# บทที่ 2

## การตรวจเอกสาร

แร่ธาตุเป็นองค์ประกอบที่พบในอาหารในปริมาณน้อย แต่มีความสำคัญต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิตเป็นอย่างมาก โดยพบว่าสัตว์ที่ได้รับแร่ธาตุไม่เพียงพอต่อความต้องการจะแสดงอาการผิดปกติให้เห็น เช่น มีพฤติกรรมการกัดแทะราง หรือแสดงอาการป่วย เป็นต้น แร่ธาตุมีหน้าที่ในร่างกายสัตว์หลายประการ เช่น

1. เป็นส่วนประกอบของโครงกระดูกในร่างกาย
2. ช่วยรักษาสภาพของของเหลวในร่างกายให้อยู่ในสภาพสารแขวนลอย (colloid) อยู่เสมอ
3. ช่วยรักษาสภาพความเป็นกรด-ด่างในร่างกายให้คงที่ (pH ประมาณ 7-7.8)
4. เป็นส่วนประกอบและเป็นตัวเร่งหรือตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ในร่างกาย

**การจำแนกประเภทของแร่ธาตุ**

แร่ธาตุที่จำเป็น (essential minerals) มีประมาณ 18-22 ชนิด แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามปริมาณที่พบในอาหารและที่ร่างกายต้องการ คือ

1. แร่ธาตุหลัก (macro หรือ major minerals) มี 7 ชนิด คือ แคลเซียม (Ca) ฟอสฟอรัส (P) โซเดียม (Na) คลอรีน (Cl) โปแตสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) แร่ธาตุเหล่านี้ร่างกายต้องการเป็นปริมาณมาก พบในอาหารหรือร่างกายเป็นจำนวนกรัมต่อ 100 กรัมหรือร้อยละ

2. แร่ธาตุปลีกย่อย (micro หรือ trace minerals) หมายถึง แร่ธาตุที่พบในอาหารหรือร่างกายต้องการเป็นจำนวนน้อยกว่า 50 ส่วนในล้านส่วน (ppm) แต่มิได้หมายความว่ามีความสำคัญน้อย แร่ธาตุประเภทนี้ได้แก่ เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) โคบอลท์ (Co) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) โมลิบดินัม (Mo) ไอโอดีน (I) ฟลูออรีน (F) ซีลีเนียม (Se) โครเมียม (Cr) และซิลิคอน (Si)

นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุบางชนิดที่อาจจำเป็นต่อสัตว์ (possible essential minerals) รายชื่อแร่ธาตุเหล่านี้มีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามผลการศึกษาที่พบว่ามีความสำคัญต่อเมแทบอลิซึมของสัตว์ประเภทใดประเภทหนึ่ง หรือหลายประเภท เช่น อะลูมิเนียม (Al) โบรอน (B) แบเรียม (Ba) โบรมีน (Br) แคดเมียม (Cd) ลิเทียม (Li) นิเกล (Ni) สตรอนเตียม (Sr) ดีบุก (Sn) และวานาเดียม (Va) เป็นต้น แต่แร่ธาตุเหล่านี้ไม่จำเป็นต้องเสริมลงในอาหาร เพราะมีช่วงความปลอดภัย (safety range) แคบมาก จึงค่อนข้างเสี่ยงอันตราย กล่าวคือ ถ้าใช้เกินระดับที่ต้องการเพียงเล็กน้อยอาจเป็นอันตรายได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความจริงแร่ธาตุชนิดอื่นๆ ถ้าใช้มากก็มีอันตรายเช่นกัน เพียงแต่ว่าพวกที่เป็นแร่ธาตุหลักมักมีช่วงความปลอดภัยกว่า แม้ว่าสัตว์จะได้รับเกินระดับที่ต้องการไปบ้างก็ไม่เป็นอันตรายนัก หรือมีอันตรายไม่ร้ายแรง

แร่ธาตุบางชนิดมีเพียงพอในอาหาร แต่บางชนิดมีไม่เพียงพอแก่ความต้องการของสัตว์ จึงจำเป็นต้องเสริม อย่างไรก็ตามการเสริมควรอยู่ในระดับที่เหมาะสม เพราะถ้าเสริมมากไปจะเป็นการสูญเสีย เนื่องจากส่วนที่เกินความต้องการจะถูกขับออก ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาด้านมลภาวะ (pollution) และถ้าสัตว์ได้รับเกินปริมาณที่สามารถขับออกได้ อาจเป็นพิษต่อสัตว์ (บุญล้อม, 2543)

**ฟอสฟอรัส (P)**

จัดเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับร่างกาย เป็นส่วนประกอบสำคัญของกระดูก ฟัน กล้ามเนื้อ cell membrane, plasma เลือด และเยื่อบุต่างๆ P มีบทบาทสำคัญยิ่งในเมแทบอลิซึม (metabolism) ของร่างกาย โดยเป็นองค์ประกอบของอินทรีย์สารที่สำคัญมากมายหลายชนิด ทั้งนี้เนื่องจากสามารถทำปฏิกิริยากับอินทรีย์สารได้หลายลักษณะ ดังนี้

1. ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ของโซ่คาร์บอนได้สารประกอบฟอสเฟตเอสเทอร์ (phosphate ester) ได้แก่

1.1 น้ำตาลฟอสเฟต ซึ่งมีบทบาทในกระบวนการเมแทบอลิซึม

1.2 นิวคลีโอไทด์ (nucleotide) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของ DNA (deoxyribonucleic acid) และ RNA (ribonucleic acid)

1.3 ฟอสโฟลิพิด (phospholipid) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์

2. เชื่อมโยงกันระหว่างอนุมูลฟอสเฟตด้วยพันธะไพโรฟอสเฟต (PPi) พลังงานสูงใน ATP (Adenosine triphosphate)

3. สร้างพันธะเคมีที่แข็งแกร่งเพื่อเชื่อมโยงโมเลกุลขนาดใหญ่แต่ละหน่วยเข้าด้วยกัน เพื่อให้โมเลกุลนั้นมีความซับซ้อนและมั่นคง (ยงยุทธ, 2543)

**P ในโครงสร้างของสารอินทรีย์ต่างๆ**

1. กรดนิวคลีอิก (nucleic) มี 2 ชนิดคือ DNA ทำหน้าที่เก็บข้อมูลทางพันธุกรรมซึ่งมีโมเลกุลยาวมาก พบในนิวเคลียส ส่วน RNA มี 3 ชนิด ได้แก่ mRNA ทำหน้าที่คัดลอกข้อมูลทางพันธุกรรมจาก gene หรือ DNA แล้วนำมายังไซโตพลาสซึมเพื่อสร้างโปรตีน tRNA ทำหน้าที่พากรดอะมิโนมาตามรหัสบน mRNA ส่วน rRNA จะจับกับ ribosome protein เป็น ribosomal

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. ฟอสโฟลิพิด เป็นลิพิดที่มีกรดไขมันจับกับแอลกอฮอล์ และมีกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) เป็นองค์ประกอบ จากการที่โมเลกุลของฟอสโฟลิพิดมีฟอสเฟตเอสเทอร์ ซึ่งเป็นส่วนที่ชอบน้ำ และส่วนของกรดไขมันซึ่งไม่ชอบน้ำ ดังนั้นมันจึงสามารถทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟด์ (emulsifying agent) คือ ทำให้ไขมันแตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ แขวนลอยอยู่ในน้ำได้ ซึ่งช่วยให้การย่อยไขมันดีขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์สัตว์ด้วย

3. ATP เป็นสารพลังงานสูงที่มีบทบาทสำคัญในระบบชีวเคมีของเซลล์ เมื่อ ATP ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซีส (hydrolysis) ซึ่งเร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์ ATPase จะได้ ADP หรือ AMP เนื่องจาก ATP มีพลังงานสูงกว่า ADP ดังนั้นการเปลี่ยนจาก ATP เป็น ADP จึงปลดปล่อยพลังงานออกมาเพื่อใช้ในกระบวนการต่างๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของสัตว์ เช่น การขนส่งสารผ่านผนังเซลล์ และการสังเคราะห์สารอื่น เป็นต้น ADP และไพโรฟอสเฟตจัดเป็นสารพลังงานสูงเช่นเดียวกัน (บุญล้อม, 2546)

4. โคเอนไซม์ (coenzyme) ได้แก่

4.1 $NAD^+$ และ $NADP^+$ เป็นโคเอนไซม์ในกระบวนการ electron transport system ซึ่งจะได้ ATP ออกมา เพื่อใช้ในกระบวนการอื่นๆ

4.2 FAD สังเคราะห์ได้จากวิตามินบี 2 ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และรีดักชัน (oxidation and reduction reaction)

4.3 โคเอนไซม์เอ มี N, P และ S เป็นองค์ประกอบ ทำหน้าที่เป็นพาหะของหมู่ acetyl หรือ acyl ในปฏิกิริยาที่เกี่ยวกับการสลายและการสังเคราะห์ไขมัน รวมทั้งเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการออกซิไดซ์กรดไพรูวิก (pyruvic acid) ได้ acetyl CoA เพื่อเผาผลาญในวัฏจักรเครบส์ (ยงยุทธ, 2543)

**ความต้องการและอาการขาด P**

P ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ส่วนใหญ่ พบในปลาป่น เนื้อและกระดูกป่น เมล็ดธัญพืช รวมทั้งผลพลอยได้จากธัญพืช แต่ P ในอาหารที่มาจากพืชนั้นมักอยู่ในรูปที่สัตว์กระเพาะเดี่ยวนำไปใช้ได้น้อย ทำให้สัตว์ได้รับ P ไม่เพียงพอ ส่งผลให้สัตว์ที่กำลังเจริญเติบโตมีการสร้างกระดูกน้อย เป็นเหตุให้การเจริญเติบโตลดลง สำหรับสัตว์ที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้วการขาด P เป็นระยะเวลานาน จะเกิดโรคกระดูกเปราะ (Osteomalacia) ขาหักง่าย ขนไม่เรียบ กล้ามเนื้อสั่น เปอร์เซนต์การตายสูงขึ้น เนื่องจากมีความต้านทานโรคต่ำ ประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลงและการเจริญเติบโตหยุดชะงัก ในกรณีของสัตว์ปีกที่ให้ไข่ยังทำให้ผลผลิตไข่ลดลง ฟองไข่มีขนาดเล็กลงด้วย แต่ถ้าหากสัตว์ได้รับ P มากเกินความต้องการ จะแสดงอาการขาเสีย (Lameness) กระดูกเจริญผิดรูปยาวออกหรือเดินไม่สะดวก ด้วยเหตุนี้ในการประกอบสูตรอาหารสัตว์จึงต้องคำนึงถึงปริมาณ P ให้มีในระดับที่เหมาะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สม แต่เนื่องจากปัจจุบันนี้อาหารที่ใช้เลี้ยงไก่โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อการส่งออก จะต้องปราศจากวัตถุดิบแหล่งโปรตีนจากสัตว์หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ซึ่งเป็นแหล่ง P ที่สำคัญ ทำให้ต้องมีการเสริม P สังเคราะห์ เช่น DCP หรือ MCP ซึ่งมี P เป็นองค์ประกอบประมาณ 18–21% (ตารางที่ 1) ลงในสูตรอาหารด้วย โดยปริมาณที่เสริมอาจแตกต่างกันไปตามชนิดและอายุของสัตว์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการ P และ Ca ของสัตว์แต่ละชนิด ตลอดจนอัตราส่วนของ Ca ต่อ P ที่เหมาะสมสำหรับสัตว์ด้วย โดยทั่วไปสัตว์ต่างๆ จะต้องการในช่วง 1:1 ถึง 2:1 ยกเว้นในกรณีของไก่ไข่ที่มีความต้องการ Ca ในปริมาณสูง สำหรับใช้ในการสร้างเปลือกไข่ จึงต้องการ Ca สูงกว่า P ดังแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 1** วัตถุดิบแหล่ง Ca และ P ที่นิยมใช้ในอาหารสัตว์ (NRC, 1994)

| ชนิดวัตถุดิบ | Ca (%) | P (%) |
|---|---|---|
| แคลเซียมฟอสเฟต (ผ่านกระบวนการทางเคมี) | | |
| - Dicalcium phosphates (DCP) | 22 | 18.7 |
| - Monocalcium phosphates (MCP) | 16 | 21 |
| - Defluorinated phosphates (DFP) | 32 | 18.7 |
| หินปูน | 38 | - |
| เปลือกหอย | 38 | 0.1 |
| หินฟอสเฟตบด | 34 | 14 |
| กรดฟอสฟอริก | 0.08 | 23.7 |
| ปลาป่น | 7.31 | 3.81 |
| กระดูกป่น | 29.8 | 12.5 |
| เนื้อและกระดูกป่น | 10.3 | 5.1 |

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตารางที่ 2** ระดับความต้องการของ Ca และ P ในสัตว์ปีกแต่ละชนิด (ดัดแปลงจาก NRC, 1994)

| ชนิด | Ca (%) | aP (%) | Ca : aP |
|---|---|---|---|
| ไก่เนื้อ | | | |
| - อายุ 0-3 สัปดาห์ | 1.00 | 0.45 | 2.2:1 |
| - อายุ 3-6 สัปดาห์ | 0.90 | 0.35 | 2.6:1 |
| - อายุ 6-8 สัปดาห์ | 0.80 | 0.30 | 2.7:1 |
| ไก่ไข่ | | | |
| - อายุ 0-6 สัปดาห์ | 0.90 | 0.40 | 2.3:1 |
| - อายุ 6-12 สัปดาห์ | 0.80 | 0.35 | 2.3:1 |
| - อายุ 12-18 สัปดาห์ | 0.80 | 0.30 | 2.7:1 |
| - อายุ 18 สัปดาห์-ไข่ 5% | 1.80 | 0.35 | 5.1:1 |
| - ระยะให้ไข่ | 3.50 | 0.35 | 10.0:1 |
| เป็ด | | | |
| - อายุ 0-2 สัปดาห์ | 0.65 | 0.40 | 1.6:1 |
| - อายุ 2-7 สัปดาห์ | 0.60 | 0.30 | 2.0:1 |
| นกกระทา | 0.80 | 0.30 | 2.7:1 |

**ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการ P และ Ca** (วิโรจน์, 2538)

1. ปริมาณอาหารที่กิน กล่าวคือ พลังงานในอาหารจะเป็นตัวควบคุมปริมาณอาหารที่กิน ถ้าอาหารมีพลังงานสูงสัตว์จะกินน้อย ในทางตรงข้าม อาหารที่มีพลังงานต่ำสัตว์จะกินมาก ดังนั้น หากอาหารมีพลังงานต่ำ ความเข้มข้นของแร่ธาตุควรต่ำด้วย

2. ชนิดและแหล่งของวัตถุดิบอาหารสัตว์ วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีค่าการใช้ประโยชน์ได้ของ P แตกต่างกัน

3. อัตราส่วนของ Ca : P เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่าง P และ Ca อยู่ในลักษณะของการแก่งแย่ง โดย P จะแก่งแย่งการดูดซึมได้ดีกว่า Ca ดังนั้นหากอาหารมี Ca ต่ำ หรือมี P มากเกินไปจะทำให้เกิดการขาด Ca ได้

4. การให้ผลผลิต สัตว์ที่กำลังให้เนื้อ ไข่ และนม จำเป็นต้องใช้ P และ Ca ในปริมาณที่สูงตามการให้ผลผลิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5. อุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูง จะทำให้สัตว์กินอาหารลดลง ส่งผลให้ได้รับโภชนะต่างๆ ลดลง รวมทั้ง P และ Ca ด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณแร่ธาตุในสูตรอาหารให้สูงขึ้น เพื่อจะให้ได้รับเพียงพอต่อความต้องการ

6. พันธุกรรม สัตว์ประเภทเดียวกันแต่มีสายพันธุ์ต่างกัน จะมีความต้องการแร่ธาตุแตกต่างกัน เช่น ไก่ไข่จะต้องการ Ca ในปริมาณที่สูงกว่าไก่เนื้อ เพราะต้องนำไปใช้ในการสร้างเปลือกไข่

7. การจัดการเลี้ยงดู ไก่ไข่ที่เลี้ยงบนกรง จะต้องการ P สูงกว่าที่เลี้ยงบนวัสดุรองพื้นคอก

8. อายุสัตว์ สัตว์ที่มีอายุน้อยกำลังเจริญเติบโต ร่างกายต้องการแร่ธาตุมากกว่าสัตว์ที่โตเต็มที่ และความสามารถในการดูดซึมแร่ธาตุของสัตว์อายุน้อยจะดีกว่าสัตว์อายุมาก

9. เพศ เนื่องจากสรีรวิทยาของร่างกายแตกต่างกัน จึงส่งผลให้ปริมาณความต้องการแร่ธาตุต่างกันด้วย เช่น ไก่ตัวผู้จะต้องการ Ca และ P สูงกว่าตัวเมีย

**การดูดซึมและการขับออกของ P**

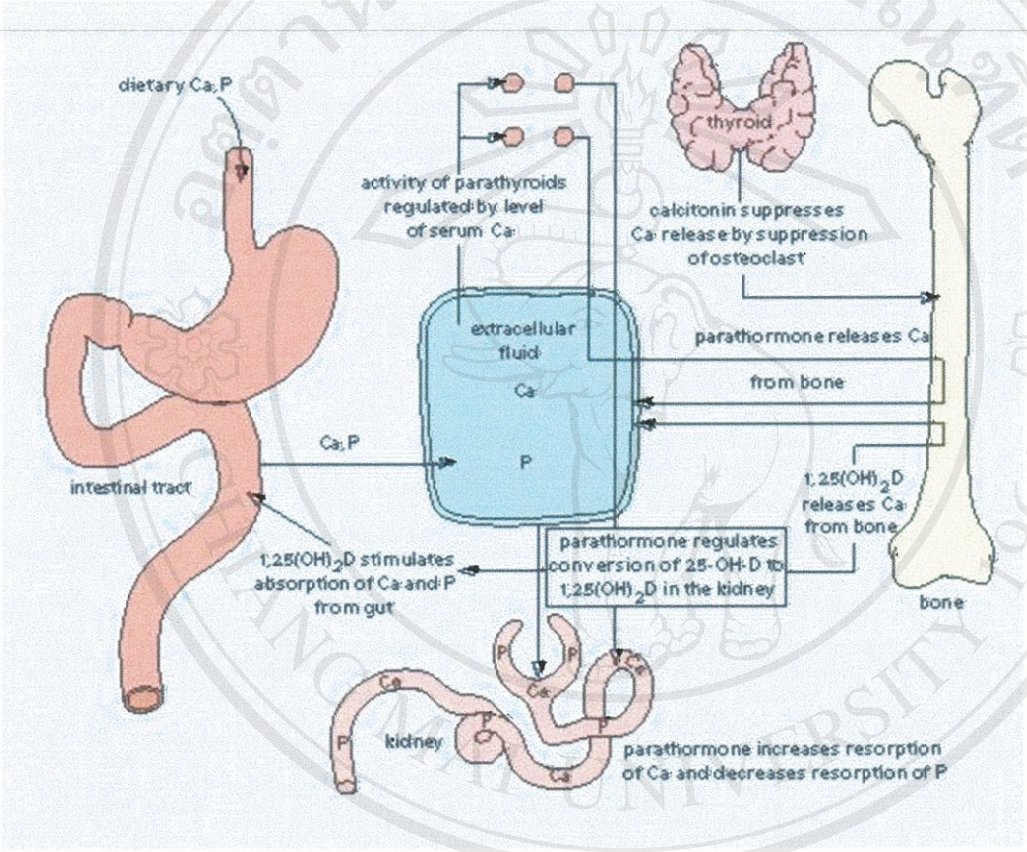
อาหารที่อยู่ในรูปของอินทรีย์และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ฟอสฟาเทส (phosphatases) กลายเป็น P ที่อยู่ในรูปของฟอสเฟต แล้วจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) และส่วนกลาง (jejunum) ด้วยกระบวนการ active และ passive transport โดยมีวิตามินดีเป็นตัวกระตุ้นการดูดซึมเช่นเดียวกับ Ca (Autin and Lee, 2000) ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมของ P ได้แก่ ระดับของ P, แหล่งของ P, ปริมาณของ Ca, อัตราส่วนของ Ca : P, pH ในลำไส้เล็ก รวมทั้งปริมาณของแร่ธาตุอื่นที่ขัดขวางการดูดซึมและการใช้ประโยชน์ได้ด้วย ส่วนของ P ที่ไม่ถูกย่อยและดูดซึมจะถูกขับออกในมูล แต่ส่วนที่ดูดซึมเข้าไปแล้ว แต่ไม่ใช้ประโยชน์ จะถูกขับผ่านไตออกทางปัสสาวะ ภายใต้การควบคุมของ PTH และ 1, 25-dihydroxycholecalciferol (วิโรจน์, 2538)

**การควบคุมสมดุลของ P**

การควบคุมสมดุลของ P ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนย้าย P ออกจากกระดูก การขับ P ออกทางปัสสาวะผ่านไต และการดูดซึม P จากอาหารผ่านผนังลำไส้ ถ้า P ที่ได้รับจากอาหารมีปริมาณน้อย อัตราการดูดซึม P จากอาหารจะสูงขึ้น ขณะเดียวกันการดูดกลับ P ทางไต (renal P reabsorption) จะเพิ่มขึ้นด้วยเพื่อปรับให้มีการขับ P ออกจากปัสสาวะลดลง ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการรักษาสมดุลของ P คือ parathormone (PTH) และ calcitonin (CT) รวมทั้งวิตามินดีในรูปของ 1,25-$(OH)_2$ $D_3$ (Riis, 1983) เช่นเดียวกับในกรณีของ Ca กล่าวคือ เมื่อเกิดสภาวะ Ca ในพลาสมาต่ำ สัตว์จะหลั่งพาราธอร์โมน (ซึ่งเป็น polypeptide hormone จากต่อมพาราไธรอยด์) เพิ่มมากขึ้น เพื่อกระตุ้นให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกิดการเคลื่อนย้าย Ca จากกระดูก ส่งผลให้ระดับ Ca ในเลือดเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันจะลดการดูดกลับของฟอสเฟตจากไต ทำให้ระดับฟอสเฟตในเลือดลดลง ซึ่งจะไปกระตุ้นให้วิตามินดีในไตเปลี่ยนจากรูป 25-hydroxycholecalciferol (25-OH-D) เป็นรูป 1,25-$(OH)_2$ D ซึ่งเป็นรูปที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา แล้ววิตามินดีดังกล่าว จะไปกระตุ้นให้มีการดูดซึม Ca และ P ผ่านผนังลำไส้เล็กเพิ่มขึ้นทำให้ระดับของธาตุทั้งสองในเลือดสูงขึ้น (Autin and Lee, 2000) แสดงในภาพที่ 1




**ภาพที่ 1** ความสัมพันธ์ระหว่าง Ca, P และวิตามินต่อการควบคุมสมดุลในร่างกาย (Rosie,1999)

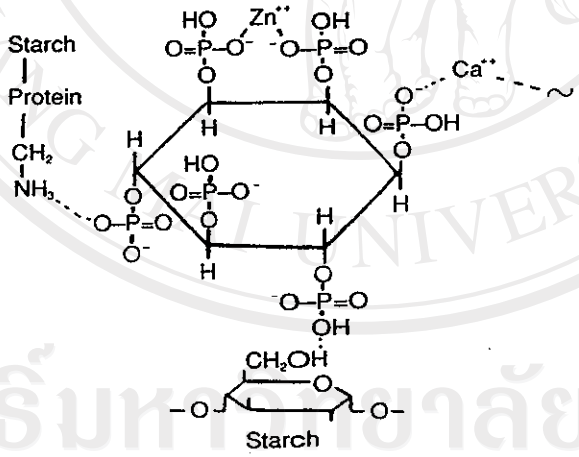
ในทางตรงกันข้ามเมื่อเกิดสภาวะ Ca ในพลาสมาสูง สัตว์จะหลั่งแคลซิโตนิน (ซึ่งเป็น polypeptide hormone เช่นเดียวกัน แต่ผลิตจากต่อมไธรอยด์) เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ Ca ในเลือดถูกนำไปสะสมไว้ในกระดูกมากขึ้น นอกจากนี้ยังลดการเปลี่ยนรูปของวิตามินดี ทำให้กระบวนการสลายตัว เพื่อปลดปล่อย Ca ของเซลล์กระดูกที่ถูกกระตุ้นด้วย PTH ถูกยับยั้ง ทำให้ Ca ในเลือดลดลง (Autin and Lee, 2000) ขณะเดียวกันแคลซิโตนินจะลดการดูดกลับของฟอสเฟตจากไต (เช่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เดียวกับพาราธอร์โมน) ทำให้ P ในเลือดลดลง และมีการสะสมของธาตุทั้งสองนี้ในกระดูกเพิ่มขึ้น (Riis, 1983)

**ไฟเตท**

แหล่ง P ในอาหารที่มาจากธัญพืช พืชตระกูลถั่ว หรือผลพลอยได้จากธัญพืชและพืชน้ำมันต่างๆ ส่วนใหญ่ประมาณ 2 ใน 3 ของ P ทั้งหมดอยู่ในรูปของไฟเตทหรือกรดไฟติก ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า myo–inositol hexakisdihydrogen phosphates มีโครงสร้างเป็นรูปหกเหลี่ยม มีหมู่ฟอสเฟต 6 หมู่จับอยู่กับ myo–inositol ด้วยพันธะเอสเทอร์ (Reddy *et al.*, 1989) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น chelate ทำให้สามารถจับกับแร่ธาตุที่มีประจุบวก 2 และ 3 (di- and trivalent cation) เช่น Ca, Mg, Fe และ Zn ได้ดี เกิดเป็นเกลือที่ไม่ละลาย (insoluble salt) รวมทั้งสามารถเชื่อมกับโปรตีนได้ด้วย โดยในสภาวะที่มี pH ต่ำ โปรตีนซึ่งมีประจุบวกจะจับกับประจุลบของไฟเตท เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายไม่ได้ แต่ในสภาพที่มี pH สูง โปรตีนจะกลายเป็นประจุลบ จึงต้องมีแร่ธาตุที่มีประจุบวกเป็นตัวกลางในการเชื่อมประจุลบของโปรตีนและไฟเตทเข้าด้วยกัน ส่งผลให้โภชนะดังกล่าวไม่สามารถดูดซึมได้ การใช้ประโยชน์ได้จึงลดลง ดังภาพที่ 2




**ภาพที่ 2** โครงสร้างของไฟเตทเมื่อจับกับแร่ธาตุประจุบวก 2 และโภชนะต่างๆ (Thompson, 1986 อ้างโดย Kies *et al.*, 2001)

ในวัตถุดิบอาหารสัตว์แต่ละชนิดมีระดับของไฟเตทแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของพืชและสภาพการแปรรูป โดยทั่วไปไฟเตทจะมีมากในพวกธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง รวมทั้งรำของเมล็ดข้าว รองลงไปคือ กากพืชน้ำมันต่างๆ เช่น กากทานตะวัน กากงา และกากถั่ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เหลือง เป็นต้น (ตารางที่ 3) จึงทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของ P ที่มีอยู่ในวัตถุดิบเหล่านี้มีน้อยในสัตว์กระเพาะเดี่ยว เนื่องจากไม่มีเอนไซม์ไฟเตสที่จะไปย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ดังกล่าวหรืออาจมีน้อยมาก (บุญล้อมและสุชน, 2540ข)

**ตารางที่ 3** ปริมาณไฟเตทในวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิด (บุญล้อมและสุชน, 2540ข)

| ชนิดวัตถุดิบ | Phytate–P | | การใช้ประโยชน์ได้ของ P |
|---|---|---|---|
| | (% ของวัตถุแห้ง) | (% ของ tP) | (%)[1/] |
| **ธัญพืช** | | | |
| ข้าวโพด | 0.24 (0.17-0.29)[2/] | 72 (66-85) | 28 |
| ข้าวสาลี | 0.27 (0.17-0.38) | 69 (60-80) | 29 |
| ข้าวฟ่าง | 0.24 (0.21-0.28) | 66 (64-69) | 18 |
| ข้าวบาร์เลย์ | 0.27 (0.19-0.33) | 64 (56-70) | n.a. |
| เมล็ดข้าวเจ้า (ไม่ได้ขัด) | 0.27 (0.25-0.28) | 77 (74-81) | n.a. |
| รำข้าวเจ้า | 1.31 (1.02-1.79) | 80 (72-86) | 2 |
| รำข้าวสาลี | 0.92 (0.88-0.96) | 71 (70-72) | 36 |
| **กากเมล็ดพืชน้ำมัน** | | | |
| กากถั่วเหลือง | 0.39 (0.37-0.42) | 59 (57-61) | 35-42 |
| กากคาโนลา (เรปซีด) | 0.70 (0.54-0.78) | 59 (43-70) | 45 |
| กากมะพร้าว | 0.29 (0.26-0.33) | 49 (43-56) | n.a. |
| กากงา | 1.18 (1.03-1.46) | 81 (71-84) | n.a. |
| กากทานตะวัน[3/] | 0.88 | 85 | n.a. |
| **อื่นๆ** | | | |
| ถั่ว (Peas) | 0.24 | 50 | 28 |
| หัวมันสำปะหลัง | 0.04 (0.03-0.04) | 28 (25-33) | n.a. |
| หัวมันเทศ | 0.05 | 24 | n.a. |
| ใบกระถิน | 0.02 | 9 | n.a. |

[1/] ข้อมูลเทียบกับ monocalcium phosphate (Coffey and Cormwell, 1995) n.a. = No data available

[2/] ค่าในวงเล็บรวบรวมจากรายงานต่างๆ [3/] NRC (1994) tP = total phosphorus

สำหรับการศึกษาในไก่ มีหลายรายงานยืนยันว่า ไก่สามารถใช้ประโยชน์จากไฟเตทฟอสฟอรัสได้บ้าง โดยผันแปรตั้งแต่ 0 (Nelson, 1976) ถึงมากกว่า 50% (Edwards, 1983; Edwards

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

and Veltmann, 1983) เช่น Ballam *et al.* (1985) รายงานว่า ไก่สามารถย่อยไฟเตทได้ 3–42% การที่ผลการศึกษาต่างๆ มีความแปรปรวนสูง อาจเนื่องมาจากปัจจัยหลายประการ รวมทั้งสภาพในการศึกษา เช่น แหล่งของไฟเตท ระดับของ Ca และ P ในอาหาร ชนิดของวัตถุดิบ (Temperton and Cassidy, 1964) อายุของไก่ และระดับของวิตามินดี (Edwards and Veltmann, 1983; Mohammed *et al.*, 1991) ตลอดจนวิธีการวิเคราะห์ การวางแผนการทดลอง และวิธีการประเมิน เป็นต้น

**ผลเสียที่เกิดจากการมีไฟเตทในอาหารสัตว์** (บุญล้อมและสุชน, 2540ข)

- ทำให้ P, Ca, Mg และแร่ธาตุปลีกย่อยอื่นๆ ในอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Zn ใช้ประโยชน์ไม่ได้
- ลดการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดอะมิโนไลซีน (Lysine) โดยทำให้เกิด Protein–phytate complex
- ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในตัวสัตว์ (endogenous enzyme) เช่น Pepsin, Trypsin, $\alpha$ - amylase และ Lipase เป็นต้น
- ทำให้การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ลดลง
- ทำให้เกิดมลภาวะเนื่องจากการขับออก P ในมูลสูง
- เพิ่มต้นทุนค่าอาหารเพราะทำให้ต้องเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตเพิ่มขึ้น
- การเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตทำให้ความเข้มข้นของโปรตีนและพลังงานในสูตรอาหารลดลง เพราะเปลืองเนื้อที่ในสูตรอาหาร
- การเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตมีส่วนทำให้ธาตุอาหารที่ไม่ต้องการ เช่น เหล็ก ปรอท แคดเมียม สารหนู และตะกั่วในอาหารเพิ่มขึ้น

**ผลของของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ปีกต่อสิ่งแวดล้อม**

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ปีกทั่วโลกได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีการพัฒนาและปรับปรุงผลผลิตให้สูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของประชากร รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมการบริโภคที่หันมาบริโภคเนื้อไก่ ซึ่งเป็นประเภทเนื้อขาว (white meat) มากขึ้น ด้วยความเชื่อที่ว่าเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคอเลสเตอรอลต่ำกว่าเนื้อวัวและเนื้อหมูที่เป็นประเภทเนื้อแดง (red meat) ประกอบกับเนื้อไก่และไข่ไก่มีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับอาหารโปรตีนอื่นๆ และยังสามารถบริโภคได้ทุกเชื้อชาติและศาสนา ดังนั้นจึงมีความต้องการบริโภคเนื้อไก่และไข่ไก่ทดแทนเนื้อสัตว์อื่นเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะ 2-3 ปีที่ผ่านมา โดยในช่วงปี 2542 ถึง 2545 ผลผลิตเนื้อไก่ได้เพิ่มจาก 43.4 ล้านตัน เป็น 49.2 ล้านตัน และไข่ไก่เพิ่มจาก 7.7 เป็น 8.2 แสนล้าน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟอง (ตารางที่ 4, 5) การบริโภคเนื้อไก่และไข่ไก่เพิ่มขึ้นจาก 42.9 เป็น 48.2 ล้านตัน และจาก 7.4 เป็น 7.9 แสนล้านฟองตามลำดับ (ตารางที่ 6, 7) อย่างไรก็ดี จากสถานการณ์การผลิตเนื้อไก่และไข่ไก่ทั่วโลก ปรากฏว่า ประเทศสหรัฐอเมริกาผลิตเนื้อไก่ได้มากที่สุดประมาณร้อยละ 30 ของผลผลิตทั่วโลก ในขณะที่ประเทศจีนผลิตไข่ไก่ได้มากที่สุดประมาณร้อยละ 48 ของผลผลิตทั่วโลก ส่วนการบริโภค พบว่า ประเทศสหรัฐอเมริกาบริโภคเนื้อไก่มากที่สุด และประเทศจีนบริโภคไข่ไก่มากที่สุดประมาณร้อยละ 26 และ 50 ตามลำดับ

สำหรับประเทศไทยในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา การผลิตสัตว์ปีกได้ขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับหลายๆ ประเทศ จนกลายเป็นผู้ผลิตอันดับต้นๆ ของโลก กล่าวคือ ในช่วงปี 2542 ถึง 2545 การผลิตเนื้อไก่เพิ่มจาก 0.98 เป็น 1.32 ล้านตัน และผลิตไข่ไก่เพิ่มจาก 8.06 เป็น 9.08 พันล้านฟอง (ตารางที่ 4, 5) ส่วนการบริโภคเนื้อไก่เพิ่มจาก 0.71 เป็น 0.87 ล้านตัน และไข่ไก่เพิ่มจาก 8.03 เป็น 9.04 พันล้านฟอง (ตารางที่ 6, 7)

**ตารางที่ 4** ปริมาณการผลิตเนื้อไก่ของโลกปี 2542–2546 (สมาคมผู้ผลิตไก่เพื่อส่งออก, 2546)

หน่วย : ล้านตัน

| ปี | 2542 | 2543 | 2544 | 2545[1/] | 2546[2/] | % 2546 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| สหรัฐอเมริกา | 13.367 | 13.703 | 14.033 | 14.519 | 14.808 | 30.16 |
| บราซิล | 5.526 | 5.980 | 6.567 | 7.040 | 7.180 | 14.62 |
| สหภาพยุโรป | 6.614 | 6.654 | 6.822 | 6.750 | 6.760 | 13.77 |
| จีน | 4.400 | 5.000 | 5.200 | 5.400 | 5.450 | 11.10 |
| เม็กซิโก | 1.784 | 1.936 | 2.067 | 2.188 | 2.297 | 4.68 |
| อินเดีย | 0.820 | 1.080 | 1.250 | 1.400 | 1.500 | 3.06 |
| ไทย | 0.980 | 1.070 | 1.230 | 1.320 | 1.380 | 2.81 |
| ญี่ปุ่น | 1.078 | 1.091 | 1.074 | 1.090 | 1.080 | 2.20 |
| แคนาดา | 0.847 | 0.877 | 0.927 | 0.945 | 0.975 | 1.99 |
| มาเลเซีย | 0.684 | 0.786 | 0.813 | 0.832 | 0.846 | 1.72 |
| อื่นๆ | 7.312 | 7.623 | 7.635 | 7.685 | 6.819 | 13.89 |
| รวม | 43.412 | 45.800 | 47.618 | 49.169 | 49.095 | 100.00 |

[1/]ตัวเลขเบื้องต้น [2/]คาดคะเน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตารางที่ 5** ปริมาณการผลิตไข่ไก่ของโลกปี 2542–2546 (สมาคมผู้ผลิต ผู้ค้า และส่งออกไข่ไก่, 2546)

หน่วย : พันล้านฟอง

| ปี | 2542 | 2543 | 2544 | 2545[1/] | 2546[2/] | % 2546 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| จีน | 365.300 | 381.340 | 387.500 | 395.200 | 402.000 | 48.24 |
| สหภาพยุโรป | 88.457 | 85.768 | 88.981 | 89.000 | 88.900 | 10.67 |
| สหรัฐอเมริกา | 82.943 | 84.420 | 85.812 | 87.240 | 89.183 | 10.70 |
| ญี่ปุ่น | 41.975 | 42.041 | 42.100 | 41.900 | 41.846 | 5.02 |
| อินเดีย | 35.000 | 36.000 | 38.500 | 39.500 | 40.000 | 4.80 |
| เม็กซิโก | 32.428 | 35.155 | 36.034 | 36.935 | 37.900 | 4.55 |
| รัสเซีย | 33.000 | 33.900 | 34.200 | 34.400 | 34.000 | 4.08 |
| ไทย | 8.060 | 8.370 | 8.800 | 9.075 | 9.240 | 1.11 |
| อื่นๆ | 79.749 | 83.457 | 85.424 | 87.146 | 90.351 | 10.84 |
| รวม | 767.052 | 790.881 | 806.751 | 819.821 | 833.420 | 100.00 |

[1/]ตัวเลขเบื้องต้น [2/]คาดคะเน

**ตารางที่ 6** ปริมาณการบริโภคเนื้อไก่ของประเทศต่างๆ ในช่วงปี 2542–2546 (สมาคมผู้ผลิตไก่เพื่อส่งออก, 2546)

หน่วย : ล้านตัน

| ประเทศ | 2542 | 2543 | 2544 | 2545[1/] | 2546[2/] | % 2546 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| สหรัฐอเมริกา | 11.251 | 11.474 | 11.557 | 12.265 | 12.364 | 25.74 |
| สหภาพยุโรป | 6.048 | 6.191 | 6.522 | 6.630 | 6.665 | 13.88 |
| บราซิล | 4.776 | 5.087 | 5.326 | 5.615 | 5.855 | 12.19 |
| จีน | 4.616 | 5.194 | 5.184 | 5.380 | 5.400 | 11.24 |
| เม็กซิโก | 1.970 | 2.154 | 2.301 | 2.443 | 2.587 | 5.39 |
| รัสเซีย | 1.297 | 1.320 | 1.588 | 1.838 | 1.848 | 3.85 |
| ญี่ปุ่น | 1.742 | 1.772 | 1.797 | 1.815 | 1.790 | 3.73 |
| อินเดีย | 0.820 | 1.080 | 1.249 | 1.398 | 1.498 | 3.12 |
| แคนาดา | 0.866 | 0.891 | 0.927 | 0.944 | 0.974 | 2.03 |
| ไทย | 0.706 | 0.737 | 0.792 | 0.870 | 0.920 | 1.92 |
| อื่นๆ | 8.808 | 9.019 | 9.109 | 9.026 | 8.129 | 16.92 |
| รวม | 42.900 | 44.919 | 46.352 | 48.224 | 48.030 | 100.00 |

[1/]ตัวเลขเบื้องต้น [2/]คาดคะเน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตารางที่ 7** ปริมาณการบริโภคไข่ไก่ของประเทศต่างๆ ในช่วงปี 2542–2546 (สมาคมผู้ผลิต ผู้ค้า และส่งออกไข่ไก่, 2546)

หน่วย : ล้านฟอง

| ประเทศ | 2542 | 2543 | 2544 | 2545[1/] | 2546[2/] | % 2546 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| จีน | 357.733 | 373.275 | 379.419 | 386.964 | 413.000 | 50.14 |
| สหภาพยุโรป | 78.711 | 75.919 | 79.009 | 79.300 | 79.121 | 9.61 |
| สหรัฐอเมริกา | 73.299 | 74.448 | 76.109 | 77.680 | 79.784 | 9.69 |
| ญี่ปุ่น | 43.951 | 44.029 | 43.900 | 43.750 | 43.733 | 5.31 |
| อินเดีย | 34.343 | 35.304 | 37.725 | 38.670 | 40.144 | 4.87 |
| เม็กซิโก | 32.424 | 35.206 | 36.081 | 36.988 | 38.998 | 4.73 |
| รัสเซีย | 30.850 | 31.770 | 32.065 | 32.255 | 32.618 | 3.96 |
| บราซิล | 14.744 | 14.535 | 14.642 | 14.723 | 15.019 | 1.82 |
| อินโดนีเซีย | 7.900 | 10.284 | 10.809 | 11.308 | 11.500 | 1.40 |
| เกาหลีใต้ | 8.103 | 8.375 | 8.466 | 8.547 | 8.600 | 1.04 |
| ไทย | 8.032 | 8.290 | 8.760 | 9.035 | 9.200 | 1.12 |
| อื่นๆ | 46.367 | 48.636 | 49.668 | 51.002 | 51.918 | 6.30 |
| รวม | 736.625 | 760.431 | 776.193 | 789.588 | 823.636 | 100.00 |

[1/]ตัวเลขเบื้องต้น [2/]คาดคะเน

จากการผลิตสัตว์ปีกที่เพิ่มขึ้นทุกปีนี้ เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งหลายๆ ประเทศทั่วโลกกำลังให้ความสำคัญ และสนใจหาทางป้องกันแก้ไข เช่น ปัญหาจากมูลและปัสสาวะ ปัญหาน้ำล้างคอก และน้ำล้างอุปกรณ์ เป็นต้น ซึ่งของเสียเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยมีผลเสียดังนี้

1. ปัญหาต่อสุขภาพ

- เป็นแหล่งแพร่กระจายของเชื้อโรคที่อาจติดต่อมายังคนหรือสัตว์เลี้ยงอื่นๆ เช่น แมลงวัน และพยาธิ เป็นต้น

- ก๊าซพิษที่สำคัญ ได้แก่ ก๊าซแอมโมเนีย ($NH_3$) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($H_2S$) ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพของคนและสัตว์ ส่วนใหญ่แล้ว $NH_3$ มาจากยูเรียซึ่งถูกขับออกมาในปัสสาวะ (แต่ในกรณีของสัตว์ปีกอยู่ในรูปของกรดยูริก) ยูเรียจะถูกย่อยสลาย (hydrolysed) ได้ง่ายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) และ $NH_3$ โดยมีเอนไซม์ยูรีเอส (urease) ของจุลินทรีย์ในมูล ซึ่งได้แก่ เชื้อรากลุ่ม *Penicillium spp.* และ *Aspergillus spp.* หรือเชื้อแบคทีเรียพวก uricolytic ย่อยสลายให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็น $NH_3$ ที่มีคุณสมบัติเบากว่าอากาศ จึงแพร่กระจายทั่วโรงเรือนและออกไปสู่สิ่งแวดล้อมได้ โดยปัจจัยที่มีผลกระตุ้นปฏิกิริยาการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ได้แก่ อุณหภูมิที่สูง สภาวะที่เป็นด่าง และความชื้นสูง เป็นต้น (Leek, 1993) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ไก่ที่อยู่ในโรงเรือนหรือในคอกถูกรมด้วย $NH_3$ ที่เกิดขึ้น หากจัดการพื้นคอกไม่ดี โดยเฉพาะตัวที่เตี้ยจะเกิดอาการระคายเคืองตาจนถึงขั้นตาบอดได้แม้จะมี $NH_3$ ระดับต่ำก็ตาม มีรายงานว่า ไก่ที่สัมผัส $NH_3$ ที่ระดับ 10 ส่วนในล้านส่วน (ppm) เป็นเวลานานๆ ซีเลียในปอด (ขนเล็กๆ ที่มีหน้าที่กรองและกำจัดสิ่งแปลกปลอมตลอดจนป้องกันผิวปอด) จะไม่สามารถทำงานได้เนื่องจาก $NH_3$ ไปกระตุ้นให้ปอดขับเมือกออกมามากกว่าปกติ ซึ่งน้ำเมือกเหล่านี้จะไปเกาะสะสมอยู่ที่ซีเลีย ทำให้ซีเลียจับกันเป็นก้อน ไก่จึงมีโอกาสติดเชื้อทางระบบหายใจได้ง่าย โดยเฉพาะโรคนิวคาสเซิล (Newcastle) และถุงลมอักเสบ (Airsaculitis) หากระดับ $NH_3$ เพิ่มขึ้นเป็น 20 ppm โอกาสที่จะติดเชื้อทั้งสองยิ่งมีมากขึ้น (Hunton, 1990) ลูกไก่เนื้อที่ได้สัมผัส $NH_3$ ระดับ 20-100 ppm จะพบการเปลี่ยนแปลงของปอดและหลอดลมภายใน 4–7 วัน กรณีไก่ไข่ที่สัมผัสแอมโมเนียที่ระดับ 200 ppm เป็นเวลา 17 วัน จะทำให้น้ำหนักตัวลดลงถึง 170 ก. เนื่องจากไก่กินอาหารน้อยลง หากเป็นไก่สาวที่เลี้ยงในช่วง 3 เดือนแรก จะมีอัตราการตายสูงกว่าและให้ไข่น้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับ $NH_3$ ต่ำมากหรือไม่ได้รับเลย นอกจากนี้ N ที่มีอยู่ในมูลก็เป็นแหล่งของการสร้าง $NH_3$ เช่นเดียวกัน แต่ในอัตราที่ช้ากว่าในปัสสาวะเพราะมีการย่อยสลายได้ช้ากว่า สำหรับ $H_2S$ มาจากซัลเฟตที่มีในปัสสาวะ รวมทั้งได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์จากของเสียในสภาวะไร้อากาศ (Pauzenga, 1991)

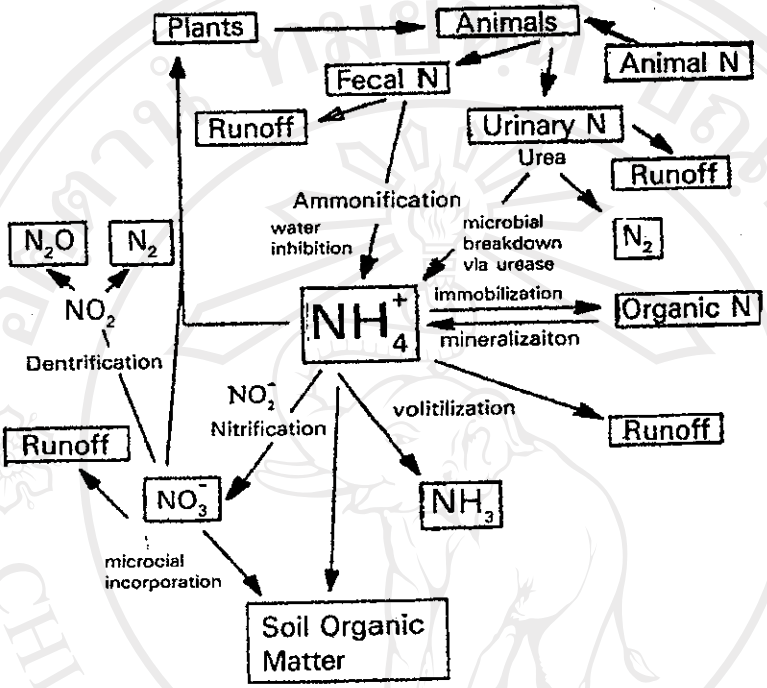
2. ปัญหาต่อคุณภาพดินและน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ

ของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ สามารถใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืชเพื่อการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตได้ แต่ถ้ามีมากเกินไปจนพืชดูดไปใช้ได้ไม่หมดจะเหลือตกค้างอยู่ในดิน และบางส่วนอาจถูกพัดพาโดยลมไปยังที่ต่างๆ เมื่อฝนตกก็จะถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำซึ่งจะมีผลทำให้น้ำมีธาตุอาหารมากเกินควร ส่งผลให้เกิดการแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอน ผลต่อมาก็คือการลดลงของออกซิเจนในน้ำในช่วงเวลากลางคืน มีผลเสียต่อสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น นอกจากนี้การที่มีปริมาณไนเตรต ($NO_3^-$) สูงขึ้นในน้ำก็อาจมีผลกระทบต่อผู้บริโภคได้ เช่น น้ำที่มี $NO_3^-$ สูงกว่า 40 ppm จะมีอันตรายต่อทารก (เปี่ยมศักดิ์, 2538) เป็นต้น

Eng (1996) รายงานว่า วงจร N จากฟาร์มสัตว์เลี้ยงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้อาหารข้นที่มีโปรตีนสูง จะมีผลให้เกิด $NH_3$ ในฟาร์มมาก เพราะโปรตีนที่สัตว์กินเข้าไป ส่วนที่ย่อยไม่ได้หรือย่อยไม่ทันจะถูกขับออกมากับมูลและปัสสาวะ N ส่วนนี้จะถูกชะล้างลงดินในรูปของ $NO_3^-$ ปนเปื้อนอยู่ในน้ำใต้ดิน ทำให้ดินมี N สูงและ N บางส่วนที่ชะล้างลงดินไม่ทันจะถูกชะลงแม่น้ำ คลอง บึง หรือทะเลสาบ ซึ่งจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายให้เป็น N ในรูปที่ระเหยได้ เช่น $NH_3$ และไนตรัส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ออกไซด์ ($N_2O$) ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดมลภาวะทางอากาศ ยิ่งสัตว์ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูง ก็จะขับถ่าย N ออกมามากขึ้น ดังนั้นถ้าต้องการลดมลภาวะจาก $NH_3$ ควรปรับสูตรอาหารให้พอดีกับความต้องการของสัตว์ เพื่อให้เหลือ N ขับออกมาในมูลและปัสสาวะน้อยที่สุด ดังภาพที่ 3




**ภาพที่ 3** วงจรของแอมโมเนีย–ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในฟาร์มสัตว์เลี้ยง (Eng, 1996)

3. ปัญหาต่อมลภาวะของบรรยากาศ

ได้แก่ การเกิดฝนกรด เนื่องจาก $NO_2^-$ และซัลเฟตจากเกษตรกรรมและผลผลิตทางอุตสาหกรรมถูกสะสมไว้ในเมฆและชั้นบรรยากาศที่ชื้น ซึ่งเคลื่อนที่ได้หลายร้อยกิโลเมตร เมื่อสภาพอากาศเหมาะสมจะตกลงมาเป็นฝนกรด ทำให้เกิดผลเสียต่อป่าไม้และพืชผลได้ (Nahm, 2000)

4. ปัญหาทางสังคมและเศรษฐกิจ

- เกิดกลิ่นเหม็น
- แมลงวันชุกชุม
- ที่ดินรอบๆ ฟาร์มมีราคาตกต่ำ เป็นต้น

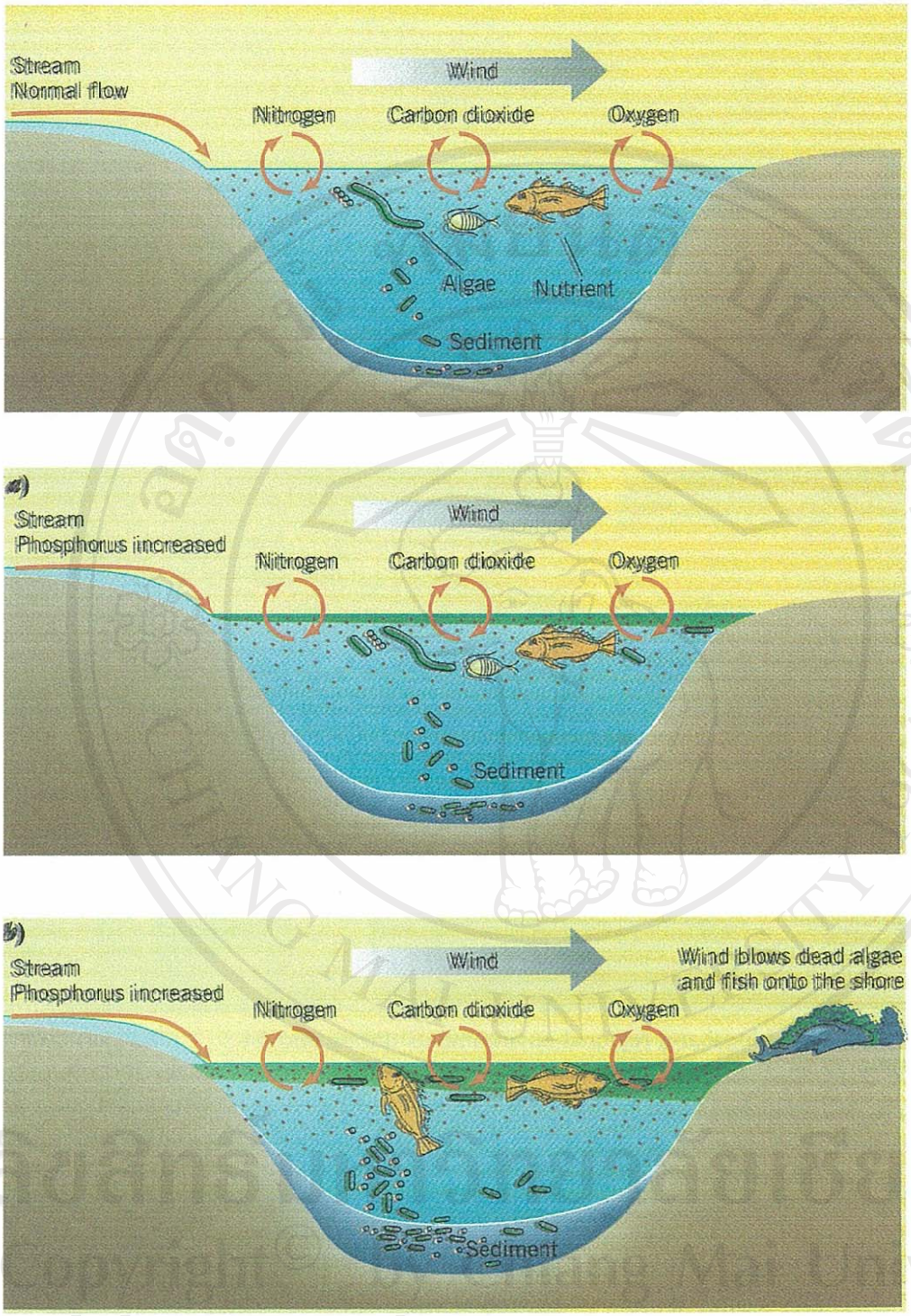
จากปัญหามลภาวะทางอากาศ ดิน และน้ำที่กล่าวมาข้างต้นนั้น เป็นเหตุให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ซึ่งเกิดขึ้นจากมูลและปัสสาวะ น้ำล้างคอก และน้ำล้าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุปกรณ์ โดยของเสียเหล่านี้ปกติเมื่อทิ้งไว้จะค่อยๆ สลายตัวไปเนื่องจากการทำงานของจุลินทรีย์ แต่ถ้ามีจำนวนมากและทิ้งทับถมลงที่เดิม จะเกิดการสลายตัวไม่ทัน ทำให้ความเข้มข้นของสารอาหารต่างๆ โดยเฉพาะแร่ธาตุพวก N และ P หรือสารพิษที่มีในมูลหรือปัสสาวะเพิ่มขึ้นในดินเรื่อยๆ เป็นผลให้แหล่งน้ำธรรมชาติสกปรกหรือเสียได้ หากฝนที่ตกชะล้างลงไปถึงแหล่งน้ำหรือมีการระบายของเสียสู่แหล่งน้ำ N และ P ที่มีอยู่ในของเสียปริมาณมาก จะเป็นตัวเร่งให้พืชน้ำขนาดเล็กที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็นจำพวกแพลงก์ตอนพืช (plankton) โดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและมีปริมาณมากจนทำให้เกิดเงาทึบบริเวณผิวน้ำ เรียกว่า สาหร่ายเบ่งบาน (algae bloom) ลักษณะที่เกิดขึ้นนี้มีผลเสียต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชใต้น้ำ โดยปกติ แพลงก์ตอนมีหน้าที่ในการผลิตสารอินทรีย์ให้แก่สิ่งมีชีวิตชั้นสูงเพื่อใช้เป็นอาหาร แพลงก์ตอนเป็นพืชที่มีอายุค่อนข้างสั้น เมื่อตายจะจมลงทับถมเป็นตะกอนในแหล่งน้ำ ในการย่อยสลายแพลงก์ตอนพืชที่ตายแล้วจุลินทรีย์จำเป็นต้องใช้ออกซิเจน ($O_2$) ที่ละลายในน้ำ ดังนั้นปริมาณของแพลงก์ตอนพืชที่เกิดขึ้นจำนวนมากจะทำให้ $O_2$ ในแหล่งน้ำไม่เพียงพอ เกิดสภาวะไร้ออกซิเจนในช่วงกลางคืนเนื่องจากทั้งพืชใต้น้ำและจุลินทรีย์ต้องการ $O_2$ ใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมส่งผลให้น้ำมีสีเขียว มีกลิ่น รวมทั้งสิ่งมีชีวิตชั้นสูงใต้น้ำตายด้วย (ภาพที่ 4) กระบวนการนี้มักเกิดในแหล่งน้ำที่มีขอบเขตของการไหลจำกัด เช่น อ่างเก็บน้ำ หรือทะเลสาบ เป็นต้น

กระบวนการนี้หากเกิดขึ้นตามสภาวะธรรมชาติจากอายุหนึ่งไปสู่ช่วงอายุหนึ่งจะกินเวลานานนับเป็นศตวรรษ แต่การกระทำของมนุษย์อาจเร่งเวลาลงเหลือเพียงไม่กี่ปี แหล่งน้ำเหล่านี้ล้วนเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตทั้งสิ้น เช่น กลุ่มทะเลสาบเกรตเลค (Great lakes) ในสหรัฐอเมริกาและแคนาดา ซึ่งได้รับ P ประมาณ 3,000 ตัน/ปี ปริมาณดังกล่าวสามารถจำแนกได้ว่ามาจากน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 70% จากคอกปศุสัตว์ 20% และจากพื้นที่อื่นๆ อีกประมาณ 10% (Sonzogni *et al.*, 1982) ปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวเร่งให้แหล่งน้ำดังกล่าวเข้าสู่ระยะยูโทรฟิก ก็คือ น้ำเสียจากชุมชน จากโรงงาน หรือจากการใช้ดินที่ไม่ถูกวิธี รวมทั้งการใช้ปุ๋ย N และ P ที่มากเกินไป เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




**ภาพที่ 4** กระบวนการเกิดปฏิกิริยา Eutrophication ในระยะ oligotropic (a) และ eutropic (b)

(Daniel and Edward, 1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**P กับยูโทรฟิเคชัน**

ในการประชุม EUTROSYM' 76 International Symposium ได้ให้นิยามของยูโทรฟิเคชันว่า กระบวนการเพิ่มอายุของแหล่งน้ำ (process of aging of lake) อันเกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่มระดับของธาตุอาหารพืชลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลจากการกระทำของมนุษย์ในเขตพื้นที่รับน้ำ เป็นผลทำให้เกิดการเร่งการเจริญเติบโตของสาหร่ายและพืชน้ำชั้นสูง (Klapper, 1991 อ้างโดย ศุภมาศ, 2540)

ทะเลสาบและแหล่งน้ำต่างๆ อาจมีสภาพอายุต่างกันตั้งแต่ oligotrophic (nutrient poor) จนถึงอายุระดับ eutrophic (nutrient rich) โดยทั่วไปคำว่า ยูโทรฟิเคชันจะเป็นการบอกสภาพของแหล่งน้ำนิ่ง เช่น พื้นที่รับน้ำ ทะเลสาบ และบึง เป็นต้น ทั้งนี้เพราะในสภาพแม่น้ำลำธาร อัตราการไหลของน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการเติมธาตุอาหาร มักเร็วเกินกว่าการก่อตัวของสภาพยูโทรฟิเคชัน

พืชน้ำ เช่น สาหร่ายหรือแพลงก์ตอนพืชอื่นที่อาศัยตามบึงหรือทะเลสาบ มีความต้องการธาตุอาหารต่ำกว่าพืชบกชั้นสูงค่อนข้างมาก ทั้งนี้เพื่อความอยู่รอดของมัน เช่น ปริมาณ P ในสารละลายแม้จะมีเพียงประมาณ 30 μg/l ก็ยังเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชเหล่านี้ได้

เมื่อมีธาตุอาหารเพิ่มขึ้นในน้ำ เช่น จากการตกตะกอนของอนุภาคดินที่ก้นบึง หรือการนำอนุภาคดินหรือน้ำมาจากแหล่งน้ำอื่น แพลงก์ตอนพืชจะเจริญอย่างรวดเร็ว และเนื่องจากแพลงก์ตอนเหล่านี้มีวงจรชีวิตที่สั้น เมื่อตายลงย่อมเน่าเปื่อยทับถมทำให้อากาศที่ละลายในน้ำถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วเกินกว่าที่จะละลายได้ น้ำจึงขาดออกซิเจน เมื่อการเน่าเปื่อยดำเนินไปในลักษณะไร้อากาศก็จะทำให้ได้ก๊าซที่มีกลิ่นเหม็น น้ำเปลี่ยนสีจากที่เคยใสสะอาดเป็นสีเข้ม กระบวนการยูโทรฟิเคชันอันเกิดจากการเพิ่มธาตุอาหารพืชน้ำเช่นนี้นับเป็นการลดคุณภาพน้ำ ทำให้น้ำเสีย ไม่เป็นที่พึงประสงค์ของสังคมมนุษย์ และเป็นอันตรายต่อชีวิตสัตว์น้ำ

ธาตุอาหารที่เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดต่อการเจริญของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชมีสองชนิด คือ N และ P โดยอัตราที่เหมาะสมมีค่าระหว่าง 5 ถึง 15:1 ถ้ามีธาตุใดธาตุหนึ่งระดับต่ำเกินไปจะเป็นตัวจำกัดการเจริญของพืชน้ำเหล่านี้ ตามปกติอัตราส่วนระหว่าง N ต่อ P (N:P ratio) ของแหล่งน้ำนิ่งหนึ่งๆ อาจเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอขึ้นกับการเติมธาตุดังกล่าวเข้าสู่แหล่งน้ำตามฤดูกาล ตัวอย่าง เช่น ที่ทะเลสาบวอชิงตัน (Washington Lake) ในปี พ.ศ. 2476 มี N:P ประมาณ 50:1 P จึงเป็นตัวจำกัดการเจริญของสาหร่าย ขณะที่ในปี พ.ศ. 2505 มี N:P ประมาณ 10:1 N จึงเป็นตัวการ และในปี พ.ศ. 2510 มี N:P ประมาณ 20:1 P จึงเป็นตัวการอีก (Lehmusluoto, 1980 อ้างโดยศุภมาศ, 2540) โดยทั่วไปพบว่า N จะเป็นปัจจัยสำคัญในการจำกัดการเจริญของแพลงก์ตอนพืชในแถบชายฝั่งทะเลและบริเวณปากแม่น้ำ ในขณะที่ P เป็นตัวการสำคัญในบึงและทะเลสาบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**N กับยูโทรฟิเคชัน**

N ในรูปที่ทำให้เกิดภาวะมลพิษในน้ำได้นั้น จะอยู่ในรูป $NH_3$ และ $NO_3^-$ ซึ่ง $NH_3$ ส่วนใหญ่ได้จากการเน่าเปื่อยของอินทรีย์สารในน้ำ ขณะที่ $NO_3^-$ ในน้ำมีแหล่งที่มาจากหลายทางด้วยกัน

ในขณะที่สารอินทรีย์เน่าเปื่อยสลายตัว โดยจุลินทรีย์ที่ดำรงชีวิตจากการย่อยสลายซากอินทรีย์สาร จะเกิดการแย่งก๊าซออกซิเจน ($O_2$) จากบริเวณข้างเคียง ซึ่งถ้ามีการถ่ายเทก๊าซไม่ทัน จะทำให้เกิดการขาด $O_2$ ในน้ำบริเวณนั้น นอกจากนี้การเน่าเปื่อยยังทำให้เกิดกรดอินทรีย์ และเกิดการสะสม $NH_3$ ซึ่งเป็นสารพิษ เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำชั้นสูง เช่น ปลา อาจถึงตายได้ ในสภาพที่มีการถ่ายเท $O_2$ ไม่ทันเช่นนี้ $NH^+_4$ ในน้ำอาจถูกออกซิไดซ์ได้บางส่วนเกิดเป็นไนไตรท์ ($NO_2^-$) ซึ่งเป็นสารพิษต่อสัตว์น้ำเช่นกัน และเมื่อมี $O_2$ในน้ำในขั้นสุดท้าย N ทั้งในรูป $NH^+_4$ หรือ $NO_2^-$ จะถูกออกซิไดซ์ให้เป็น $NO_3^-$ ในที่สุด

ในทะเลสาบหรือแหล่งน้ำทั่วไป P และ N เป็นตัวสร้างผลผลิตแรก (lake primary productivity) ของมวลชีวภาพ (biomass) สู่สภาพยูโทรฟิเคชัน มวลชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชซึ่งใช้ปริมาณคลอโรฟิลเอเป็นตัววัด จะผันแปรมากน้อยตามปริมาณธาตุอาหารที่ไหลเข้าสู่แหล่งน้ำ ดังนั้นจึงได้ใช้ปริมาณของธาตุอาหารที่สาหร่ายเหล่านี้นำไปสร้างเซลล์ของมัน คือ C, N และ P เป็นตัวกำหนดการเจริญของสาหร่ายในแหล่งน้ำ (Ryding and Rast, 1989 อ้างโดยศุภมาศ, 2540) แต่เนื่องจากแหล่งน้ำทั่วไปมักมี C มากพอต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ดังนั้นการควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายจึงขึ้นอยู่กับปริมาณของ N และ P ดังได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งปริมาณธาตุทั้งสองนี้ในรูปของอนินทรีย์ N และ tP จะใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดสภาวะยูโทรฟิเคชัน ดังแสดงในตารางที่ 8

**ตารางที่ 8** การแบ่งสภาวะความบริสุทธิ์ของแหล่งน้ำโดยปริมาณ N และ P (de Haan and Zwerman,1991 อ้างโดย ศุภมาศ, 2540)

| สภาวะ | tP | N อนินทรีย์ |
|---|---|---|
| | ----------(มก./ลบ.ม., ppb)---------- | |
| Ultra oligotrophic | <5 | <20 |
| Oligo-mesotrophic | 5-10 | 200-400 |
| Meso-eutrophic | 10-30 | 300-600 |
| Eu-polytrophic | 30-100 | 500-1,500 |
| Polytrophic | >100 | >1,500 |

tP = total phosphorus

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยทั่วไปเป็นที่ยอมรับกันว่า ถ้า P มีปริมาณต่ำกว่า 0.01 มก./ล. และ N ต่ำกว่า 0.2-0.3 มก./ล. สาหร่ายจะไม่สามารถเจริญได้ (de Haan and Zwerman, 1991 อ้างโดยศุภมาศ, 2540) แต่เนื่องจากในปีหนึ่งๆ สัตว์ขับถ่ายมูลออกมาจำนวนไม่น้อย (ตารางที่ 9) เมื่อนำไปคูณกับปริมาณ P ที่มีในมูล (ตารางที่ 10) จะพบว่า มี P ถูกขับออกมาค่อนข้างสูง ฉะนั้นการพยายามลดปริมาณ P ที่ถูกขับออกมากับมูลให้เหลือน้อยที่สุด จึงเป็นเรื่องที่ผู้เลี้ยงสัตว์ต้องให้ความสนใจ และหาทางแก้ไข ซึ่งอาจทำได้โดยการคำนวณสูตรอาหารให้มีความสมดุลมากที่สุด หรือทำให้อาหารมีการย่อยได้มากที่สุด เพื่อให้โภชนะในอาหารถูกใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหลือกากอาหารน้อยที่สุด วิธีการที่จะเพิ่มการย่อยได้ของวัตถุดิบให้สูงขึ้น สามารถทำได้ 2 วิธีใหญ่ๆ คือ

1. ใช้กระบวนการผลิต (processing) เข้าไปแก้ไขคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของวัตถุดิบอาหารสัตว์ เพื่อให้เอนไซม์ของตัวสัตว์เข้าย่อยได้ทั่วถึง เช่น ลดขนาดของวัตถุดิบด้วยการบดหรือตีให้แตกด้วยเครื่องมือชนิดต่างๆ ให้มีขนาดพอเหมาะ เพราะหากวัตถุดิบมีขนาดใหญ่เกินไป สัตว์กินแล้วย่อยยาก อาจถ่ายออกมาเป็นเม็ดๆ แต่ถ้าบดละเอียดเกินไป จะทำให้เป็นฝุ่น ไม่น่ากิน และในกรณีของสัตว์เคี้ยวเอื้องอาจทำให้เกิดกรดมาก เป็นเหตุให้เกิดแผลในกระเพาะรูเมนได้ ดังนั้นจึงต้องเลือกกระบวนการลดขนาดที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ทำให้เอนไซม์มีโอกาสเข้าย่อยได้มากขึ้น (Acamovic, 2001)

2. นำเทคโนโลยีชีวภาพมาประยุกต์ใช้ในการผลิตเอนไซม์ เช่น การผลิตไฟเตสจากจุลินทรีย์หรือเสริมจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ที่เรียกว่า โปรไบโอติก (probiotics) ลงในอาหาร เพื่อช่วยปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร เช่น การเสริม yeasts หรือ lactobacilli เป็นต้น (Meevootisom, 1993)

**ตารางที่ 9** ปริมาณของมูลในสัตว์ปีกแต่ละชนิด (Leeson and Summers, 1997)

| ชนิด | อายุ (สัปดาห์) | น้ำหนักตัว (กก.) | ปริมาณมูล (ตันต่อ 1,000 ตัว) |
|---|---|---|---|
| ไก่เนื้อ | 6 | 2.0 | 3.0 |
| ไก่ไข่ | 60 | 1.8 | 42.0 |
| ไก่งวง | 12 | 5.5 | 11.0 |
| ไก่งวง | 18 | 15.0 | 37.0 |

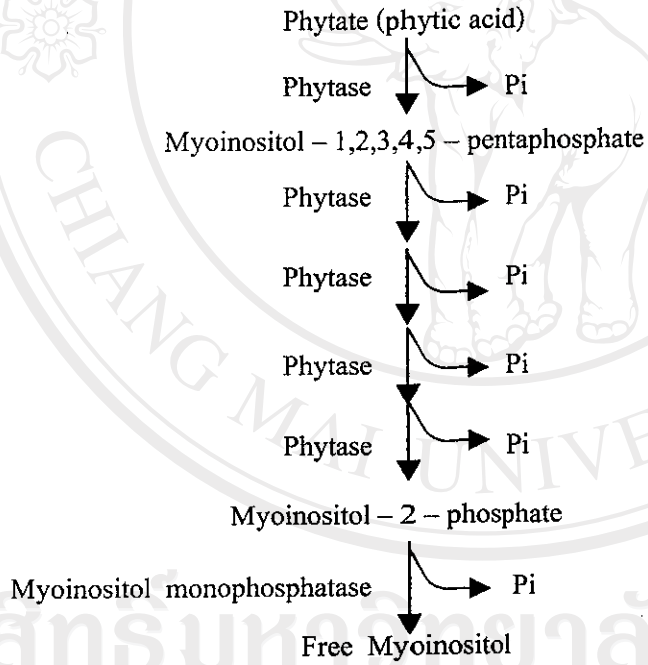
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตารางที่ 10** ปริมาณ N และ P ในมูลสัตว์แต่ละชนิด (Cole, 1991)

| | น้ำหนักสด (กก./วัน) | N (% น้ำหนักสด) | P (% น้ำหนักสด) |
|---|---|---|---|
| โค | 41 | 0.5 | 0.87 |
| สุกร | 4.5 | 0.2 | 0.87 |
| สัตว์ปีก (ไก่) | 0.15 | 1.7 | 0.61 |

**เอนไซม์ไฟเตส (Phytase enzyme)**

ไฟเตส มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Myo–inositol hexaphosphate phosphohydrolase เป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่สามารถย่อยกรดไฟติกได้ โดยทำให้ P หลุดออกจากโมเลกุลของไฟเตททีละตัว จนในที่สุดได้เป็น inositol + Pi ที่ถูกย่อยสลายออกมาทั้งหมด 6 โมเลกุล ดังภาพที่ 5




**ภาพที่ 5** การทำงานของเอนไซม์ไฟเตส (Reddy *et al.*, 1989)

**ชนิดของเอนไซม์ไฟเตส** แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ

1. Intestinal phytase พบในน้ำย่อยของสัตว์ที่ขับออกมาจากลำไส้เล็ก
2. Microbial phytase จากจุลินทรีย์ที่อยู่ในทางเดินอาหารของสัตว์
3. Intrinsic phytase ที่มีในเมล็ดพืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เอนไซม์ไฟเตสที่พบมี 2 รูป คือ 3–phytase และ 6–phytase โดยจะเข้าสลายพันธะเอสเทอร์ของ P ที่คาร์บอน (C) ตำแหน่งที่ 3 และ 6 ตามลำดับ โดยปกติทั่วไปในพืชหลายชนิดมีเอนไซม์ไฟเตสตามธรรมชาติอยู่แล้ว ซึ่งจะพบได้มากน้อยแตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่าเอนไซม์นี้มีมากในข้าวไรน์ รองลงมาเป็นรำข้าวสาลี ข้าวสาลี และข้าวบาร์เลย์ตามลำดับ รำข้าวเจ้านับว่ามีค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับธัญพืชที่กล่าวข้างต้น ส่วนเมล็ดพืชอื่นๆ นั้นมีน้อยมาก

**ตารางที่ 11** ปริมาณเอนไซม์ไฟเตสที่มีในวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิด (Eeckhout and De Paepe , 1994)

| ชนิดวัตถุดิบ | Phytase activity (Unit/kg diet)[1/] | ชนิดวัตถุดิบ | Phytase activity (Unit/kg diet)[1/] |
|---|---|---|---|
| ข้าวไรน์ | 5130 | รำข้าวเจ้า | 122 |
| รำข้าวสาลี | 2957 | กากเรปซีด | 16 |
| ข้าวสาลี | 1193 | ข้าวโพด | 15 |
| ข้าวบาร์เลย์ | 582 | กากถั่วเหลือง | 8 |

[1/] 1 unit = ปริมาณ phytase ที่สามารถย่อย 0.0015 M Na–phytate ได้ในอัตรา 1 μmol/นาที ที่ pH 5.5 และ $37^0$ซ

อย่างไรก็ดีเอนไซม์ไฟเตสที่ได้จากพืชมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ เนื่องจากประสิทธิภาพในการทำงานของไฟเตสมีความผันแปรมาก โดยจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อายุ และการเก็บรักษาพืช เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำงานได้ในช่วง pH ที่แคบ (ตารางที่ 12)

**ตารางที่ 12** คุณสมบัติและสภาพที่เหมาะสมกับการทำงานของไฟเตสจากพืชและจุลินทรีย์ (Reddy *et al.*, 1989)

| ไฟเตสจากพืช | ไฟเตสจากจุลินทรีย์ |
|---|---|
| 6–phytase | 3–phytase |
| พบในธัญพืชต่างๆ | สร้างจากจุลินทรีย์ |
| เริ่มปลดปล่อย P จากตำแหน่งที่ 6 | เริ่มปลดปล่อย P จากตำแหน่งที่ 3 |
| ทำงานได้ในช่วง pH 4.5–6.5 | ทำงานได้ในช่วง pH 2–6.5 |

นอกจากเอนไซม์ไฟเตสที่มีในพืชแล้ว จุลินทรีย์บางชนิด เช่น *Aspergillus ficuum* และ *A. niger* สามารถสร้างเอนไซม์ไฟเตสได้เช่นกัน รวมทั้งยังสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กว่าไฟเตสจากพืชด้วย ปัจจุบันจึงมีการผลิตขึ้นในเชิงการค้า โดยใช้เทคนิค Recombinant DNA เข้าช่วยในการสังเคราะห์ เช่น Natuphos® ของบริษัท BASF เป็นต้น

**การเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารไก่เนื้อ**

**เมื่อลดระดับ P และ Ca**

Simons *et al.* (1990) ศึกษาผลของการเสริมไฟเตสต่อการใช้ประโยชน์ได้ของ P ในอาหาร พบว่า อาหารที่มี P รวม (total phosphorus, tP) ระดับต่ำ (0.45%) จะทำให้ไก่มีการเจริญเติบโตลดลง การเพิ่มระดับ tP เป็น 0.60 และ 0.75% ทำให้การเจริญเติบโตดีขึ้น แต่มีการขับ P ออกในมูลเพิ่มขึ้นด้วย แสดงว่า P มีการใช้ประโยชน์ได้ลดลง เมื่อเสริมไฟเตสในอาหารระดับ 375, 750, 1500 และ 2000 หน่วย/กก. ในอาหารที่มี tP ต่ำ จะทำให้ไก่มีอัตราการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์ได้ของ P ดีขึ้น รวมทั้งยังช่วยลดการขับออกของ P ได้ 20-60%

Qian *et al.* (1997) ให้อาหารที่มี Ca : tP 1.1-2.0 : 1ในแต่ละอัตราส่วนของ Ca : tP มีวิตามินดี (vitamin $D_3$) ระดับ 66 และ 660 ไมโครกรัม/กก. อาหาร เสริมด้วยไฟเตสระดับ 300-900 หน่วย/กก.อาหาร เทียบกับอาหารที่มีวิตามินดีระดับ 6,600 ไมโครกรัม/กก. ไม่เสริมไฟเตส ปรากฏว่า การเสริมไฟเตสมีผลให้น้ำหนักตัวเพิ่ม ปริมาณอาหารที่กิน ปริมาณเถ้าของกระดูก รวมทั้งการสะสมของ P และ Ca เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามระดับการเสริมไฟเตส ในขณะที่ระดับของวิตามินดี และอัตราส่วนของ Ca : P ให้ผลไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ดี การเสริมไฟเตส และวิตามินดี ในอาหารที่มี Ca : P ระหว่าง 1.1-1.4 : 1 จะช่วยปรับปรุงการใช้ประโยชน์ได้ของ P และ Ca ให้ดีขึ้น 5-12% เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่มีวิตามินดี 6,600 ไมโครกรัม/กก.

Yi *et al.* (1996) ศึกษาในไก่เนื้อช่วงอายุ 1-21 วัน โดยให้อาหารที่มี aP ระดับ 0.27-0.54% แต่ละระดับของ aP เสริมด้วยไฟเตสระดับ 350–1,050 หน่วย/กก. อาหาร ปรากฏว่า ไก่มีอัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กิน และเปอร์เซ็นต์เถ้าของกระดูกแข้งสูงขึ้นตามระดับการเพิ่มขึ้นของ aP ในอาหาร การเสริมไฟเตสที่ aP ระดับต่ำ (0.27%) มีผลทำให้การเพิ่มของน้ำหนักตัว ปริมาณอาหารที่กิน และเปอร์เซ็นต์กระดูกแข้งสูงกว่าการไม่เสริมอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าการเสริมไฟเตสทำให้มีการสะสม P เพิ่มขึ้น โดยลดการขับออกในมูล โดยเฉพาะเมื่อใช้เอนไซม์ที่ระดับ 700 หน่วย/กก. อาหาร การเพิ่มระดับ aP โดยไม่เสริมไฟเตส ทำให้การสะสม P ลดลง ในขณะที่มีการขับ P ออกเพิ่มขึ้น ส่วนการสะสม Ca มีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับ Qian *et al.* (1996) ที่เสริมไฟเตสในอาหารที่มี aP ระดับ 0.20, 0.27 และ 0.34% ในแต่ละระดับของ aP มีทั้งเสริมและไม่เสริมไฟเตส 800, 600 และ 400 หน่วย/กก. อาหาร (การทดลองที่ 1) ส่วนการทดลองที่ 2 ให้อาหารที่มี aP ระดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่ำ คือ 0.27% เสริมด้วยไฟเตสระดับ 350 หรือ 1,050 หน่วย/กก.อาหาร เทียบกับการให้ aP ระดับสูง คือ 0.45 และ 0.54% ทั้งไม่เสริมและเสริมด้วยไฟเตสระดับ 1,050 หน่วย/กก. ปรากฏว่า การเสริมไฟเตสในอาหารที่มี aP ระดับต่ำ (0.20-0.27 vs. 0.34 และ 0.27 vs. 0.45-0.54% ในการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ) มีผลทำให้ความยาวและปริมาณเถ้าของกระดูกแข้ง น้ำหนักตัวเพิ่ม และปริมาณอาหารที่กินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีผลต่ออัตราแลกน้ำหนัก

Schoner and Hoppe (1992) เสริมไฟเตสระดับ 500 หน่วย/กก. ในอาหารที่มีระดับ tP ลดลงจาก 0.65 เป็น 0.55% มีผลทำให้ไก่ใช้ประโยชน์ P ดีขึ้นจาก 47 เป็น 55–58% แต่เมื่อลดระดับ tP ลงเหลือ 0.50% ไก่มีน้ำหนักตัวลดลง ในขณะที่การใช้ประโยชน์ได้ของ P สูงขึ้น (62%) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ให้ tP ระดับสูง ส่วนการลดระดับ Ca จาก 0.9 เป็น 0.6% กลับไม่มีผลต่อน้ำหนักตัวและการใช้ประโยชน์ได้ของ Ca สอดคล้องกับ Camden *et al.* (2001) ที่ให้ไฟเตส 3 ระดับ (250, 500 และ 1,000 หน่วย/กก.) ในอาหารที่ลด aP จาก 0.4 เหลือ 0.3% และลด Ca จาก 0.9 เหลือ 0.8% ปรากฏว่า การเสริมไฟเตสระดับ 500 หน่วย/กก. สามารถปรับปรุงสมรรถภาพการผลิต ปริมาณเถ้ากระดูก และการย่อยได้ของ P, ของแป้ง และไขมันในอาหารที่มี aP และ Ca ระดับต่ำ (0.3 และ 0.8% ตามลำดับ) ดีขึ้นทัดเทียมกับอาหารที่มี aP และ Ca ระดับปกติได้ โดยพบว่า การแตกตัวของกรดไฟติกหรือไฟเตท (phytic acid or phytate) ในลำไส้เล็กเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า (0.481 vs. 0.218) เมื่อเสริมไฟเตส

Sebastian *et al.* (1996a) เสริมไฟเตสระดับ 600 หน่วย/กก. ในอาหารที่มีระดับ aP ลดลงจาก 0.46 เหลือ 0.33% มีผลทำให้น้ำหนักตัว ปริมาณอาหารที่กิน เปอร์เซนต์เถ้าของกระดูกแข้งและเปอร์เซนต์วัตถุแห้งของ P และ Ca ในกระดูกดีขึ้นเทียบเท่ากับกลุ่มที่มี aP ระดับปกติ (0.46%) รวมทั้งยังทำให้การสะสมของ P, Ca, Cu และ Zn ดีขึ้นเท่ากับ 12.5, 12.2, 19.3 และ 62.3% ตามลำดับ แต่ประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกัน ส่วน Sebastain *et al.* (1996b) ได้ทดลองเสริมไฟเตสระดับ 600 หน่วย/กก. ในอาหารที่มี Ca ระดับ 0.6, 1.0 และ 1.25% โดยให้ทุกสูตรมี aP ระดับต่ำ (0.30%) ปรากฏว่า การเสริมไฟเตสในอาหารที่มี Ca ระดับต่ำ (0.6%) ทำให้ปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวเพิ่ม ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และปริมาณเถ้าของกระดูกแข้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริมไฟเตสในทุกระดับของ Ca ทั้งนี้การเพิ่มระดับ Ca ในอาหารให้สูงขึ้น มีผลทำให้ปริมาณ Ca และ P ในพลาสมาลดลง แต่ถ้าเสริมไฟเตสค่าทั้งสองกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

Sohail and Roland (1999) ศึกษาในไก่เนื้ออายุ 4-7 สัปดาห์ โดยให้อาหารที่มี aP ระดับ 0.225 และ 0.325% ส่วน Ca ให้ระดับ 0.75% เท่ากัน แต่ละระดับของ aP เสริมด้วยไฟเตสระดับ 0, 300 และ 600 หน่วย/กก. อาหาร เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับ aP ระดับ 0.425% และ Ca 0.85% ปรากฏว่า ไก่ที่ได้รับอาหารมี aP ระดับต่ำสุด (0.225%) มีน้ำหนักตัว ปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพการใช้อาหารและความยาวกระดูกแข้งเลวลง แต่เมื่อเสริมด้วยไฟเตสจะทำให้น้ำหนักตัวเพิ่มดีขึ้น รวมทั้งยังทำให้สมรรถภาพการผลิตด้านอื่นๆ ดีกว่าการเสริมไฟเตสในอาหารที่มี aP ระดับสูงกว่า (0.325%) ซึ่งจะเห็นได้ว่า การเสริมไฟเตสให้ผลตอบสนองต่ออาหารที่มี aP และ Ca ระดับต่ำดีกว่าเมื่อเสริมในอาหารที่มีโภชนะทั้งสองระดับสูง เช่นเดียวกับกับ Namkung and Leeson (1999) ที่เสริมไฟเตสระดับ 1,149 หน่วย/กก. ในอาหารที่ลดระดับ Ca จาก 0.9 เป็น 0.79% และลด aP จาก 0.45 เป็น 0.35% มีผลทำให้น้ำหนักตัวเพิ่ม ปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการใช้อาหารดีเท่ากับกลุ่มที่ให้ Ca และ aP ระดับปกติ (0.9 และ 0.45% ตามลำดับ) การย่อยได้ของกรดอะมิโนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการไม่เสริมไฟเตส ส่วนการย่อยได้ของ N ดีขึ้นเพียง 2% ซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

Ravindran *et al.* (2000) ให้อาหารที่มี phytate 0.29, 0.37 และ 0.44% โดยในแต่ละระดับของ phytate มี aP 0.23 และ 0.45% เสริมไฟเตสระดับ 0, 400 และ 800 หน่วย/กก. ในอาหารที่ใช้ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง และกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลัก ปรากฏว่า การเสริมไฟเตสระดับ 400 หน่วย/กก. ในอาหารที่มี phytate ระดับสูง และ aP ระดับต่ำ ทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของพลังงาน (ME) การย่อยได้ของ P, N และกรดอะมิโนที่จำเป็น รวมทั้งการสะสมของ N ในร่างกาย ดีกว่าอาหารที่มี phytate ระดับต่ำ และ aP ระดับปกติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการสะสมของ P ในร่างกายพบว่า การเสริมไฟเตสในแต่ละระดับของ phytate ให้ผลไม่ต่างกัน แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อให้ aP ระดับต่ำ ส่วนกรณีการศึกษาของ Yan *et al.* (2000) ได้เปรียบเทียบชนิดของข้าวโพดสายพันธุ์ที่มี aP สูงกับสายพันธุ์การค้าทั่วไป โดยลดระดับ aP ในอาหารลง 0.075 และ 0.15% จากระดับที่ NRC (1994) แนะนำ แล้วเสริมด้วยไฟเตส 1,000 หน่วย/กก.อาหาร ปรากฏว่า การเสริมไฟเตสในอาหารที่ใช้ข้าวโพดสายพันธุ์ที่มี aP สูง และลด aP ลง 0.075% มีผลทำให้น้ำหนักตัว ประสิทธิภาพการใช้อาหาร อัตราการตาย และเถ้ากระดูกแข้งดีขึ้นทัดเทียมกับการใช้ข้าวโพดสายพันธุ์การค้า นอกจากนี้ยังช่วยลดการขับออกของ P ในมูลได้ถึง 58.2% อีกด้วย ซึ่งต่อมา Yan *et al.* (2001) ได้ศึกษาความต้องการของ P ในไก่เนื้อช่วงอายุ 3-6 สัปดาห์ โดยให้อาหารที่มี aP ระดับ 0.1-0.45% ทั้งไม่เสริมและเสริมไฟเตสระดับ 800 หน่วย/กก. อาหาร ปรากฏว่า ระดับของ aP ที่เหมาะสมต่อปริมาณเถ้ากระดูกแข้ง น้ำหนักตัวเพิ่ม และประสิทธิภาพการใช้อาหารมีค่าเท่ากับ 0.33, 0.19 และ 0.16% ตามลำดับ แต่เมื่อเสริมไฟเตสจะสามารถลดระดับ aP ลงเหลือ 0.24, 0.15 และ 0.11% ตามลำดับได้

Liburn and Nixon (2001) ศึกษาในไก่เนื้อพ่อแม่พันธุ์ช่วงอายุ 36-48 สัปดาห์ โดยให้อาหารที่มี aP ระดับ 0.12, 0.22 และ 0.32% ทั้งไม่เสริมและเสริมไฟเตส 300 หน่วย/กก. อาหาร ปรากฏว่า น้ำหนักเปลือกไข่เพิ่มขึ้นตามระดับของ aP ในสูตรอาหาร และการเสริมไฟเตสในอาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่มี aP ระดับต่ำ (0.12 และ 0.22%) จะทำให้ให้น้ำหนักเปลือกไข่ดีขึ้นทัดเทียมกับกลุ่มที่มี aP ระดับปกติ (0.32%)

**เมื่อลดระดับโปรตีน (CP)**

บุญล้อมและสุชน (2540ก) ได้เสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารที่ลด CP ลง 1.5% จากระดับปกติในช่วงไก่อายุ 4-7 สัปดาห์ รวมทั้งลดระดับ aP ลงเหลือครึ่งหนึ่งของกลุ่มควบคุมซึ่งไม่ใช้ DCP ในแต่ละระดับของ aP และ CP มีการเสริมไฟเตสระดับ 600 หน่วย/กก.อาหาร เปรียบเทียบกับพวกไม่เสริม ยกเว้นกลุ่มที่ให้ aP และ CP ระดับปกติ จะไม่เสริมไฟเตส ปรากฏว่า พวกที่ได้รับ aP ระดับต่ำโดยไม่เสริมไฟเตส มีการเจริญเติบโตด้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับ aP ปกติอย่างมีนัยสำคัญ (1.94-1.96 เทียบกับ 2.04-2.06 กก.) รวมทั้งยังมีแนวโน้มกินอาหารได้น้อยและมีอัตราแลกน้ำหนักเลวกว่ากลุ่มอื่น การเสริมไฟเตสช่วยทำให้ไก่มีน้ำหนักตัวเพิ่มและกินอาหารได้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกที่ได้รับ aP ระดับต่ำ มีการเพิ่มน้ำหนักตัวดีขึ้นจนทัดเทียมกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้เมื่อนำข้อมูลจากปัจจัยต่างๆ มาพิจารณาโดยไม่รวมข้อมูลจากกลุ่มควบคุม พบว่า การเสริมไฟเตสเห็นผลได้ชัดเจนในพวกที่ได้รับ aP ระดับต่ำมากกว่าพวกได้รับ aP ปกติเมื่ออาหารมี CP ในระดับปกติเหมือนกัน

Ravindran *et al.* (2001) เสริมไฟเตสระดับ 125-1,000 หน่วย/กก. ในอาหารที่ลดระดับไลซีน (Lys) จาก 1.18 เหลือ 1.00% ในไก่เนื้อช่วงอายุ 7-28 วัน ปรากฏว่า การเพิ่มระดับ Lys มีผลทำให้น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ทั้งยังทำให้อัตราแลกน้ำหนักดีขึ้น การเสริมไฟเตสที่ระดับ 500 หน่วย/กก. อาหาร มีผลทำให้น้ำหนักตัว อัตราแลกน้ำหนัก การย่อยได้ของ N ของกรดอะมิโน และของ ME ดีขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับ Lys ระดับสูง สอดคล้องกับ Zhang *et al.* (1999) ที่ศึกษาในไก่เนื้อเพศผู้โดยให้อาหารที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นทุกตัวระดับ 100, 92.5 และ 85% ของ NRC (1994) โดยในแต่ละระดับของกรดอะมิโนดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มที่ไม่ลดกรดอะมิโนไลซีน (Lys), เมทไธโอนีน (Met) และ ME, 2) กลุ่มที่ลด Lys, Met และ ME จากกลุ่มที่ 1 ลง 2, 1 และ 0.5% ตามลำดับ และ 3) กลุ่มที่ 2 เสริมด้วยไฟเตส ระดับ 600 หน่วย/กก. อาหาร ซึ่งเมื่อเสริมไฟเตสทำให้คุณค่าทางโภชนะเท่ากับกลุ่มที่ 1 (กลุ่มควบคุม) ปรากฏว่า การเสริมไฟเตสมีผลทำให้น้ำหนักตัวเพิ่ม ปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่ต่างจากกลุ่มควบคุมที่มีโภชนะระดับปกติ ส่วนค่าการย่อยได้ของโปรตีนและกรดอะมิโนไม่แตกต่างกันในทุกกลุ่ม แสดงให้เห็นว่าการเสริมไฟเตสสามารถทดแทนโภชนะ (Lys, Met และ ME) บางส่วนที่ลดลงได้ โดยไม่มีผลเสียต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมรรถภาพการผลิตและการย่อยได้ ต่อมา Zhang *et al.* (2000) ได้ใช้ Phytaseed®1/ เปรียบเทียบกับ Natuphos®2/ ในอาหารไก่เนื้อที่มี tP 0.46%, aP 0.21% และ Ca 0.92% โดยเสริมในระดับที่เทียบเป็นไฟเตสเท่ากับ 250, 500 และ 2500 หน่วย/กก. อาหาร ปรากฏว่า ไฟเตสจากทั้งสองแหล่งทำให้สมรรถภาพการผลิตดีขึ้นใกล้เคียงกัน และยังช่วยลดการขับออกของ P ลงตามระดับของไฟเตสที่เพิ่มขึ้นได้เหมือนกันด้วย

Jacob *et al.* (2000) ศึกษาการเสริมไฟเตสระดับ 600 และ/หรือ pentosanase 825 หน่วย/กก.ในอาหารที่ใช้ข้าวสาลีและกากถั่วเหลือง โดยลด CP จาก 23.0 เหลือ 21.0% และ 21.0 เหลือ 17.5% ในช่วงไก่อายุ 1-21วัน และ 22-42 วัน ตามลำดับ ปรากฏว่า การเสริมไฟเตส และ/หรือการเสริม pentosanase ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิต (น้ำหนักตัว ปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการใช้อาหาร) แต่ถ้าเสริมในอาหารที่ลด CP จะทำให้ปริมาณเถ้าของกระดูกแข้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ดีการเสริมไฟเตสเพียงอย่างเดียว หรือการเสริมทั้งไฟเตสและ pentosanase มีผลทำให้ปริมาณ P ในเถ้า และปริมาณ P ที่ขับออกต่อวันลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการไม่เสริม นอกจากนี้การเสริมเอนไซม์ทั้งสองชนิดยังทำให้การสะสมของโภชนะรวมของ N และ P ในอาหารที่ลด CP เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญอีกด้วย

**การเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารไก่ไข่**

**เมื่อลดระดับ P และ Ca**

รุ่งนภาและคณะ (2540) ศึกษาโดยลดระดับ aP ลงประมาณ 50% กล่าวคือ ลดจาก 0.42 เหลือ 0.22% โดยไม่ใช้ DCP ในสูตรอาหารทั้งที่ไม่ใช้และใช้กากทานตะวันแทนที่กากถั่วเหลืองครึ่งหนึ่ง แล้วเสริมด้วยไฟเตส 3 ระดับ คือ 100, 200 และ 300 หน่วย/กก.อาหาร ปรากฏว่า การเสริมไฟเตสในระดับ 300 หน่วย/กก. ในอาหารที่มี aP ระดับต่ำ ให้ผลผลิตไข่และประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้นจนทัดเทียมกับกลุ่มที่ได้รับ aP ระดับสูง แต่ผลด้านคุณภาพไข่ไม่แตกต่างกัน

Van der Klis *et al.* (1997) ศึกษาผลการเสริมไฟเตสในอาหารที่มี tP ระดับต่ำ (0.33%) โดยเสริมไฟเตส 100-300 หน่วย/กก.อาหารเทียบกับอาหารปกติที่มี tP ระดับสูง (0.42%) ปรากฏว่า สมรรถภาพการผลิตด้อยลงเมื่อให้อาหารที่มี tP ระดับต่ำ แต่เมื่อเสริมไฟเตสสมรรถภาพการผลิตจะดีขึ้นจนทัดเทียมกับกลุ่มที่ได้รับ tP ระดับสูง ส่วนประสิทธิภาพการใช้อาหารให้ผลไม่ต่างกัน การเสริมที่ระดับ 200 หน่วย/กก.อาหาร ให้ผลด้านสมรรถภาพการผลิตดีกว่ากลุ่มอื่นๆ

---

1/ผลิตโดยการตัดต่อยีน A. *ficuum* ไปใส่ในยีนของเมล็ดคาโนล่า ส่วน 2/ผลิตโดยการตัดต่อยีนจาก A. *ficuum* ไปใส่ใน A. *niger* ซึ่งเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท BASF

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Gordon and Roland (1997) ศึกษาผลการเสริมไฟเตสในอาหารที่มี aP 5 ระดับ (0.1-0.5%) ในแต่ละระดับของ aP มีทั้งเสริมและไม่เสริมไฟเตส 300 หน่วย/กก. อาหาร ปรากฏว่า การเสริมไฟเตสในอาหารที่มี aP ระดับต่ำสุด (0.1%) มีผลทำให้ปริมาณอาหารที่กิน ผลผลิตไข่ และน้ำหนักไข่ดีกว่ากลุ่มที่ให้ aP ระดับเดียวกันแต่ไม่เสริมไฟเตสอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ให้ผลไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับ aP ระดับสูงขึ้น (0.2-0.5%) ไม่ว่าจะเสริมหรือไม่เสริมไฟเตส ต่อมา Gordon and Roland (1998) ให้อาหารที่มี Ca ระดับ 2.5, 2.8 และ 3.1% แต่ละระดับของ Ca มี aP ระดับ 0.1 และ 0.3% เมื่อเสริมไฟเตส (300 หน่วย/กก. อาหาร) ในอาหารที่มี Ca และ aP ระดับต่ำ จะทำให้ปริมาณอาหารที่กินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนเกือบเท่ากับเมื่อให้อาหารที่มี Ca และ P ระดับปกติ ส่วนผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ น้ำหนักตัวและปริมาณแร่ธาตุในกระดูกมีแนวโน้มดีขึ้นเมื่อเสริมที่ aP ระดับต่ำของทุกระดับ Ca ในขณะที่ค่าความถ่วงจำเพาะและน้ำหนักเปลือกไข่เพิ่มขึ้นเมื่อเสริมในอาหารที่มี 0.1% aP และ 3.1% Ca ซึ่งสอดคล้องกับ Scott *et al.* (1999) เมื่อให้อาหารที่มี aP ระดับ 0.2 และ 0.4% ในแต่ละระดับมี Ca 3.7 และ 4.0% แล้วเสริมด้วยไฟเตสระดับ 250 และ 500 หน่วย/กก. อาหาร ในไก่ไข่ช่วงอายุ 18-67 สัปดาห์ ปรากฏว่า เมื่อลดระดับ aP มีผลทำให้ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ น้ำหนักตัวเพิ่ม และคุณภาพของเปลือกไข่ด้อยลง แต่เมื่อเสริมไฟเตสระดับ 250 หน่วย/กก. ในอาหารที่มี aP และ Ca ระดับต่ำ ทำให้สมรรถภาพการผลิตดีขึ้นทัดเทียมกับกลุ่มที่มี aP และ Ca ระดับปกติ ส่วนการเสริมในระดับสูง (500 หน่วย/กก. อาหาร) ให้ผลไม่ต่างกัน สำหรับการลดระดับ Ca นั้นพบว่า ไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิต

Um and Paik (1999) ใช้ P ในรูปของไตรแคลเซียมฟอสเฟตระดับ 0, 0.7 และ 1.4% เพื่อปรับให้สูตรอาหารมี aP ระดับ 0.12, 0.24 และ 0.37% แล้วเสริมด้วยไฟเตส 500 หน่วย/กก.ในทุกระดับของ aP ปรากฏว่า การเสริมไฟเตสในอาหาร aP ต่ำ (0.12%) ทำให้ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ และปริมาณอาหารที่กินดีขึ้นจนทัดเทียมกับกลุ่มควบคุม และยังส่งผลให้การขับออกของ P ในมูลลดลง 59% ส่วนอัตราแลกน้ำหนัก อัตราการตาย และการขับออกของ N และ Ca ให้ผลไม่ต่างกัน สำหรับ Um *et al.* (1999) ให้อาหารที่มี aP เท่ากับ 0.11, 0.16 และ 0.21% ทั้งไม่เสริมและเสริมไฟเตสระดับ 250 หน่วย/กก. อาหาร เทียบกับอาหารที่มี aP ระดับสูง (0.26%) โดยไม่เสริมไฟเตสในไก่ไข่ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ปรากฏว่า การเสริมไฟเตสในอาหารที่มี aP ระดับ 0.16% ให้ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ และประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การเสริมในอาหารที่มี aP 0.11% ผลผลิตไข่ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการตายมีแนวโน้มเลวลงเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นที่ให้ aP ระดับสูงกว่า ส่วนการสะสมของ Ca, P, Mg, Zn และ Cu พบว่า เพิ่มขึ้นเมื่อเสริมในอาหาร aP ระดับต่ำ (0.11-0.16%) แต่ค่าความถ่วงจำเพาะ ความแข็งเปลือกไข่ ความหนาเปลือกไข่ การขับออกของ N ในมูล และปริมาณเถ้าของกระดูกแข้งให้ผลไม่ต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Carlos and Edwards (1998) ศึกษาผลการเสริมไฟเตสที่ระดับ 600 หน่วย/กก. ในอาหารไก่ไข่สาว (อายุ 24 สัปดาห์) ที่มี Ca และ tP ระดับ 3.0 และ 0.33% เปรียบเทียบกับไก่ไข่อายุ 56 สัปดาห์ ผลปรากฏว่า การเสริมไฟเตสทำให้น้ำหนักตัวเพิ่ม ปริมาณ P ในพลาสมา ปริมาณเถ้าของกระดูกแข้ง และการสะสมของ P ในไก่ไข่ทั้ง 2 ช่วงอายุเพิ่มขึ้นจากกลุ่มไม่เสริมอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนน้ำหนัก และความถ่วงจำเพาะของไข่ไม่พบความแตกต่าง

Korin *et al.* (1999) ได้ทดสอบการใช้ประโยชน์ได้ของ P ในวัตถุดิบแต่ละชนิด ได้แก่ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำละเอียด ซึ่งมี phytate ปริมาณ 0.13, 0.14 และ 0.91%, ส่วน aP เท่ากับ 0.05, 0.13 และ 0.22% ตามลำดับ ในไก่ไข่ช่วงให้ไข่สูงสุด ทั้งไม่เสริมและเสริมไฟเตสระดับ 300 หน่วย/กก. อาหาร ปรากฏว่า การเสริมไฟเตสทำให้การสลายตัวของ IP 6 และการสะสมของ P ในร่างกายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการไม่เสริมเอนไซม์ (IP 6 = 29.0, 36.7 และ 14.8% และ P = 16.1, 16.6 และ 7.1% ในข้าวโพด กากถั่วเหลือง และรำละเอียด ตามลำดับ) ส่วนปริมาณอาหารที่กินให้ผลไม่ต่างกัน

Keshavarz (2000b) ให้อาหารที่มี aP 3 ระดับ (0.15-0.40%) แก่ลูกไก่ไข่ระยะ 0-6 สัปดาห์ แล้วลดลงจากเดิม 0.05 หรือ 0.10% ในช่วงอายุ 6-12 และ 12-18 สัปดาห์ ตามลำดับ ส่วน Keshavarz (2000a) ให้อาหารที่มี aP 6 ระดับ (0.15-0.40%) แก่ไก่ไข่ช่วงอายุ 30-42 สัปดาห์ แล้วลดลงจากเดิม 0.05 หรือ 0.10% ในช่วงอายุ 42-54 และ 54-66 สัปดาห์ ตามลำดับ ปรากฏว่า การเสริมไฟเตส 300 หน่วย/กก. อาหารในช่วงแรกของการทดลองทั้งในไก่ไข่และลูกไก่ถึงไก่สาว ไม่มีผลต่อน้ำหนักตัวเพิ่ม แต่จะให้ผลดีขึ้นในช่วงกลางและท้ายของการทดลองเมื่อให้อาหารที่มี aP ระดับต่ำ รวมทั้งยังส่งผลให้การขับออกของ P ในมูลมีแนวโน้มลดลงด้วย ส่วนผลของปริมาณอาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร น้ำหนักกระดูกแข้ง และน้ำหนักเถ้าของกระดูกแข้ง ให้ผลไม่ต่างกัน แสดงให้เห็นว่า การเสริมไฟเตสในอาหารที่ลดระดับ aP ให้ต่ำกว่าปกติ จะให้ผลด้านสมรรถภาพการผลิตดีทัดเทียมกับเมื่อให้ aP ระดับปกติ สอดคล้องกับ Kamberi *et al.* (2001) ที่ให้อาหารมี aP ระดับ 0.12 และ 0.42% ทั้งไม่เสริมและเสริมไฟเตสระดับ 600 หน่วย/กก. อาหารในไก่ไข่ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ และ Scheideler *et al.* (2001) เมื่อศึกษาในไก่ไข่ช่วงอายุ 18-35 สัปดาห์ โดยให้ aP 4 ระดับ จาก 0.1-0.45% แล้วเสริมด้วยไฟเตส 4 ระดับ คือ 0, 350, 450 และ 550 หน่วย/กก. อาหาร ปรากฏว่า ปริมาณอาหารที่กิน ผลผลิตไข่ และเถ้าของกระดูกแข้งด้อยลงเมื่อให้อาหารที่มี aP ระดับต่ำ (0.1-0.3%) แต่เมื่อเสริมด้วยไฟเตสจะให้ผลผลิตไข่ ปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักไข่ และน้ำหนักเปลือกไข่ดีทัดเทียมกับกลุ่มที่มี aP ระดับปกติ รวมทั้งยังทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของ P ในอาหารที่มี aP ระดับต่ำ (0.12%) ดีขึ้น 8% เมื่อเทียบกับอาหารที่มี aP ระดับปกติ (0.42%)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Boling *et al.* (2000a) ให้อาหารที่มี aP 5 ระดับ จาก 0.1-0.45% ในช่วงไก่อายุ 20–70 สัปดาห์ และ 2 ระดับ คือ 0.1 และ 0.45% ในช่วงไก่อายุ 70–76 สัปดาห์ โดยที่ aP ระดับต่ำ (0.1-0.2%) เสริมด้วยไฟเตส 300 หน่วย/กก. ส่วน Boling *et al.* (2000b) ให้อาหารที่มี aP, Ca และ CP เท่ากับ 0.1, 3.8 และ 17% ตามลำดับ แก่ไก่ไข่ช่วงอายุ 20–60 สัปดาห์ เสริมด้วยไฟเตส 5 ระดับ (0-300 หน่วย/กก. อาหาร) เทียบกับกลุ่มที่มี aP และ Ca ระดับสูง (0.15 และ 0.45%) ผลจากทั้งสองรายงานปรากฏว่า การให้อาหาร aP ระดับต่ำ (0.1%) เมื่อไม่เสริมไฟเตสแก่ไก่ตั้งแต่อายุ 28 สัปดาห์ขึ้นไปให้ผลผลิตไข่และน้ำหนักตัวต่ำกว่ากลุ่มที่มี aP ระดับสูงทั้งที่เสริมและไม่เสริมไฟเตสอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเสริมด้วยไฟเตสมีผลทำให้สมรรถภาพการผลิตดีขึ้นจนทัดเทียมกับกลุ่มที่มี aP ระดับสูง นอกจากนี้ยังมีรายงานของ Rao *et al.* (1999a) ที่เสริมไฟเตสระดับ 250 หน่วย/กก. ในอาหารที่มี aP ระดับ 0.2, 0.15 และ 0.1% และ Punna and Roland (1999) เมื่อให้อาหารที่มี aP 4 ระดับ (0.1-0.4%) ทั้งไม่เสริมและเสริมไฟเตส 300 หน่วย/กก.อาหาร ปรากฏว่า การเสริมไฟเตสในอาหารที่มี aP ระดับต่ำ (0.1-0.2%) มีผลทำให้ปริมาณอาหารที่กิน ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ และคุณภาพเปลือกไข่ดีขึ้นทัดเทียมกับกลุ่มควบคุมที่มี aP ระดับสูง (0.3-0.4%) ทั้งนี้การเสริมเอนไซม์ในอาหารที่มี aP ระดับสูงไม่ช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตให้ดีขึ้น

Kim *et al.* (2001) ศึกษาผลการเสริมไฟเตสในอาหารไก่ไข่ที่มี aP 4 ระดับ จาก 0.11-0.38% ในแต่ละระดับของ aP เสริมไฟเตสระดับ 0, 300, 500 และ 1,000 หน่วย/กก. อาหาร ปรากฏว่า การเสริมไฟเตสในทุกระดับของ aP ทำให้ผลผลิตไข่ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ค่าการย่อยได้ของโภชนะในอาหาร ความหนาเปลือกไข่ เถ้าของกระดูกแข้ง ปริมาณ P และ Ca ของกระดูกแข้งดีกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่น้ำหนักไข่ให้ผลไม่แตกต่างกันในทุกกลุ่ม อย่างไรก็ดีผลการเสริมไฟเตสระดับ 300 หน่วย/กก. ในอาหารที่มี aP ระดับต่ำ (0.11%) จะให้ผลทางด้านสมรรถภาพการผลิต ค่าการย่อยได้ของโภชนะ ปริมาณ P และ Ca ของกระดูกแข้งดีที่สุด

จากหลายๆ รายงานที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่า การเสริมไฟเตสในอาหารที่มีการลดระดับ aP และ/หรือ Ca ต่ำกว่าปกติ สามารถช่วยปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตให้ดีทัดเทียมกับกลุ่มที่ให้ aP และ/หรือ Ca ระดับปกติได้ แต่ถ้าเสริมในอาหารปกติที่มี aP และ Ca ระดับสูง การเสริมไฟเตสกลับเห็นผลไม่ชัดเจน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**เมื่อลดระดับ CP**

รุ่งนภา (2544) ศึกษาในไก่ไข่ช่วงอายุ 28-52 สัปดาห์ โดยให้อาหารที่มี CP 2 ระดับ คือ ระดับปกติ (16%) และระดับต่ำ (14.5%) ในแต่ละระดับ CP กำหนดให้มี aP 3 ระดับ คือ 100, 60 และ 50% ของ NRC (1994) หรือเทียบเท่ากับ 0.35, 0.21 และ 0.18% รวมทั้งไม่เสริมและเสริม

ไฟเตสระดับ 300 หน่วย/กก. ปรากฏว่า การลดระดับ aP ไม่มีผลเสียต่อผลผลิตไข่ ปริมาณอาหารที่กิน และอาหารที่ใช้ต่อการผลิตไข่ 1 กก. แต่มีแนวโน้มทำให้น้ำหนักตัวเพิ่มของไก่ลดลง ส่วนการลดระดับ CP เมื่อเฉลี่ยจากทุกระดับของ aP และเสริมหรือไม่เสริมไฟเตสนั้น มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตไข่ ปริมาณอาหารที่กิน และน้ำหนักตัวเพิ่มลดลง รวมทั้งมีแนวโน้มว่าไก่ใช้อาหารในการผลิตไข่ 1 กก. เปลืองขึ้น ในส่วนของคุณภาพไข่ พบว่า การลดระดับ CP ทำให้น้ำหนักไข่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับ Jacob *et al.* (2000) ที่ให้อาหารไก่ไข่ซึ่งมี CP ระดับ 17 และ 13.5% แล้วเสริมด้วยไฟเตสและ/หรือ β-glucanase ปรากฏว่า การไม่เสริมหรือเสริมไฟเตสในอาหารที่มี CP ระดับต่ำ (13.5%) ทำให้ผลผลิตไข่ น้ำหนักตัวเพิ่ม และน้ำหนักไข่ลดลง รวมทั้งอาหารที่ใช้ในการผลิตไข่ 1 โหลเพิ่มขึ้น ส่วนผลต่อคุณภาพไข่ด้านอื่นๆ ไม่แตกต่าง แต่ถ้าเสริมทั้งไฟเตส และ β-glucanase ในอาหารที่มีการลดระดับ CP ดังกล่าวจะให้ผลดีขึ้นจนทัดเทียมกับกลุ่มควบคุม

Reed *et al.* (2001) ให้อาหารที่มี aP 0.25 และ 0.42% ในไก่ไข่ช่วงอายุ 21-36 สัปดาห์ โดยในแต่ละระดับ aP มี CP 14.9 และ 16.5% เสริมด้วยไฟเตส 300 หน่วย/กก. ปรากฏว่า การเสริมไฟเตสในอาหารที่มี aP และ CP ระดับต่ำ ให้ผลด้านสมรรถภาพการผลิตดีทัดเทียมกับกลุ่มที่ให้ aP และ CP ระดับปกติ รวมทั้งยังทำให้การขับออกของ P และ CP ในมูลลดลงอีกด้วย

**การเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารสุกร**

**เมื่อลดระดับ P และ Ca**

Young *et al.* (1993) ศึกษาในสุกรพันธุ์ Yorkshire อายุ 5 สัปดาห์ น้ำหนักเฉลี่ย 10.2 กก. โดยให้อาหารที่มี tP ลดลงจาก 0.75 เหลือ 0.55% เสริมด้วยไฟเตส 500 และ 1,000 หน่วย/กก. อาหาร เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ปรากฏว่า เมื่อลดระดับ tP มีผลทำให้การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร การย่อยได้ของ P และ Ca น้ำหนักกระดูก และเปอร์เซนต์เถ้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเสริมไฟเตสกลับทำให้ดีขึ้นทัดเทียมกับกลุ่มควบคุม รวมทั้งยังลดการขับออกของ P ในมูลอีกด้วย สอดคล้องกับ Cromwell *et al.* (1993) เมื่อเสริมไฟเตสในอาหารสุกรพันธุ์ Yorkshire ที่น้ำหนักตัวเฉลี่ย 26.4 กก. โดยให้อาหารที่มี tP ระดับ 0.3-0.5% ในช่วงรุ่น ส่วนระยะขุนให้ tP ระดับ 0.3 และ 0.4% ทั้งไม่เสริมและเสริมไฟเตสระดับ 500 หน่วย/กก. อาหาร ผลปรากฏว่า ระดับ P ที่เพียงพอกับความต้องการสุกรรุ่นและขุนเท่ากับ 0.5 และ 0.4% ตามลำดับ การเสริมไฟเตสในอาหารที่มี tP ระดับต่ำ (0.3-0.4%) ทั้งในช่วงรุ่นและขุน มีแนวโน้มทำให้น้ำหนักตัวต่อวัน ปริมาณอาหารที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กิน และประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น รวมทั้งทำให้กระดูกส่วน metatarsal และ metacarpal ซึ่งอยู่บริเวณส่วนขาหน้าและขาหลังแข็งแรงขึ้น

Lei *et al.* (1993) ศึกษาในสุกรระยะหลังหย่านมอายุ 4 สัปดาห์ สายพันธุ์ Landrace × Yorkshire × Hamshire ซึ่งมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 8.8 กก. โดยให้อาหารที่มี aP 0.31% ส่วน Ca 0.68% ทั้งไม่เสริมและเสริมไฟเตสระดับ 750 หน่วย/กก. อาหาร ในขณะที่ Beer and Jongbloed (1992) เสริมไฟเตสระดับ 1,450 หน่วย/กก. ในอาหารที่มีโภชนะเพียงพอตามความต้องการของสุกรอายุ 4 สัปดาห์ หรือที่น้ำหนักตัวเฉลี่ย 11.2 กก. สายพันธุ์ Yorkshire × Danish Landrace × Dutch Landrace ปรากฏว่า การเสริมไฟเตสทำให้น้ำหนักสุดท้าย การเจริญเติบโตต่อวัน ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน ประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งยังทำให้การย่อยได้ของ P การดูดซึม และการสะสม P ในร่างกายเพิ่มขึ้นประมาณ 50% โดยมีปริมาณ P ที่ขับออกมากับมูลลดลง 42% เมื่อเทียบกับกลุ่มไม่เสริมเอนไซม์

Bruce and Sundstol (1995) ศึกษาการย่อยได้ของโภชนะในสุกรพันธุ์ Norweigan Landrace น้ำหนักตัวเฉลี่ย 40 กก. โดยให้อาหารที่มีระดับ tP ลดลงจาก 0.69 เหลือ 0.44 และ 0.54% ทั้งไม่เสริมและเสริมไฟเตสระดับ 750 และ 375 หน่วย/กก. อาหาร ปรากฏว่า การเสริมไฟเตสที่ระดับ 750 หน่วย/กก. อาหาร ทำให้การย่อยได้ที่ลำไส้เล็กของ P, Ca, Mg, DM และ CP รวมทั้งการย่อยได้ตลอดทางเดินอาหารของ P เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการย่อยได้ตลอดทางเดินอาหารของ Ca, Mg, DM และ CP พบเพียงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้การขับออกของ P และ Ca ในมูลลดลง จึงทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของ P เพิ่มขึ้นถึง 18%

**เมื่อลดระดับ CP**

Traylor *et al.* (2001) ศึกษาในสุกรรุ่นพันธุ์ Hamshire × Yorkshire× Landrace ที่น้ำหนัก 25 กก. โดยให้อาหารที่มีระดับ CP ลดลงจาก 17.0 เหลือ 14.6% แล้วเสริมด้วยไฟเตสระดับ 0, 500, 1,000 และ 1,500 หน่วย/กก. ปรากฏว่า ค่าการย่อยได้ทั้งแบบปรากฏและแท้จริงของ P และค่าการย่อยได้แบบแท้จริงของ Ca เพิ่มขึ้นตามระดับของไฟเตสที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าการย่อยได้แบบปรากฏของ Ca ให้ผลไม่ต่างกัน การเสริมไฟเตสที่ระดับ 500 หน่วย/กก. อาหาร ทำให้ค่าการย่อยได้ทั้งแบบปรากฏและแท้จริงของ CP และกรดอะมิโนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และเมื่อเสริมที่ระดับสูงกว่านี้ก็ให้ผลไม่ต่างกัน ส่วนกรณีของ Zhang *et al.* (1999) ซึ่งศึกษาในสุกรขุนน้ำหนักตัว 69-109 กก. โดยให้อาหารที่มี CP ระดับ 10-14% แล้วเสริมด้วยไฟเตสระดับ 250-500 หน่วย/กก. ในอาหารที่มี CP ระดับต่ำ (10%) ปรากฏว่า น้ำหนักตัวเพิ่ม การย่อยได้ของ N และของกรดอะมิโนทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับ CP และไฟเตส ส่วนการย่อยได้ของ P และ Ca ให้ผลดีขึ้นเฉพาะเมื่อเสริมที่ระดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

500 หน่วย/กก. อาหาร นอกจากนี้การเสริมไฟเตสยังช่วยลดการขับออกของ N ในมูลถึง 5.1% สอดคล้องกับ Radcliffe *et al.* (1999) ที่เสริมไฟเตสระดับ 250-500 หน่วย/กก. ในอาหารที่มี CP ระดับ 10% ทำให้ค่าการย่อยได้ปรากฏของ Ca, P, CP และกรดอะมิโนทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการไม่เสริม

จากรายงานต่างๆ ที่กล่าวถึงผลดีของการเสริมไฟเตสในอาหารสัตว์ต่อสมรรถภาพการผลิตและการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในอาหาร จึงมีผู้รวบรวมข้อมูลดังกล่าวเพื่อคำนวณเป็นค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ของไฟเตส (matrix value) ขึ้นมา (ตารางที่ 13) ซึ่งค่าที่ได้นี้ประเมินจากเมื่อเสริมไฟเตสในอาหารแล้ว มีผลทำให้โภชนะในอาหารถูกย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น สามารถนำไปทดแทนปริมาณโภชนะในอาหารสัตว์บางส่วนได้ เพื่อให้ค่าใช้จ่ายถูกลง จนสามารถชดเชยกับค่าเอนไซม์ที่ต้องจ่ายเพิ่มขึ้น รวมทั้งยังมีผลทำให้ปริมาณโภชนะที่สัตว์ใช้ไม่ได้หรือใส่มากเกินไป ถูกขับออกมากับมูลลดลงด้วย นับว่ามีผลดีต่อสภาวะแวดล้อมอีกทางหนึ่ง โดยเมื่อเร็วๆ นี้ ปณิธาวีร์ (2546) ได้นำค่า matrix value ดังกล่าว ไปทดสอบในอาหารไก่เนื้อที่ลดโภชนะบางส่วนลง ทั้งไม่เสริมและเสริมเอนไซม์ไฟเตสระดับ 500 หน่วย/กก. อาหาร ซึ่งเมื่อเสริมเอนไซม์แล้ว ทำให้สูตรอาหารมีคุณค่าทางโภชนะเท่ากับกลุ่มควบคุม ปรากฏว่า สมรรถภาพการผลิต (น้ำหนักตัวเพิ่ม ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราแลกน้ำหนัก) ไม่ว่าตลอดระยะการทดลองหรือในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตให้ผลไม่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มลดลง รวมทั้งอัตราการตายก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อให้อาหารที่ลดโภชนะโดยไม่เสริมไฟเตส ซึ่งจะมีระดับโภชนะ (CP และ aP) ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมเล็กน้อย กล่าวคือ ในช่วงไก่อายุ 1-3, 4-6 และ 7 สัปดาห์ มี CP ต่ำกว่า 0.65, 0.35 และ 0.35% ส่วน aP ต่ำกว่า 0.19, 0.18 และ 0.15% ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อเสริมด้วยไฟเตสให้ผลใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม ส่วนปริมาณวัตถุแห้งของสิ่งขับถ่าย พบว่า การเสริมไฟเตสในอาหารที่ลดโภชนะบางส่วนลงตามค่า matrix value มีสัดส่วนของวัตถุแห้งในมูลสูงกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ลดโภชนะโดยไม่เสริมไฟเตสอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะช่วยลดปัญหามลภาวะได้ แต่สำหรับการนำค่า matrix value ดังกล่าวไปใช้กับสัตว์ปีกชนิดอื่น เช่น ไก่ไข่ ยังไม่มีผู้ใดรายงานไว้ ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการศึกษาเพื่อทดสอบค่าประสิทธิภาพของเอนไซม์ไฟเตสในอาหารไก่ไข่ที่ลดเฉพาะ CP และที่ลดโภชนะบางส่วนลงตามค่า matrix value ที่บ่งไว้โดย Kies *et al.* (2001) ทั้งไม่เสริมและเสริมไฟเตสระดับ 300 หน่วย/กก. อาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตารางที่ 13** ปริมาณโภชนะในอาหารที่สามารถปรับลดลงได้เมื่อเสริมด้วย Natuphos® 5000 G[1/] ในสัตว์ปีกและสุกร (Kies *et al.*, 2001)

| ปริมาณของโภชนะที่สามารถปรับลดลงได้ | ชนิดสัตว์ | |
|---|---|---|
| เมื่อเสริมไฟเตส (ก./กก.เอนไซม์) | สัตว์ปีก | สุกร |
| ฟอสฟอรัส | 11,500 | 11,500 |
| แคลเซียม | 10,000 | 10,000 |
| ไลซีน | 1,200 | 800 |
| เมทไธโอนีน | 100 | 250 |
| ทริปโตเฟน | 300 | 300 |
| อาร์จีนีน | 1,300 | 800 |
| ฮีสติดีน | 500 | 200 |
| ไอโซลูซีน | 1,200 | 500 |
| ลิวซีน | 2,000 | 1,200 |
| ฟีนิลอะลานีน | 1,300 | 600 |
| ทรีโอนีน | 1,300 | 500 |
| วาลีน | 1,500 | 400 |
| ไกลซีน | 700 | - |
| เซอรีน | 1,100 | - |
| ซีสตีน | 300 | 300 |
| โปรตีน | 22,500 | 20,000 |
| พลังงาน (kcal) | 529,398 | 72,897 |

[1/] Natuphos® 5000 G : ประกอบด้วยเอนไซม์ไฟเตส 5,000 หน่วย/กก. ระดับไฟเตสที่แนะนำให้ใช้ในอาหารสุกร ไก่เนื้อและไก่ไข่ คือ 500, 500 และ 300 หน่วย/กก. อาหาร ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved