homofermentative lactic acid bacteria ผ่านทางวิถีไกลโคไลซิส (glycolysis pathway)

ที่มา: Woolford (1985)

สมบัติทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของ *Bifidobacterium*

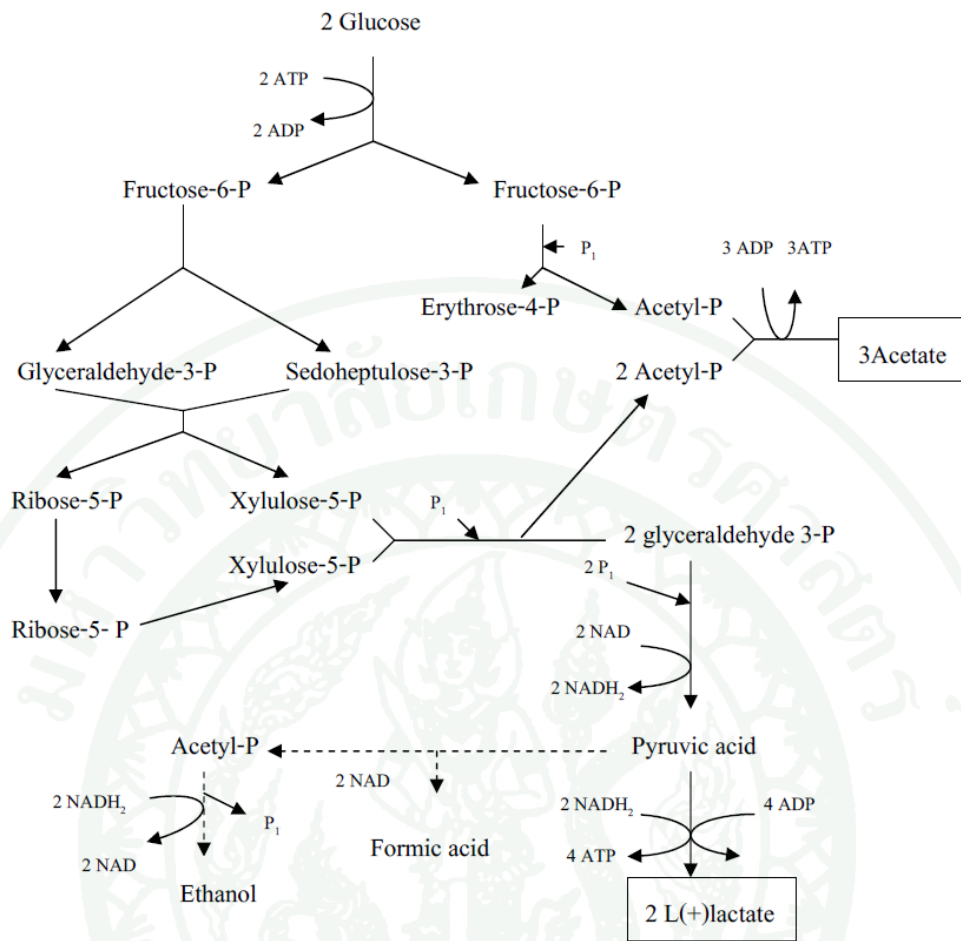
Bifidobacterium เป็นแบคทีเรียแกรมบวก โคโลนีขนาดเล็ก ผิวหน้านูน เรียบ ขอบเรียบ สีครีมถึงสีขาว เป็นประกาย เนื้อนุ่มสม่ำเสมอ ไม่ติดสีแอซิดฟาสต์ (acid fast) ไม่สร้างสปอร์ ไม่เคลื่อนที่ เซลล์มีรูปร่างหลากหลาย (pleomorphic) เช่น ท่อนสั้นพอมมีจุดที่ส่วนท้าย หรือทรงรีหรือท่อนยาวเรียว โค้งงอ หรือเป็นกิ่งก้าน หรือส่วนปลายมีลักษณะคล้ายกระบอกหรือใบพาย เซลล์เดี่ยวหรือเซลล์ต่อกันเป็นสาย หรือรูปตัว V จัดอยู่ในกลุ่ม strictly anaerobic เจริญในที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน เจริญได้ดีที่อุณหภูมิเหมาะสม 37-41 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่เจริญได้ 25-28 องศาเซลเซียส สูงสุดที่ 43-45 องศาเซลเซียส ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการเจริญเริ่มต้นที่ 6.5-7.0 ไม่เจริญที่ 4.5-5 หรือ 8.0-8.5 (Sneath *et al.*, 1986)

Bifidobacterium มีวิถีเมแทบอลิซึมคาร์โบไฮเดรต เรียก Bifid shunt หรือ hexose fermentation หรือ fructose-6-phosphate shunt โดยใช้เอนไซม์ fructose-6-phosphoketolase ให้กรดอะซิติกและกรดแลคติกในอัตราส่วนโมลาร์ 3:2 (ภาพที่ 9) ไม่สร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ยกเว้นในการสลายกลูโคเนท) สร้างกรดฟอร์มิก เอทานอล และกรดซักซินิกเพียงเล็กน้อย ไม่สร้างกรดบิวทริกและกรดโพรพิโอนิก พบได้ทั่วไปในลำไส้คนหรือสัตว์และสิ่งปฏิกูล (Sneath *et al.*, 1986; Ballongue, 1993)



ภาพที่ 8 กระบวนการเมแทบอลิซึมกลูโคสและฟรุกโตสโดย heterofermentative lactic acid bacteria ผ่านทางวิถีฟอสโฟคีโตเลส (phosphoketolase pathway)

ที่มา: Woolford (1985)



ภาพที่ 9 กระบวนการเมแทบอลิซึมกลูโคสโดย *Bifidobacterium* spp.

ที่มา: Ballongue (1993)

ผลของเยื่อใยต่อสัตว์

เยื่อใยประเภท NSPs มักเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืชที่พบโดยทั่วไป เอนไซม์ของสัตว์กระเพาะเคี้ยวไม่สามารถย่อย NSPs ได้ แต่จุลินทรีย์ในไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ของสุกรสามารถย่อยและหมัก NSPs ให้เป็นกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid; VFA) และดูดซึมนำไปใช้เป็นพลังงานได้ถึง 50% ของพลังงานที่กินเข้าไป แต่ไม่มีการย่อย NSPs โดยจุลินทรีย์ และการนำไปใช้ประโยชน์ได้มีน้อยมาก กล่าวคือเพียง 2-3% เท่านั้น จากการที่ NSPs แต่ละประเภทมีสูตรโครงสร้างและการละลายได้ที่ต่างกันจึงมีการย่อยได้ต่างกันด้วย โดยทั่วไป NSPs ที่ละลายได้จะมีการย่อยได้มากกว่าพวกที่ไม่ละลาย สุกรมีการย่อยได้ของ NSPs ที่ละลายได้สูงมาก ในขณะที่พวก

ไม่ละลาย เช่น cellulose มีการย่อยได้ประมาณ 34-60% แต่ก็ไม่มีการย่อยได้ของ NSPs ต่ำกว่านี้ (บุญล้อม, 2546)

หนึ่งในข้อจำกัดของการย่อยอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยวคือ การที่ตัวสัตว์ไม่สามารถสร้างเอนไซม์ที่ย่อยสลาย NSPs ได้ ซึ่งสามารถจำแนก NSPs ตามคุณสมบัติในการละลายน้ำได้เป็น 2 ประเภท คือ ชนิดที่ละลายในน้ำได้กับชนิดที่ไม่ละลายในน้ำ ในอาหารที่มีส่วนประกอบเป็นข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ หรือข้าวไรย์ จะมีสัดส่วนของเยื่อใยทั้งส่วนที่ละลายในน้ำได้และที่ละลายในน้ำไม่ได้อยู่รวมกัน ส่วนของเยื่อใยที่ละลายในน้ำได้นั้นสามารถเพิ่มความหนืดของอาหารที่อยู่ในลำไส้เล็กและขัดขวางการย่อยได้ของโภชนะ จึงส่งผลให้การเติบโตของสัตว์ลดลง นอกจากนี้ยังมีความเกี่ยวข้องกับการเกิดความผิดปกติของระบบย่อยอาหาร เช่น ทำให้เกิดโรคลำไส้ใหญ่อักเสบในสุกรและทำให้มูลของสัตว์ปีกมีลักษณะเหนียวติดกัน เป็นต้น (Bedford and Partridge, 2001) NSPs ส่วนที่ละลายได้มักมีคุณสมบัติในการอูม น้ำ พองตัวเป็นวุ้น ทำให้เกิดความหนืด (viscosity) ในทางเดินอาหาร ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์จากตัวสัตว์ จึงทำให้การย่อยได้ของสารอาหารอื่นลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในไก่เล็ก แต่จุลินทรีย์ในลำไส้สามารถย่อย NSPs ชนิดนี้ได้ ในขณะที่ NSPs ที่ไม่ละลายน้ำนั้นจะเคลื่อนที่ในทางเดินอาหารได้เร็วกว่า และจุลินทรีย์ในลำไส้สามารถย่อยได้น้อยกว่า จึงก่อให้เกิดปัญหาที่เกิดจากการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ชนิดก่อโรคน้อยกว่า NSPs ที่ละลายน้ำได้ (บุญล้อม, 2546)

เป็นที่ทราบกันดีว่า NSPs ที่ละลายน้ำได้นั้นมีคุณสมบัติในการยับยั้งการใช้ประโยชน์จากโภชนะ เนื่องจากไปห่อหุ้มสารอาหารต่างๆ เอาไว้และทำให้สารอาหารที่อยู่ภายในทางเดินอาหารถูกย่อยได้น้อยลง ซึ่งจะส่งผลให้พลังงานใช้ประโยชน์ได้ของอาหารมีค่าลดลงและทำให้สัตว์มีประสิทธิภาพการใช้อาหารแย่ง (Annison, 1995) อย่างไรก็ตามหาก NSPs ที่ไม่ละลายน้ำถูกย่อยไปบางส่วน ก็อาจทำให้เปลี่ยนคุณสมบัติเป็น NSPs ที่สามารถละลายน้ำได้ชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (Castanon *et al.*, 1997) แต่ NSPs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเหล่านี้จะไปทำให้สิ่งย่อยมีความหนืดเพิ่มขึ้น (Chesson, 2001) เมื่อความหนืดของสิ่งย่อยภายในลำไส้ที่เพิ่มขึ้นนั้นจะทำให้สัตว์ลดปริมาณอาหารที่กินลง เนื่องจากร่างกายสัตว์จะมีการตอบสนองโดยการเพิ่มระยะเวลาในการดูดซึมสารอาหารให้นานขึ้นเพื่อชดเชยให้กับการเคลื่อนที่ของสิ่งย่อยที่เร็วขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากความหนืดที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง นอกจากนี้สารอาหารในสิ่งย่อยที่เคลื่อนที่เข้าสู่ลำไส้ใหญ่จะถูกจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ใช้ในการเพิ่มจำนวนจนมีประชากรมากขึ้นจนสามารถเคลื่อนย้ายประชากรเข้าสู่ลำไส้เล็กแล้ว

แก่งแย่งสารอาหารกับตัวสัตว์โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่เป็นแป้งและโปรตีน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สัตว์ได้ประโยชน์จากอาหารลดลง (Bedford, 1993)

ผลของเยื่อใยอาหารต่อกระเพาะบด

ประเทศในแถบยุโรปมีการนำข้าวสาลีไม่ผ่านการขัดสีมาใช้ในอาหารสัตว์ปีกและส่งผลให้การย่อยได้ของสารอาหารดีขึ้น หลักสำคัญอย่างหนึ่งของรัฐพีชที่ไม่ผ่านการขัดสีคือ สามารถกระตุ้นการทำงานของกระเพาะบดได้ (Svihus and Hetland, 2001; Hetland *et al.*, 2002) โดยเชื่อว่าเกี่ยวข้องกับโครงสร้างทางกายภาพของรัฐพีชที่ไม่ผ่านการขัดสี องค์ประกอบหลักทางเคมีที่สำคัญที่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ พบในผนังเซลล์พีช อันที่จริงเยื่อใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำมีประโยชน์ในการย่อยสารอาหาร (Rogel *et al.*, 1987a; Rogel *et al.*, 1987b; Svihus and Hetland, 2001; Hetland *et al.*, 2003) และการทำงานของกระเพาะบด (Rogel *et al.*, 1987a; Rogel *et al.*, 1987b; Hetland and Shivus, 2001) สิ่งย่อยในกระเพาะบดที่มีเยื่อใยที่สูงกว่า ทำให้เกิดการบดที่ยากกว่าการบดอาหารชนิดอื่น จึงเป็นการเพิ่มการทำงานของกระเพาะบด (Hetland *et al.*, 2003)

สำหรับไก่เนื้อ ไก่งวง และไก่ไข่ที่เลี้ยงบนพื้นและบนกรง วัสดุรองพื้นจะส่งผลต่อแหล่งของเยื่อใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีการทดลองที่พบว่า องค์ประกอบทางโครงสร้างของอาหารหรือวัสดุรองพื้นที่ย่อยไม่ได้อาจจะมีส่วนช่วยป้องกันพฤติกรรมการจิกกันในไก่ไข่ (Aerni *et al.*, 2000)

ในสัตว์ปีกเยื่อใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำมีประโยชน์ต่อการย่อยแป้ง (Rogel *et al.*, 1987a; Rogel *et al.*, 1987b; Hetland *et al.*, 2003) สาเหตุที่ทำให้เยื่อใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำมีผลต่อการย่อยคือ ผลจากการเพิ่มการทำงานของกระเพาะบด ปริมาณกรดน้ำดีที่เพิ่มขึ้นในกระเพาะบด การเพิ่มการไหลย้อนของอาหารกลับขึ้นมากลุกเคล้ากับน้ำย่อยอีก

อาหารที่มีขนาดอนุภาคหยาบจะต้องถูกบดให้มีขนาดเล็กลงก่อนที่จะออกจากกระเพาะบด (Clemens *et al.*, 1975 และ Moore, 1999) เป็นสาเหตุที่ทำให้มวลของกระเพาะบดเพิ่มขึ้น เมื่อในอาหารมีรัฐพีชที่ไม่ผ่านการขัดสีหรือเยื่อใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำ (Hetland *et al.*, 2003) และทำให้เยื่อใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำคงอยู่ในกระเพาะบดนานกว่าสารอาหารชนิดอื่นๆ เยื่อใยในส่วนที่เป็นเปลือกของรัฐพีชจะมีส่วนที่เป็นของแข็งมากกว่าที่น้ำที่จะคงอยู่ในกระเพาะบดได้นานกว่า ตรงกัน

ข้ามกับธัญพืชที่ไม่ผ่านการขัดสี ซึ่งจะมีเม็ดแป้งและโปรตีนที่ละลายได้เร็วกว่าในน้ำย่อยที่เป็นกรด ในกระเพาะบด ดังนั้นการทำงานของกระเพาะบดที่หนักกว่าโดยการกระตุ้นของโครงสร้างของเยื่อใยจึงมากกว่าในโครงสร้างของธัญพืชที่ไม่ผ่านการขัดสี การสะสมของเยื่อใยในกระเพาะบดจึงทำให้ผ่านออกไปจากกระเพาะบดช้าขึ้น ตรงกันข้ามกับทฤษฎีเดิมที่บอกว่า เยื่อใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำจะเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนผ่านของอาหาร (Hetlands *et al.*, 2001 และ Svihus *et al.*, 2002) แต่งานทดลองเมื่อไม่นานมานี้พบว่า เวลาเคลื่อนผ่านของขนาดอนุภาคละเอียดลดลงเมื่อมีเยื่อใยหยาบในอาหารไก่เนื้อสูงขึ้น (Hetlands *et al.*, 2005)

จากการศึกษาของ Jiménez-Moreno *et al.* (2009) ในอาหาร 4 สูตรที่มีแหล่งเยื่อใยแตกต่างกัน คือ สูตรควบคุม เสริมเซลลูโลส เสริม sugar beet pulp และเสริมเปลือกข้าวโอ๊ต 30 กรัม/กิโลกรัมอาหาร ซึ่งมีปริมาณ neutral detergent fiber (NDF) เท่ากับ 37.3, 66.0, 57.3 และ 60.1 กรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และมีปริมาณ acid detergent fiber (ADF) เท่ากับ 16.0, 45.0, 26.0 และ 28.4 กรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ พบว่าการเสริม sugar beet pulp ส่งผลให้น้ำหนักทางเดินอาหารมากที่สุด และการเสริมเปลือกข้าวโอ๊ต 30 กรัม/กิโลกรัมอาหาร มีผลให้น้ำหนักกระเพาะบดมากที่สุด ($P \leq 0.001$) ซึ่งเปลือกข้าวโอ๊ตมีปริมาณเซลลูโลสอยู่สูงและเป็นเยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำ สอดคล้องกับการทดลองของ González-Alvarado *et al.* (2007) ที่รายงานว่า การเสริมเปลือกข้าวโอ๊ต 3% ในอาหารไก่เนื้อ ส่งผลให้น้ำหนักกระเพาะบดมากที่สุด ($P \leq 0.01$) โดยทั่วไปไก่จะมีการปรับตัวของทางเดินอาหารเมื่อได้รับอาหารที่มีเยื่อใยในระดับสูง โดยจะส่งผลให้ปริมาตรและน้ำหนักของทางเดินอาหารเพิ่มสูงขึ้น และจากการทดลองของ Hetland and Svihus (2001) พบว่าการเสริมเปลือกข้าวโอ๊ตจะมีผลไปเพิ่มน้ำหนักกระเพาะบด คุณสมบัติการพองตัวของเปลือกข้าวโอ๊ตช่วยเพิ่มความจุของสิ่งย่อย ทำให้ผนังกระเพาะบดขยายออก และความยากในการบดให้ละเอียดและคงอยู่ในกระเพาะบดนานกว่า จึงเป็นการพัฒนากล้ามเนื้อและขนาดของอวัยวะ (González-Alvarado *et al.*, 2008) ผลจากน้ำหนักของกระเพาะบดที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหารดีขึ้น จากการเพิ่มพื้นที่การคลุกเคล้าอาหารกับเอนไซม์และแรงบดที่กระทำต่ออาหารที่มากขึ้น

ผลของเยื่อใยอาหารต่อสุขภาพทางเดินอาหาร

เยื่อใยอาหารนั้นสามารถส่งผลต่อสุขภาพของสัตว์ ตลอดจนมีประโยชน์ต่อศักยภาพการทำงานต่างๆ โครงสร้างและการทำงานของระบบทางเดินอาหารได้รับผลกระทบโดยตรงจากอิทธิพลของเยื่อใยที่อยู่ในอาหาร Baldwin *et al.* (1980) พบว่า เมื่อระดับเยื่อใยในอาหารสูงขึ้น จะมี

ผลให้ขนาดและน้ำหนักของทางเดินอาหารเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะไม่ส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพของสัตว์ และมีผลให้ความต้องการพลังงานและกรดอะมิโนในการดำรงชีพสูงขึ้น เพื่อใช้ในกิจกรรมของทางเดินอาหาร แต่ก็ไม่ได้มีผลต่อพลังงานที่กินได้ทั้งหมด Jin *et al.* (1994) กล่าวว่า การให้อาหารที่ปรับระดับเชื้อยีสชนิดไม่ละลายน้ำให้สูงขึ้นจากฟางข้าวสาลี ช่วยเพิ่มการแบ่งเซลล์ของคริปต์ในลำไส้ส่วนเจจูนัมและโคลอน และยังเพิ่มการผลิตเซลล์ส่วนเจจูนัมและโอเลียมของสุกรรุ่น ซึ่งการแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็วได้รับการสนับสนุนจากกรดบิวทิริกที่เกิดจากกระบวนการหมักของเยื่อไผ่ตัวเอง (Mosenthin *et al.*, 2001; Montagne *et al.*, 2003)

กรดไขมันระเหยง่าย (VFA) หรือ กรดไขมันสายสั้น (SCFA) ที่ประกอบด้วยกรดบิวทิริก เกิดจากกระบวนการหมักเยื่อไผ่จะถูกดูดซึมได้เกือบทั้งหมดในทางเดินอาหาร (Montagne *et al.*, 2003) การดูดซึมกรดไขมันสายสั้นจะกระตุ้นการดูดซึมโซเดียม จึงเป็นสาเหตุให้มีการดูดน้ำกลับที่โคลอน (Mosenthin *et al.*, 2001) ดังนั้นการให้เยื่อไผ่อาหารจึงเป็นการสนับสนุนให้เกิดการหมักที่ลำไส้ส่วนท้ายและช่วยลดศักยภาพของจุลินทรีย์ก่อโทษที่ทำให้เกิดอาการถ่ายเหลว

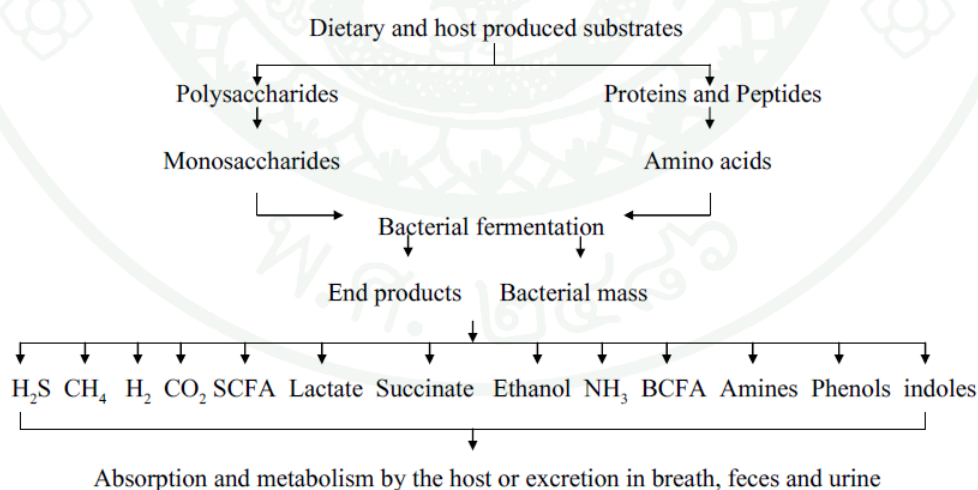
จากการศึกษาพบว่า เยื่อไผ่อาหารสัตว์หลายชนิดเพิ่มการหลั่งสารเมือกในลำไส้ส่วนโอเลียม สารเมือกจะทำหน้าที่เคลือบผนังลำไส้ จึงช่วยลดการบาดเจ็บหรือการบุกรุกจากจุลินทรีย์ก่อโทษ (Montagne *et al.*, 2003) ความสามารถในการหลั่งสารเมือกที่เพิ่มขึ้นของเยื่อไผ่ลำไส้เป็นผลมาจากการตอบสนองต่อการระคายเคือง ซึ่งเกิดจากเชื้อยีสชนิดที่ไม่ละลายน้ำ (Mosenthin *et al.*, 2001) การหลั่งสารเมือกที่เพิ่มขึ้นอาจจะช่วยลดอัตราการเกิดและ/หรือความรุนแรงของแผลหลุมที่กระเพาะอาหาร ตัวแปรของเยื่อไผ่อาหารที่มีผลต่อการเกิดแผลหลุมที่กระเพาะอาหารของสุกร สันนิษฐานจากรายงานพบว่า ส่วนมากเกิดจากขนาดอนุภาคของอาหารที่มีเยื่อไผ่สูง (Lee and Close, 1987)

ประโยชน์ของเยื่อไผ่อาหารที่เป็นไปได้ต่อสุขภาพของสัตว์อาจแสดงให้เห็นด้วยการเปลี่ยนแปลงชีววิทยาจุลินทรีย์ของทางเดินอาหาร องค์ประกอบของอาหารมีอิทธิพลต่อชนิดและจำนวนของแบคทีเรียในทางเดินอาหาร (Varel and Pond, 1985 และ Jensen *et al.*, 2003) Anugwa *et al.* (1989) รายงานว่า สุกรที่ได้รับอาหารที่ผสม alfalfa meal จะมีจำนวนแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) และชนิดที่ย่อยเยื่อไผ่ (cellulolytic bacteria) ในลำไส้ใหญ่ที่เพิ่มขึ้น จำนวน cellulolytic bacteria ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากในอาหารมี substrate ที่ใช้ประโยชน์ได้ดี จึงเพิ่มการหมักย่อยและผลิต SCFA ส่งผลให้พีเอชของสิ่งย่อยในทางเดินอาหารลดลง การลดลง

ของพีเอชเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของ lactobacillus และ bifidobacteria ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ แนวโน้มของการเพิ่มจำนวนแบคทีเรียที่มีประโยชน์จะไปจำกัดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโทษและท้ายที่สุดก็จะปรับปรุงสุขภาพของสุขภาพ (Gaskins, 2003)

การย่อยสลายในทางเดินอาหารส่วนปลาย

อาหารหลักของจุลินทรีย์คือ คาร์โบไฮเดรต ในอาหารของมนุษย์ที่กินในแต่ละวันพบว่าจะมี resistant starch 8-40 กรัม ที่ผ่านลงไปถึงลำไส้ใหญ่และเป็นอาหารของจุลินทรีย์ นอกจากนั้นยังมีอาหารอื่น ๆ เช่น non-starch polysaccharide น้ำตาลที่ยังไม่ถูกดูดซึม 2-10 กรัม และโอลิโกแซคคาไรด์ 2-8 กรัม นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังสามารถนำโปรตีน 3-9 กรัมจากอาหาร และ 4-6 กรัมจากน้ำย่อยของตับอ่อนไปใช้ได้ แบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ย่อยสลายอาหาร ทำให้เกิดเป็นก๊าซต่าง ๆ เช่น H_2S , CH_4 , H_2 , CO_2 , กรดไขมันสายสั้น เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก กรดไขมันสายแขนง (branched-chained fatty acid, BCFA) กรดอินทรีย์ (organic acid) เช่น กรดแลกติก กรดไพรูวิก กรดซัคซินิก และเอมีน ดังภาพที่ 10 จุลินทรีย์บางกลุ่มสามารถนำสารที่เหลือจากการย่อยของเชื้ออื่นไปเป็นอาหารของตัวเองได้ด้วย ซึ่งผลิตผลเหล่านี้ส่งผลหลากหลายต่อสุขภาพ (Gibson and Roberfroid, 1995)



ภาพที่ 10 ผลของการย่อยสลายสารอาหารและสารเมแทบอไลต์โดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่

ที่มา: Gibson and Roberfroid (1995)

ค่าการย่อยได้ของเยื่อใยอาหารมีความผันแปรอยู่ในช่วง 0.40-0.60 เมื่อเทียบกับสารอาหารตัวอื่น เช่น ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต แต่ก็มีโอกาสที่จะมีค่าการย่อยได้สูงถึง 0.80 ได้ ความสามารถในการย่อยได้ของเยื่อใยที่สูงมีปัจจัยมาจากลักษณะ โครงสร้างทางกายภาพและพันธะทางเคมีระหว่างสารเชิงเดี่ยวที่จับกัน (Noblet and Le, 2001) Pastuszewska *et al.* (2000) พบว่า แป้งมันฝรั่งและเพคตินจะเกิดการหมักย่อยได้ดีกว่าเซลลูโลสในไส้ติ่งของหนู ในสุกรรุ่นมีค่าการย่อยได้ของ NSP ที่แตกต่างกันดังนี้ ฟางข้าวสาลี รำข้าวสาลี sugar beet pulp และเปลือกถั่วเหลือง มีค่าการย่อยได้เท่ากับ 0.163, 0.435, 0.695 และ 0.791 ตามลำดับ (Chabeauti *et al.*, 1991) เนื่องจากในฟางข้าวสาลีมีลิกนินสูง ส่วนรำข้าวสาลีก็มีเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ sugar beet pulp และเปลือกถั่วเหลืองมีเพคตินที่ย่อยได้สูงอยู่

ผลของกรดไขมันสายสั้นต่อสุขภาพของทางเดินอาหาร

การหมักย่อย NSP (fiber) และ resistant starch โดยแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนใน ส่วนลำไส้ใหญ่และไส้ติ่ง จะได้กรดไขมันสายสั้น ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก (Scheppach, 1994) การหมักย่อยส่วนใหญ่เกิดขึ้นในลำไส้ใหญ่ส่วนต้น และกรดไขมันสายสั้นที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซึมอย่างรวดเร็วเกือบทั้งหมด (ปริมาณน้อยที่สุด 95 เปอร์เซ็นต์) ที่เซลล์เยื่อบุผิวของโคลอนผ่านทางเส้นเลือดดำไปตับและส่งไปยังเนื้อเยื่ออื่น กรดไขมันสายสั้นที่ถูกดูดซึมให้พลังงาน 4.4 กิโลแคลอรีต่อกรัมและให้พลังงานประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานในอาหารทั้งหมดต่อวันในอาหารคน (Eliot and Shronts, 1992) อีกทั้งจะชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเมแทบอลิซึมของกลูโคสและไขมัน ทำให้เกิดการน้ำตาลและไขมันในเลือดต่ำหลังกินอาหาร (Roberfroid, 1993) เลือดในเส้นเลือดดำและเส้นเลือดแดงจึงมีกรดไขมันสายสั้นอยู่ปริมาณน้อยมาก มีเพียงกรดอะซิติกเท่านั้นที่ยังคงมีปริมาณมาก เนื่องจากการหลั่งออกมาจากตับและอวัยวะอื่นๆ และจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการดูดซึมเอธานอล การศึกษาในหนูและสุกรพบว่า ในพลาสมาของเลือดจากเส้นเลือดดำไปตับมีกรดไขมันสายสั้นในช่วง 0.4-2.0 มิลลิโมลต่อลิตร ความเข้มข้นของกรดไขมันผันแปรตามชนิดของอาหารที่สามารถหมักได้ (Annison and Topping, 1994) กรดไขมันสายสั้นทำให้สิ่งย่อยในทางเดินอาหารมีพีเอชต่ำลง และกระตุ้นให้เกิดการผลัด (turnover) ของเซลล์ในส่วนคริปต์ (crypt) เพิ่มอาร์เอ็นเอ ดีเอ็นเอ และโปรตีนในส่วนเซลล์เยื่อบุผิวของโคลอน และกระตุ้นการเพิ่มขึ้นของเซลล์เยื่อบุผิว (epithelium cell proliferation) ของโคลอน นอกจากนี้กรดไขมันสายสั้นจะกระตุ้นการหลั่งเอนไซม์จากตับอ่อน และเพิ่มการดูดซึมโซเดียมและน้ำใน ลำไส้ใหญ่ ซึ่งจะช่วยควบคุมอาการท้องเสียและควบคุมการหลั่ง กลีโอบคาร์บอนेट (Eliot and Shronts,

1992; Scheppach, 1994; Cook and Sellin, 1998) กรดบิวทิริกถูกดูดซึมเข้าไปในเซลล์เยื่อบุผิวของโคโลนอนเพื่อเป็นแหล่งพลังงานของเซลล์ของโคโลนอนส่วนท้ายโดยผ่านกระบวนการ β -oxidation ประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ต้องการทั้งหมด นอกจากนี้ยังกระตุ้นการเจริญเติบโตและการเพิ่มขึ้นของเซลล์เยื่อบุผิวของโคโลนอน และคาดว่าจะมีผลในการป้องกันการอักเสบของลำไส้และป้องกันมะเร็งในลำไส้ใหญ่ส่วนโคโลนอน (Bingham, 1996; Jacobasch *et al.*, 1999) นอกจากนี้กรดบิวทิริกร่วมกับกรดอะซิติก ทำให้หลอดเลือดฝอยของเซลล์เยื่อบุผิวขยายตัว เพิ่มการไหลเวียนเลือดเข้าไปในลำไส้ และเพิ่มการเคลื่อนไหวของไอเลียม (Scheppach, 1994) กรดโพรพิโอนิกประมาณครึ่งหนึ่งถูกใช้โดยตับสำหรับกระบวนการกลูโคเนโอเจเนซิส (gluconeogenesis) และอีกครึ่งหนึ่งถูกใช้โดยเซลล์ของโคโลนอน ส่วนกรดอะซิติกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันสายยาวและคีโตนในตับ จากการทดลองในหนูพบว่า กรดอะซิติกและบิวทิริกถูกใช้ในการผลิตคีโตนบอดี (ketone bodies) อะซิโตอะซิเตท (acetoacetate) และเบต้า-ไฮดรอกซีบิวทีเรต (β -hydroxybutyrate) (Eliot and Shronts, 1992) ดังนั้นการที่ร่างกายได้รับ resistant starch และเยื่อใยต่ำจะมีผลทำให้การผลิตกรดไขมันสายสั้นลดลงในสวนโคโลนอนและอาจทำให้เกิดอาการผิดปกติของลำไส้ส่วนโคโลนอน (colonic disorders) สูงขึ้น (Scheppach, 1994)

ผลของเยื่อใยอาหารต่อแอมโมเนีย

แอมโมเนียจากการทำปศุสัตว์เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อากาศเสียและภาวะโลกร้อน โดยจะขึ้นไปอยู่ในชั้นบรรยากาศ (Aneja *et al.*, 2006) นอกจากนี้ยังมีผลต่อสุขภาพ ทดการทำงานของภูมิคุ้มกัน ลดการทำงานของปอด ผลผลิตไข่ลดลง และการเจริญเติบโต (Kling and Quarles, 1974; Nagaraja *et al.*, 1983; Carlile, 1984; Deaton *et al.*, 1984; Omland, 2002) United Egg Producers (2006) แนะนำว่า อากาศภายในโรงเรือนไก่ไข่ควรมีระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่เกิน 25 ppm

ในสูตรอาหารไก่ไข่จะใช้แหล่งวัตถุดิบที่ให้โปรตีน เช่น กากถั่วเหลือง เนื้อและกระดูกป่น ซึ่งระดับกรดอะมิโนที่จำเป็นที่แนะนำทำให้ต้องทำสูตรอาหารที่มีระดับโปรตีนรวมสูง นอกจากนี้จะมีการเติมกรดอะมิโนที่เป็นกรดอะมิโนที่จำกัดด้วย สัตว์ปีกไม่มีกลไกที่จะเก็บกรดอะมิโนทั้งหมดที่บริโภคเข้าไปเพื่อการสังเคราะห์โปรตีนร่างกายได้และกรดอะมิโนบางส่วนก็จะถูกกำจัด หมูอะมิโม ดังนั้นจะมีไนโตรเจนที่ถูกขับออกนอกร่างกายในรูปกรดยูริกร้อยละ 80 แอมโมเนียร้อยละ 10 และยูเรียร้อยละ 5 (Goldstein and Skadhauge, 2007) ไนโตรเจนที่ถูกขับออกมากับมูลจะ

ถูกเปลี่ยนเป็นโปรตีนแบคทีเรียที่อยู่ในมูล กระบวนการสลายโปรตีนในมูลจะเกิดขึ้นอย่างช้า ตั้งแต่เป็นสัปดาห์จนถึงเป็นเดือนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ส่วนการสลายยูเรียไปเป็นแอมโมเนียจะใช้เวลาไม่กี่ ชั่วโมง (Aarnink and Verstegen, 2007)

โดยทั่วไปวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูงจะไม่ถูกเลือกนำมาใช้ในสูตรอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น สุกร สัตว์ปีก แต่ในงานวิจัยในประเทศทางยุโรปพบว่า การใช้เยื่อใยในสูตรอาหารสุกรจะช่วยลดการปลดปล่อยแอมโมเนียจากมูลสดได้ (Kreuzer and Machmuller, 1993; Tetens *et al.*, 1996; Canh *et al.*, 1997; Shriver *et al.*, 2003) จากการทดลองนำกลุ่มวัตถุดิบที่ใช้เพื่อเป็นแหล่งให้เยื่อใยสูงในอาหารไก่ไข่ เช่น DDGS wheat middlings เปลือกถั่วเหลือง ต่อการลดการปลดปล่อยแอมโมเนีย ผลการทดลองพบว่า กลุ่มวัตถุดิบที่ให้เยื่อใยสูงสามารถลดการปลดปล่อยแอมโมเนียในมูลไก่ไข่ได้ การใช้ DDGS 10%, wheat middlings 7.3% และเปลือกถั่วเหลือง 4.8% สามารถลดการปลดปล่อยแอมโมเนียในมูลได้ 41, 38 และ 27% ตามลำดับ และน่าจะมีอยู่สองกลไกที่สนับสนุนผลการทดลองนี้ คือ กลไกแรก เยื่อใยเป็นแหล่งให้พลังงานกับแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในทางเดินอาหารส่วนปลายและเป็นพื้นที่ที่แบคทีเรียใช้ในโตรเจนไปสร้างเป็นโปรตีนของตัวเองก่อนที่จะถูกขับออกมา กับมูล กลไกที่สอง กรดไขมันสายสั้นที่เกิดจากเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียทำให้ค่าพีเอชของมูลลดลง ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแอมโมเนีย (NH_3) ไปเป็นแอมโมเนียม (NH_4^+) ซึ่งการระเหยจะลดลง ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าพีเอชของมูลต่ำลงจากเยื่อใยในอาหารไก่ไข่ แต่อาจจะให้ผลที่ไม่ชัดเจนถ้ากรดยูริกบางส่วนถูกนำไปสร้างเป็นโปรตีนแบคทีเรีย ดังนั้นหากงานวิจัยในระดับห้องทดลองที่ทดสอบวัตถุดิบที่ให้เยื่อใยทั้งสองชนิดมีการศึกษาต่อไปก็อาจจะมีคำอธิบายถึงกลไกที่แท้จริงได้ (Roberts *et al.*, 2007) เช่นเดียวกับ Kirchgessner *et al.* (1994) รายงานว่า สุกรที่ได้รับอาหารที่มีเยื่อใยในระดับสูงจะมีการปลดปล่อยแอมโมเนียลดลง เนื่องจากเยื่อใยอาหารจะไปเพิ่มเมแทบอลิซึมและการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ นอกจากนี้ยังได้รับพลังงานจากเยื่อใยและใช้ในโตรเจนที่จะถูกขับออกนอกร่างกายในรูปของกรดยูริกมาสร้างเป็นโปรตีนแบคทีเรีย

กระบวนการหมักเยื่อใยโดยแบคทีเรียจะได้ผลผลิตเป็น SCFA (Short-chain fatty acid) ซึ่งถูกดูดซึมผ่าน mucosal membrane ของทางเดินอาหาร (Bergman, 1990) สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับเยื่อใยสูง สิ่งขับถ่ายจะมี SCFA มากกว่ากลุ่มควบคุม และส่งผลให้ pH ลดลง (Canh *et al.*, 1997; Hogberg and Lindberg, 2004; Kerr *et al.*, 2006) ค่า pH ของสิ่งขับถ่ายเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่ออัตราและขอบเขตของการระเหยของแอมโมเนียจากของเสียของสัตว์เพราะมูลที่มีค่า pH ต่ำจะเปลี่ยนแอมโมเนีย ($\text{pKa} = 9.2$) ไปเป็นแอมโมเนียม (NH_4^+) ซึ่งละลายน้ำได้มากกว่า และระเหยน้อย

กว่าแอมโมเนีย นอกจากนี้เอนไซม์จากแบคทีเรียยังมีผลในการสลายกรดยูริกเป็นแอมโมเนีย โดยมีความสัมพันธ์สูงมากกับ pH และจะทำงานลดลงเมื่อมี pH ลดลง (Mobley and Hausinger, 1989)

ผลของเยื่อใยอาหารในไก่ไข่

โดยปกติการใช้วัตถุดิบแหล่งเยื่อใยในอุตสาหกรรมสัตว์ปีกนั้นมีข้อจำกัด แต่ก็มีข้อยกเว้นอยู่สองประการคือ ประการแรก อาหารที่มีระดับเยื่อใยสูงมีประโยชน์มากในเรื่องของสวัสดิภาพของโปรแกรมการผลัดขนในไก่ไข่ เพราะขณะที่เราลดความเข้มข้นของอาหารลง แต่ไก่ก็ยังรู้สึกอึดและไม่เกิดความเครียด ซึ่งส่งผลกระทบต่อมาอีกมาก ประการที่สอง เยื่อใยในอาหารใช้ควบคุมการเจริญเติบโตของพ่อแม่พันธุ์ ทั้งในไก่สาวทดแทนและเปิด เพื่อให้การเจริญเติบโตไม่เร็วเกินไป ควบคุมน้ำหนัก โครงสร้างที่สมบูรณ์ เพื่อการให้ผลผลิตในแต่ละช่วงของสัตว์ปีก

ในช่วงของการเตรียมไก่สาวเพื่อจะเข้าทดแทนไก่ไข่ คือช่วงอายุประมาณ 8-18 สัปดาห์ เยื่อใยในอาหารถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการเตรียมไก่สาวทดแทนที่มีคุณภาพ เมื่อมีเยื่อใยในอาหาร ความเข้มข้นของสารอาหารลดลง ไก่สาวมีการเจริญเติบโตไม่เร็วเกินไป ทำให้การพัฒนาโครงสร้างและระบบสืบพันธุ์มีความสมบูรณ์พร้อมเข้าสู่ระยะไข่ โดยความเข้มข้นของสารอาหารที่ลดลงจะเป็นโปรตีนและกรดอะมิโนมากกว่าพลังงาน ในหลายประเทศจะใช้วัตถุดิบที่มีความเข้มข้นของสารอาหารต่ำ แต่ให้เยื่อใยมากเพื่อเป็นการลดต้นทุนมากกว่าธัญพืชและกากถั่วเหลือง สามารถช่วยลดต้นทุนค่าอาหารในช่วงไก่สาว และยังเพิ่มปริมาณอาหารที่กินได้ในช่วงไก่สาว อาหารที่มีเยื่อใยในระดับสูง (ประมาณ 5.5%) จะทำให้ไก่สาวกินอาหารมากขึ้น แต่การที่มีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบในระดับสูงจะทำให้ไก่สาวใช้เวลากับการกินอาหารมากขึ้น ลดการจิกกัน นอกจากนี้การฝึกให้ไก่สาวมีความสามารถในการกินอาหารได้ปริมาณมาก จะช่วยส่งต่อให้ไก่ไข่ช่วงแรกกินอาหารได้อย่างเพียงพอ การเกิดวิกฤตของหลายฝูงไก่ไข่เป็นผลมาจากการกินได้ที่ต่ำนำไปสู่ผลผลิตที่ลดลงและความล้มเหลวของช่วงไข่สูงสุด ไก่ไข่ที่ได้รับอาหารที่มีเยื่อใยระดับสูง (3.5-4.0%) จะช่วยลดความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศ ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพของไก่ไข่และยังเป็นการปรับปรุงสภาพแวดล้อมในโรงเรือน ระดับแอมโมเนียจะส่งผลอย่างชัดเจนในไก่ไข่ที่เลี้ยงบนพื้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

สัตว์ทดลอง

การทดลองใช้ลูกไก่ไข่สายพันธุ์ H&N “Brown Nick” ที่อายุ 7 สัปดาห์ จำนวน 720 ตัว แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ แต่ละซ้ำมี 60 ตัว ใช้ระยะเวลาการทดลอง 11 สัปดาห์ เมื่อไก่สาวมีอายุได้ 18 สัปดาห์ ทำการสุ่มไก่สาวจากทั้งสองกลุ่ม กลุ่มละ 288 ตัว จำนวน 576 ตัวโดยคัดเลือกจากไก่สาวที่มีน้ำหนักอยู่ในช่วงน้ำหนักมาตรฐานตามช่วงอายุ ทำการแบ่งแต่ละกลุ่มให้ได้รับอาหารทดลองแตกต่างกัน 3 สูตร โดยแต่ละกลุ่มมี 8 ซ้ำ ซ้ำละ 12 ตัว

อาหารทดลอง

อาหารทดลองช่วงไก่สาว ไก่ทั้ง 2 กลุ่มได้รับการสุ่มให้ได้รับอาหารทดลองที่แตกต่างกัน 2 สูตร (ตารางที่ 9) เป็นอาหารพื้นฐานข้าวโพด-กากถั่วเหลือง ที่คำนวณให้มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้และโปรตีนเท่ากับทุกสูตรคือ 2,900 kcal/kg และ 18.0% ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

สูตรที่ 1 อาหารพื้นฐานข้าวโพด-กากถั่วเหลืองที่มีเยื่อใยรวมในอาหาร 5.5% จากอาหาร
สูตรที่ 2 อาหารพื้นฐานข้าวโพด-กากถั่วเหลืองที่มีเยื่อใยรวมในอาหาร 5.5% (4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก raw fiber concentrate หรือ RFC) RFC คือผลิตภัณฑ์เยื่อใยเข้มข้นที่มีปริมาณ lignocelluloses 67% มีชื่อทางการค้าคือ Arbocel® ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าของบริษัท J. Rettenmaier & Söhne (JRS) ประเทศเยอรมัน

อาหารทดลองช่วงไก่ไข่ ไก่ทั้ง 6 กลุ่มได้รับอาหารทดลองที่แตกต่างกัน 3 สูตร (ตารางที่ 9) เป็นอาหารพื้นฐานข้าวโพด-กากถั่วเหลือง ที่คำนวณให้มีค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้และโปรตีนเท่ากับทุกสูตรคือ 2,800 kcal/kg และ 17.5% ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

สูตรที่ 1 อาหารพื้นฐานข้าวโพด-กากถั่วเหลืองที่มีเยื่อใยรวมในอาหาร 3.5%

สูตรที่ 2 อาหารพื้นฐานข้าวโพด-กากถั่วเหลืองที่มีเยื่อใยรวมในอาหาร 4.0%

สูตรที่ 3 อาหารพื้นฐานข้าวโพด-กากถั่วเหลือง ที่มีเยื่อใยรวมในอาหาร 4.0% (3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC)

ตารางที่ 9 การจัดกลุ่มอาหารที่ใช้ทดลอง

ระยะโก่สาว	สูตรที่ 1			สูตรที่ 2		
	เยื่อใย 5.5% จากอาหาร			เยื่อใย 4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC		
ระยะโก่ไข่	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
	เยื่อใย 3.5%	เยื่อใย 4.0%	เยื่อใย 3.5% จาก อาหาร + 0.5% จาก RFC	เยื่อใย 3.5%	เยื่อใย 4.0%	เยื่อใย 3.5% จาก อาหาร + 0.5% จาก RFC

อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการทดลอง

1. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
2. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างอาหารทดลอง
3. อุปกรณ์ในการผสมอาหาร
4. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาค่าประกอบทางโภชนาของอาหารทดลอง
5. เครื่องวิเคราะห์พลังงาน (bomb calorimeter)
6. อุปกรณ์ผ่าซาก
7. อุปกรณ์การวิเคราะห์คุณภาพไข่
8. อุปกรณ์และสารเคมีในการศึกษาทาง histology ของเนื้อเยื่อลำไส้

ตารางที่ 10 ส่วนประกอบและองค์ประกอบทางเคมีของอาหารที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบ (กิโลกรัม)	ไก่สาว		ไก่ไข่		
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
ข้าวโพด	34.75	25.73	57.64	46.15	56.22
มันอัดเม็ด	15.00	15.00	0.00	5.00	0.00
รำละเอียด	15.00	15.00	0.00	6.00	0.00
รำสกัด	0.02	6.44	0.00	0.00	0.00
น้ำมันรำข้าวคืบ	1.70	3.96	2.37	2.93	2.87
กากถั่วเหลือง 44% CP	30.05	29.42	29.41	29.59	29.41
แอล-ไลซีน	0.00	0.00	0.08	0.05	0.20
ดีแอล-เมทไธโอนีน	0.06	0.06	0.17	0.18	0.18
โคลีนคลอไรด์ (50%)	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
โมโนไคแคลเซียมฟอสเฟต (P 21)	1.54	1.50	1.26	0.95	1.28
แคลเซียมคาร์บอเนต	1.21	1.22	8.40	8.50	8.40
เกลือ	0.42	0.42	0.40	0.39	0.40
พรีมิกซ์วิตามิน-แร่ธาตุ ^{1/}	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
อาโบเซล® (67% lignocelluloses)	0.00	1.00	0.00	0.00	0.80
องค์ประกอบทางโภชนาะโดยการคำนวณ (%)					
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้	2,900.00	2,900.00	2,800.00	2,800.00	2,800.00
(kcal/kg)					
โปรตีน	18.00	18.00	17.50	17.50	17.50
ไขมัน	3.98	3.71	4.73	5.84	5.18
เยื่อใย	5.50	5.50	3.50	4.00	4.00
แคลเซียม	0.85	0.85	3.50	3.50	3.50
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้	0.40	0.40	0.35	0.30	0.36
ไลซีน	0.98	0.98	1.00	0.98	1.08
เมทไธโอนีน+ซิสทีน	0.60	0.60	0.72	0.72	0.72
โคลีน (mg/kg)	1,200.00	1,201.57	1,400.00	1,400.00	1,400.00
โซเดียม	0.19	0.19	0.17	0.17	0.17

หมายเหตุ ^{1/}รายละเอียดส่วนประกอบของพรีมิกซ์วิตามิน/แร่ธาตุแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ส่วนประกอบใน 1 กิโลกรัมของพรีมิกซ์วิตามิน-แร่ธาตุ

วิตามิน	ปริมาณ
วิตามินเอ	12,500,000 IU
วิตามินดี 3	2,500,000 IU
วิตามินอี	12,000 IU
วิตามินเค 3	2.00 กรัม
วิตามินบี 1	1.50 กรัม
วิตามินบี 2	6.00 กรัม
วิตามินบี 6	2.50 กรัม
วิตามินบี 12	15.00 มิลลิกรัม
กรดฟอลิก	500.00 กรัม
กรดแพนโทเทนิค	13.80 กรัม
ไบโอติน	25.00 มิลลิกรัม
โคลีนคลอไรด์	300.00 กรัม
แมงกานีส	90.00 กรัม
เหล็ก	22.00 กรัม
สังกะสี	75.00 กรัม
ทองแดง	28.00 กรัม
ไอโอดีน	2.00 กรัม
โคบอลต์	300.00 มิลลิกรัม
สารตัวเติม	2.50 กรัม

วิธีการทดลอง

แผนการทดลอง

ใช้การทดลองแบบ 2 x 3 แฟกตอเรียล ที่ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (2 x 3 factorial experiment in completely randomide design) โดยช่วงไก่อสาว ทำการทดลองโดยเลี้ยงไก่อสาวที่อายุ 7 ถึง 18 สัปดาห์ จำนวน 720 ตัว แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ซ้ำ ซ้ำละ 60 ตัว และในช่วง

ไก่ไข่ ทำการทดลองโดยใช้ไก่สาวจากทั้ง 2 กลุ่ม ที่อายุ 18 สัปดาห์ กลุ่มละ 288 ตัว ซึ่งกลุ่มทดลองประกอบด้วย

ปัจจัย A = เชื้อใยในอาหารไก่สาว ซึ่งมี 2 ทริตเมนต์ คือ
 a1 = เชื้อใยรวม 5.5% จากอาหาร
 a2 = เชื้อใยรวม 5.5% (4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC)

ปัจจัย B = เชื้อใยในอาหารไก่ไข่ ซึ่งมี 3 ทริตเมนต์ คือ
 b1 = เชื้อใยรวม 3.5% จากอาหาร
 b2 = เชื้อใยรวม 4.0% จากอาหาร
 b3 = เชื้อใยรวม 4.0% (3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC)

โดยมีรูปแบบหุ้่น ดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

เมื่อ

Y_{ijk} = ค่าสังเกตของไก่แต่ละตัว
 μ = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต
 A_i = อิทธิพลของเชื้อใยในอาหารไก่สาว ($i = 1, 2$)
 B_j = อิทธิพลของเชื้อใยในอาหารไก่ไข่ ($j = 1, 2, 3$)
 AB_{ij} = อิทธิพลร่วมของเชื้อใยในอาหารไก่สาวกับเชื้อใยในอาหารไก่ไข่
 ϵ_{ijk} = ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

การจัดการเลี้ยงดู

ช่วงไก่สาว เลี้ยงไก่ในโรงเรือนเปิดและใช้เกลบเป็นวัสดุรองพื้น โดยให้ไก่ได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) ตลอดการทดลอง ให้อาหารโดยระบบถังแขวนและให้น้ำแบบใส่ถังตั้งกับพื้น มีการจัดการ โปรแกรมการให้แสงและทำวัคซีนตามคำแนะนำของสายพันธุ์ ใช้ระยะเวลาการทดลอง 11 สัปดาห์

ช่วงไถ่ไข่ เลียงไถ่ในโรงเรือนปิดควบคุมสภาพแวดล้อมด้วยระบบระเหยไอน้ำ (evaporative cooling system) และใช้กรงตับในการเลี้ยงกรงละ 3 ตัว โดยให้ไถ่ได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) ตลอดการทดลอง ให้อาหารในรางอาหารและมีระบบการให้น้ำอัตโนมัติแบบหัวหยด โดยให้อาหารวันละ 2 ครั้ง คือ เข้า เวลา 7.00 น. และเย็น เวลา 14.00 น. และสังเกตให้มีอาหารเหลืออยู่ในรางอาหารเพียงเล็กน้อยในแต่ละครั้งที่ทำการให้อาหาร มีการจัดโปรแกรมการให้แสงตามคำแนะนำของสายพันธุ์ ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยง 4 ช่วง ช่วงละ 28 วัน คือ ช่วงที่ไถ่ไข่ อายุ 19-22, 23-26, 27-30 และ 31-34 สัปดาห์ ตามลำดับ

การบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลมีการเก็บข้อมูลเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงไถ่สาวและไถ่ไข่

1. ช่วงไถ่สาว

1.1 สมรรถภาพการผลิต

1.1.1 บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว โดยชั่งไถ่ทุกตัวในทุกกลุ่มการทดลองทุกสัปดาห์ แล้วนำมาคำนวณหาน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและความสม่ำเสมอของฝูง

1.1.2 บันทึกปริมาณอาหารที่กินในแต่ละวันของแต่ละกลุ่มการทดลอง แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณอาหารที่กินต่อตัว

1.1.3 บันทึกปริมาณน้ำที่กินในแต่ละวันของแต่ละกลุ่มการทดลอง แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณน้ำที่กินต่อตัว

1.1.4 บันทึกจำนวนไถ่ตายในแต่ละกลุ่มการทดลองเป็นรายวัน แล้วนำมาคำนวณอัตราการตาย

1.1.5 บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนทุกวัน วันละ 3 ครั้ง คือ 8.00, 12.00 และ 16.00 น. เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละวัน

1.1.6 สุ่มเก็บอาหารทดลองของทุกสูตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หองค์ประกอบทางโภชนา

นำข้อมูลต่างๆ ที่บันทึกมาคำนวณหาน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กินต่อตัว และ อัตราการตาย ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อตัว (กรัม)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักตัวเริ่มต้นการทดลอง}}{\text{จำนวนไก่ทั้งหมดที่ซั้ง}}$$

$$\text{ปริมาณอาหารที่กินต่อตัว} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่ให้} - \text{ปริมาณอาหารที่เหลือ}}{\text{จำนวนไก่ทั้งหมด}}$$

$$\text{ปริมาณน้ำที่กินต่อตัว} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ให้} - \text{ปริมาณน้ำที่เหลือ}}{\text{จำนวนไก่ทั้งหมด}}$$

$$\text{อัตราการตาย (\%)} = \frac{\text{จำนวนไก่ที่ตาย} \times 100}{\text{จำนวนไก่เมื่อเริ่มต้นการทดลอง}}$$

1.2 น้ำหนักทางเดินอาหาร

เมื่อไก่สาวอายุ 11 สัปดาห์ ทำการสุ่มไก่ในแต่ละซ้ำ ซ้ำละ 2 ตัว รวมทั้งหมด 24 ตัว เพื่อนำมาชำแหละและชั่งน้ำหนักทางเดินอาหาร โดยทำการบันทึกข้อมูลดังนี้

1.2.1 บันทึกน้ำหนักมีชีวิต (live weight)

1.2.2 บันทึกน้ำหนักทางเดินอาหาร (gastrointestinal tract weight)

1.1.3 บันทึกน้ำหนักกระเพาะบด (น้ำหนักเอาอาหารออกให้หมด) (empty gizzard weight)

นำค่าต่างๆ ที่บันทึกมาคำนวณ ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{น้ำหนักทางเดินอาหาร (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักตัว)} = \frac{\text{น้ำหนักทางเดินอาหาร} \times 100}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}}$$

$$\text{น้ำหนักกระเพาะบด (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักตัว)} = \frac{\text{น้ำหนักกระเพาะบด} \times 100}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}}$$

2. ช่วงไก่ไข่

2.1 สมรรถภาพการผลิต

การบันทึกข้อมูลแบ่งออกเป็น 4 ช่วง ช่วงละ 28 วัน โดยในแต่ละช่วงมีการบันทึกข้อมูลดังนี้คือ

2.1.1 บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว โดยชั่งไก่แต่ละตัวเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลองแล้วนำมาคำนวณเป็นน้ำหนักไก่เฉลี่ยแต่ละกลุ่มการทดลอง

2.1.2 บันทึกปริมาณอาหารที่กินทั้งหมดของแต่ละช่วงการทดลอง แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน ปริมาณอาหารที่กินต่อน้ำหนักไข่ 1 กิโลกรัม

2.1.3 บันทึกผลผลิตไข่ โดยบันทึกจำนวนไข่ในแต่ละเช้าทุกวัน แล้วนำมาคำนวณเป็นอัตราการผลิตไข่ของไก่ไข่แต่ละกลุ่มการทดลอง

2.1.4 บันทึกน้ำหนักไข่ โดยเก็บไข่มาชั่งรวมทีละเช้าทุกวัน แล้วนำมาคำนวณเป็นน้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟอง

2.1.5 บันทึกจำนวนไข่ตายของแต่ละเช้า แล้วนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การเลี้ยงรอด

2.1.6 บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน

นำค่าต่างๆ ที่ได้จากการบันทึกมาคำนวณตามวิธีของ North and Bell (1990) ดังต่อไปนี้

$$\text{น้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง} = \frac{\text{น้ำหนักตัวสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักตัวเริ่มต้นการทดลอง}}{\text{จำนวนไก่ที่ซัง}}$$

$$\text{ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน} = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กิน}}{\text{จำนวนวัน} \times \text{จำนวนไก่ที่ซัง}}$$

$$\text{ปริมาณอาหารที่กินต่อน้ำหนักไข่ 1 กิโลกรัม} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่กินในช่วงการทดลอง}}{\text{น้ำหนักไข่ในแต่ละช่วงการทดลอง} \quad (\text{กก.})}$$

$$\text{อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต} = \frac{\text{จำนวนไข่ในช่วงการทดลอง}}{\text{จำนวนวัน} \times \text{จำนวนไก่สิ้นสุดการทดลอง}} \times 100$$

(hen-day egg production; HD) (%)

$$\text{อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่เริ่มการทดลอง} = \frac{\text{จำนวนไข่ในช่วงการทดลอง}}{\text{จำนวนวัน} \times \text{จำนวนไก่เริ่มต้นการทดลอง}} \times 100$$

(hen-housed egg production; HH) (%)

$$\text{น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟอง} = \frac{\text{น้ำหนักไข่ทั้งหมดของซังแต่ละช่วงการทดลอง}}{\text{จำนวนไข่ทั้งหมดที่นำมาซัง}}$$

$$\text{มวลไข่ต่อแม่ไก่ต่อวัน} = \text{อัตราการให้ผลผลิตไข่ (HD) (\%)} \times \text{น้ำหนักไข่เฉลี่ยต่อฟอง (กรัม)}$$

$$\text{อัตราการเลี้ยงรอด (liveability) (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{จำนวนไก่สิ้นสุดช่วงการทดลอง}}{\text{จำนวนไก่เริ่มต้นการทดลอง}} \times 100$$

2.2 คุณภาพไข่

2.2.1 บันทึกน้ำหนักไข่แต่ละฟอง โดยชั่งน้ำหนักของฟองไข่และส่วนประกอบของฟองไข่แล้วนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ไข่แดง ไข่ขาว และเปลือกไข่ของไข่ทั้งฟอง

2.2.2 บันทึกค่าความเข้มของสีไข่แดง โดยใช้พัดวัดสีไข่ของ Rhoche (Rhoche yolk colour fan) ที่มีสีเหลืองอ่อนถึงสีส้มแดง ตั้งแต่ 1-15

2.2.3 วัดความสูงของไข่ขาวชั้น โดยใช้ชุดตรวจสอบคุณภาพไข่ขาวของ Technical Services and Supplies Ltd. ซึ่งประกอบด้วยชุดแสดงผลระบบดิจิทัล และ albumen height gauge ได้ค่าความสูงไข่ขาวเป็นมิลลิเมตร การวัดจะวัด 3 จุดตรงกลางระหว่างขอบไข่แดงกับขอบไข่ขาว แล้วหาค่าเฉลี่ย นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาคำนวณค่าฮอฟฟ์ยูนิท

2.2.4 บันทึกความหนาเปลือกไข่ โดยใช้ digital outside micrometer สำหรับวัดความหนาของเปลือกไข่ โดยการหักเปลือกไข่ไม่ติดเยื่อหุ้มไข่ 3 จุด คือ ด้านป้าน ด้านแหลม และตรงกลางฟองไข่ ขนาดประมาณ 0.5×0.5 เซนติเมตร วัดค่าเป็นมิลลิเมตร

2.2.5 นำข้อมูลน้ำหนักไข่และความสูงไข่ขาวมาคิดค่าฮอฟฟ์ยูนิท ด้วยสมการของ Roush (1981)

$$HU = 100 \times \log (H + 7.57 - 1.7W^{0.37})$$

เมื่อ HU = ค่าฮอฟฟ์ยูนิท

H = ค่าเฉลี่ยความสูงไข่ขาว (มิลลิเมตร)

W = น้ำหนักฟองไข่ (กรัม)

2.3 น้ำหนักทางเดินอาหารของไก่ไข่

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทำการสุ่มไก่ในแต่ละซ้ำ ซ้ำละ 1 ตัว (กลุ่มละ 12 ตัว) รวมทั้งหมด 48 ตัว มาทำการฆ่าด้วยวิธี asphyxiation โดยใช้ CO₂ เพื่อชั่งน้ำหนักทางเดินอาหาร โดยทำการบันทึกข้อมูลดังนี้

2.3.1 บันทึกน้ำหนักมีชีวิต (live weight)

2.3.2 บันทึกน้ำหนักทางเดินอาหาร (gastrointestinal tract weight)

2.3.3 บันทึกน้ำหนักกระเพาะป้อนอาหารออกให้หมด (empty gizzard weight)

นำค่าต่างๆ ที่บันทึกมาคำนวณ ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{น้ำหนักทางเดินอาหาร (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักตัว)} = \frac{\text{น้ำหนักทางเดินอาหาร} \times 100}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}}$$

$$\text{น้ำหนักกระเพาะป้อน (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักตัว)} = \frac{\text{น้ำหนักกระเพาะป้อน} \times 100}{\text{น้ำหนักมีชีวิต}}$$

2.4 ประชากรจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารของไก่ไข่

ใช้ไก่ไข่จากข้อ 2.3 เก็บตัวอย่างสิ่งย่อยในไส้ติ่ง (caecal content) จากไก่แต่ละตัว โดยบรรจุในถุง anaerobic bag ซึ่งมี anaerobic gas pack บรรจุอยู่ เพื่อนำไปตรวจนับเชื้อ *Bifidobacterium* spp. หรือบรรจุในถุงพลาสติกธรรมดาเพื่อนำไปตรวจนับเชื้อ *Lactobacillus* spp. ทุกขั้นตอนการเก็บตัวอย่างต้องทำอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ในอากาศ ถุงตัวอย่างทั้งหมดจะถูกแช่ในน้ำแข็ง เพื่อลำเลียงเข้าห้องปฏิบัติการตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์

การตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์

นำสิ่งย่อยจากไส้ติ่งมาเจือจางเชื้อ (dilution plate count) เพิ่มครั้งละ 10 เท่าเป็นลำดับ (ten-fold serial dilution) ตามวิธีของ Michael and Burtor (1995) โดยใช้สารละลายเจือจาง MRD-broth

(maximum recovery diluent) สำหรับ *Lactobacillus* spp. และ MRD-broth ผสม cysteine hydrochloride 0.5 กรัม/ลิตร สำหรับ *Bifidobacterium* spp. คูดสารละลายเชื้อเจือจาง 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อเฉพาะแต่ละชนิด (selective media) โดย *Lactobacillus* spp. ใช้ Lactobacilli MRS agar (Merck) ตามวิธีของ De Man *et al.* (1960) และ *Bifidobacterium* spp. ใช้ Beeren's agar ตามวิธีของ Beerens (1990) ในขั้นตอนการ spread plate เกลี่ยเชื้อให้ทั่วผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยแต่ละเชื้อจะใช้สารละลายเจือจางในระดับที่กำหนด 4 ระดับ คือ 10^{-4} - 10^{-7} ระดับละ 2 ซ้ำ นำไปบ่มเชื้อ *Lactobacillus* spp. บ่มในตู้ CO₂ incubator ปรับระดับคาร์บอนไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จะเห็นโคโลนีสีขาวขุ่น ขนาดเล็กถึงปานกลาง เชื้อ *Bifidobacterium* spp. ทำโดยการใส่จานเชื้อใน anaerobic jar และใส่ anaerobic gas pack (คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนจะถูกปลดปล่อยออกมาเพื่อรักษาสภาพไร้ออกซิเจน) แล้วนำไปบ่มในตู้ incubator ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จะเห็นโคโลนีสีขาวขุ่นกลมมน จะเลือกนับจานเลี้ยงเชื้อเจือจาง 2 ระดับ ที่มีโคโลนีอยู่ในช่วง 30-300 โคโลนี แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาจำนวนโคโลนีของเชื้อต่อตัวอย่าง 1 กรัม (colony forming units/g; cfu/g) จากสมการ

$$N = \frac{\sum C}{V[N_1 + 0.1N_2]d}$$

N = number of colony in sample

C = number of colony

V = volume of sample

N₁ = number of plate (1 dilution step)

N₂ = number of plate (2 dilution step)

d = lowest count dilution

2.5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อในลำไส้ของไก่ไข่

ใช้ไก่ไข่จากข้อ 2.3 ศึกษา histology โดยนำเนื้อเยื่อทางเดินอาหารส่วนไอเลียม เก็บตรงกึ่งกลางระหว่าง Meckel's diverticulum กับค่านบนจุดเชื่อมต่อระหว่างไอเลียมและซีกัม (ileo-cecal junction) มาตัดขนาด 1 เซนติเมตร จำนวน 1 ชิ้น ล้างใน phosphate-buffer saline

(PBS) อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นรีบใส่ลงใน fixative ใช้ 10% NBF (neutral buffer formalin) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปฏิบัติตามขั้นตอนทาง histology technique โดยล้างในน้ำไหล และนำมา dehydrated ด้วยเอธานอล ตามลำดับความเข้มข้น และ embedded ใน paraffin ตัดเนื้อเยื่อด้วย microtome ความหนา 5 μ m วางลงบนแผ่นสไลด์ที่เคลือบด้วย poly-l-lysine นำแผ่นสไลด์ค้อนในตู้อบอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที นำแผ่นสไลด์มา deparaffin ด้วย xylene 2 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที และ dehydrate ด้วยเอธานอลตามลำดับความเข้มข้น จากนั้นนำแผ่นสไลด์เนื้อเยื่อมาย้อมด้วยสี haematoxylin และ eosin เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทาง histology ของเยื่อผิวของทางเดินอาหาร โดยวัด villus height (วัดจาก brush-border membrane ถึง basolateral membrane) และ crypt depth (วัดจากฐานของคริปต์ที่ basement membrane ถึงปาก) ตามวิธีของ Brunnsgaard, 1998 โดยสุ่มวัดจากวิลลัสและคริปต์จำนวน 10 อัน จาก 3 ตำแหน่งในแต่ละสไลด์เนื้อเยื่อ ใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย objective 20X

2.6 กรดไขมันระเหยง่ายในสิ่งย่อยจากไส้ตั้งของไก่ไข่

ใช้ไก่ไข่จากข้อ 2.3 เก็บตัวอย่างสิ่งย่อยในไส้ตั้ง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (VFA) โดยใช้ตัวอย่างในไส้ตั้ง เติมน้ำกลั่น 1 เท่า นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 14,000 รอบ/นาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เพื่อเก็บตัวอย่างส่วนใส จากนั้นทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง ก่อนนำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 14,000 รอบ/นาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แล้วนำตัวอย่างส่วนใสที่เก็บได้มาวิเคราะห์ VFA ซึ่งประกอบด้วย acetic acid, propionic acid และ butyric acid ด้วยเครื่อง gas chromatography ตามวิธีของ Biagi *et al.* (2006)

2.7 แอมโมเนียในมูลไก่ไข่

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างมูลสด 2 ระยะเวลาคือ ที่อายุ 26 และ 34 สัปดาห์ จากไก่จำนวน 3 ตัวต่อหน่วยทดลอง โดยใช้แผ่นพลาสติกกรองรับมูลใต้กรงเลี้ยงเมื่อไก่ถ่ายมูลจะทำการเก็บทันทีเพื่อป้องกันอาหารตกลงมาปนเปื้อน โดยเริ่มเก็บหลังจากให้อาหารมือเช้า (เป็นเวลา 12 ชั่วโมง) จากนั้นนำมาเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่อไป

2.8 การหาค่าความเป็นกรด-เบส ในทางเดินอาหารของไก่เนื้อ

ใช้ไก่ไข่จากข้อ 2.3 เก็บตัวอย่างสิ่งย่อยในไส้ตั้ง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเป็นกรด -เบส โดยใช้เครื่อง pH meter

การวิเคราะห์ทางเคมี

1. วิเคราะห์หาค่าประกอบทางโภชนาการต่างๆ ในอาหารทดลองทุกสูตร คือ วัตถุแห้ง ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า แคลเซียม และฟอสฟอรัส โดย proximate analysis และ วิเคราะห์เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (ADF) และ ลิกนินที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด (ADL) โดยวิธี Van soest system ตามวิธีของ A.O.A.C (1990) และวิเคราะห์พลังงานโดยใช้ bomb calorimeter ตามวิธีของอังคณา และดวงสมร (2532)
2. วิเคราะห์ปริมาณก๊าซแอมโมเนียในมูลของไก่ไข่โดยวิธีของ APHA, AWWA and WPCE (1998) และกรรณิการ์ (2543)
3. วิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของมูลไก่ไข่ โดย pH meter
4. วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายของสิ่งย่อยในไส้ตั้ง ที่หน่วยวิเคราะห์วิจัยพฤษเคมี ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ช่วงไก่สาว เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Student's t-test โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

ช่วงไก่ไข่ ใช้แผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนโดยใช้ General Linear Model (GLM) โดยวิเคราะห์หาปฏิกริยาร่วม (Interaction) ระหว่างกลุ่มทดลองและช่วงเวลาทำการทดลอง ถ้าไม่พบปฏิกริยาร่วมดังกล่าวจะนำข้อมูลของทุกช่วงการทดลองมารวมกัน เพื่อหา

ค่าเฉลี่ยและนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป
เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan' new multiple range test

จากนั้น



ผลและวิจารณ์

ระยะไก่อสาว

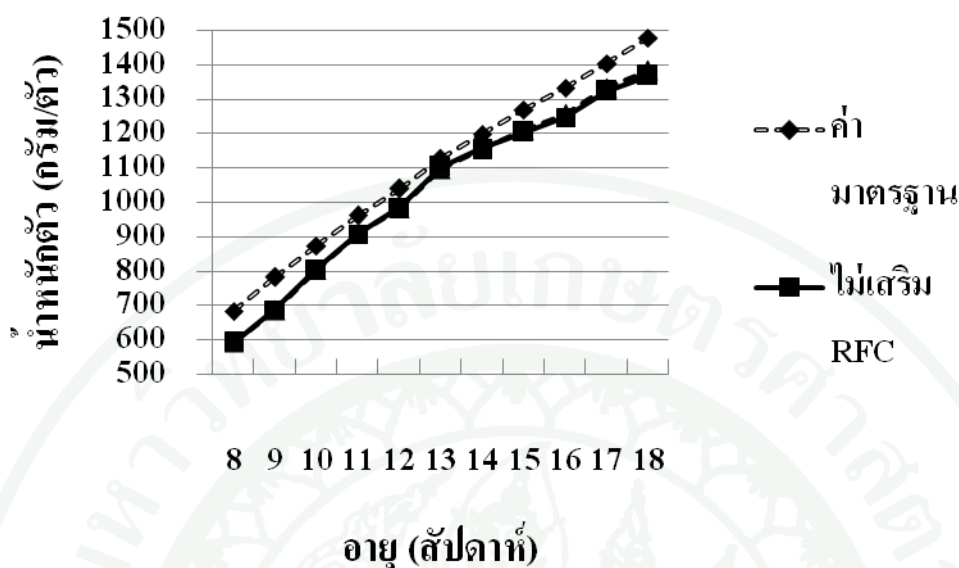
ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ของค่าต่างๆ ที่ทำการตรวจวัดในแต่ละกลุ่มการทดลอง ในระยะไก่อสาว ได้นำมาเสนอในรูปแบบของค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลองช่วงไก่อสาว

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของโภชนาต่างๆ ในอาหารทดลองแต่ละสูตร แสดงไว้ใน ตารางที่ 12 โดยพบว่า เปรอร์เซ็นต์โปรตีน พลังงานรวม แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเยื่อใยของอาหาร ทุกสูตรมีค่าใกล้เคียงกันและสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการคำนวณ (ตารางที่ 10)

จากตารางที่ 10 จะพบว่าระดับโปรตีนในอาหารช่วงไก่อสาวคือ 18% ซึ่งสูงกว่าค่าปกติที่ แนะนำตามสายพันธุ์ ซึ่งมีค่าประมาณ 16% ทั้งนี้เนื่องมาจากไก่อสาวที่นำมาทำการทดลองที่อายุ 7 สัปดาห์นั้น มีน้ำหนักตัวต่ำกว่าค่ามาตรฐานของสายพันธุ์ที่อายุดังกล่าว จึงได้ตัดสินใจประกอบสูตร อาหารให้มีระดับโปรตีนที่สูงกว่าค่าปกติที่แนะนำตามสายพันธุ์ ทั้งนี้เพื่อให้ไก่อสาวสามารถเพิ่ม น้ำหนักตัวให้ได้ตามมาตรฐานของสายพันธุ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อถึงอายุการให้ไข่ ซึ่งจะเห็นได้ จากภาพที่ 11 ที่พบว่า ไก่อสาวที่ได้รับอาหารทดลองนั้น มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวอย่างต่อเนื่อง จนใกล้เคียงกับน้ำหนักมาตรฐานของสายพันธุ์เมื่ออายุได้ 13 สัปดาห์ อย่างไรก็ตามจะพบว่า ปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยในช่วงสัปดาห์ที่ 14 มีค่าลดลงอีกครั้ง ทั้งนี้เนื่องมาจากมีฝนตกหนักและ ไฟฟ้าดับ ทำให้เครื่องปั้มน้ำภายในฟาร์มไม่สามารถทำงานได้ จึงเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมฟาร์มและ ท่วมเข้ามาในโรงเรือนไก่อสาวทดลอง ซึ่งส่งผลให้เกิดความเครียดและมีผลกระทบต่อปริมาณ อาหารที่กินและการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวในที่สุด (ตารางผนวกที่ 3)

น้ำหนักตัวไก่สาว



ภาพที่ 11 ผลของการเสริม RFC ต่อน้ำหนักตัวของไก่สาว

ผลของการเสริม RFC ต่อสมรรถภาพทางการผลิตของไก่สาว

ผลการทดลองเสริมเชื้อยีส 0.67% จาก RFC ในอาหารไก่สาว พบว่า น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน ปริมาณน้ำที่กินต่อตัวต่อวัน และค่าความสม่ำเสมอของฝูง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 13-14) จากการสุ่มตัวอย่างอาหารทดลองในช่วงไก่สาวทั้งสองสูตรมาวิเคราะห์ความฟวม (bulk density) พบว่าความฟวมของอาหารมีค่าใกล้เคียงกัน คือมีค่าเท่ากับ 538.92 และ 534.39 กรัมต่อลิตร ในอาหารสูตรเชื้อยีส 5.5% จากอาหารและสูตรเชื้อยีส 4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC ตามลำดับ ในการเสริม RFC จึงนับได้ว่า ไม่มีผลต่อความฟวมของอาหาร และจากการที่ความฟวมของอาหารไม่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ปริมาณอาหารที่กินได้ไม่แตกต่างกัน ไก่สาวแต่ละกลุ่มได้รับสารอาหารใกล้เคียงกัน ส่งผลให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและความสม่ำเสมอของฝูงไม่ต่างกัน อย่างไรก็ตามพบว่า ไก่สาวกลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมเชื้อยีส 0.67% จาก RFC มีแนวโน้มของปริมาณน้ำที่กินสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P=0.0724$) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากคุณสมบัติของ RFC ที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ในโครงสร้างได้มากกว่าเชื้อยีสทั่วไปถึง 8 เท่า จึงอาจเป็นผลกระตุ้นให้ไก่ต้องกินน้ำมากกว่ากลุ่มควบคุม

ผลของการเสริม RFC ต่อน้ำหนักทางเดินอาหารของไก่สาว

ผลการทดลองพบว่า การเสริมเยื่อใย 0.67% จาก RFC ซึ่งเป็นเยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำในอาหารไก่สาว ส่งผลให้น้ำหนักทางเดินอาหารสูงขึ้น และน้ำหนักของกระเพาะบดมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.001$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ตารางที่ 15) สอดคล้องกับ Jiménez-Moreno *et al.* (2009) ที่พบว่า การเสริมเปลือกข้าวโอ๊ต 30 กรัมต่อกิโลกรัมในอาหารไก่เนื้อ มีผลให้น้ำหนักทางเดินอาหารและน้ำหนักกระเพาะบดสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P \leq 0.001$) ทั้งนี้เนื่องจากเปลือกข้าวโอ๊ตนั้นมีปริมาณเซลลูโลสอยู่สูงและมีคุณสมบัติเป็นเยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำ โดยปกติพบว่า ไก่ที่ได้รับอาหารที่มีเยื่อใยในระดับสูง จะมีปริมาตรและน้ำหนักของทางเดินอาหารเพิ่มสูงขึ้น (Håkansson *et al.*, 1978) จากการทดลองของ Hetland and Svihus (2001) พบว่า การเสริมเปลือกข้าวโอ๊ตจะมีผลไปเพิ่มน้ำหนักกระเพาะบด ของไก่เนื้อ เนื่องจากเปลือกข้าวโอ๊ตมีคุณสมบัติการพองตัวและทำให้เกิดการเพิ่มความจุของสิ่งย่อย ทำให้ผนังกระเพาะบดขยายออก อีกทั้งการบดเปลือกข้าวโอ๊ตนั้นสามารถทำได้ ยากและใช้เวลานาน ในการบดให้ละเอียด ส่งผลให้เกิดการทำงานและการพัฒนาของกล้ามเนื้อรวมทั้งขนาดของกระเพาะบด เช่นเดียวกับ Hetland *et al.* (2003) ที่พบว่า ในเปลือกของธัญพืชนั้นเป็นของแข็ง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเยื่อใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำ จึงคงอยู่ในกระเพาะบดได้นานกว่าสารอาหารชนิดอื่นและสอดคล้องกับ Clemens *et al.* (1975) และ Moore (1999) ที่รายงานว่า อาหารที่มีขนาดอนุภาคหยาบ เช่น ธัญพืชที่ไม่ผ่านการขัดสีหรือมีเยื่อใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำระดับสูง จะส่งผลให้กระเพาะบดทำงานมากขึ้น เพื่อบดให้อาหารมีขนาดอนุภาคเล็กลง ก่อนที่จะส่งออกจากกระเพาะบดไปสู่ลำไส้เล็ก เมื่อกล้ามเนื้อของกระเพาะบดต้องทำงานมากขึ้น จึงเกิดการพัฒนากล้ามเนื้อและเป็นสาเหตุที่ทำให้มวลของกระเพาะบดเพิ่มขึ้น จากการศึกษาของ González-Alvarado *et al.* (2008) พบว่า จากการที่น้ำหนักของกระเพาะบดเพิ่มขึ้น อาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหารดีขึ้น เนื่องจากมีการเพิ่มพื้นที่ และแรงบดในการคลุกเคล้าอาหารกับเอนไซม์

ตารางที่ 12 องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารไก่สาวที่ใช้ในการทดลอง (เปอร์เซ็นต์)

รายการ	อาหารทดลองระยะไก่สาว	
	เยื่อใย 5.5% จากอาหาร	เยื่อใย 4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC
พลังงานรวม (cal/g)	4482.81	4659.88
ความชื้น	11.76	11.41
โปรตีนรวม	18.98	19.24
เถ้า	6.22	5.40
ไขมันรวม	3.98	3.71
เยื่อใยรวม	5.36	5.37
แคลเซียม	1.01	1.01
ฟอสฟอรัส	0.85	0.97
ADF	4.89	5.26
ADL	0.73	1.08

หมายเหตุ ADF = เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด

ADL = ลิกนินที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด

ตารางที่ 13 ผลของการเสริม RFC ต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและปริมาณอาหารที่กินของไก่สาว

กลุ่มทดลอง	น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กรัม/วัน)	ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/ตัว/วัน)
เยื่อใย 5.50% จากอาหาร	80.91	56.23
เยื่อใย 4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC	81.98	56.28
P-value	0.1356	0.9109
Pool SE±	0.6540	0.4255

ตารางที่ 14 ผลของการเสริม RFC ต่อปริมาณน้ำที่กินและความสม่ำเสมอของฝูงไก่สาว

กลุ่มทดลอง	ปริมาณน้ำที่กิน มิลลิลิตร/ตัว/วัน	ความสม่ำเสมอของฝูง (เปอร์เซ็นต์)
เชื้อไข 5.50% จากอาหาร	142.02	91
เชื้อไข 4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC	150.95	89
P-value	0.0724	0.3498
Pool SE±	4.4492	1.5293

ตารางที่ 15 ผลของการเสริม RFC ต่อน้ำหนักของทางเดินอาหารและกระเพาะบด (ไม่มีอาหาร) ของไก่สาว

กลุ่มทดลอง	น้ำหนักทางเดินอาหาร (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักตัว)	น้ำหนักกระเพาะบด (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักตัว)
เชื้อไข 5.50% จากอาหาร	9.41 ^b	2.77 ^b
เชื้อไข 4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC	10.59 ^a	3.60 ^a
P-value	0.0033	<0.0001
Pool SE±	0.3061	0.1244

หมายเหตุ ^{a, b} อักษรต่างกันบนค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ระยะไก่ไข่

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ในช่วงไก่สาวต่อเนื่องมาในช่วงไก่ไข่ โดยวิเคราะห์หาปฏิกริยาร่วมระหว่างกลุ่มทดลองกับช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง พบว่าไม่มีปฏิกริยาร่วมของปัจจัยทั้งสองที่จะมีผลต่อค่าต่างๆ ที่ทำการศึกษา ดังนั้นจึงได้นำข้อมูลของแต่ละช่วงระยะการทดลองมาคำนวณให้ได้ ค่าเฉลี่ย ตลอดจนการทดลอง เพื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มการทดลอง และนำเสนอในรูปของค่าเฉลี่ย ตลอดจนการทดลองในแต่ละกลุ่มทดลอง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารทดลองช่วงไก่ไข่

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองแต่ละสูตร แสดงไว้ในตารางที่ 16 พบว่า อาหารทุกสูตรมีระดับพลังงาน โปรตีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส ไกล์เคียงกันและสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการคำนวณ ส่วนเชื้อยามีระดับต่ำกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณเล็กน้อย (ตารางที่ 10) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการที่วัตถุดิบบางชนิดที่ใช้ในการประกอบสูตรอาหาร มีปริมาณเชื้อยารวมต่ำกว่าระดับเชื้อยที่กำหนดไว้ในโปรแกรมการคำนวณสูตรอาหาร จึงอาจส่งผลให้ปริมาณเชื้อยารวมที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการที่ค่าคลาดเคลื่อนไปจากที่คำนวณได้ อย่างไรก็ตามพบว่าระดับเชื้อยในสูตรอาหารทุกสูตรนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

ผลของการเสริม RFC ต่อสมรรถภาพทางการผลิตของไก่ไข่

ผลการเสริม RFC ต่อสมรรถภาพทางการผลิตในไก่ไข่พบว่า เชื้อยในอาหารไก่สาว เชื้อยในอาหารไก่ไข่ และ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างเชื้อยในอาหารไก่สาวกับเชื้อยในอาหารไก่ไข่ ไม่มีอิทธิพล ($P>0.05$) ต่อปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเลี้ยงรอด อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่เริ่มการทดลอง มวลไข่ ปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1 กิโลกรัม และจำนวนไข่สกปรก (ตารางที่ 17-20)

จากการสุ่มตัวอย่างอาหารทดลองในช่วงไก่ไข่ทั้ง 3 สูตรคือ เชื้อย 3.5%, 4.0% จากอาหาร และเชื้อย 3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC มาวิเคราะห์ความฟวม (bulk density) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน คือมีค่าเท่ากับ 627.63, 614.18 และ 636.06 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่า การเสริม RFC ไม่มีผลต่อความฟวมของอาหาร จึงไม่มีผลกระทบต่อปริมาณอาหารที่กินได้ จากตารางที่ 17 จะพบว่า ปริมาณอาหารที่กินได้ของไก่ไข่ในแต่ละกลุ่มรวมทั้งสารอาหารที่ได้รับไม่ต่างกัน ทำให้ได้รับสารอาหารไปใช้ในการดำรงชีพขั้นพื้นฐาน การเจริญเติบโต และให้ผลผลิตในปริมาณใกล้เคียงกัน ส่งผลให้สมรรถภาพทางการผลิตโดยรวม อาทิเช่น น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเลี้ยงรอด อัตราการให้ผลผลิตของทุกกลุ่มไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$)

อย่างไรก็ตามพบว่า อิทธิพลของเชื้อยในอาหารไก่สาว ส่งผลให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของไก่ไข่มีแนวโน้มที่จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.0600$) (ตารางที่ 17) โดยกลุ่มของไก่ไข่ที่ในระยะไก่สาวได้รับอาหารที่มีการเสริมเชื้อย 0.67% จาก RFC มีน้ำหนักตัวที่

เพิ่มขึ้นน้อยกว่ากลุ่มของไก่ไข่ที่ในระยะไข่สาวได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริม RFC อีกทั้งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า น้ำหนักฟองไข่ของกลุ่มของไก่ไข่ที่ในระยะไข่สาวได้รับอาหารที่มีการเสริมเยื่อใย 0.67% จาก RFC นั้น มีแนวโน้มที่จะสูงกว่ากลุ่มของไก่ไข่ที่ในระยะไข่สาวได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริม RFC ($P=0.0737$) (ตารางที่ 19) ซึ่งอาจเป็นไปได้ที่ไก่ไข่กลุ่มนี้มีการนำสารอาหารที่ได้รับไปใช้ในสร้างฟองไข่ที่มีน้ำหนักมากกว่า ส่งผลให้มีสารอาหารที่เหลือไปเพิ่มเป็นน้ำหนักตัวน้อยลง

ผลจากการทดลองในตารางที่ 18 พบว่า อัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่มีชีวิต (HD) และอัตราการให้ผลผลิตไข่ต่อจำนวนแม่ไก่เริ่มต้นการทดลอง (HH) มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของสายพันธุ์ เนื่องจากช่วงแรกของระยะการให้ไข่ คือช่วงที่ไก่ไข่อายุ 19-22 สัปดาห์ ไก่ไข่ในทุกกลุ่มการทดลองให้ไข่น้อยใกล้เคียงกันคือ ประมาณ 5% เมื่อนำจำนวนไข่ทั้ง 4 ช่วงการทดลองมาหาค่าเฉลี่ยจึงทำให้ค่า HD และ HH ที่ได้ ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ซึ่งสาเหตุที่ไก่ไข่ให้ไข่น้อยในช่วงเริ่มต้นนี้อาจเกิดจากน้ำหนักตัวเฉลี่ยเริ่มต้นการทดลองในระยะไข่ของทุกกลุ่มทดลองต่ำกว่าค่ามาตรฐานของสายพันธุ์ (ตารางผนวกที่ 5) ทำให้สภาพร่างกายและความสมบูรณ์พันธุ์ไม่พร้อมต่อการให้ไข่ ส่งผลต่อการให้ไข่ที่ช้ากว่าปกติเมื่อขึ้นกรงไข่ อย่างไรก็ตามพบว่า ในสัปดาห์ที่ 23 จนถึงสิ้นสุดการทดลองนั้น ไก่ไข่ในทุกกลุ่มการทดลองมีการให้ไข่ที่เป็นไปตามมาตรฐานของสายพันธุ์

จากการทดลองไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง ปัจจัยด้านเยื่อใยในอาหารไข่สาว และเยื่อใยในอาหารไข่ต่อน้ำหนักไข่ตลอดระยะเวลาการทดลอง ($P>0.05$) แต่อิทธิพลของเยื่อใยในอาหารไข่ไข่มีผลต่อน้ำหนักฟองไข่ตลอดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีเยื่อใย 3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC จะมีน้ำหนักฟองไข่มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีเยื่อใย 3.5% จากอาหาร และ 4.0% จากอาหาร จากตารางที่ 17 จะพบว่า ไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมเยื่อใย 0.50% จาก RFC มีแนวโน้มที่จะทำให้น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม RFC ($P=0.1552$) ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าไก่ไข่กลุ่มที่ได้รับการเสริม RFC มีการปรับปรุงด้านการย่อยได้ของสารอาหารที่ดีขึ้น จึงสามารถนำสารอาหารไปสร้างไข่และเพิ่มน้ำหนักตัวได้มากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม RFC สอดคล้องกับการทดลองของ Rogel *et al.* (1987b) ที่พบว่า การเสริมเปลือกข้าวโอ๊ต ซึ่งเป็นแหล่งเยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำในอาหารไก่เนื้อ ส่งผลให้ค่าการย่อยได้ของแป้งสูงขึ้น อย่างไรก็ตามในงานทดลองครั้งนี้ไม่ได้ทำการวัดค่าการย่อยได้ของสารอาหารจึงไม่มีข้อมูลสนับสนุนค่ากล่าวนี้

อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่า อิทธิพลของเยื่อใยในอาหารไก่สวานั้นอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อเนื่องให้น้ำหนักฟองไข่มีแนวโน้มที่จะมีความแตกต่างกัน ($P=0.0737$) (ตารางที่ 19) โดยกลุ่มของไก่ไข่ที่ในระยะไก่สวาได้รับอาหารที่มีการเสริมเยื่อใย 0.67% จาก RFC นั้นพบว่า มีน้ำหนักฟองไข่มากกว่ากลุ่มของไก่ไข่ที่ในระยะไก่สวาได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริม RFC ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่ไก่สวากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมเยื่อใย 0.67% จาก RFC นั้นมีน้ำหนักของทางเดินอาหารและน้ำหนักกระเพาะบดมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 15) ซึ่งอาจส่งผลช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการย่อยอาหารให้ดีขึ้น ทำให้ได้รับสารอาหารไปใช้ในการดำรงชีพขั้นพื้นฐาน การเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตที่ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ González-Alvarado *et al.* (2008) ที่รายงานว่า การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักของกระเพาะบด อาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการย่อยอาหารดีขึ้น เนื่องจากมีการเพิ่มพื้นที่ และแรงบดในการคลุกเคล้าอาหารกับเอนไซม์

ผลของการเสริม RFC ต่อน้ำหนักทางเดินอาหารและกระเพาะบดของไก่ไข่

ผลการทดลองพบว่า เยื่อใยในอาหารไก่สวา เยื่อใยในอาหารไก่ไข่ และ ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างเยื่อใยในอาหารไก่สวากับเยื่อใยในอาหารไก่ไข่ ไม่มีอิทธิพล ($P>0.05$) ต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักทางเดินอาหารและกระเพาะบดเมื่อเทียบกับน้ำหนักตัว (ตารางที่ 21) อาจเนื่องมาจากการพัฒนาโครงสร้างของระบบทางเดินอาหารและกระเพาะบดของไก่ไข่นั้นได้มีการพัฒนาอย่างสมบูรณ์ไปแล้วในช่วงไก่สวา การเสริมเยื่อใยเข้มข้นจึงไม่มีผลส่งเสริมให้กระเพาะบดมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นได้ หรืออาจเป็นเพราะระดับเยื่อใยเข้มข้น (RFC) ที่เสริมในอาหารไก่ไข่ (0.50%) มีระดับต่ำกว่าที่เสริมในอาหารไก่สวา (0.67%) จึงอาจไม่สามารถไปกระตุ้น การพัฒนาของกล้ามเนื้อและการทำงานของกระเพาะบดจนส่งผลให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นและส่งผลให้เกิดการเพิ่มน้ำหนักได้

อย่างไรก็ตามพบว่า อิทธิพลของเยื่อใยในอาหารไก่สวา ส่งผลให้น้ำหนักทางเดินอาหารของไก่ไข่มีแนวโน้มที่จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.0804$) โดยกลุ่มของไก่ไข่ที่ในระยะไก่สวาได้รับอาหารที่มีการเสริมเยื่อใย 0.67% จาก RFC มีน้ำหนักทางเดินอาหารมากกว่ากลุ่มของไก่ไข่ที่ในระยะไก่สวาได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริม RFC ซึ่งอาจเป็นผลต่อเนื่องมาจากในระยะไก่สวา โดยไก่สวากลุ่มที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมเยื่อใย 0.67% จาก RFC มีน้ำหนักของทางเดินอาหารและน้ำหนักกระเพาะบดมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 15) แต่จากผลการทดลองในระยะไก่ไข่ที่พบว่า น้ำหนักของกระเพาะบดของไก่

ไข่ในทุกกลุ่มการทดลองไม่มีแนวโน้มที่จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากการเสริมเชื้อ *RFC* ในระดับที่ต่ำกว่าในระยะไข่สาว ประกอบกับผลการวิเคราะห์ องค์ประกอบทางโภชนาของอาหารไข่ที่ใช้ในการทดลอง (ตารางที่ 16) ที่พบว่าระดับเชื้อโดยรวมที่ใกล้เคียงกัน และไม่สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการคำนวณ จึงไม่สามารถส่งผลกระทบต่อเพิ่มขึ้นน้ำหนักของทางเดินอาหารและน้ำหนักกระเพาะบดให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติได้

ผลของการเสริม *RFC* ต่อคุณภาพไข่

จากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยด้านระดับและชนิดของ เชื้อในอาหารไข่สาว ปัจจัยด้านระดับและชนิดของเชื้อในอาหารไข่ และปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างทั้งสองปัจจัย ไม่มีอิทธิพลต่อน้ำหนักไข่ขาว น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักเปลือกไข่ สีไข่แดง ความหนาเปลือกไข่ และค่าสอพยูนิต (ตารางที่ 21-22) อาจเนื่องมาจากไข่กลุ่มที่ได้รับอาหารทั้งที่มีระดับเชื้อต่างกัน คือ 3.50 และ 4.0% จากอาหาร และ 3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก *RFC* และชนิดของเชื้อที่ต่างกัน คือ ไม่เสริมกับเสริม *RFC* มีปริมาณอาหารที่กินได้ไม่ต่างกัน มีผลให้ไข่แต่ละกลุ่มได้รับสารอาหารที่ใกล้เคียงกัน เมื่อได้รับพลังงาน โปรตีน และสารสีที่ใกล้เคียงกัน จึงส่งผลให้องค์ประกอบของฟองไข่และอัตราการเลี้ยงรอดไม่ต่างกัน (ตารางที่ 18)

ผลของการเสริม *RFC* ในอาหารไข่ต่อปริมาณ *Lactobacillus spp.* และ *Bifidobacterium spp.* ของสิ่งย่อยในไส้ตั้ง

จากผลการทดลองพบว่า เชื้อในอาหารไข่สาว เชื้อในอาหารไข่ และปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างเชื้อในอาหารไข่สาวกับเชื้อในอาหารไข่ ไม่มีอิทธิพล ($P > 0.05$) ต่อ ปริมาณ *Lactobacillus spp.* และ *Bifidobacterium spp.* ในไส้ตั้ง (ตารางที่ 24) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก *RFC* หรือเชื้อเข้มข้นที่เสริมในอาหารมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ คือมีเซลลูโลส 64.60% และมีลิกนินสูงถึง 28.70% การที่จุลินทรีย์จะใช้ประโยชน์จากเชื้อดังกล่าวเพื่อเป็นแหล่งพลังงานจึงเกิดขึ้นได้น้อย สอดคล้องกับการทดลองของ Chabeauti *et al.* (1991) ที่พบว่า ค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบอาหาร คือ รำข้าวสาลี sugar beet pulp (SBP) เปลือกถั่วเหลือง และรำข้าวสาลีในสุกรรุ่นมีค่าที่แตกต่างกัน โดยค่าการย่อยได้ของเชื้อในฟางข้าวสาลีต่ำที่สุด เนื่องมาจากในฟางข้าวสาลีมีเชื้อชนิดที่ไม่ละลายน้ำอยู่ในระดับสูงที่สุด คือ 103 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร และมีลิกนินเป็น

องค์ประกอบสูงถึง 20% ของส่วนที่เป็นผนังเซลล์ ทำให้การเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์และกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์เกิดขึ้นต่ำ

ไก่อมีการย่อย non-starch polysaccharide (NSPs) โดยจุลินทรีย์ และการนำไปใช้ประโยชน์ได้เพียง 2-3% เท่านั้น และจากการที่ NSPs แต่ละประเภทมีสูตรโครงสร้างและการละลายได้ที่ต่างกันจึงมีการย่อยได้ที่ต่างกันด้วย โดยทั่วไป NSPs ที่ละลายน้ำได้จะมีการย่อยได้โดยจุลินทรีย์มากกว่ากลุ่มที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งผลจากคุณสมบัติของเยื่อใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำที่ส่งผลต่อการย่อยได้และการหมักที่สมบูรณ์น้อยกว่าเยื่อใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำ แบคทีเรียจึงใช้ประโยชน์จากเยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำได้น้อยกว่า ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรของแบคทีเรีย (บุญล้อม, 2546)

ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (VFA) และค่า pH ของสิ่งย่อยในไส้ติ่ง

จุลินทรีย์ในทางเดินอาหารจะมีกระบวนการในการใช้ประโยชน์จากสารอาหารภายในไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่โดยการหมักย่อยได้หลายวิธี (Macfarlane and Cummings, 1995) จึงมีผลให้กรดไขมันสายสั้นที่เกิดขึ้นมีปริมาณแตกต่างกันตามไปด้วย ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้จะถูกเซลล์เยื่อบุผิวของลำไส้ใหญ่นำไปใช้ในการผลิต adenosine triphosphase (ATP) ในสภาพที่มีการใช้ออกซิเจน (Jacobasch *et al.*, 1999) และยังมีความสำคัญในการกระตุ้นการเจริญของเซลล์ใหม่ที่บริเวณฐาน crypts ของเยื่อบุผิวชั้น mucosa ภายในลำไส้ใหญ่และลำไส้เล็กอีกด้วย (Sakata and Yajima, 1984) กรดไขมันที่ระเหยง่าย (volatile fatty acid; VFA) เป็นผลิตภัณฑ์จากการหมักซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์ และระดับของ VFA ที่พบยังสามารถบ่งบอกถึงประชากรของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารของไก่ได้อีกด้วย (Taylor, 2002) นอกจากนี้ยังพบว่ากรดไขมันสายสั้นที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้นไม่น้อยกว่า 95% โดยประมาณ จะถูกเซลล์เยื่อบุผิวของลำไส้ใหญ่ดูดซึมไปใช้ประโยชน์อย่างรวดเร็ว และเข้าสู่กระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ต่อไป แต่จะมีกรดไขมันสายสั้นบางส่วนที่ถูกขับออกทางมูล ปัสสาวะ และลมหายใจ (Gibson and Roberfroind, 1995) นอกจากนี้ภายในลำไส้ยังมีการหลั่งสารเมือกและเกลือไบคาร์บอเนตออกมาเพื่อปรับค่า pH ของทางเดินอาหารให้มีสภาพเหมาะสมต่อการทำงานของลำไส้อีกด้วย (ชัยวัฒน์, 2541)

ผลการทดลองพบว่า เยื่อใยในอาหารไก่สาว เยื่อใยในอาหารไก่ไข่ และ ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างเยื่อใยในอาหารไก่สาวกับเยื่อใยในอาหารไก่ไข่ ไม่มีอิทธิพล ($P>0.05$) ต่อปริมาณกรด

ไขมันระเหยง่าย (VFA) ทั้ง 3 ชนิดในไส้ตั้ง คือ กรดอะซิติก (acetate) กรดโพรพิโอนิก (propionate) และกรดบิวทีริก (butyrate) และไม่มีผลต่อค่า pH ในไส้ตั้งด้วย (ตารางที่ 25) จากการที่ไก่ไข่ได้รับอาหารที่มีแหล่งเชื้อใยที่แตกต่างกัน แต่ จำนวนประชากรของจุลินทรีย์ ไม่มีความแตกต่างกัน จึงมีการหมักเชื้อใยจากอาหารให้ได้ VFA ที่ไม่ต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณของ VFA ยังมีความเกี่ยวข้องกับค่า pH ของสิ่งย่อยในทางเดินอาหาร คือ หากมีปริมาณ VFA สูง จะทำให้ค่า pH ต่ำลง แต่หากมีปริมาณ VFA ต่ำ ค่า pH ก็สูง เพราะความเป็นกรดของ VFA จะทำให้ค่า pH ในทางเดินอาหารลดลง แต่ในการทดลองนี้ไก่ไข่ทุกกลุ่มมี VFA แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) จึงส่งผลให้ค่า pH ที่วัดได้มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน

ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็กส่วนไอเลียม

ผลการทดลองพบว่า เชื้อใยในอาหารไก่สาว เชื้อใยในอาหารไก่ไข่ และ ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างเชื้อใยในอาหารไก่สาวกับเชื้อใยในอาหารไก่ไข่ ไม่มีอิทธิพล ($P>0.05$) ต่อความสูงของวิลลัส (villus height) พื้นที่ผิวของวิลลัส (villus surface area) ความลึกของคริปต์ (crypt depth) และ อัตราส่วนความสูงของวิลลัสต่อความลึกของคริปต์ (ตารางที่ 26) ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากไก่ไข่ทุกกลุ่มมีจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ใน ไส้ตั้งใกล้เคียงกัน จึงทำให้จุลินทรีย์มีการสร้าง VFA ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานให้แก่เชื้อแบคทีเรียในปริมาณที่ใกล้เคียงกันตามไปด้วย โดยปกติกรดบิวทีริกที่ได้จากการหมักจะถูกดูดซึมเข้าไปในเซลล์เยื่อเมือกของลำไส้ใหญ่ เพื่อเป็นแหล่งพลังงานของเซลล์ของลำไส้ใหญ่ส่วนท้ายโดยผ่านกระบวนการ β -oxidation ซึ่งสามารถเป็นแหล่งพลังงานได้ประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่เซลล์บริเวณลำไส้ใหญ่ต้องการทั้งหมด นอกจากนี้ยังกระตุ้นการเจริญเติบโตและการเพิ่มขึ้นของเซลล์เยื่อเมือก ส่วนลำไส้ใหญ่ได้ (Bingham, 1996; Jacobasch *et al.*, 1999) นอกจากนี้กรดบิวทีริกร่วมกับกรดอะซิติก มีผลทำให้หลอดเลือดฝอยของเซลล์เยื่อเมือกขยายตัว เพิ่มการไหลเวียนเลือดเข้าไปในลำไส้ (Schepach, 1994) นอกจากนี้ค่า pH ของสิ่งย่อยในไส้ตั้งของทุกกลุ่มการทดลองที่ไม่ต่างกัน อาจช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโทษ ทำให้วิลลัสถูกทำลายน้อยลงและส่งผลให้ไก่ไข่ทุกกลุ่มมีวิลลัสที่ลำไส้เล็กส่วนปลายสมบูรณ์ใกล้เคียงกัน

ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อปริมาณแอมโมเนียและความชื้นในมูล

จากผลการทดลองพบว่า เชื้อใยในอาหารไก่สาว เชื้อใยในอาหารไก่ไข่ และปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างเชื้อใยในอาหารไก่สาวกับเชื้อใยในอาหารไก่ไข่ ไม่มีอิทธิพล ($P>0.05$) ต่อปริมาณแอมโมเนียและความชื้นในมูล (ตารางที่ 27) จากคุณสมบัติของเชื้อใยเข้มข้นที่เสริมในอาหาร เป็นเชื้อใยที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งไม่ก่อให้เกิดภาวะความชื้นหนืดในทางเดินอาหาร และไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของโภชนะและการหลั่งของสารอาหารไปสู่ทางเดินอาหารส่วนปลายที่มากขึ้น โดยเฉพาะสารอาหารในส่วนของโปรตีน หากมีการย่อยได้น้อยจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์และปลดปล่อยแอมโมเนียออกมาในมูล แต่จากผลการทดลองไม่พบความแตกต่างในทุกกลุ่มการทดลอง เนื่องจากระดับเชื้อใยชนิดที่ไม่ละลายน้ำและระดับโปรตีนในอาหารแต่ละสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 16) จึงส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนียและความชื้นในมูลไม่แตกต่างกันในทุกกลุ่มการทดลอง

ตารางที่ 16 องค์ประกอบทางโภชนะของอาหารไก่ไข่ที่ใช้ในการทดลอง (เปอร์เซ็นต์)

รายการ	ไก่ไข่		
	เชื้อใย 3.5% จากอาหาร	เชื้อใย 4.0% จากอาหาร	เชื้อใย 3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC
พลังงานรวม (cal/g)	4232.22	4231.00	4197.01
ความชื้น	11.55	11.12	11.28
โปรตีนรวม	17.81	17.58	17.62
เถ้า	5.43	5.69	5.54
ไขมันรวม	6.05	6.02	6.23
เชื้อใยรวม	2.83	2.92	3.01
แคลเซียม	3.38	3.54	3.79
ฟอสฟอรัส	0.55	0.59	0.62
ADF	4.53	4.21	4.65
ADL	0.56	0.61	0.58

หมายเหตุ ADF = เชื้อใยที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด

ADL = ลิกนินที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด

ตารางที่ 17 ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อปริมาณอาหารที่กินและน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น

เชื้อไขในอาหารไก่สาว	เชื้อไขในอาหารไก่ไข่	ปริมาณอาหารที่กิน (กรัม/ตัว/วัน)	น้ำหนักตัวที่ เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว/วัน)
5.50% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	100.96	526.30
5.50% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	102.87	524.75
5.50% จากอาหาร	3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC	101.43	532.79
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC	3.50% จากอาหาร	101.15	475.79
4.83 % จากอาหาร + 0.67 % จาก RFC	4.00% จากอาหาร	103.11	511.37
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC	3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC	103.30	527.05
Main effect			
เชื้อไขในอาหารไก่สาว			
5.5% จากอาหาร		101.75	527.93
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC		102.52	504.74
เชื้อไขในอาหารไก่ไข่			
	3.5% จากอาหาร	101.06	501.05
	4.0% จากอาหาร	102.99	518.06
	3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC	102.37	529.89
Source of Variation		P-value	
เชื้อไขในอาหารไก่สาว (A)		0.3340	0.0600
เชื้อไขในอาหารไก่ไข่ (B)		0.1344	0.1552
A × B		0.6141	0.2751
SEM		2.7192	41.5551

ตารางที่ 18 ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่

เชื้อไขในอาหารไก่สาว	เชื้อไขในอาหารไก่ไข่	Liveability (เปอร์เซ็นต์)	HD (เปอร์เซ็นต์)	HH (เปอร์เซ็นต์)
5.50% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	100.00	68.15	68.15
5.50% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	98.96	69.22	69.01
5.50% จากอาหาร	3.5% จากอาหาร	100.00	71.02	71.02
	+ 0.5% จาก RFC			
4.83% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	100.00	73.10	73.10
+ 0.67% จาก RFC				
4.83% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	98.96	69.31	69.06
+ 0.67% จาก RFC				
4.83% จากอาหาร	3.5% จากอาหาร	100.00	68.42	68.42
+ 0.67% จาก RFC	+ 0.5% จาก RFC			
Main effect				
เชื้อไขในอาหารไก่สาว				
5.5% จากอาหาร		99.65	69.47	69.40
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC		99.65	70.28	70.20
เชื้อไขในอาหารไก่ไข่				
3.5% จากอาหาร		100.00	70.63	70.63
4.0% จากอาหาร		98.96	69.27	69.04
3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC		100.00	69.72	69.72
Source of Variation		P-value		
เชื้อไขในอาหารไก่สาว (A)		1.0000	0.5070	0.5121
เชื้อไขในอาหารไก่ไข่ (B)		0.1480	0.6961	0.6127
A × B		1.0000	0.0530	0.0550
SEM		1.7010	0.0266	0.0267

ตารางที่ 19 ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อน้ำหนักฟองไข่และมวลไข่

เชื้อไขในอาหารไก่สาว	เชื้อไขในอาหารไก่ไข่	น้ำหนักฟองไข่ (กรัม/ฟอง)	มวลไข่
5.50% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	58.38	41.95
5.50% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	58.19	42.04
5.50% จากอาหาร	3.5% จากอาหาร	58.72	43.62
	+ 0.5% จาก RFC		
4.83% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	58.36	44.35
+ 0.67% จาก RFC			
4.83% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	58.77	42.67
+ 0.67% จาก RFC			
4.83% จากอาหาร	3.5% จากอาหาร	60.06	44.58
+ 0.67% จาก RFC	+ 0.5% จาก RFC		
Main effect			
เชื้อไขในอาหารไก่สาว			
5.5% จากอาหาร		58.43	42.54
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC		59.06	43.87
เชื้อไขในอาหารไก่ไข่			
3.5% จากอาหาร		58.37 ^b	43.15
4.0% จากอาหาร		58.48 ^b	42.36
3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC		59.39 ^a	44.10
Source of Variation		P-value	
เชื้อไขในอาหารไก่สาว (A)		0.0737	0.1259
เชื้อไขในอาหารไก่ไข่ (B)		0.0397	0.2562
A × B		0.2801	0.6684
SEM		1.1975	2.9432

หมายเหตุ ^{a, b} อักษรต่างกันบนค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 20 ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1 กก. และจำนวนไข่สกปรก

เชื้อไขในอาหารไก่สาว	เชื้อไขในอาหารไก่ไข่	ปริมาณอาหารที่กินต่อผลผลิตไข่ 1 กก. (กก.)	จำนวนไข่สกปรก (เปอร์เซ็นต์)
5.50% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	1.71	0.80
5.50% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	1.77	0.99
5.50% จากอาหาร	3.5% จากอาหาร	1.72	0.78
	+ 0.5% จาก RFC		
4.83% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	1.73	0.61
+ 0.67% จาก RFC			
4.83% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	1.76	0.89
+ 0.67% จาก RFC			
4.83% จากอาหาร	3.5% จากอาหาร	1.72	0.54
+ 0.67% จาก RFC	+ 0.5% จาก RFC		
Main effect			
เชื้อไขในอาหารไก่สาว			
	5.5% จากอาหาร	1.74	0.85
	4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC	1.74	0.68
เชื้อไขในอาหารไก่ไข่			
	3.5% จากอาหาร	1.72	0.71
	4.0% จากอาหาร	1.76	0.94
	3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC	1.72	0.66
Source of Variation		P-value	
เชื้อไขในอาหารไก่สาว (A)		0.8568	0.5317
เชื้อไขในอาหารไก่ไข่ (B)		0.5050	0.6762
A × B		0.5881	0.9779
SEM		0.0124	0.9610

ตารางที่ 21 ผลของการเสริม RFC ต่อน้ำหนักทางเดินอาหารและกระเพาะบด (ไม่มีอาหาร)

เยื่อใยในอาหาร ไก่สาว	เยื่อใยในอาหาร ไก่ไข่	น้ำหนักทางเดินอาหาร (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักตัว)	น้ำหนักกระเพาะบด (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักตัว)
5.50% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	8.99	1.25
5.50% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	8.29	1.22
5.50% จากอาหาร	3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC	8.72	1.21
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC	3.50% จากอาหาร	9.16	1.28
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC	4.00% จากอาหาร	9.00	1.23
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC	3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC	9.00	1.25
Main effect			
เยื่อใยในอาหารไก่สาว			
5.5% จากอาหาร		8.67	1.23
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC		9.05	1.25
เยื่อใยในอาหารไก่ไข่			
3.5% จากอาหาร		9.08	1.26
4.0% จากอาหาร		8.64	1.22
3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC		8.86	1.23
Source of Variation		P-value	
เยื่อใยในอาหารไก่สาว (A)		0.0804	0.5787
เยื่อใยในอาหารไก่ไข่ (B)		0.2719	0.7061
A × B		0.5670	0.9240
SEM		0.7460	0.1477

ตารางที่ 22 ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อองค์ประกอบของฟองไข่

เชื้อไขในอาหารไก่สาว	เชื้อไขในอาหารไก่ไข่	น้ำหนัก ไข่ขาว (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนัก ไข่แดง (เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนัก เปลือกไข่ (เปอร์เซ็นต์)
5.50% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	62.98	23.69	8.89
5.50% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	62.32	24.07	8.84
5.50% จากอาหาร	3.5% จากอาหาร	63.05	23.77	8.86
	+ 0.5% จาก RFC			
4.83% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	62.13	24.25	9.01
+ 0.67% จาก RFC				
4.83% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	62.91	24.29	9.00
+ 0.67% จาก RFC				
4.83% จากอาหาร	3.5% จากอาหาร	62.14	23.65	8.91
+ 0.67% จาก RFC	+ 0.5% จาก RFC			
Main effect				
เชื้อไขในอาหารไก่สาว				
5.5% จากอาหาร		62.78	23.84	8.86
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC		62.39	24.06	8.97
เชื้อไขในอาหารไก่ไข่				
	3.5% จากอาหาร	62.55	23.97	8.95
	4.0% จากอาหาร	62.61	24.18	8.92
	3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC	62.59	23.71	8.88
Source of Variation		P-value		
เชื้อไขในอาหารไก่สาว (A)		0.2819	0.2799	0.0878
เชื้อไขในอาหารไก่ไข่ (B)		0.9908	0.1606	0.6854
A × B		0.1657	0.3836	0.7695
SEM		1.2366	0.6874	0.2185

ตารางที่ 23 ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อคุณภาพไข่

เชื้อไขในอาหารไก่สาว	เชื้อไขในอาหารไก่ไข่	สีไข่แดง (คะแนน)	ความหนา เปลือกไข่ (มิลลิเมตร)	ค่าสหสัมพันธ์
5.50% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	7.43	0.35	92.50
5.50% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	7.38	0.36	92.45
5.50% จากอาหาร	3.5% จากอาหาร	7.50	0.35	92.36
	+ 0.5% จาก RFC			
4.83% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	7.53	0.34	91.55
+ 0.67% จาก RFC				
4.83% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	7.42	0.35	92.90
+ 0.67% จาก RFC				
4.83% จากอาหาร	3.5% จากอาหาร	7.47	0.35	92.19
+ 0.67% จาก RFC	+ 0.5% จาก RFC			
Main effect				
เชื้อไขในอาหารไก่สาว				
5.5% จากอาหาร		7.43	0.35	92.43
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC		7.47	0.35	92.21
เชื้อไขในอาหารไก่ไข่				
	3.5% จากอาหาร	7.48	0.35	92.02
	4.0% จากอาหาร	7.40	0.37	92.68
	3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC	7.48	0.35	92.07
Source of Variation		P-value		
เชื้อไขในอาหารไก่สาว (A)		0.4228	0.8119	0.7136
เชื้อไขในอาหารไก่ไข่ (B)		0.2924	0.3368	0.6680
A × B		0.5473	0.4829	0.6341
SEM		0.1682	0.0171	2.0563

ตารางที่ 24 ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อปริมาณ *Lactobacillus* spp. และ *Bifidobacterium* spp. ในไข่ตั้ง

เชื้อใยในอาหารไก่สาว	เชื้อใยในอาหารไก่ไข่	Lactobacillus (log ₁₀ cfu/g)	Bifidobacteria (log ₁₀ cfu/g)
5.50% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	10.7	4.0
5.50% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	11.3	4.6
5.50% จากอาหาร	3.5% จากอาหาร	10.9	5.5
	+ 0.5% จาก RFC		
4.83% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	10.3	4.3
+ 0.67% จาก RFC			
4.83% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	11.0	5.0
+ 0.67% จาก RFC			
4.83% จากอาหาร	3.5% จากอาหาร	11.5	5.2
+ 0.67% จาก RFC	+ 0.5% จาก RFC		
Main effect			
เชื้อใยในอาหารไก่สาว			
5.5% จากอาหาร		11.0	4.7
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC		10.9	4.9
เชื้อใยในอาหารไก่ไข่			
3.5% จากอาหาร		10.5	4.2
4.0% จากอาหาร		11.1	4.8
3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC		11.2	5.4
Source of Variation		P-value	
เชื้อใยในอาหารไก่สาว (A)		0.8139	0.7268
เชื้อใยในอาหารไก่ไข่ (B)		0.2024	0.1213
A × B		0.4680	0.7962
SEM		1.1933	1.6002

ตารางที่ 25 ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายและ pH ของสิ่งย่อยในไส้ติ่ง

เชื้อใยในอาหาร ไก่สาว	เชื้อใยในอาหาร ไก่ไข่	Acetate (mmol/l)	Propionate (mmol/l)	Butyrate (mmol/l)	pH
5.50% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	44.19	18.97	8.84	6.66
5.50% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	49.30	22.61	9.83	6.69
5.50% จากอาหาร	3.5% จากอาหาร	50.24	18.80	9.32	6.63
	+ 0.5% จาก RFC				
4.83% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	49.13	19.07	9.21	6.64
+ 0.67% จาก RFC					
4.83% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	53.50	19.57	9.15	6.62
+ 0.67% จาก RFC					
4.83% จากอาหาร	3.5% จากอาหาร	54.86	19.44	9.01	6.62
+ 0.67% จาก RFC	+ 0.5% จาก RFC				
Main effect					
เชื้อใยในอาหารไก่สาว					
5.5% จากอาหาร		47.91	20.13	9.33	6.66
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC		52.49	18.36	9.12	6.63
เชื้อใยในอาหารไก่ไข่					
3.5% จากอาหาร		46.66	19.02	9.03	6.65
4.0% จากอาหาร		51.40	19.59	9.49	6.65
3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC		52.55	19.12	9.17	6.63
Source of Variation			P-value		
เชื้อใยในอาหารไก่สาว (A)		0.2859	0.4088	0.6935	0.2419
เชื้อใยในอาหารไก่ไข่ (B)		0.4807	0.9832	0.8400	0.6984
A × B		0.9912	0.1847	0.8969	0.5433
SEM		0.1040	0.1104	0.1106	0.0065

ตารางที่ 26 ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็กส่วน
ไอเลียม

เยื่อใยในอาหาร ไก่สาว	เยื่อใยในอาหาร ไก่ไข่	Villus height (μm)	Villus surface area (mm^2)	Crypt depth (μm)	Villus height/Crypt depth
5.50% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	486.75	0.04	86.07	6.02
5.50% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	455.57	0.02	84.81	5.84
5.50% จากอาหาร	3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC	489.50	0.04	91.36	5.93
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC	3.50% จากอาหาร	463.32	0.03	91.58	5.34
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC	4.00% จากอาหาร	432.30	0.03	92.73	5.08
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC	3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC	488.24	0.04	91.58	5.44
Main effect					
เยื่อใยในอาหารไก่สาว					
5.5% จากอาหาร		477.20	0.03	87.41	5.93
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC		461.29	0.03	91.96	5.28
เยื่อใยในอาหารไก่ไข่					
3.5% จากอาหาร		475.04	0.03	88.82	5.68
4.0% จากอาหาร		443.93	0.03	88.77	5.46
3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC		488.87	0.04	91.47	5.68
Source of Variation		P-value			
เยื่อใยในอาหารไก่สาว (A)		0.8544	0.6527	0.5497	0.1041
เยื่อใยในอาหารไก่ไข่ (B)		0.5958	0.2975	0.8947	0.8704
A \times B		0.9602	0.5786	0.9094	0.9413
SEM		77.9337	0.0148	16.1041	0.7162

ตารางที่ 27 ผลของการเสริม RFC ในอาหารไก่ไข่ต่อปริมาณแอมโมเนียและความชื้นในมูล

เชื้อใยในอาหารไก่สาว	เชื้อใยในอาหารไก่ไข่	ปริมาณแอมโมเนีย (มก./ลบ.ดม.)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
5.50% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	0.45	72.44
5.50% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	0.31	71.71
5.50% จากอาหาร	3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC	0.37	72.09
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC	3.50% จากอาหาร	0.44	72.72
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC	4.00% จากอาหาร	0.37	72.67
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC	3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC	0.42	72.28
Main effect			
เชื้อใยในอาหารไก่สาว			
5.5% จากอาหาร		0.37	72.08
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC		0.41	72.56
เชื้อใยในอาหารไก่ไข่			
	3.5% จากอาหาร	0.44	72.58
	4.0% จากอาหาร	0.34	72.19
	3.5% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC	0.39	72.19
Source of Variation		P-value	
เชื้อใยในอาหารไก่สาว (A)		0.4529	0.3455
เชื้อใยในอาหารไก่ไข่ (B)		0.2023	0.7489
A × B		0.7967	0.8036
SEM		0.1647	0.0106

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ภายใต้เงื่อนไขของการทดลองในครั้งนี้ สามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

1. การเสริมเชื้อจาก RFC 0.67% ในอาหารไก่สาว ส่งผลให้น้ำหนักของทางเดินอาหาร และกระเพาะบดเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิต
2. การทดลองไม่พบอิทธิพลร่วมและอิทธิพลหลัก ของเชื้อในอาหารไก่สาวและเชื้อในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพทางการผลิต โดยรวม คุณภาพไข่น้ำหนัก ทางเดินอาหารและกระเพาะบด ปริมาณจุลินทรีย์ ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย และ pH ของสิ่งย่อยในไส้ตั้ง ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็กส่วนไอเลียม และปริมาณแอมโมเนียและความชื้นในสิ่งขับถ่าย
3. การเสริมเชื้อจาก RFC 0.50% ในอาหารไก่ไข่ มีผลให้น้ำหนักไข่สูงขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการตรวจสอบระดับและชนิดของเชื้อในวัตถุดิบอาหารสัตว์ก่อนที่จะนำมาผสมเป็นอาหาร เพราะวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละครั้งที่จะนำมาผสมเป็นอาหารอาจมีระดับและชนิดของเชื้อที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อระดับเชื้อโดยรวมและสัดส่วนชนิดของเชื้อที่สัตว์ได้รับ อาจทำให้คลาดเคลื่อนไปจากสูตรอาหารที่กำหนดไว้
2. หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติมมาสนับสนุนผลของการเสริมเชื้อ ต่อน้ำหนักกระเพาะบดที่มีผลในด้านสมรรถภาพทางการผลิต ควรมีการศึกษาค่าการย่อยได้ของโภชนะในส่วนของกระเพาะบดด้วย

- อาวุธ ต้นโช. 2538. การผลิตสัตว์ปีก. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- อุทัย คันโช. 2535. หลักการใช้โปรไบโอติกในเชิงอาหารสัตว์. **สุกรศาสตร์** 18 (72): 11-16.
- Aarnink A.J.A. and M.W.A.Verstegen. 2007. Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. **Livest. Sci.** 109: 194-203.
- Aerni, V., H. El-Lethey and B. Wechsler. 2000. Effect of foraging material and food form on feather pecking in laying hens. **Br. Poult. Sci.** 41: 16-21.
- Anderson, J.W. and W.J.L. Chen. 1979. Plant fiber: carbohydrate and lipid metabolism. **Amer. J. Clin. Nutr.** 32: 346-363.
- _____ and _____. 1983. Legumes and their soluble fiber: effect on cholesterol rich lipoprotein. **Food Technol.** 4: 49-59.
- Aneja, V.P., W.H. Schlesinger, D. Niyogi, G. Jennings, W. Gilliam, R.E. Knighton, C.S. Duke, J. Blunden and S. Krishnan. 2006. Emerging national research needs for agricultural air quality. **Eos. Trans. Am. Geophys. Union.** 87: 25-29.
- Annison, G. 1995. Feed enzyme-the science, future developments and practical aspects, pp. 193-200. *In Proc. 10th European Symposium Poultry Nutrition*, 15-19 October, Antalya, Turkey.
- _____ and D.L. Topping. 1994. Nutritional role of resistant starch: chemical structure vs physiological function. **Annu. Rev. Nutr.** 14: 297-320.

- A.O.A.C. 1990. **Official Methods of Analysis**. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Virginia. 1422 p.
- APHA, AWWA and WPCE. 1998. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th ed. APHA Inc., New York.
- AWT, Arbeitsgemeinschaft Wirkstoffe in der Tierernährung. 2005. **Enzyme in der Tierernährung (Enzymes in Animal Nutrition)**. Available Source: www.lohmann-information.com/doc_1_i_43_artikel9, November 3, 2011.
- Axelsson, L. 1998. Lactic acid bacteria: classification and physiology, pp. 1-72. *In* S. Salminen and A. van Wright, eds. **Lactic Acid Bacteria: Microbiology and Functional Aspect**. 2nd ed. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Baldwin, R.L., N.E. Smith, J. Taylor and M. Sharp. 1980. Manipulating metabolic parameters to improve growth rate and milk secretion. **J. Anim. Sci.** 51:1416-1428.
- Ballongue, J. 1993. Bifidobacteria and probiotic action, pp. 357-428. *In* S. Salminen and A. van Wright, eds. **Lactic Acid Bacteria: Microbiology and Functional Aspect**. 2nd ed. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Bedford, M.R. 1993. Mode of action of feed enzymes. **J. Appl. Poult. Res.** 2: 85-92.
- _____. and G. G. Partridge. 2001. **Enzymes in Farm Animal Nutrition**. CABI Publishing, London.
- Beerens, H. 1990. An elective and selective medium for Bifidobacterium spp. **Lett. Appl. Microbiol.** 11: 155-157.

- Bergman, E.N. 1990. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. **Physiol. Rev.** 70: 567–590.
- Betts W.B., R.K Dart, A.S. Ball and S.L. Pedlar. 1991. Biosynthesis and structure of lignocellulose, pp 139-155. *In* W.B. Betts, ed. **Biodegradation: Natural and Synthetic Materials**. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Biagi, G., A. Piva, M. Moschini, E. Vezzali and F.X. Roth. 2006. Effect of gluconic acid on piglet growth performance, intestinal microflora and intestinal wall morphology. **J. Anim. Sci.** 84: 370-378.
- Bingham, S.A., J.H. Cumming and N.I. Mc Neil. 1979. Intakes and sources of dietary fiber in the British population. **J. Amer. Diet. Ass.** 32: 1313-1319.
- _____. 1996. Epidemiology and mechanisms relating diet to risk of colorectal cancer. **Nutr. Res. Re.** 9: 197-239.
- Blamire, J. 2008. **Polysaccharides Structure**. Polysaccharides. Available Source: http://www.brooklyn.cuny.edu/bc/ahp/LAD/C4c/C4c_polysaccharides.html, October 12, 2011.
- Brunnsgaard, G. 1998. Effects of cereal type and feed particle size on morphological characteristics, epithelial cell proliferation, and lectin binding patterns in the large intestine of pigs. **J. Anim. Sci.** 76: 2787-2798.
- Canh, T.T., M.W. Verstegen, A.J. Aarnink and J.W. Schrama. 1997. Influence of dietary factors on nitrogen partitioning and composition of urine and feces of fattening pigs. **J. Anim. Sci.** 75:700–706.

- Carlile, F.S. 1984. Ammonia in poultry houses: a literature review. **World's Poult. Sci. J.** 40: 99-113.
- Castanon, J.I.R., M.P. Flores and D. Pettersson. 1997. Mode of degradation of non-starch polysaccharides by feed enzyme preparations. **Anim. Feed Sci. Tech.** 68: 361-365.
- Chabeauti E., J. Noblet and B. Carré B. 1991. Digestion of plant cell walls from four different sources in growing pigs. **Anim. Feed Sci. Tech.** 32: 207-213.
- Chesson, A. 2001. Non-starch polysaccharide degrading enzymes in poultry diets: influence of ingredients on the selection of activities. **World's Poult. Sci. J.** 57: 251-263.
- Choct, M. and A. Kocker. 2002. **Non-starch Carbohydrates: Digestion and Secondary Effects in Monogastrics.** Available Source: <http://www.psa.uiuc.edu/toc/abs/01/Mar01ab302.html>, November 3, 2011.
- Claus, L. 1984. Dietary fibers in human nutrition: an overview, pp. 468-471. In V. Tanphaichit, ed. **Human Nutrition: better nutrition better Life.** Aksornmai Press, Thailand.
- Clemens, E. T., C. E. Stevens and M. Southworth. 1975. Sites of organic acid production and pattern of digesta movement in the gastrointestinal tract of geese. **J. Nutr.** 105: 1341-1350.
- Cook, S.I. and J.H. Sellin. 1998. Review article: short chain fatty acids in health and disease. **Aliment Pharmacol. Ther.** 12 (6): 499-507.
- Cumming, J.H., H.S. Wiggins, D.J. A. Jenkins, H. Honston, T. Jivaraj, B.S. Draser and M.S. Hill. 1978. Influence of diets high and low in animal fat on bowel habit, gastrointestinal transit time, faecal microflora, bile acid and fat excretion. **J. Clin. Invest.** 61: 953-963.

- Deaton, J.W., F.N. Reece and B.D. Lott. 1984. Effect of atmospheric ammonia on pullets at point of lay. **Poult. Sci.** 63: 384–385.
- De Man, J.D., M. Rogosa and M.E. Sharpe. 1960. A medium for the cultivation of lactobacilli. **J. Appl. Bact.** 23: 130-135.
- Eastwood, M.A., W.G. Brydon and K. Tadesse. 1980. Effects of fiber on colon Function, pp. 1-26. In G.A. Spiller and R.M. Kay, eds. **Medical Aspects of Dietary Fiber**. Plenum, New York.
- Eliot, G. and E.P. Shronts. 1992. Intestinal fuels: glutamine, short-chain fatty acids and dietary fiber. **J. Amer. Dietetic Associ.** 92 (10): 1239-1246.
- Eriksson, K.E.L., R.A. Blanchette and P. Ander. 1990. **Microbial and Enzymatic Degradation of Wood and Wood Components**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Gaskins, H.R. 2003. The commensal microbiota and development of mucosal defense in the mammalian intestine. **Proc. 9th Int. Symp. Dig. Physiol. in Pigs**, Banff, AB, Canada. 1: 57-71.
- Gibson, G.R. and M.B. Roberfroid. 1995. Dietary modulation of the human colonic microflora: introducing the concept of prebiotic. **J. Nutr.** 125: 1404-1412.
- _____, R.A. Rastall and M.B. Roberfroid. 1999. Prebiotics, pp. 101-124. In G.T. Macfarlane and A.J. Mcbain, eds. **Colonic Microbiota, Nutrition and Health**. Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands.
- Goldstein, D.L. and E. Skadhauge. 2007. Renal and extrarenal regulation of body fluid composition, pp. 265–297. In G.C. Whittow, **Sturkie's Avian Physiology**. Academic Press, San Diego, California.

González-Alvarado, J.M., E. Jiménez-Moreno, D.G. Valencia, R. Lázaro and G.G. Mateos. 2007. Effects of type of cereal, heat processing of the cereal, and inclusion of fiber in the diet on productive performance and digestive traits of broilers. **Poult. Sci.** 86: 1705-1715.

_____, _____, _____, _____ and _____ 2008. Effects of fiber source and heat processing of the cereal on the development and pH of the gastrointestinal tract of broilers fed diets based on corn or rice. **Poult. Sci.** 87: 1779-1795.

Goodwin, T.W. and E.I. Mercer. 1972. **Introduction of Plant Biochemistry**. 1st ed. Pergamon Press, New York.

Govers, M.J.A.P., N.J. Gannon, F.R. Dunshea, P.R. Gibson and J.G. Muir. 1999. Wheat bran affects the site of fermentation of resistant starch and luminal indexes related to colon cancer risk: a study in pigs. **Gut.** 45: 840-847.

Håkansson, J., S. Eriksson and S.A. Svensson. 1978. The influence of feed energy level on feed consumption, growth and development of different organs of chicks. **Swedish Univ. Agric. Sci.** 57: 1-54.

Heaton, K.W. 1983. Dietary fiber in perspective. **Hum. Nutr. Clin. Nutr.** 37: 151-170.

Hetland, H. and B. Svihus. 2001. Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chicks. **Br. Poult. Sci.** 42: 354-361.

_____, _____ and A. Krogdahl. 2003. Effects of oat hulls and wood shavings on digestion in broilers and layers fed diets based on whole or ground wheat. **Br. Poult. Sci.** 44: 275–282.

_____, _____ and M. Choct. 2005. Role of insoluble fiber on gizzard activity in layers. **J. Appl. Poult. Res.** 14: 38-46.

- _____, _____ and V. Olaisen. 2002. Effect of feeding whole cereals on performance, starch digestibility and duodenal particle size distribution in broiler chickens. **Br. Poult. Sci.** 43: 416–423.
- Hogberg, A. and J.E. Lindberg. 2004. Influence of cereal nonstarch polysaccharides on digestion site and gut environment in growing pigs. **Livest. Prod. Sci.** 87: 121–130.
- Howard R.L., E. Abotsi, E. L. Jansen van Rensburg and S. Howard. 2003. Lignocellulose biotechnology: issues of bioconversion and enzyme production. **African J. of Biotech.** 12: 602-619.
- Jacobasch, G., D. Schmiedl, M. Kruschewski and K. Schmehl. 1999. Dietary resistant starch and chronic inflammatory bowel diseases. **Int. J. Colorectal Dis.** 14: 201-211.
- Jenkins, D.J. A. 1988. Carbohydrate, pp. 52-71. *In* M.E. Shils and V.R. Young, eds. **Modern Nutrition in Health and Disease.** Lea & Fabizer, Philadelphia.
- _____, A.R. Leeds, B. Slavin, J. Mann and E.M. Jepson. 1979. Dietary fiber And blood lipids: reduction of serum cholesterol in type II hyperlipid by guar gum. **Amer. J. Clin. Nutr.** 32: 16-18.
- Jensen, B.B., O. Hojberg, L.L. Mikkelsen, M.S. Hedemann and N. Canibe. 2003. Enhancing intestinal function to treat and prevent intestinal disease. **Proc. 9th Int. Symp. Dig. Physiol. in Pigs**, Banff, AB, Canada. 1: 103-119.
- Jin, L., L.P. Reynolds, D.A. Redmer, J.S. Caton and J.D. Crenshaw. 1994. Effects of dietary fiber on intestinal growth, cell proliferation, and morphology in growing pigs. **J. Anim. Sci.** 72: 2270-2278.

- Jiménez-Moreno, E., J. M. González-Alvarado, A. de Coca-Sinova, R. Lázaro and G. G. Mateos. 2009. Effects of source of fibre on the development and pH of the gastrointestinal tract of broilers. **J. Anim. Feed Sci. Tech.** 154: 93-101.
- John, M.B., D.S. Lus, D. Gerald, E. Brad, H. Howard and H.L. William. 1989. ***Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium***. Available Source: <http://www.arthritist.org/topics/friend.html>, December 25, 2011.
- Johnson, A. L. and A. van Tienhoven. 1990. Plasma concentrations of six steroids and LH during the ovulatory cycle of the hen (*Gallus domesticus*). **Biol. Reprod.** 23: 386-393.
- Kay, R.M. and A.S. Truswell. 1980. Effects of citrus pectin on Blood lipids and fecal steroid excretion in man. **Amer. J. Clin. Nutr.** 30: 171.
- Kerr, B.J., C.J. Ziemer, S.L. Trabue, J.D. Crouse and T.B. Parkin. 2006. Manure composition of swine as affected by dietary protein and cellulose concentrations. **J. Anim. Sci.** 84: 1584–1592.
- Kirchgeßner, M., M. Kreuzer, A. Machmuller and D.A. Roth- Maier. 1994. Evidence for a high efficiency of bacterial protein synthesis in the digestive tract of adult sows fed supplements of fibrous feedstuffs. **Anim. Feed Sci. Technol.** 46: 293–306.
- Kirk, T.K. 1983. Degradation and conversion of lignocellulose. pp. 226-295. In J.E. Smith, D.R. Berry and B. Kristiansen, eds. **The Filamentous Fungi Fungal Technology**. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Kling, H.F. and C.L. Quarles. 1974. Effect of atmospheric ammonia and the stress of infectious bronchitis vaccination on leghorn males. **Poult. Sci.** 53: 1161–1167.

- Kreuzer, M., and A. Machmuller. 1993. Reduction of gaseous nitrogen emission from pig manure by increasing the level of bacterially fermentable substrates in the ration. pp. 151-156. *In* M.W.A. Verategen, ed. **Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences**. Wageningen, The Netherlands.
- Kyriakis, S.C. 1983. Post weaning diarrhea syndrome (PWDS) of piglet: a new therapeutic approach with the supporting therapy (STH). **Pig News and Information**. 4 (1): 23-27.
- Langhout, P. 2000. New additives for broiler chickens. **Feed Mix Special** 24-27.
- Lee, P.A. and W.H. Close. 1987. Bulky feeds for pigs: A consideration of some non-nutritional aspects. **Livest. Prod. Sci.** 16: 395-405.
- Lyons, T.P. 1987. Probiotics: an alternative to antibiotics. **Pig News and Information**. 8 (2): 157-164.
- Macfarlane, G.T. and J.H. Cummings. 1995. Microbiological aspects of the production of short-chain fatty acids in the large bowel, pp. 101-130. *In* J.H. Cummings, J.L. Rombeau and T. Sakata, eds. **Physiological Aspects of Short Chain Fatty Acids**. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Maxwell, F.J. and C.S. Stewart. 1995. The microbiology of gut and the role of probiotics, pp. 115-186. *In* M.A. Varley, ed. **The Neonatal Pig Development and Survival**. CAB. International, Wallingford.
- Michael, J.L. and E.P. Burtor. 1995. **A Photographic Atlas for the Microbiology Laboratory**. Mortor Publishing, New York.
- Mobley, H.L. and R.P. Hausinger. 1989. Microbial ureases: Significance, regulation, and molecular characterization. **Microbiol. Rev.** 53: 85-108.

Montagne, L., J.R. Pluske and D.J. Hampson. 2003. A review of interactions between fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. **Anim. Feed Sci. Tech.** 108: 95-117.

Moore, S. J. 1999. Food breakdown in an avian herbivore: who needs teeth. **Aust. J. Zool.** 47: 625–632.

Mosenthin, R., E. Hambrecht and W.C. Sauer. 2001. Utilisation of different fibres in piglet feeds, pp. 380-405. In P.C. Gransworthy, ed. **Recent Developments in Pig Nutrition** 3rd. Nottingham University Press, Nottingham, UK.

Mroz, Z., A.J. Moeser, K. Vreman, J.T.M. van Diepen, T. Van Kempen, T.T. Canh and A.W. Jongbloed. 2000. Effect of dietary carbohydrates and buffering capacity on nutrient digestibility and manure characteristics in finishing pigs. **J. Anim. Sci.** 78: 3096-3106.

Nagaraja, K.V., D.A. Emery, K.A. Jordan, J.A. Newman and B.S. Pomeroy. 1983. Scanning electron microscopic studies of adverse effects of ammonia on tracheal tissues of turkeys. **Am. J. Vet. Res.** 44: 1530–1536.

Noblet J. and G.G. Le. 2001. Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. **Anim. Feed Sci. Tech.** 90: 35-52.

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

Omland, O. 2002. Exposure and respiratory health in farming in temperate zones-a review of the literature. **Ann. Agric. Environ. Med.** 9: 119–136.

- Pastuszewska B., J. Kowalczyk and A. Ochtabinska. 2000. Dietary carbohydrates affect caecal fermentation and modify nitrogen excretion patterns in rats I. Studies with protein free diets. **Arch Anim. Nutr.** 53: 207-225.
- Patrick, C.G. 2002. **Biocatalysis for the synthesis of polymer precursors.** Available source: <http://webpages.sdsmt.edu/~pgilcrea/research1.html>, October 31, 2011.
- Pollmann, D.S. 1986. Probiotic in pig diets, pp. 115-128. *In* W. Haresign and D.J.A Cole, eds. **Recent Advances in Animal Nutrition.** Butterworths, London, UK.
- Reese, E.T. 1976. History of the cellulase. **Biotech. Bioeng. Symp.** 6: 9-20.
- Roberfroid, M. 1993. Dietary fiber, inulin and oligofructose: a review comparing their physiological effects. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.** 33 (6): 553.
- Robert, V.R. and W.K. Nip. 1984. Food sources and analysis of dietary fiber, pp. 472-476. *In* V. Tanphaichit, ed. **Human Nutrition: better nutrition better Life.** Aksornmai Press, Thailand.
- Roberts, S.A., H. Xin, B.J. Kerr, J.R. Russell and K. Bregendahl. 2007. Effects of dietary fiber and reduced crude protein on ammonia emission from laying-hen manure. **Poult. Sci.** 86: 1625–1632.
- Roehrig, K.L. 1984. **Carbohydrate Biochemistry and Metabolism.** AVI Publishing company, INC, Connecticut.
- Rogel, A. M., D. Balnave, W. L. Bryden and E. F. Annison. 1987a. Improvement of raw potato starch digestion in chickens by feeding oat hulls and other fibrous feedstuffs. **Aust. J. Agric. Res.** 38: 629–637.

- _____, _____, _____ and _____. 1987b. The digestion of wheat starch in broiler chickens. **Aust. J. Agric. Res.** 38: 639–649.
- Roush, W.B. 1981. TI59 calculator program for Haugh unit calculator. **Poult. Sci.** 60: 1086-1088.
- Sakata, T. and T. Yajima. 1984. Influence of short chain fatty acids on the epithelial cell division of digestive tracts. **Quart. J. Exp. Physiol.** 69: 639-648.
- Salminen, S., M. Deighton and S. Gorbach. 1993. Lactic acid bacteria in health and disease, pp. 199-225. *In* S. Salminen and W. Attevon, eds. **Lactic Acid Bacteria**. Lea Febiger Malvem, Rennsylvania.
- Savage, D.C. 2001. **Impact of antimicrobials on the microbial ecology of the gut**. Available Source: <http://books.Nap.Edu/books/0309030447/html/130.html#pagetop>, December 3, 2011.
- Scheppach, W. 1994. Effect of short chain fatty acids on gut morphology and function. **Gut.** 35: 35-38.
- Shriver, J.A., S.D. Carter, A.L. Sutton, B.T. Richert, B.W. Senne and L.A. Pettey. 2003. Effects of adding fiber sources to reduced-crude protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen excretion, growth performance, and carcass traits of finishing pigs. **J. Anim. Sci.** 81: 492–502.
- Smith, J.E., J.G. Anderson and E.K. Senior. 1987. Bioprocessing of lignocelluloses. **Phil. Trans. R. Soc. Lond. Ser. A.** 321: 507-521.
- Sneath, P.H.A., N.S. Mair, M.E. Sharpe and J.G. Holt. 1986. **Bergey's Manual of Systemic Bacteriology**. Williams and Wilkins, Baltimor.

- Southgate, D. A.T. 1976. **Determination of Food Carbohydrates**. Applied Science Publishers, London.
- _____ and M. white. 1980. Glossary, pp. 285-293. *In* G.A. Spiller and R.M. Kay, eds. **Medical Aspects of Dietary Fiber**. Plenum, New York.
- Sun, Y. and J. Cheng. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic material from ethanol production: a review. **Biores. Tech.** 83: 1-11.
- Svihus, B. and H. Hetland. 2001. Ileal starch digestibility in growing broiler chickens fed a wheat-based diet is improved by mash feeding, dilution with cellulose or whole wheat inclusion. **Br. Poult. Sci.** 42: 633-637.
- _____, _____, M. Choct and F. Sundby. 2002. Passage rate through the anterior tract of broiler chickens fed on diets with ground and whole wheat. **Br. Poult. Sci.** 43: 662-668.
- Tannock, G.W. 1999. **Probiotics: A Critical Review**. Horizon Scientific Press, Wymondham, New Zealand.
- Taylor, M. 2002. **Hindgut Function in Laying Hens**. Publication 02/043. Rural Industries Research and Development Corporation, Newcastle.
- Tetens, I., G. Livesey and B.O. Eggum. 1996. Effects of the type and level of dietary fiber supplements on nitrogen retention and excretion patterns. **Br. J. of Nutr.** 75: 461-469.
- Toma, R.B. and D.J. Curtis. 1986. Dietary fiber: effect on mineral bioavailability. **J. Food Tech.** 40: 111-116.

- Trowell, H., D.A.T. Southgate and T.M.S. Wolever. 1976. Carbohydrates, pp. 52-74. *In* H. Westergaard, J.M. Dietsehv and J. Clin, eds. **Modern Nutrition in Health and Disease**. Lea & Fabizer, Philadelphia.
- United Egg Producers. 2006. **United Egg Producers Animal Husbandry Guidelines for U.S. Egg Laying Flocks**. United Egg Producers, Alpharetta, GA.
- Van, D.W., A. Wesstra and F. Schippers. 1982. Physiological effects of fiber-rich types of bread. **Br. J. Nutr.** 47: 451.
- Varel, V.H. and W.G. Pond. 1985. Enumeration and activity of cellulolytic bacteria from gestating swine fed various levels of dietary fiber. **Appl. Environ. Microbiol.** 49: 858-862.
- Voet, D. and J.G. Voet. 1995. **Biochemistry**. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Wong, K.K.Y., L.U.L. Tan and J.N. Saddler. 1988. Multiplicity of β -1,4-xylanase in microorganisms: function and applications. **Microbiol. Reviews** 52: 305-317.
- Woolford, M.K. 1985. The silage fermentation, pp. 85-112. *In* B.J.B. Wood, ed. **Microbiology of Fermented Foods**. Elsevier Applied Science Publishers, Essex.



ภาคผนวก



ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนตลอดการทดลองช่วงไก่สาว

วัน/เดือน/ปี	เช้า (7.00 น.)			เย็น (16.00 น.)		
	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
4/02/2554	28	26	86.0	29	27	86
5/02/2554	31	28	79.5	39	33	76
6/02/2554	27	26	92.5	30	28	86
7/02/2554	26	25	92.0	32	31	93
8/02/2554	29	27	86.0	31	26	67
9/02/2554	28	26	86.0	30	26	72
10/02/2554	25	24	92.0	30	27	79
11/02/2554	26	25	92.0	33	29	73.5
12/02/2554	27	26	92.5	32	28	73
13/02/2554	26	25	92.0	28	26	59
14/02/2554	26	25	92.0	33	29	73.5
15/02/2554	28	26	86.0	30	28	86
16/02/2554	26	25	92.0	28	27	93
17/02/2554	30	28	86.0	34	31	81
18/02/2554	28	27	93.0	35	30	69
19/02/2554	31	27	72.5	34	31	81
20/02/2554	28	27	93.0	34	29	74
21/02/2554	28	27	93.0	28	26	86
22/02/2554	27	25	85.5	29	28	93
23/02/2554	28	27	93.0	32	29	73
24/02/2554	28	26	86.0	30	29	93
25/02/2554	27	26	92.5	34	32	86
26/02/2554	27	25	85.5	33	31	86.5
27/02/2554	27	26	92.5	31	28	79.5
28/02/2554	26	25	92.0	30	27	79
1/03/2554	28	26	86.0	31	27	72.5

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

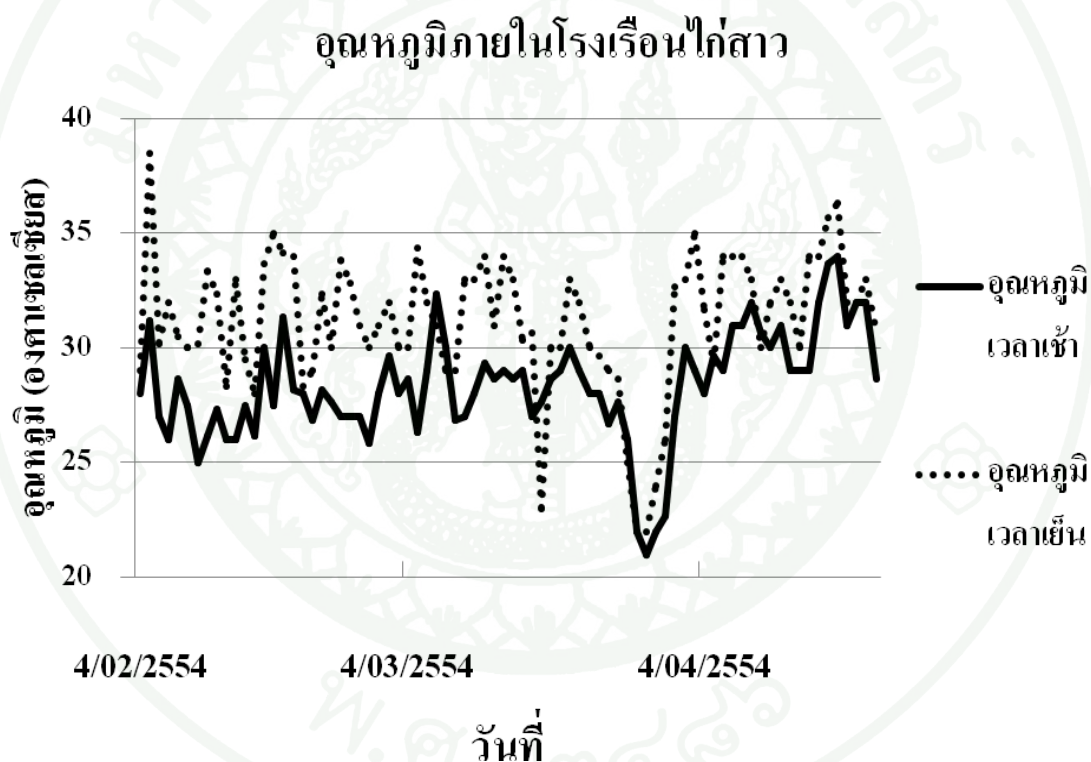
วัน/เดือน/ปี	เช้า (7.00 น.)			เย็น (16.00 น.)		
	ตุ้มเปียก (°C)	ตุ้มแห้ง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	ตุ้มเปียก (°C)	ตุ้มแห้ง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)
2/03/2554	30	27	79.0	32	27	68
3/03/2554	28	25	78.0	30	28	86
4/03/2554	29	26	78.5	30	27	79
5/03/2554	26	25	92.0	34	31	81
6/03/2554	29	27	86.0	32	29	80
7/03/2554	32	28	73.0	31	29	86
8/03/2554	30	28	86.0	29	28	93
9/03/2554	27	26	92.5	29	27	86
10/03/2554	27	25	85.5	33	30	80.5
11/03/2554	28	27	93.0	33	30	80.5
12/03/2554	29	28	93.0	34	28	74
13/03/2554	29	27	86.0	31	29	86
14/03/2554	29	28	93.0	34	29	69
15/03/2554	29	27	86.0	33	31	86
16/03/2554	29	27	86.0	30	29	93
17/03/2554	27	25	85.5	31	28	79.5
18/03/2554	28	26	86.0	23	21	83.5
19/03/2554	29	27	86.0	30	27	79
20/03/2554	29	27	86.0	30	26	72
21/03/2554	30	28	86.0	33	30	80.5
22/03/2554	29	27	86.0	32	28	73
23/03/2554	28	26	86.0	30	28	86
24/03/2554	28	25	78.0	30	27	79
25/03/2554	27	25	85.5	29	27	86

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

	เช้า (7.00 น.)			เย็น (16.00 น.)		
	ตุ้มเปียก	ตุ้มแห้ง	ความชื้น	ตุ้มเปียก	ตุ้มแห้ง	ความชื้น
	(°C)	(°C)	สัมพัทธ์ (%)	(°C)	(°C)	สัมพัทธ์ (%)
26/03/2554	28	25	78.0	29	25	71.5
27/03/2554	26	24	85.0	31	27	72.5
28/03/2554	22	20	83.0	22	20	83
29/03/2554	21	18	74.5	22	20	83
30/03/2554	22	19	75.0	24	21	76
31/03/2554	23	20	75.5	26	24	85
1/04/2554	27	24	77.5	33	28	68.5
2/04/2554	30	27	79.0	33	28	68.5
3/04/2554	29	27	86.0	35	29	63.5
4/04/2554	28	27	93.0	32	28	73
5/04/2554	30	28	86.0	29	28	93
6/04/2554	29	27	86.0	34	29	69
7/04/2554	31	28	79.5	34	30	74
8/04/2554	31	27	72.5	34	28	63
9/04/2554	32	29	80.0	33	29	73.5
10/04/2554	31	28	79.5	30	27	79
11/04/2554	30	28	86.0	32	28	73
12/04/2554	31	28	79.5	33	27	62.5
13/04/2554	29	27	86.0	32	29	80
14/04/2554	29	27	86.0	30	28	86
15/04/2554	29	27	86.0	34	28	74
16/04/2554	32	27	68.0	34	28	74
17/04/2554	34	28	74.0	36	30	64
18/04/2554	34	28	74.0	36	31	69
19/04/2554	31	28	79.5	32	27	68

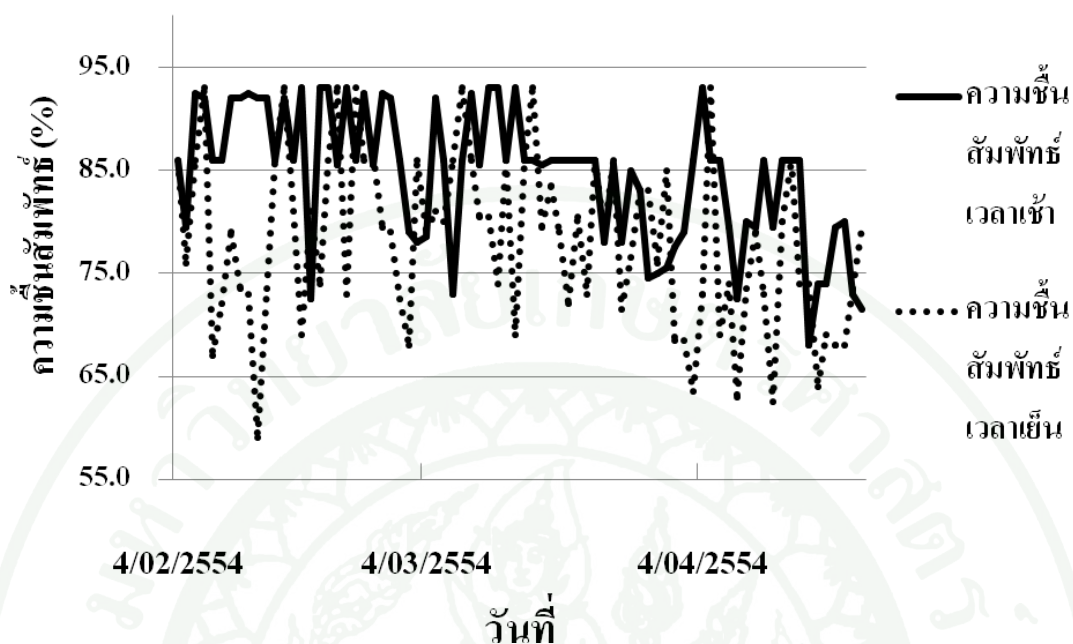
ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

	เช้า (7.00 น.)			เย็น (16.00 น.)		
	ตุ้มเปียก	ตุ้มแห้ง	ความชื้น	ตุ้มเปียก	ตุ้มแห้ง	ความชื้น
	(°C)	(°C)	สัมพัทธ์ (%)	(°C)	(°C)	สัมพัทธ์ (%)
20/04/2554	32	29	80.0	32	27	68
21/04/2554	32	28	73.0	33	29	73.5
22/04/2554	29	25	71.5	31	28	79.5



ภาพผนวกที่ 1 อุณหภูมิเวลาเช้าและเวลาเย็นภายในโรงเรือนไก่สาว

ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนไก่สาว



ภาพผนวกที่ 2 ความชื้นสัมพัทธ์เวลาเช้าและเวลาเย็นภายในโรงเรือนไก่สาว

ตารางผนวกที่ 2 ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนตลอดการทดลองช่วงไก่ไข่

วัน/เดือน/ปี	เช้า (7.00 น.)			เย็น (15.00 น.)		
	ตุ้มเปียก (°C)	ตุ้มแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ตุ้มเปียก (°C)	ตุ้มแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
23/04/2554	29	27	86.0	26	25	92
24/04/2554	29	27	86.0	26	25	92
25/04/2554	29	27	86.0	26	25	92
26/04/2554	29	28	93.0	26	25	92
27/04/2554	29	27	86.0	26	25	92
28/04/2554	29	27	86.0	26	25	92
29/04/2554	30	28	86.0	26	25	92
30/04/2554	29	27	86.0	28	27	93
1/05/2554	28	27	93.0	28	27	93
2/05/2554	28	27	93.0	28	27	93

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เช้า (7.00 น.)			เย็น (15.00 น.)		
	ตุ้มเปียก (°C)	ตุ้มแห้ง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	ตุ้มเปียก (°C)	ตุ้มแห้ง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)
3/05/2554	30	28	86.0	29	27	86
4/05/2554	29	28	93.0	31	29	86
5/05/2554	29	27	86.0	28	26	86
6/05/2554	29	28	93.0	30	28	86
7/05/2554	27	26	92.5	29	28	93
8/05/2554	29	28	93.0	28	27	93
9/05/2554	27	26	92.5	29	27	86
10/05/2554	27	26	92.5	28	26	86
11/05/2554	25	24	92.0	29	27	86
12/05/2554	28	26	86.0	29	27	86
13/05/2554	27	26	92.5	27	26	92.5
14/05/2554	29	28	93.0	26	25	92
15/05/2554	27	26	92.5	26	25	92
16/05/2554	28	27	93.0	28	27	93
17/05/2554	28	26	86.0	27	26	92.5
18/05/2554	25	24	92.0	29	27	86
19/05/2554	26	25	92.0	30	27	79
20/05/2554	27	26	92.0	30	27	79
21/05/2554	28	26	86.0	30	29	93
22/05/2554	29	28	93.0	30	28	86
23/05/2554	27	25	85.5	31	29	86
24/05/2554	28	27	93.0	31	30	93
25/05/2554	27	26	92.5	30	27	79
26/05/2554	27	26	92.5	28	27	93
27/05/2554	26	25	92.0	26	25	92

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เช้า (7.00 น.)			เย็น (15.00 น.)		
	ตุ้มเปียก (°C)	ตุ้มแห้ง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	ตุ้มเปียก (°C)	ตุ้มแห้ง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)
28/05/2554	27	26	92.5	29	28	93
29/05/2554	26	25	92.0	30	27	79
30/05/2554	29	27	93.0	30	28	86
31/05/2554	27	26	92.5	30	28	86
1/06/2554	28	27	93.0	30	27	79
2/06/2554	27	26	92.5	29	27	86
3/06/2554	28	27	93.0	28	27	93
4/06/2554	26	25	92.0	28	27	93
5/06/2554	28	26	86.0	29	28	86
6/06/2554	28	27	93.0	30	28	86
7/06/2554	26	25	92.0	29	27	86
8/06/2554	27	26	92.5	31	28	79.5
9/06/2554	26	25	92.0	31	29	86
10/06/2554	26	25	92.0	29	27	86
11/06/2554	27	26	92.5	29	27	86
12/06/2554	27	26	92.5	28	27	93
13/06/2554	27	25	85.5	28	26	86
14/06/2554	26	25	92.0	29	27	86
15/06/2554	27	26	92.5	30	27	79
16/06/2554	25	24	92.0	29	27	86
17/06/2554	27	26	92.5	28	26	86
18/06/2554	27	26	92.5	28	27	93
19/06/2554	27	26	92.5	29	28	93
20/06/2554	27	26	92.5	29	27	86
21/06/2554	27	26	92.5	30	28	86

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

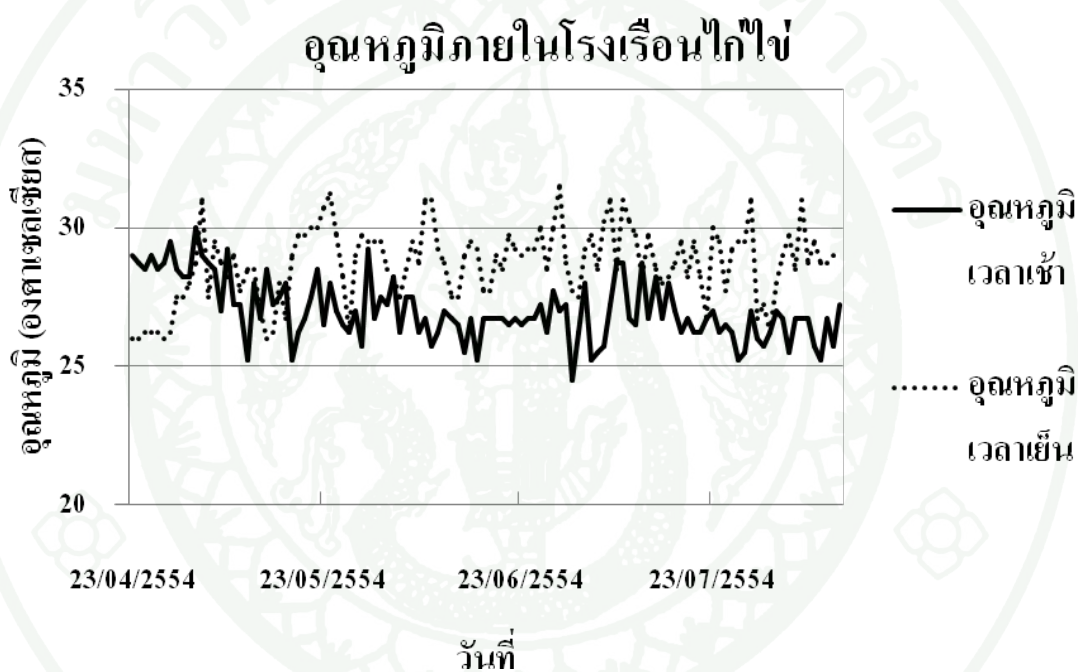
วัน/เดือน/ปี	เช้า (7.00 น.)			เย็น (15.00 น.)		
	ตุ้มเปียก (°C)	ตุ้มแห้ง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	ตุ้มเปียก (°C)	ตุ้มแห้ง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)
22/06/2554	27	26	92.5	29	28	93
23/06/2554	27	26	92.5	29	27	86
24/06/2554	27	25	85.5	29	27	86
25/06/2554	27	25	85.5	29	27	86
26/06/2554	27	26	92.5	30	28	86
27/06/2554	26	25	92.0	29	27	86
28/06/2554	28	27	93.0	30	28	86
29/06/2554	27	26	92.5	32	28	73
30/06/2554	27	26	92.5	29	27	86
1/07/2554	25	24	92.0	28	27	93
2/07/2554	26	25	92.0	28	26	86
3/07/2554	28	27	93.0	29	27	86
4/07/2554	25	24	92.0	30	27	79
5/07/2554	26	25	92.0	29	27	86
6/07/2554	26	25	92.0	30	28	86
7/07/2554	27	26	92.5	31	28	79.5
8/07/2554	29	27	86.0	29	27	86
9/07/2554	29	27	86.0	31	28	79.5
10/07/2554	27	26	92.5	30	29	93
11/07/2554	27	25	85.5	30	28	86
12/07/2554	29	28	93.0	28	27	93
13/07/2554	27	26	92.5	30	28	86
14/07/2554	28	27	93.0	29	27	86
15/07/2554	27	26	92.5	28	26	86
16/07/2554	28	26	86.0	28	27	93

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เช้า (7.00 น.)			เย็น (15.00 น.)		
	ตุ้มเปียก (°C)	ตุ้มแห้ง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	ตุ้มเปียก (°C)	ตุ้มแห้ง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)
17/07/2554	27	26	92.5	29	27	86
18/07/2554	26	25	92.0	30	27	79
19/07/2554	27	26	92.5	28	27	93
20/07/2554	26	25	92.0	30	27	79
21/07/2554	26	25	92.0	28	26	86
22/07/2554	27	26	92.5	27	26	92.5
23/07/2554	27	26	92.5	30	27	79
24/07/2554	26	25	92.0	30	27	79
25/07/2554	27	26	92.5	28	27	93
26/07/2554	26	25	92.0	29	27	86
27/07/2554	25	24	92.0	30	27	79
28/07/2554	26	25	92.0	30	27	79
29/07/2554	27	26	92.5	31	28	79.5
30/07/2554	26	25	92.0	27	25	85.5
31/07/2554	26	25	92.0	27	26	92.5
1/08/2554	26	25	92.0	26	25	92
2/08/2554	27	26	92.5	28	27	93
3/08/2554	27	26	92.5	29	27	86
4/08/2554	26	25	92.0	30	27	79
5/08/2554	27	25	85.5	29	27	86
6/08/2554	27	25	85.5	31	28	79.5
7/08/2554	27	25	85.5	29	27	86
8/08/2554	26	25	92.0	30	27	79
9/08/2554	25	24	92.0	29	27	86
10/08/2554	27	25	85.5	29	27	86

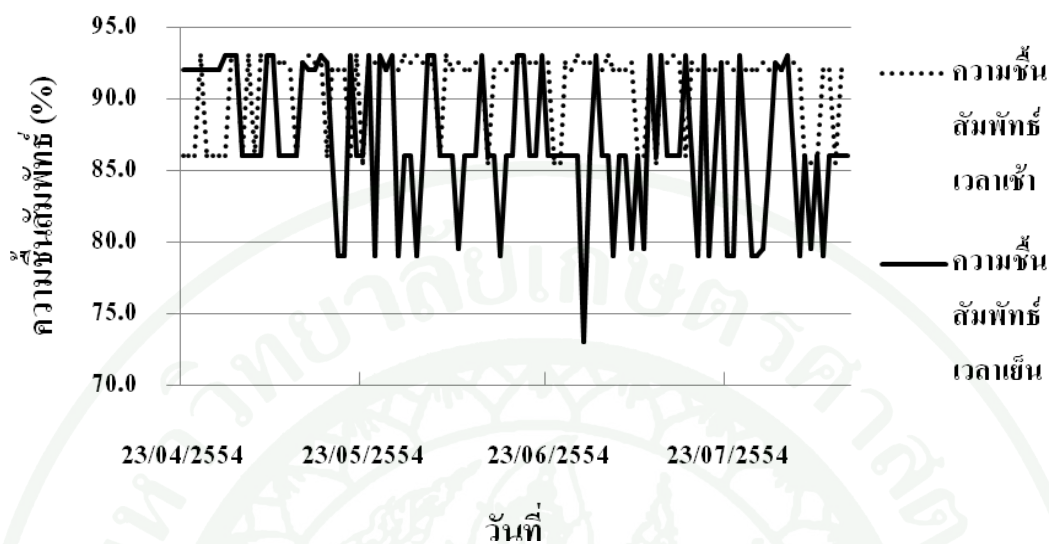
ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	เช้า (7.00 น.)			เย็น (15.00 น.)		
	ตุ้มเปียก (°C)	ตุ้มแห้ง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	ตุ้มเปียก (°C)	ตุ้มแห้ง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)
11/08/2554	26	25	92.0	29	27	86
12/08/2554	27	26	92.5	29	27	86



ภาพผนวกที่ 3 อุณหภูมิเวลาเช้าและเวลาเย็นภายในโรงเรือนไก่ไข่

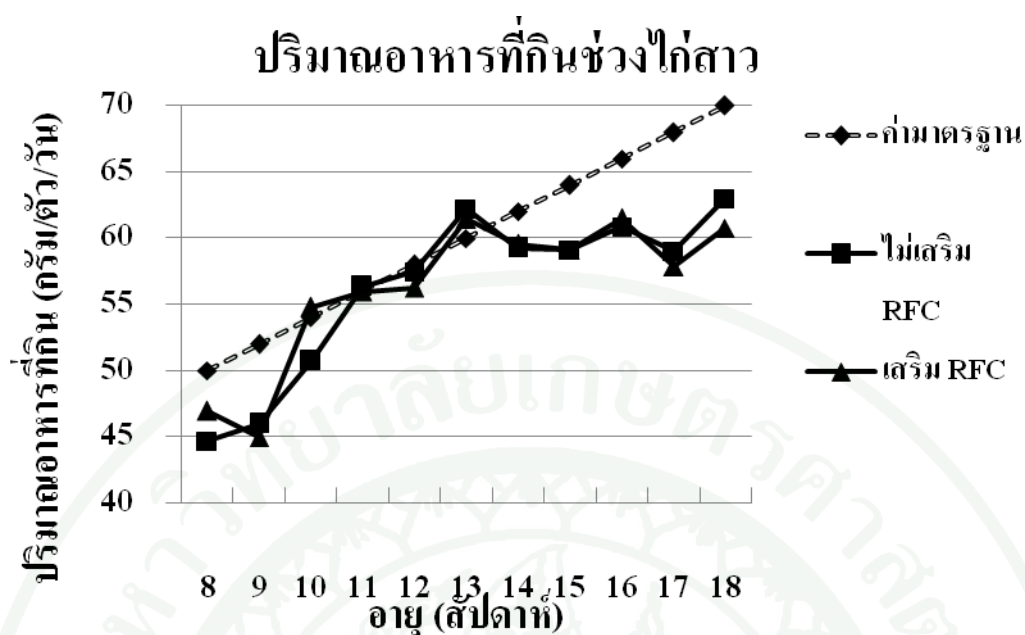
ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนไก่ไข่



ภาพผนวกที่ 4 ความชื้นสัมพัทธ์เวลาเช้าและเวลาเย็นภายในโรงเรือนไก่ไข่

ตารางผนวกที่ 3 ผลของการเสริม RFC ต่อปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยของไก่สาว

อายุ (สัปดาห์)	ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ย (กรัม/ตัว/วัน)		
	ค่ามาตรฐาน	เฉลี่ย 5.50% จากอาหาร	เฉลี่ย 4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC
8	50.00	44.66	46.97
9	52.00	45.99	44.98
10	54.00	50.71	54.79
11	56.00	56.32	55.97
12	58.00	57.45	56.24
13	60.00	62.19	61.44
14	62.00	59.24	59.52
15	64.00	59.11	59.09
16	66.00	60.85	61.46
17	68.00	59.01	57.83
18	70.00	62.99	60.77



ภาพผนวกที่ 5 ปริมาณอาหารที่กินในช่วงไก่สาว

ตารางผนวกที่ 4 ผลของการเสริม RFC ต่อน้ำหนักตัวของไก่สาว

อายุ (สัปดาห์)	น้ำหนักตัวของไก่สาว (กรัม/ตัว)		
	ค่ามาตรฐาน	เฉลี่ย 5.50% จากอาหาร	เฉลี่ย 4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC
8	684.00	592.41	592.06
9	783.00	688.23	686.36
10	875.00	806.67	804.35
11	961.00	907.52	908.53
12	1041.00	985.79	983.03
13	1127.00	1104.28	1097.01
14	1199.00	1157.18	1153.76
15	1269.00	1204.47	1209.28
16	1333.00	1247.69	1256.25
17	1404.00	1323.48	1332.01
18	1479.00	1368.49	1382.62

ตารางผนวกที่ 5 น้ำหนักตัวเฉลี่ยเริ่มต้นการทดลองในระยะไก่ไข่

เยื่อใยในอาหารไก่สาว	เยื่อใยในอาหารไก่ไข่	น้ำหนักตัวเฉลี่ยเริ่มต้น (กรัม/ตัว)
5.50% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร	1,375.88
5.50% จากอาหาร	4.00% จากอาหาร	1,381.13
5.50% จากอาหาร	3.50% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC	1,347.85
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC	3.50% จากอาหาร	1,375.93
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC	4.00% จากอาหาร	1,369.95
4.83% จากอาหาร + 0.67% จาก RFC	3.50% จากอาหาร + 0.5% จาก RFC	1,396.33

หมายเหตุ น้ำหนักของไก่ไข่ที่อายุ 18 สัปดาห์ตามมาตรฐานของสายพันธุ์คือ 1,479 กรัม/ตัว



การวิเคราะห์แอมโมเนียใน manure extract ด้วยวิธีกลั่นด้วยไอน้ำ (stream distillation)

ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ เช่น แอมโมเนียม (NH_4^+) ไนไตรท์ (NO_2^-) ไนเตรท (NO_3^-) และสารอินทรีย์ เช่น โปรตีน กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสัตว์ พืช อุจจาระ และในปุ๋ยคอก

การเตรียม manure extract

1. ชั่งตัวอย่างมูล 10 กรัม ลงในขวดปากกว้างขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติม KCl 2 N 100 มิลลิลิตร
3. เขย่าด้วยเครื่อง shaker ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการตกตะกอน
4. นำส่วนใสมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 เก็บแช่เย็นไว้ในขวดพลาสติก เพื่อนำไปกลั่นหาแอมโมเนียต่อไป

การเตรียม KCl 2 N

ชั่ง KCl จำนวน 150 กรัม ละลายจนหมดในน้ำกลั่น 0.8 ลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์การกลั่น ได้รับการออกแบบโดยให้ขวดเคลดดาห์ล (kjeldahl flask) มีปากคอขวดที่สามารถนำไปต่อกับเครื่องกลั่นได้ ที่คอขวดเคลดดาห์ลจะมีเขี้ยวแก้วเพื่อที่จะใช้ขวดลวดสปริงยึดจับกับอุปกรณ์การกลั่น ไอน้ำที่ใช้ในการกลั่นสกัด จะเกิดจากการต้มน้ำกลั่นในพลาสติกขนาด 5 ลิตรที่ใส่เม็ดแก้ว (เพื่อให้เดือดสม่ำเสมอ) และใส่ H_2SO_4 เล็กน้อย (เพื่อให้จับ NH_4^+ ที่อาจปนในน้ำกลั่น) ก่อนที่จะเริ่มการวิเคราะห์ควรจะต้องต้มไล่แอมโมเนียในน้ำประมาณ 10 นาที และกลั่นในอัตราที่เกิด distillate 7-8 มล.ต่อนาที และควรปรับอัตราไหลน้ำหล่อเย็นที่ไหลผ่าน condenser เพื่อให้

distillate มีอุณหภูมิไม่เกิน 22 องศาเซลเซียส ควรมีตัวดักน้ำที่ฐานของ condensor เพื่อป้องกันไม่ให้ น้ำที่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำอยู่ภายนอก condensor ไหล ไปปนกับ distillate

2. ขวดกลั่น (distillate flask) ขวดเคลือบเหล็กขนาด 100 มล. ซึ่งมีท่อแก้วอยู่ข้างกระเปาะแก้ว และมีคอขวด ground glass และเขี่ยยัดแก้ว ความยาวของขวดควรจะให้พอดีกับการนำเข้าไปต่อชุดอุปกรณ์กลั่น โดยที่ปลายท่อนำ ใอน้ำกับกันขวดอยู่ในระยะประมาณ 4 มล.

3. บิวเรต ขนาด 5 มิลลิลิตร มีขีดบอกความต่างระดับที่ 0.01 มิลลิลิตร

4. เครื่องชั่ง

5. เครื่องเขย่า (shaker)

6. กรวย

7. volumetric pipette

8. กระดาษกรองเบอร์ 42

การเตรียมสารเคมี

1. แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) : เสาแมกนีเซียมออกไซด์ ในเตาเผาอุณหภูมิ 600-700 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นใน dessicator และเก็บในขวดที่มีฝาปิดสนิท

2. กรดบอริก-อินดิเคเตอร์ : ละลายกรดบอริกบริสุทธิ์ (H_3BO_3) 20 กรัม ในน้ำร้อนประมาณ 700 มล. ปล่อยให้เย็นและปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ด้วยสารละลายที่ประกอบด้วยเอทานอล 200 มล. และอินดิเคเตอร์ผสม 20 มล. (อินดิเคเตอร์ผสมเตรียมโดยละลายบรอมครีซอล-กรีน 0.300 กรัม และเมทิลเรด 0.16 ในเอทานอล 500 มล.) อย่างระมัดระวังจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นม่วงชมพู (เมื่อผสมสารละลาย 1 มล. สีม่วงชมพูจะเปลี่ยนเป็นสีขาวจางๆ) จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จนได้ปริมาตร 1 ลิตร ผสมให้เข้ากัน

3. สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนเตรท : ละลายแอมโมเนียซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.236 กรัม และโปแตสเซียมไนเตรท (KNO_3) 0.361 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ผสมจนเข้ากัน ถ้าได้สารที่บริสุทธิ์ สารละลายนี้จะมี $\text{NH}_3^+ - \text{N}$ 25 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร เก็บสารละลายนี้ในตู้เย็น

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลายบอริก 5 มิลลิลิตร ใน flask ขนาด 50 มิลลิลิตร ซึ่งมีขีดบอกปริมาตรความจุ 30 มิลลิลิตร ให้สารละลายใน flask จุ่ม ปลายหลอดแก้วของ condenser
2. ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างที่สกัดแล้ว ประมาณ 10 มล. ลงในขวดกลั่น
3. เติม MgO ประมาณ 0.2 กรัม
4. ทำการกลั่นจนได้ distillate ประมาณ 30 มิลลิลิตร
5. นำไป titrate กับ H_2SO_4 0.005 N จนได้สีชมพูจาง

การคำนวณ

$$\text{มก./ลบ.คม.แอมโมเนีย-ไนโตรเจน} = \frac{V_2 \times 1,000 \times M \times 28}{V_1}$$

เมื่อ $M = \text{mol/L}$ ของ $0.005 \text{ N } \text{H}_2\text{SO}_4$ (0.0025)

$V_1 =$ ปริมาณที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง – ปริมาณที่ใช้ไตเตรท blank

$V_2 =$ ปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ในการกลั่น (10 ml)

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นายพงษ์ศักดิ์ นาคราช
เกิดวันที่ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2528
สถานที่เกิด จังหวัดนครปฐม
ประวัติการศึกษา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (สัตวศาสตร์)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ เกียรตินิยม อันดับที่ 2

