

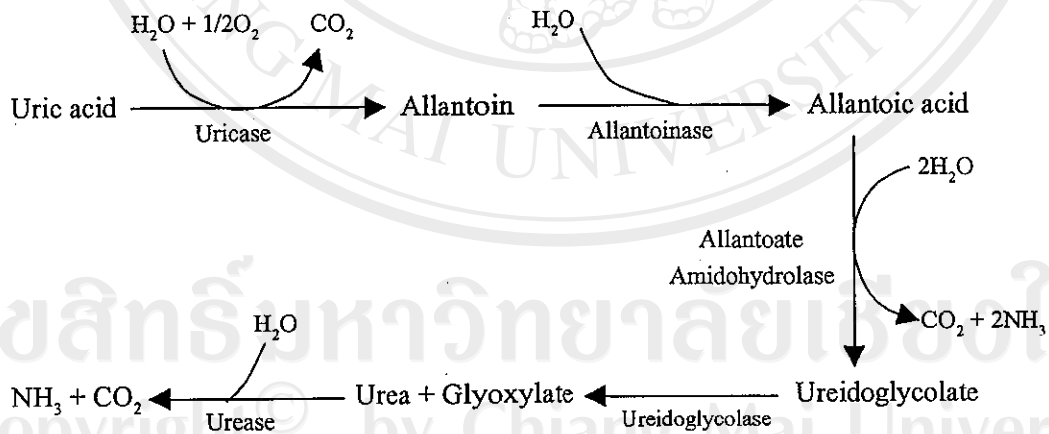
บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

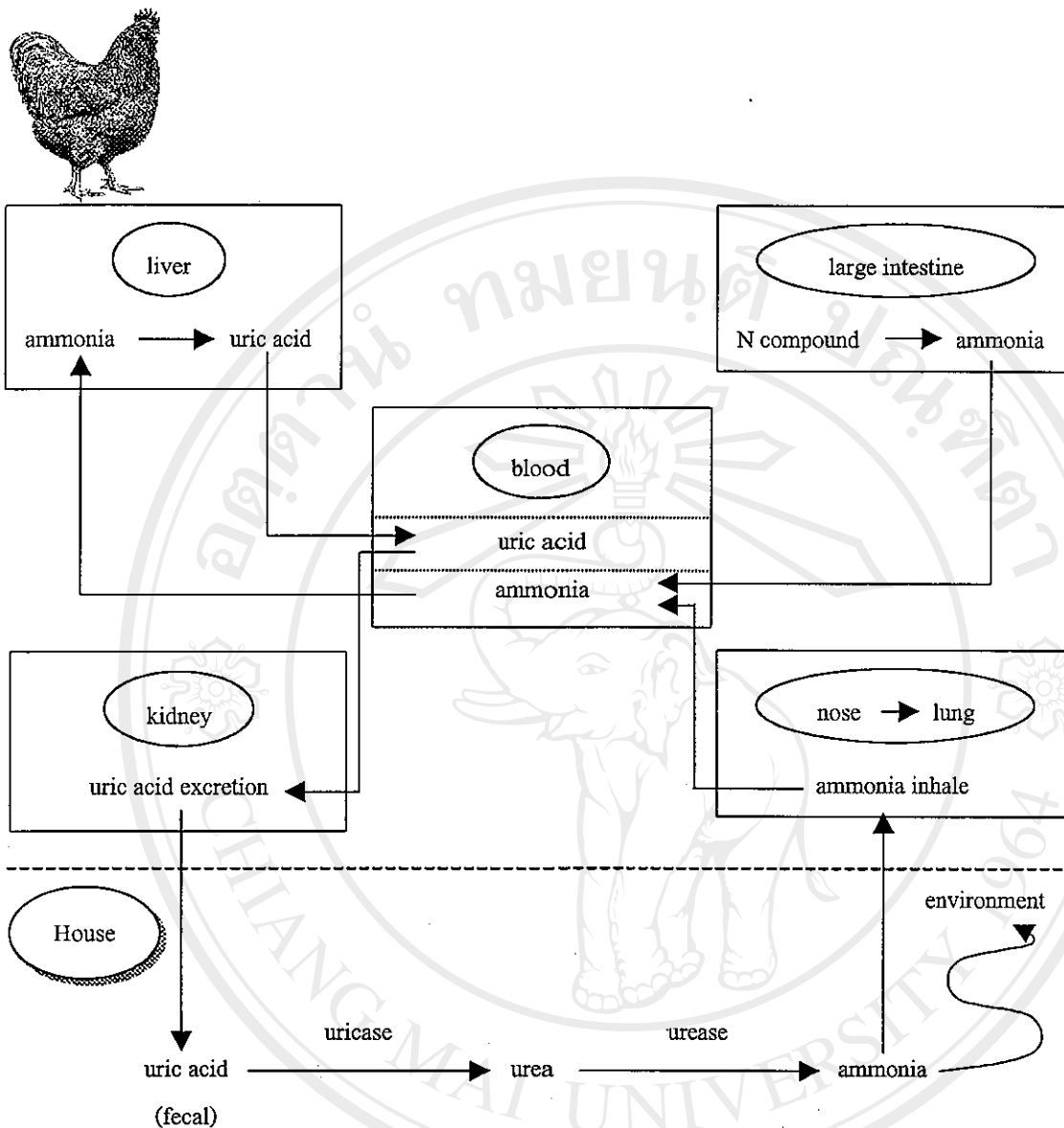
แอมโมเนียจากการเลี้ยงไก่

แก๊สแอมโมเนียมีคุณสมบัติต่างๆ คือ ไม่มีสี เบากว่าอากาศ ละลายน้ำได้ดี มีฤทธิ์ระคายเคือง มีความเป็นพิษสูง มีกลิ่นฉุน (มนุษย์รับรู้กลิ่นได้ที่ระดับความเข้มข้น 5-20 ppm) และมีฤทธิ์กัดกร่อนโลหะโดยเฉพาะกรดสำหรับเลี้ยงไก่ไข่ (วีระ, 2544)

การเลี้ยงไก่จำนวนมากและเลี้ยงกันอย่างหนาแน่นแบบอุตสาหกรรมนั้น มักก่อให้เกิดปัญหาแก๊สแอมโมเนียในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์อยู่เสมอซึ่ง Leek (1993) รายงานว่า เนื่องจากไก่กินอาหารโปรตีนที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบเข้าไป แล้วขับถ่ายของเสียออกมาในรูปของกรดยูริก (uric acid) ซึ่งจะถูกน้ำย่อยยูริเอสของจุลินทรีย์ในมูลไก่ ได้แก่ เชื้อราพวก *Penicillium spp.* และ *Aspergillus spp.* หรือเชื้อแบคทีเรียพวก uricolytic bacteria ย่อยให้กลายเป็นแก๊สแอมโมเนียที่มีคุณสมบัติเบากว่าอากาศ จึงแพร่กระจายทั่วโรงเรือนและออกไปสู่สิ่งแวดล้อมได้ (ภาพที่ 1 และ 2)



ภาพที่ 1 การสลายตัวของกรดยูริกเป็นแก๊สแอมโมเนีย (Carlile, 1984)



ภาพที่ 2 วัฏจักรของไนโตรเจนในสัตว์ปีกและโรงเรือน (ดัดแปลงจาก วีระ, 2544)

สำหรับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ได้แก่ อุณหภูมิที่สูง สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง และความชื้นสูง เป็นต้น

ผลของแอมโมเนียที่มีต่อสัตว์

Moore *et al.* (1996) รายงานว่า ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียที่เกิดจากตัวไก่จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนไก่ที่ทำการเลี้ยงในโรงเรือนนั้น ซึ่งถ้าความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียมีในระดับที่สูงกว่าปกติ จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของไก่และต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิต เช่น อัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและการผลิตไข่ รวมทั้งต่อ

ระบบทางเดินหายใจ (ตารางที่ 1) เช่น ทำให้เกิดถุงลมอักเสบ (airsacculitis) รวมทั้งทำให้เกิดเยื่อตาขาวอักเสบ (Keratoconjunctivitis; Carlile, 1984) นอกจากนี้ยังพบว่าแอมโมเนียมีผลต่อความไวต่อโรคนิวคาสเซิล (Caveny *et al.*, 1981) และโรคบิดด้วย (Quarles and Caveny, 1979)

ตารางที่ 1 ระดับความเป็นพิษของแอมโมเนียที่มีผลกระทบต่อไก่ (วีระ, 2544)

ระดับแอมโมเนีย	อาการ/ผลกระทบ
15-20 ppm	□ น้ำตาไหล
20 ppm	□ ระคายเคืองเยื่อเมือกทางเดินหายใจและโพรงไซนัส
	□ หายใจขัด
	□ ประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง
25-30 ppm	□ เมื่อได้รับตลอดเวลาทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง
	□ การผลิตไข่ลดลง
50 ppm	□ อัตราการกินอาหารและการเจริญเติบโตลดลง
	□ ประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง
	□ ผลผลิตไข่ลดลง
	□ ทำให้เกิดรอยแยกเล็กๆ ที่บริเวณรอยต่อของจมูกกับทางเดินหายใจส่วนต้น และมีผลต่อการเพิ่มความไวต่อการเกิดโรคทางเดินหายใจ
60-70 ppm	□ ไนโตรเจนทำให้เกิดโรคทางเดินหายใจ และติดเชื้อแทรกซ้อน
75-100 ppm	□ ซีเลียของเยื่อเมือกทางเดินหายใจถูกทำลาย ปอดขับเมือกออกมามากผิดปกติ รวมทั้งมีผลไนโตรเจนทำให้เกิดโรคทางเดินหายใจและติดเชื้อแทรกซ้อนมากขึ้น
	□ อัตราการเดินของหัวใจผิดปกติ
	□ มีจุดเลือดออกที่หลอดลมและทางเดินหายใจส่วนล่าง
100 ppm	□ วิจารณ์อาการขาดแคลเซียม
	□ ถ้าได้รับติดต่อกันนาน ๆ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ตับ ม้าม ไต ต่อมหมวกไต
	□ พบอาการของแผลที่หน้าอก และกินน้ำเพิ่มขึ้น
> 100 ppm	□ การเจริญเติบโตลดลง
	□ ถ้าได้รับติดต่อกันนาน จะทำให้กระจกตาเป็นแผลหลุม ปวดตา กลัวแสง และตาบอด

สำหรับระดับความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียที่ยอมรับได้ในโรงเรือนไก่จะอยู่ระหว่าง 15-20 ppm ส่วนระดับที่เริ่มเกิดผลเสียต่อสุขภาพไก่อยู่ที่ 25 ppm และจะรุนแรงมากขึ้นที่ระดับ 50 ppm โดยมีผลมายังผู้เลี้ยงและสิ่งแวดล้อมด้วย (Leek, 1993) สอดคล้องกับ Carlile (1984) ที่รายงานว่าระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เหมาะสมในฟาร์มไก่ไม่ควรเกิน 25 ppm ถ้าเกินจะต้องรีบแก้ไข

จากหลายการศึกษาที่ผ่านมา มีการใช้สารต่างๆ เพื่อยับยั้งการเกิดแอมโมเนีย โดยไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในวัสดุรองพื้น (Carlile, 1984) สารที่แนะนำให้ใช้ ได้แก่ yucca saponin (Johnston *et al.*, 1981), Clinoptilolite (Nakaue *et al.*, 1981), ferrous sulfate (Huff *et al.*, 1984; Moore *et al.*, 1996), phosphoric acid และ aluminum sulfate (Moore *et al.*, 1996) เป็นต้น สารเหล่านี้สามารถใช้โดยการโรย ฟ่น หรือใส่ในวัสดุรองพื้นสัตว์ปีกโดยตรง ซึ่งทำได้ง่าย รวดเร็ว สะดวกและประหยัดแรงงาน แต่อาจจะไม่ทั่วถึง ทำให้ประสิทธิภาพการลดแอมโมเนียลดลง อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้สารที่สามารถผสมในอาหารให้สัตว์กินได้ เช่น Clinoptilolite (ซีโอไลท์ธรรมชาติ) น่าจะลดแอมโมเนียได้ดีกว่า เพราะสัตว์มีโอกาสได้รับเท่ากันทุกตัว แต่สารบางอย่างไม่สามารถผสมในอาหารให้สัตว์กินได้ โดยเฉพาะพวกที่เป็นอันตรายต่อสัตว์

ซีโอไลท์และคุณสมบัติที่น่าสนใจ

ซีโอไลท์ (Zeolite) มาจากภาษากรีก 2 คำ คือ Zeo และ Lithos มีหมายความว่า “หินเดือด” (boil stone) ถูกค้นพบในปี 1756 เป็นผลึกที่มีในธรรมชาติประกอบด้วย สารจำพวกอลูมิโนซิลิเกต ที่มีน้ำล้อมรอบ (hydrate aluminosilicates) มีโครงสร้างเป็นแบบ 3 มิติ มีสูตรโครงสร้าง คือ $M_x[(SiO_4)_y(AlO_4)_z] \cdot wH_2O$ (กาญจนะ, 2545) ชนิดของซีโอไลท์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

ก). ซีโอไลท์ธรรมชาติ (Natural Zeolite) พบบนผิวโลกและใต้สมุทร พบมากในโพรงหินบาสอลท์และหินภูเขาไฟ มีประมาณ 34 ชนิด Stibite เป็นชนิดแรกที่พบ แต่ก่อนนำมาใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างและในอุตสาหกรรมกระดาษ (ทรรคินา, 2542) ซีโอไลท์ประเภทที่พบได้ตามธรรมชาตินี้ ได้แก่ Clinoptilolite ($CaNa_4K_4[(AlO_2)_6(SiO_2)_{30}].24H_2O$), Faujasite ($(Na_2, K_2, Ca, Mg)_{295}[(AlO_2)_{55}(SiO_2)_{133}].235H_2O$), Mordenite ($Na_8[(AlO_2)_8(SiO_2)_{40}].24H_2O$) และ Zar-Min เป็นต้น

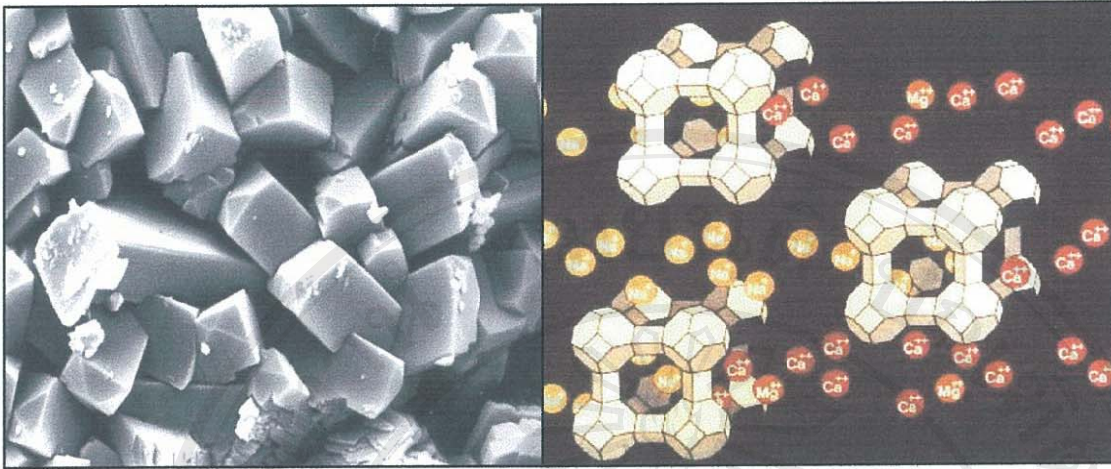
ข). ซีโอไลท์สังเคราะห์ (Synthetic Zeolite) เป็นซีโอไลท์ที่เตรียมขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีสังเคราะห์ผ่านเจล โดยควบคุมสภาวะให้เกิดผลึกจำนวนมากขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ได้แก่ ซีโอไลท์ เอ, ซีโอไลท์ เอกซ์, ซีโอไลท์ วาย, ซีโอไลท์ แอล, ซีโอไลท์ เอฟ และซีโอไลท์ เอ็ม เป็นต้น (ทรรคินา, 2542) ซึ่งมีมากกว่า 100 ชนิด ซีโอไลท์เหล่านี้ถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ในอุตสาหกรรม (ตะวัน, 2543) เช่น Sodium Zeolite A ($Na_{12}[(AlO_2)_{12}(SiO_2)_{12}].27H_2O$) และ Ethacal เป็นต้น องค์ประกอบทางเคมีแสดงไว้ในตารางที่ 2

M = แคทไอออนที่มีเวเลนซ์เท่ากับ n ทำให้เกิดสภาพสมดุลและเป็นกลางกับประจุลบใน โครงสร้างอลูมิโนซิลิเกต

x = จำนวน tetrahedrons ของ Si

y = จำนวน tetrahedrons ของ Al

w = จำนวน โมลของน้ำ



ภาพที่ 3 ตัวอย่างผลึกและโครงสร้าง 3 มิติ ของซีโอไลท์

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมี (%) ของซีโอไลท์

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	CaO	TiO ₂	H ₂ O	LOI*
Zeolite ^{1/}	65.36	12.72	1.51	2.60	0.59	3.62	2.14	0.05	-	-
Ethacal ^{2/}	15.30	14.80	-	12.60	-	-	-	-	22.2	-
Clinoptilolite ^{3/}	68.26	12.30	0.08	0.26	1.05	0.94	4.34	-	-	11.6

ที่มา : ^{1/}Lefcourt and Meisinger (2001) ^{2/}Scheideler (1993) ^{3/}Theophilou (2000) * loss on incineration

จากการที่ซีโอไลท์มีโครงสร้างเป็นผลึก กาญจนะ (2545) รายงานว่า สามารถใช้ประโยชน์ได้ ดังนี้

1. ใช้เป็นสารดูดน้ำและความชื้น (dehydrating agent) โดยปกติแล้วซีโอไลท์จะมีองค์ประกอบของโมเลกุลน้ำอยู่ในโครงสร้างผลึกที่เชื่อมเกาะติดกับแคทไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ เมื่อต้องการจะใช้เป็นสารดูดซับน้ำ ต้องไล่น้ำออกด้วยความร้อน (ภายใต้สูญญากาศ) ซึ่งจะช่วยให้เกิดรูพรุนที่เหมาะสมในโครงสร้าง เนื่องจากแคทไอออนในโครงสร้างได้เปลี่ยนตำแหน่งการจัดเรียงตัวให้เป็นระเบียบขึ้น จึงนำมาใช้ดูดซับโมเลกุลน้ำได้

2. ใช้เป็นสารแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchangers) จากแคทไอออน Mⁿ⁺ ที่มีในซีโอไลท์ จะแลกเปลี่ยนกับแคทไอออนตัวอื่นที่มีในสารละลาย ตัวอย่างเช่น Na⁺ ในซีโอไลท์ชนิด A สามารถใช้เป็นตัวแก้ น้ำกระด้าง^{1/}ได้ โดย Na⁺ จะแลกเปลี่ยนกับ Ca²⁺ ในน้ำกระด้างทำให้เปลี่ยนแปลงเป็น

^{1/} น้ำกระด้าง เป็นน้ำที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) ละลายอยู่ในช่วง 201-300 ppm

น้ำอ่อน ซึ่งซีโอไลท์ที่ใช้แล้ว (ประสิทธิภาพการดูดซับจะลด) สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกโดยนำไปล้างด้วยน้ำเกลือ และปัจจุบันมีการนำซีโอไลท์ชนิด A มาใช้ผสมลงในผงซักฟอกเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกแทนการใช้ polyphosphate เพราะซีโอไลท์มีราคาถูกกว่า

3. ใช้เป็นตัวดูดซับ (adsorbents) เพราะเมื่อไล่โมเลกุลของน้ำออกจากโครงสร้าง (ข้อ 1) จะทำให้ซีโอไลท์มีรูพรุนเปิด มีช่องทางเดินและโพรง ซึ่งช่วยให้พื้นที่ผิวภายในโครงสร้างเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความสามารถในการเลือกกรอง (specific sieving ability) ยอมให้สารบางชนิดผ่านไปได้ แต่บางชนิดถูกกักเก็บอยู่ในช่องรูพรุน เป็นเหตุให้เกิดการแยกสารหรือทำให้เกิดความบริสุทธิ์ในกระบวนการนั้นๆ เช่น ในอุตสาหกรรมมีการใช้ Chabazite เป็นตัวจับแก๊ส SO_2 ที่ปล่อยออกมาจากปล่องควัน

4. ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalysts) ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างมีพื้นที่ผิวอยู่มาก จึงสามารถให้พื้นบริเวณที่เกิดการเร่งปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารที่เข้าไปอยู่ภายในโครงสร้าง โดยซีโอไลท์บางชนิดมีขนาดรูพรุนที่มีขนาดและรูปร่างพอเหมาะกับโมเลกุลของสารบางชนิด โดยไม่เปิดโอกาสให้โมเลกุลอื่นเข้าไปได้ เช่น การเตรียม xylene เมื่อเมทานอลกับโมโนเมทิลเบนซีน เข้าไปทำปฏิกิริยาภายในโพรงของซีโอไลท์ จะได้ผลิตภัณฑ์ 3 ชนิดที่เป็นไอโซเมอร์กัน แต่มีเฉพาะ xylene ที่อยู่ในรูปของ paraxylene เท่านั้นที่สามารถเคลื่อนตัวออกจากโพรงของซีโอไลท์ได้

อย่างไรก็ดีซีโอไลท์ยังมีคุณสมบัติเด่นที่แตกต่างจากดินอื่นที่มีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายกัน เช่น มีการแลกเปลี่ยนไอออนและการดูดซับประจุไฟฟ้า (Cation Exchange Capacities, C.E.C) ได้สูง ซีโอไลท์ที่มีคุณภาพดี จะมีค่า C.E.C. มากถึง 150-180 มิลลิเอควิวเลนซ์ (meq) ต่อ 100 ก. Theophilou (2000) รายงานว่า Clinoptilolite มีค่า C.E.C. เท่ากับ 150 meq/100 ก. และมีความคงตัวที่ pH ต่ำ (pH 2) ค่า C.E.C ที่สูงจะทำให้สามารถดูดซับแอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารพิษต่างๆ ที่อยู่ในดิน น้ำ ตลอดจนธาตุอาหารของพืชได้เป็นอย่างดี (ปิยะพงศ์และกานูวัฒน์, 2541)

นอกจากนี้ซีโอไลท์ยังแสดงคุณสมบัติคล้ายตะแกรงกรองโมเลกุล (molecular sieve) เนื่องจากโมเลกุลมีช่องว่างที่สม่ำเสมอจำนวนมาก มีขนาดของช่องว่าง 3-10 \AA ซึ่งต่างจากสารดูดซับอื่น เช่น Activated carbon, Alumina และ Silica gel ที่มีโครงสร้างเป็นผลึกและมีช่องว่างระหว่างโมเลกุลไม่สม่ำเสมอ คือ มีขนาด 20-50 \AA หรือ 20-1,000 \AA (ทรรศินา, 2542)

ในด้านปศุสัตว์ Mumpton and Fishman (1977) รายงานว่า จากคุณสมบัติของซีโอไลท์ในการดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุนั้น สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารของสัตว์บกและสัตว์น้ำ ช่วยลดโรคในระบบทางเดินอาหารในสุกรเล็กและสัตว์เคี้ยวเอื้อง ตลอดจนควบคุมปริมาณความชื้นและแอมโมเนียที่เกิดจากมูลสัตว์ได้

ผลการเสริมซีโอไลท์ในอาหารสัตว์ปีก

Waldroup *et al.* (1984) ได้ศึกษาผลของซีโอไลท์ธรรมชาติที่ระดับ 1% ในอาหารไก่เนื้อ แบ่งเป็น 2 การทดลอง โดยการทดลองแรกให้อาหารเสริมซีโอไลท์เปรียบเทียบกับการไม่เสริมช่วงอายุ 21-47 วัน ผลปรากฏว่า การใช้ซีโอไลท์ไม่มีผลต่อการเพิ่มน้ำหนักตัวและประสิทธิภาพการใช้อาหาร ส่วนในการทดลองที่ 2 ทำการเสริมและไม่เสริมซีโอไลท์ในอาหารที่มีไขมัน 3 ระดับ (1.25, 3.75 และ 6.25% ไขมัน) ช่วงอายุ 21-49 วัน พบว่า การเสริมซีโอไลท์ในอาหารที่มีไขมันระดับต่างๆ ไม่มีผลต่อการเพิ่มน้ำหนักตัวและประสิทธิภาพการใช้อาหารเมื่อเทียบกับการไม่เสริม นอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารมีไขมันระดับสูง (6.25%) จะมีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารมีไขมันระดับต่ำ

Willis *et al.* (1982) ได้ศึกษาผลของซีโอไลท์ธรรมชาติต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อเพศผู้ช่วงอายุ 1-21 วัน ที่ระดับ 1% ในอาหารเปรียบเทียบกับการไม่เสริม พบว่า การใช้ซีโอไลท์ทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับในช่วงอายุ 21-50 วัน ได้ทดลองเสริมซีโอไลท์จากแหล่งต่างกันลงในอาหาร 2 และ 3% เปรียบเทียบกับการไม่เสริม พบว่า การใช้ซีโอไลท์ทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารและน้ำหนักตัวเพิ่มของไก่สูงขึ้น

Yannakopoulos *et al.* (1998) ได้ทดลองเสริมซีโอไลท์ธรรมชาติในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 4 และ 6% เปรียบเทียบกับการไม่เสริม ในช่วงอายุ 21-96 สัปดาห์ พบว่า การเสริมซีโอไลท์มีผลทำให้น้ำหนักไข่ทั้งฟองและน้ำหนักไข่ขาวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการไม่เสริม (4.1-4.5 และ 5.3-7.1% ตามลำดับ)

การใช้ซีโอไลท์และ/หรือสารประเภททูลูมิโนซิลิเกตเพื่อลดแก๊สแอมโมเนียในคอกสัตว์ปีก

จากการเปรียบเทียบการใช้ซีโอไลท์และยากำจัดกลิ่นลดแก๊สแอมโมเนียในไก่เนื้อช่วงอายุ 1-42 วัน โดยให้ซีโอไลท์ในอาหารระดับ 1% และพ่นยากำจัดกลิ่น (Deodorizer) ในอัตราส่วน (ยา:น้ำ) 1:100 บนคอกมูลเมื่อไก่อายุได้ 21, 28, 35 และ 38 วัน แล้ววัดความเข้มข้นของแอมโมเนียเหนือคอกมูลด้วยเครื่องแดรเกอร์ (Drager) ผลปรากฏว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียในช่วง 3 สัปดาห์แรกยังเพิ่มขึ้นไม่มากนัก แต่เมื่อไก่อายุ 35 วัน กลุ่มที่ได้รับซีโอไลท์และยากำจัดกลิ่น มีความเข้มข้นของแอมโมเนียต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยกลุ่มซีโอไลท์และยากำจัดกลิ่นมีความเข้มข้นไม่แตกต่างกัน และเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่อายุ 42 วัน ก็ให้ผลในการทำงานเดียวกัน แสดงให้เห็นว่า ซีโอไลท์มีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียได้ดีเทียบเท่ากับยากำจัดกลิ่น (จักรกริสน์และคณะ, 2540; ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ระดับความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนีย เมื่อให้ซีโอไลต์ในอาหารไก่เนื้อเปรียบเทียบกับ การใช้ยากำจัดกลิ่นฟันทนกองมูลไก่ (จักรกริสันและคณะ, 2540)

อายุไก่ (วัน)	ระดับความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนีย (ppm)		
	กลุ่มควบคุม	ซีโอไลต์ 1%	ยากำจัดกลิ่น
14	2.25 ± 0.60	2.25 ± 1.30	1.00 ± 0.70
21	5.25 ± 1.10	4.25 ± 1.50	2.50 ± 0.70
28	8.75 ± 3.60	6.00 ± 1.50	9.50 ± 2.30
35	20.75 ± 1.49 ⁿ	4.25 ± 0.75 ^v	7.75 ± 2.21 ^v
42	17.50 ± 1.89 ⁿ	12.25 ± 3.01 ^{nv}	6.17 ± 0.93 ^v

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแถวอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

Crober (1991) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการลดปริมาณแก๊สแอมโมเนียโดยใช้สารสกัดจาก yucca (De-odorase[®]) ที่ระดับ 0.1% และซีโอไลต์ธรรมชาติ (Sodium aluminum silicate) 1% ในอาหารไก่ไข่ที่ทำการเลี้ยงบนกรงตับ พบว่า ที่อายุ 8 สัปดาห์ การใช้ De-odorase[®] และซีโอไลต์ ทำให้ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียเหนือกองมูลลดลงเมื่อเทียบกับการไม่เสริม โดยซีโอไลต์มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณแอมโมเนียได้ดีกว่า

ตารางที่ 4 ผลของ De-odorase[®] และซีโอไลต์ธรรมชาติต่อปริมาณแก๊สแอมโมเนียและสมรรถภาพ การผลิตของไก่ไข่ (Crober, 1991)

		ระยะเวลาในการทดลอง (สัปดาห์)	
		4	8
ปริมาณแอมโมเนีย (ppm)	กลุ่มควบคุม	20	27
	De-odorase [®]	25	20
	ซีโอไลต์	23	17
ผลผลิตไข่ (%)	กลุ่มควบคุม	90	88
	De-odorase [®]	85	88
	ซีโอไลต์	82	87
น้ำหนักไข่ (ก.)	กลุ่มควบคุม	58	59
	De-odorase [®]	58	62
	ซีโอไลต์	58	57

มนัญญาและมทิสร (2545) ได้ศึกษาในเบ็ดเนื้อพันธุ์เซอร์ริวอลเลย์ คณะแพศอายุ 1 วัน จำนวน 320 ตัว โดยเสริมซีโอไลท์ธรรมชาติที่ระดับ 0, 1, 3 และ 5% ของอาหาร วัดปริมาณแอมโมเนียในคอกด้วยเครื่อง Dranger tube ammonia 20/a-D ในวันที่ 55 ของการเลี้ยง พบว่า ความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนีย มีแนวโน้มลดลงตามระดับของซีโอไลท์ที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ปริมาณแอมโมเนียที่วัดในคอกเปิดที่เวลาต่าง ๆ (มนัญญาและมทิสร, 2545)

ซีโอไลท์ใน อาหาร (%)	ปริมาณแก๊สแอมโมเนียที่วัด (ppm)				เฉลี่ย \pm SD
	6.30 a.m.	7.30 a.m.	9.30 a.m.	4.30 p.m.	
0	3.85	6.67	7.77	6.67	6.24 \pm 1.68
1	3.85	4.30	5.00	3.38	4.13 \pm 0.69
3	3.38	3.85	4.77	2.46	3.62 \pm 0.96
5	2.46	3.38	2.00	3.38	2.81 \pm 0.69

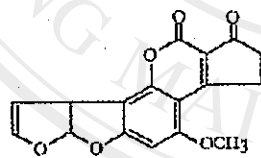
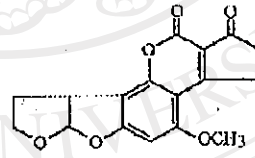
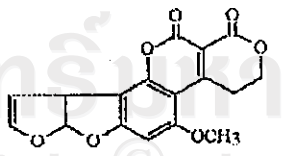
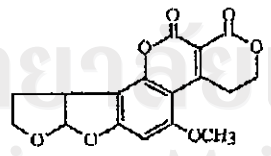
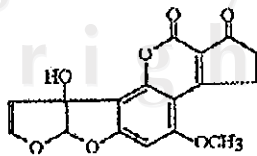
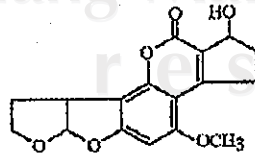
สำหรับกลไกของซีโอไลท์ในการดูดซับแอมโมเนียนั้น มีรายงานว่ามาจากคุณสมบัติในการดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุ (C.E.C.) ที่ทำให้สามารถดูดซับแก๊สแอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารพิษต่างๆ ที่อยู่ในดิน น้ำ ตลอดจนธาตุอาหารพืชได้เป็นอย่างดี ซึ่งกรณีของแอมโมเนียเกิดเป็นแบบจำเพาะ คือ โซเดียมแคทไอออน (Na^+) ของซีโอไลท์จะแลกเปลี่ยนประจุกับแอมโมเนียมแคทไอออน (NH_4^+) โดยแอมโมเนียมแคทไอออนทั้งที่เกิดจากการย่อยโปรตีนของแบคทีเรียในทางเดินอาหารและการย่อยมูลที่ขับออกนอกตัวสัตว์โดยจุลินทรีย์ จะรวมตัวกับโครงสร้างของซีโอไลท์ ในขณะที่ปล่อยโซเดียมแคทไอออนออกสู่ภายนอก ทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียลดลง (Mumpton and Fishman, 1977; Theophilou, 2000) ดังนั้นประสิทธิภาพการดูดซับแก๊ส สารพิษบางชนิด หรือธาตุอาหารของพืชที่กล่าวมาข้างต้น จึงขึ้นอยู่กับค่า C.E.C. ของซีโอไลท์แต่ละชนิดว่า มีค่าสูงมากน้อยเพียงใด

จากงานวิจัยเรื่องซีโอไลท์ต่อความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียที่เกิดในสัตว์ปีก แสดงให้เห็นว่าซีโอไลท์ที่ผสมในอาหารมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณแก๊สแอมโมเนียลงได้ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าซีโอไลท์สามารถช่วยลดความรุนแรงของพิษอะฟลาทอกซินในอาหารสัตว์ได้อีกด้วย (Jindal *et al.*, 1993; Kubena *et al.*, 1990; Kubena *et al.*, 1991; Oguz *et al.*, 2000a,b; Miazso *et al.*, 2000)

อะฟลาทอกซิน

สารพิษอะฟลาทอกซิน เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งร้ายแรงชนิดหนึ่ง ทำให้เกิดอาการได้ทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง เกิดจากเชื้อราหลายชนิด เช่น *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus*, *Penicillium citrinum* และ *P. variable* แต่ที่พบบ่อยที่สุด คือ *A. flavus* เจริญได้ดีที่มีอุณหภูมิ 25-40°C และความชื้นสัมพัทธ์ 80% ขึ้นไป (พันทิพา, 2539)

อะฟลาทอกซินเป็นสารพวก บิส-ฟิวราโน-ไอโซคูมาริน (bis-furano-isocoumarin) ที่เชื่อมกับวงแหวนไซโคลเพนทีโนน (cyclopentenone ring) ในกลุ่มอะฟลาทอกซิน B หรือเชื่อมกับวงแหวนแลคโตน (lactone ring) ในกลุ่มอะฟลาทอกซิน G จึงทำให้มีอะฟลาทอกซิน 4 ชนิด คือ อะฟลาทอกซิน B₁, B₂, G₁ และ G₂ การสลายด้วยด่างทำให้โครงสร้างของอะฟลาทอกซินเปลี่ยนใหม่ แต่จะกลับคืนสู่สภาพปกติได้ เมื่อทำให้สารละลายนั้นกลับเป็นกรด การเปลี่ยนอะฟลาทอกซิน B₁ ไปเป็น B₂ เกิดขึ้นได้โดยการเติมไฮโดรเจน 1 โมล หรือโดยการลด 3 โมลของไฮโดรเจนจาก tetrahydrodeoxy aflatoxin การสลายด้วย ozone ทำให้อะฟลาทอกซิน B สลายตัวเป็นกรด levulinic, succinic, malonic และ glutonic การเติมหมู่ไฮโดรเจนให้อะฟลาทอกซินจะได้สารที่เหมือนกับที่พบในน้ำนมวัว คือ อะฟลาทอกซิน M₁ และ M₂ ซึ่งมีพิษเช่นเดียวกับอะฟลาทอกซินชนิดอื่นๆ โครงสร้างของอะฟลาทอกซิน M₁ และ M₂ ประกอบด้วย 4-hydroxy aflatoxin B₁ และ 4-hydroxy aflatoxin B₂ (ไมตรี, 2543) สำหรับอะฟลาทอกซิน B₁ และ B₂ จะเรืองแสงสีน้ำเงินภายใต้หลอดราไวโอเลตช่วงคลื่น 256-365 นาโนเมตร ส่วน G₁ และ G₂ จะเรืองแสงสีเขียวภายใต้ช่วงคลื่นเดียวกัน

Aflatoxin B₁ (C₁₇H₁₂O₆)Aflatoxin B₂ (C₁₇H₁₄O₆)Aflatoxin G₁ (C₁₇H₁₂O₇)Aflatoxin G₂ (C₁₇H₁₄O₆)Aflatoxin M₁ (C₁₇H₁₂O₇)R₀ (C₁₇H₁₄O₆)

ภาพที่ 4 โครงสร้างอะฟลาทอกซินชนิดต่างๆ

อะฟลาทอกซินที่ศึกษามี 12 ชนิด คือ B₁, B₂, G₁, G₂, M₁, M₂, B_{2a}, G_{2a}, P₁, Q₁, R₀, GM₁ (ชาญยุทธและอุทัย, 2538) ชนิดที่พบในอาหารคนและสัตว์เป็นชนิด B₁, B₂, G₁, และ G₂ (Ramos and Hernández, 1997) อย่างไรก็ตามในธรรมชาติจะพบชนิด B₁ มากที่สุด ซึ่งชนิดนี้เป็นอันตรายต่อสัตว์มากที่สุด โดยทำให้เกิดมะเร็งที่ตับ รองลงมาคือ G₁, B₂ และ G₂ ตามลำดับ (เขาวมาลัยและคณะ, 2543) สำหรับอะฟลาทอกซินชนิด M₁, M₂, B_{2a} และ G_{2a} นั้น เป็นเมแทบอไลต์ (metabolite) ของอะฟลาทอกซิน B₁, B₂, G₁ และ G₂ ตามลำดับ

ปัญหาการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในวัตถุดิบและอาหารสัตว์ (ประเทศไทย)

อะฟลาทอกซินสามารถพบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีความชื้นสูงได้เกือบทุกชนิด โดยจะพบมากในกากถั่วลิสงและข้าวโพด รวมไปถึงกากถั่วเหลืองที่มีการเก็บเกี่ยวและจัดเก็บไม่ดี อะฟลาทอกซินจะถูกสร้างขึ้นมาภายใน 48 ชั่วโมงหลังจากมีเชื้อราเกิดขึ้นในอาหาร ระดับสูงสุดของอะฟลาทอกซินที่ยอมรับได้ของวัตถุดิบอาหารและอาหารสัตว์สำเร็จรูปทั้งในประเทศและต่างประเทศ แสดงไว้ในตารางที่ 7

สุกัญญาและคณะ (2541) ได้สำรวจสถานภาพและการปนเปื้อนในอาหารสัตว์ ทั้งฟาร์มเลี้ยงและบริษัทผลิตอาหารสัตว์ในจังหวัดต่างๆ คือ นครปฐม ราชบุรี ชลบุรี ฉะเชิงเทรา นครสวรรค์ เชียงใหม่ ขอนแก่น อุบลราชธานี นครศรีธรรมราช และสงขลา พบว่า กากถั่วลิสงและข้าวโพด เป็นวัตถุดิบที่มีสารพิษอะฟลาทอกซินมากที่สุด ส่งผลให้อาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูปทั้งไก่เนื้อ ไก่ไข่ ไก่พันธุ์ และอาหารสุกรแรกเกิด-30 กก. มีอะฟลาทอกซินสูงด้วย

สำหรับวัตถุดิบอาหารสัตว์ เช่น กากมะพร้าว กากถั่วลิสง ข้าวโพดป่น และข้าวโพดเมล็ด จากการสำรวจปริมาณอะฟลาทอกซินของกองควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ (2543) โดยใช้วิธี Immuno affinity column (Aflatest) method ตามวิธีการของ AOAC (1995) ในจังหวัดต่างๆ พบว่า ในช่วงปี พ.ศ. 2539-2540 มีการปนเปื้อนดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการตรวจสอบอะฟลาทอกซินในวัตถุดิบอาหารสัตว์ พ.ศ. 2539-2540 (กองควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์, 2543)

ชนิดวัตถุดิบ	จำนวนตัวอย่าง	ปริมาณที่ตรวจพบ (ppb)	
		ค่าต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย
กากมะพร้าว	111	3.72-1,500	139.33
กากถั่วลิสง	92	0.01-1,100	229.51
ข้าวโพดป่น	103	0-939.46	83.10
ข้าวโพดเมล็ด	88	0-300.42	64.80
กากถั่วเหลือง	139	0-94.34	12.50

ตารางที่ 7 ระดับสูงสุดของอะฟลาทอกซินในอาหารสัตว์ (ppb) ที่ยอมรับได้ของประเทศไทยและ
ต่างประเทศ (คณิงนิจและคณะ, 2538)

ชนิด	ไทย	แคนาดา	ออสเตรเลีย	อเมริกา	กลุ่มสหภาพยุโรป	ญี่ปุ่น
ประเภทวัตถุดิบ						
กากถั่วเหลือง	50	-	-	-	50	20
กากถั่วลิสง	500	-	5	-	200 ⁿ	20
ปลาป่น	40	-	-	-	50	-
รำละเอียด รำสกัดน้ำมัน	50	-	-	-	-	-
ข้าวโพดป่น	100	-	-	-	50	-
ข้าวโพดเมล็ด	100	-	-	-	50	-
ผลิตภัณฑ์จากถั่ว	-	15	15	-	200 ⁿ	10
ประเภทอาหารผสม						
1. หัวอาหารสำหรับ						
ไก่	50	20	-	20	20 ⁿ	40
เป็ด	40	20	-	20	-	40
กระบือ-โค	100	20	-	20	50 ^s	20
สุกร	50	20	-	20	20 ⁿ	40
2. อาหารสำเร็จรูป						
ไก่เนื้อ	100	20	-	20	20 ⁿ	40
ไก่ไข่	100	20	-	20	20 ⁿ	40
เป็ด	30	20	-	20	-	40
สุกรแรกเกิด-น.น. 15 กก.	50	20	-	20	20 ⁿ	40
สุกรน.น. 15 กก. ขึ้นไป	100	20	-	20	20	40
โคอายุไม่เกิน 1 ปี	100	20	-	20	50 ^s	20
โคอายุเกิน 1 ปีขึ้นไป	200	20	-	20	50 ^s	20

ⁿ ยกเว้นสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมันกำหนดให้ = 10 ppb ^s ความชื้นไม่เกิน 12% ⁿ ยกเว้นลูกสัตว์ ^s ยกเว้นโคนม

จากข้อมูลในตารางจะเห็นได้ว่า ระดับสูงสุดของอะฟลาทอกซินในอาหารสัตว์ที่ยอมรับได้
ของประเทศไทยมีค่าสูงกว่าของต่างประเทศ ไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์หรืออาหารที่ผสมแล้ว
ก็ตาม ทั้งนี้เพราะประเทศไทยอยู่ในเขตอากาศร้อนชื้นซึ่งเหมาะแก่การเจริญของเชื้อราชนิดต่างๆ

คณิงนิจและคณณะ (2538) ได้วิเคราะห์ตัวอย่างอาหารสัตว์ (อาหารผสมสำเร็จรูปและหัวอาหารสำหรับไก่ เป็ด สุกร และโค) ระหว่างปี พ.ศ. 2528-2537 จำนวน 721 ตัวอย่าง พบว่า ในอาหารผสมสำเร็จรูปโดยเฉพาะอาหารไก่ไข่ ไก่พันธุ์ และไก่เนื้อ มีอะฟลาทอกซินมากที่สุด (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ผลการตรวจสอบอะฟลาทอกซินในอาหารสัตว์ พ.ศ. 2528-2537 (คณิงนิจและคณณะ, 2538)

ปี พ.ศ.	จำนวนตัวอย่างหัวอาหารสัตว์ และอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูป			ปริมาณที่ตรวจพบ (ppb)		
	วิเคราะห์	ตรวจพบ	%ที่พบ	ค่าสูงสุด/%ความชื้น	ค่าต่ำสุด	ชนิดที่พบสูงสุด ^{1/}
2528	12	3	25.00	25.69/10.15	1.25	สุกรแรกเกิด-30 กก.
2529	66	14	21.21	56.59/10.11	1.80	ไก่เนื้อ
2530	23	5	21.73	45.23/12.10	2.10	โคนมให้นม
2531	166	63	37.95	146.98/11.78	8.23	ไก่ไข่ ไก่พันธุ์
2532	148	92	62.16	274.20/11.92	2.10	ไก่ไข่ ไก่พันธุ์
2533	56	17	30.35	48.66/10.55	0.50	ไก่ไข่ ไก่พันธุ์
2534	93	18	19.35	271.77/10.78	1.80	ไก่เนื้อ
2535	33	15	45.45	140.14/11.55	6.51	ไก่ไข่ ไก่พันธุ์
2536	10	8	80.00	11.73/9.75	-	ไก่เนื้อ
2537	114	74	64.91	136.59/12.18	0.80	สุกรแรกเกิด-30 กก.
สรุป	721	309	42.80	274.20/11.92	0.50	ไก่ไข่ ไก่พันธุ์

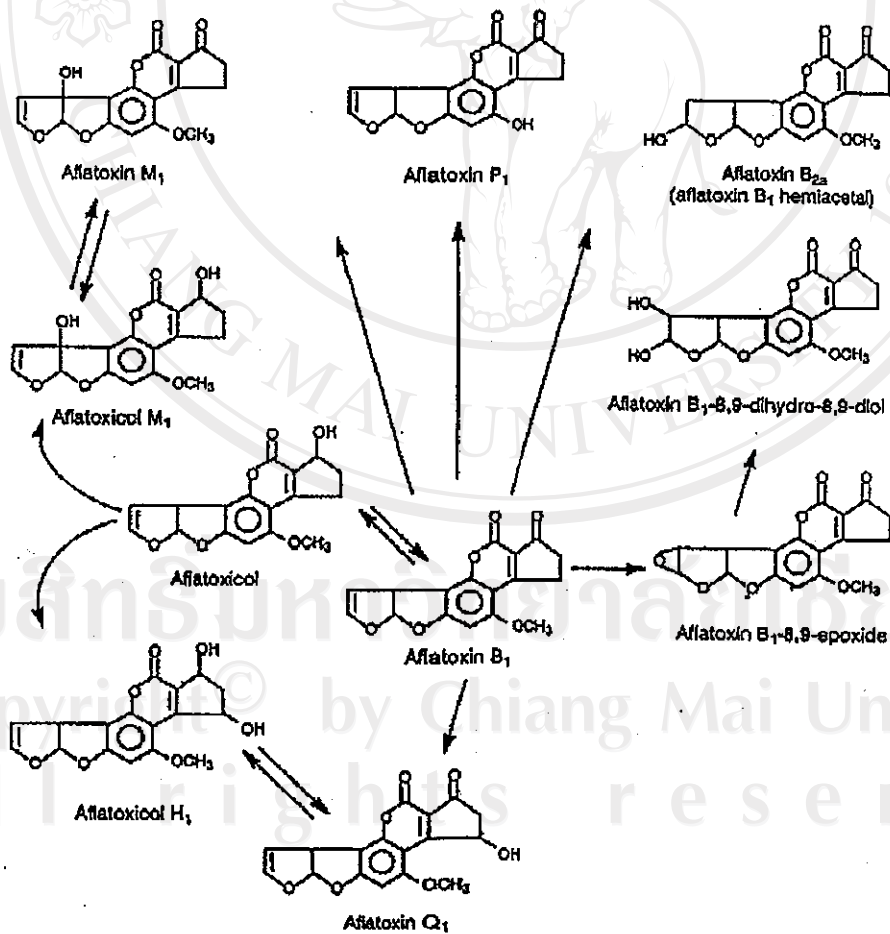
^{1/}ชนิดอาหารสัตว์ที่ตรวจพบอะฟลาทอกซินสูงสุด คืออาหารผสมสำเร็จรูป

จากตารางจะเห็นได้ว่า ในจำนวนทั้งหมด 721 ตัวอย่าง มีการตรวจพบอะฟลาทอกซินสูงถึง 309 ตัวอย่าง หรือร้อยละ 42.8% โดยส่วนใหญ่เป็นอาหารผสมสำเร็จรูปสำหรับไก่ ซึ่งในปี 2531 ทำการตรวจ 166 ตัวอย่าง พบอะฟลาทอกซิน 63 ตัวอย่าง (37.95%) ที่พบสูงสุดคือ อาหารสำเร็จรูปไก่ไข่ ไก่พันธุ์ เท่ากับ 146.98 ppb และในปี 2534 ทำการตรวจ 93 ตัวอย่าง พบอะฟลาทอกซิน 18 ตัวอย่าง (19.35%) พบสูงสุดในอาหารสำเร็จรูปไก่เนื้อ 271.77 ppb ซึ่งถือว่าเป็นระดับที่ทำให้อาหารสัตว์เสื่อมคุณภาพ ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2536

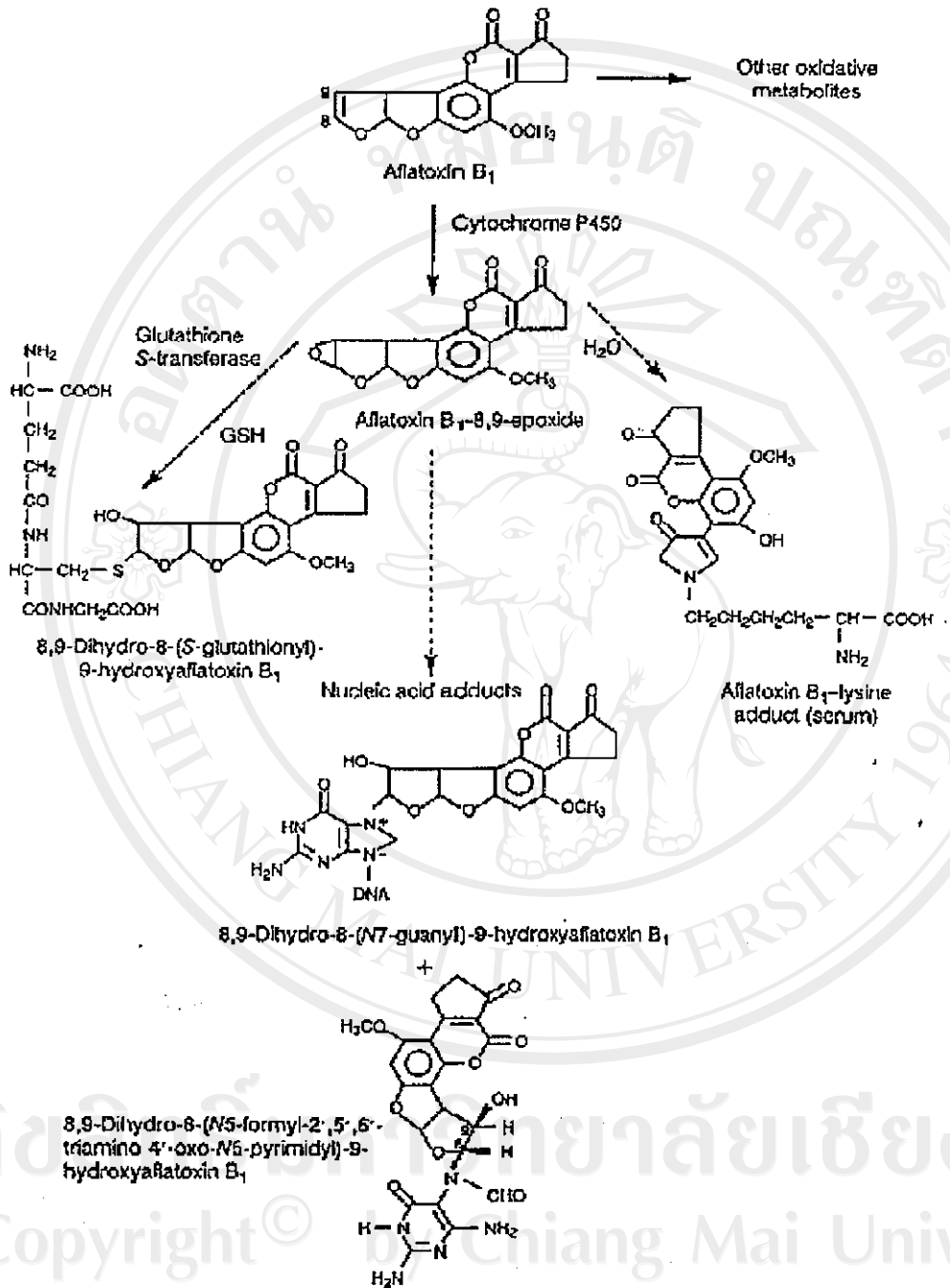
เมแทบอลิซึมและความเป็นพิษของอะฟลาทอกซิน

ไมตรี (2543) รายงานว่า จากการศึกษาศึกษาโดยการให้ ^{14}C -labelled aflatoxin ในหนูทดลอง พบว่า 90% ของสารพิษที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายถูกขับออกทางอุจจาระและปัสสาวะ อีก 10% ของสารพิษจะถูกเก็บไว้ในตับและเนื้อเยื่ออื่นๆ และถูกเปลี่ยนแปลงไปดังภาพที่ 5

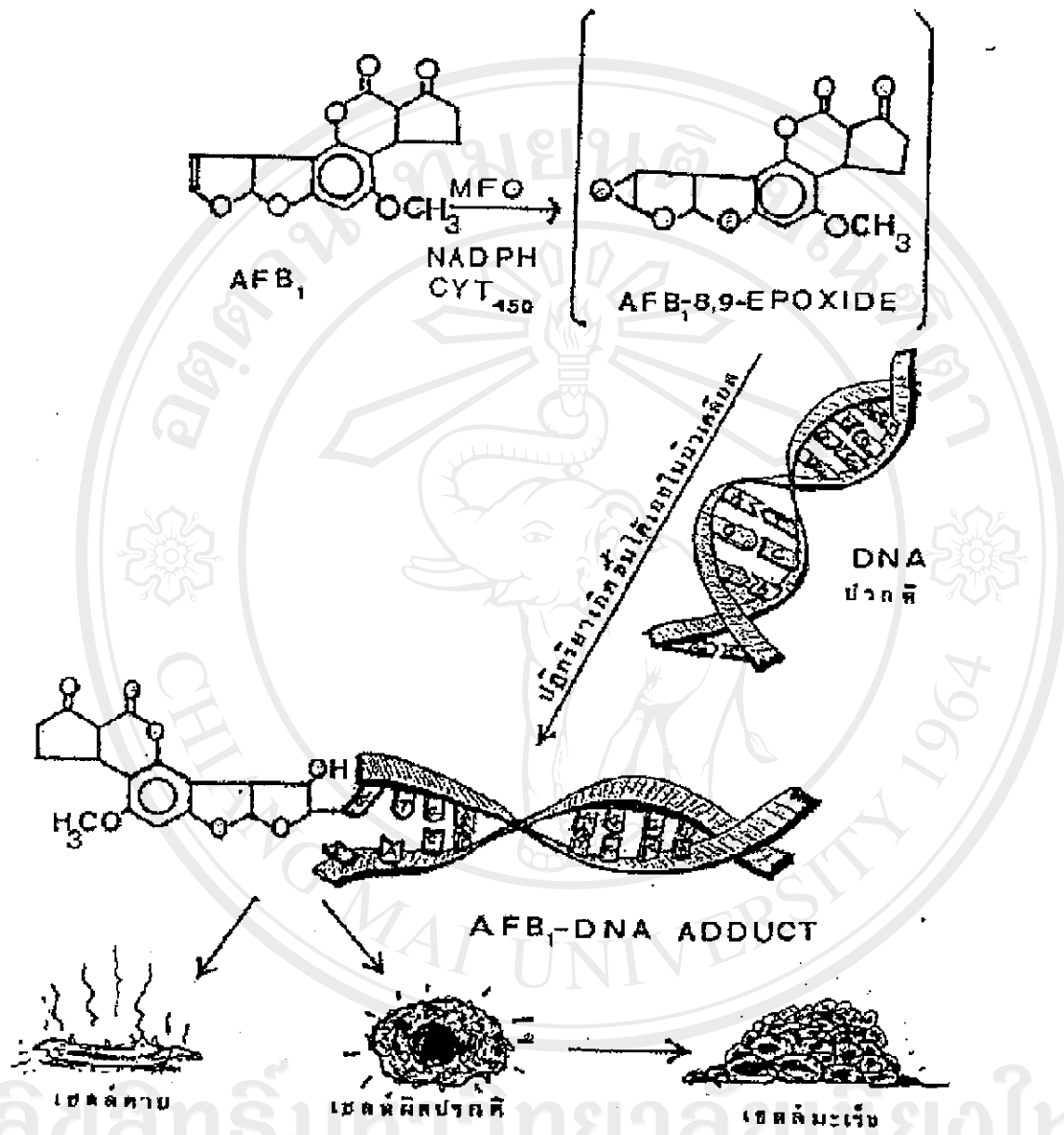
สำหรับสารพิษอะฟลาทอกซินชนิด B_1 เมื่อถูกดูดซึมผ่านลำไส้เล็กแล้ว จะรวมตัวกับอัลบูมิน (albumin) ในซีรัม (serum) แล้วจะกระจายไปยังอวัยวะส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ได้แก่ ตับ และไต เป็นต้น ซึ่งที่ตับอะฟลาทอกซิน B_1 จะถูกเปลี่ยนแปลงในส่วนของไฮโดรซอล ได้สารที่เรียกว่า อะฟลาทอกซิคอล (aflatoxicol) และในส่วนของไมโครโซมจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารพิษอะฟลาทอกซิน M_1 , P_1 , Q_1 และ epoxide ซึ่งเป็นเมแทบอลิท์ สารพิษในรูปอีพอกไซด์นี้จะมีความว่องไวมาก สามารถจับตัวอย่างถาวรกับสารชีวโมเลกุลต่างๆ รวมทั้งกรดนิวคลีอิกได้เป็นโมเลกุลที่ผิดปกติไปจากธรรมชาติ และมักจับกับเบสควีนีนของ DNA อะฟลาทอกซินจึงเป็นอันตรายต่อสารพันธุกรรม โดยขัดขวางหน้าที่ทางชีวภาพของ DNA (ไมตรี, 2543; Ueno, 1984) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว แสดงไว้ในภาพที่ 6 และ 7



ภาพที่ 5 วิธีเมแทบอลิซึมของอะฟลาทอกซิน B_1 ในตับ (ไมตรี, 2543)



ภาพที่ 6 สารเมแทบอไลต์ส่วนใหญ่ที่เกิดจากอะฟลาทอกซิน B₁ (ไมตรี, 2543)



ภาพที่ 7 กลไกทางชีวเคมีของอะฟลาทอกซินต่อความผิดปกติของสารพันธุกรรม (ไมตรี, 2543)

ลิขสิทธิ์ © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลของอะฟลาทอกซินในสัตว์ปีก

ผลของสารพิษอะฟลาทอกซินที่มีต่อสัตว์ปีกประเภทต่างๆ แสดงในตารางที่ 9

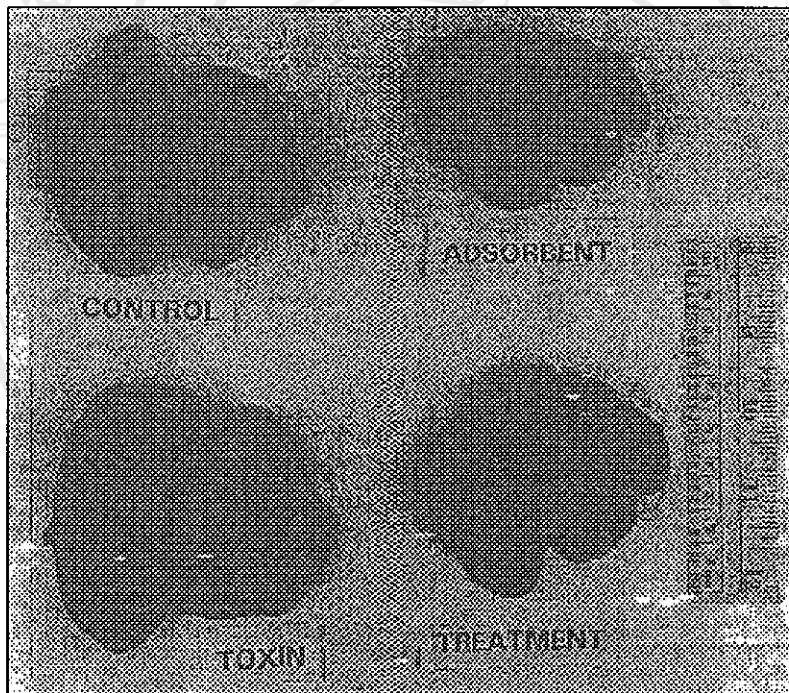
ตารางที่ 9 ปริมาณและระยะเวลาที่สัตว์ได้รับอะฟลาทอกซิน (AF) ในอาหารที่มีผลเสียต่อสัตว์ปีก

ชนิดสัตว์	AF (ppm)	เวลา (วัน)	อาการ	ที่มา
เป็ด				
อายุ 1 วัน	0.03	56	ไม่มีผลกระทบ	เขาวมาลย์และสาโรช (2542)
	0.06,	56	การเจริญเติบโตและ อัตราแลกน้ำหนักน้อย	
	0.09, 0.12			
อายุ 1 วัน	0.03	21	ไม่มีผลกระทบ	Ostrowski-meissner (1983)
	0.06, 0.09	21	การเจริญเติบโตลดลง	
อายุ 1 วัน	0.2	21	การเจริญเติบโตและ อาหารที่กินได้ลดลง	Cheng <i>et al.</i> (2001)
อายุ 1 วัน	0.4	21	การเจริญเติบโตและอัตรา แลกน้ำหนักน้อย	Cheng <i>et al.</i> (1994)
ไก่วง				
อายุ 1 วัน	0.5	21	การเจริญเติบโตลดลง	Kubena <i>et al.</i> (1991)
	1.0	21	การเจริญเติบโต อัตราการตายสูง	
อายุ 1 วัน	0.1, 0.2	35	ไม่มีผลกระทบ	Giambone <i>et al.</i> (1985)
	0.4, 0.8	35	การเจริญเติบโต อัตราแลกน้ำหนักน้อย	
ไก่เนื้อ				
อายุ 1 วัน	0.05	42	ไม่มีผลกระทบ	Oğuz <i>et al.</i> (2000a)
	0.1	42	การเจริญเติบโตลดลง	
อายุ 1 วัน	0.075, 0.225,	49	การเจริญเติบโตลดลง	Doerr <i>et al.</i> (1983)
	0.675			
อายุ 10 วัน	0.1, 0.2	46	การเจริญเติบโต อัตราแลกน้ำหนักน้อย	Azzam and Gabal (1997)
อายุ 1 วัน	0.3	35	การเจริญเติบโต อาหารที่กินได้ลดลง	Raju and Devegowda (2000)
อายุ 1 วัน	2.5	21	การเจริญเติบโตลดลง	Oğuz and Kurtoglu (2000)
อายุ 6 วัน	2.5	15	การเจริญเติบโต อัตราแลกน้ำหนักน้อย	Scheideler (1993)

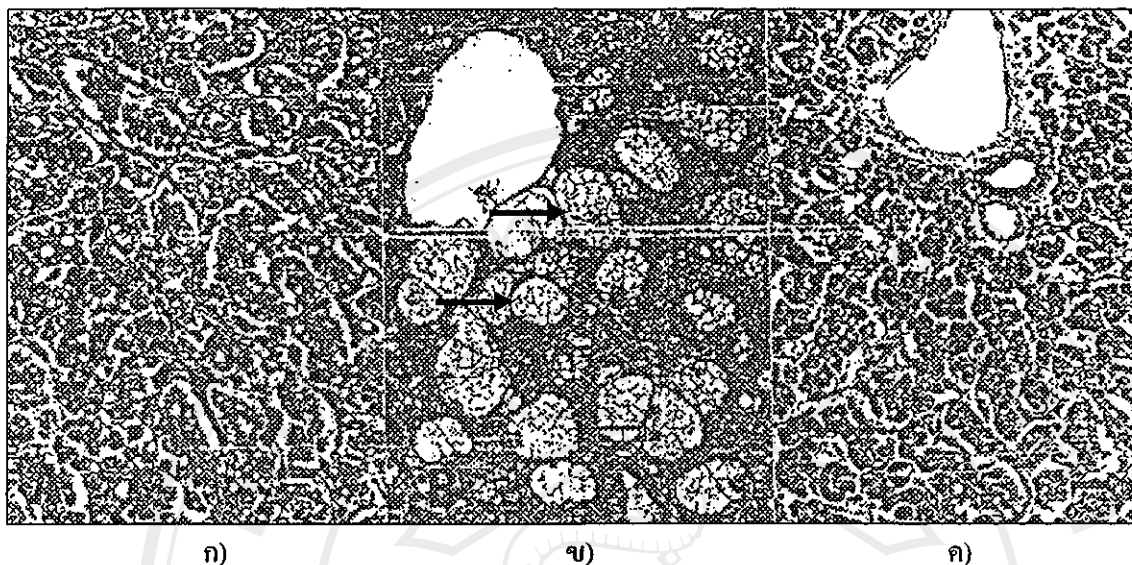
ตารางที่ 9 (ต่อ) ปริมาณและระยะเวลาที่สัตว์ได้รับอะฟลาทอกซิน (AF) ในอาหารที่มีผลเสียต่อสัตว์ปีก

ชนิดสัตว์	AF (ppm)	เวลา (วัน)	อาการ	ที่มา
ไก่เนื้อ				
อายุ 21 วัน	2.5	21	การเจริญเติบโตลดลง	Miazzo <i>et al.</i> (2000)
อายุ 1 วัน	3.0	42	การเจริญเติบโตลดลง อาหารที่กินได้ลดลง	Santurio <i>et al.</i> (1999)
อายุ 1 วัน	3.5	21	การเจริญเติบโตลดลง อัตราการตายสูง	Kubena <i>et al.</i> (1990; 1993)
อายุ 1 วัน	3.5	28	การเจริญเติบโตลดลง	Abo-norag <i>et al.</i> (1995)
อายุ 1 วัน	5.0	21	การเจริญเติบโตและ ปริมาณอาหารที่กินได้ลดลง อัตราแลกน้ำหนักค้อย อัตราการตายสูง	Kubena <i>et al.</i> (1998)
ไก่ไข่				
อายุ 42 สัปดาห์	0.5	50	ไม่มีผลกระทบ	Verma <i>et al.</i> (2003)
	1.0, 2.0	50	อัตราการไข่ลดลง ประสิทธิภาพการใช้อาหารค้อย	
อายุ 27 สัปดาห์	2.5	32	ไม่มีผลกระทบ	Fernandez <i>et al.</i> (1994)
	5.0	32	อัตราการไข่ลดลง	
	20.0	7	อัตราการไข่ลด (ในวันที่ 8)	Garlich <i>et al.</i> (1973)
ไก่ฟอพันธุ์				
	20.0	35	ปริมาณน้ำเชื้อและขนาด อณฑะลดลง ในขณะที่ไม่มี ผลต่อเปอร์เซ็นต์ไข่มีเชื้อ และอัตราการฟักออก	Sharin <i>et al.</i> (1980)
ไก่แม่พันธุ์				
	0.2, 1.0	14	ไม่มีผลกระทบ	Qureshi <i>et al.</i> (1998)
	5.0	14	อัตราการฟักออกลด การตายของตัวอ่อนเพิ่มขึ้น	
	10.0	14	อัตราการฟักออกลด การตายของตัวอ่อนสูง	

นอกจากผลที่มีต่อสมรรถภาพการผลิตดังที่ได้กล่าวไว้ในตารางที่ 8 แล้ว อะฟลาทอกซินยังมีผลทำให้อวัยวะภายใน ซึ่งได้แก่ ตับ ไต หัวใจ กระเพาะ กิ่ง ม้าม ตับอ่อนขยายใหญ่ขึ้น (Kubena *et al.*, 1993; Kubena *et al.*, 1998; Ledoux *et al.*, 1999) โดยตับจะมีสีซีดค่อนข้างเหลือง (Miazzo *et al.*, 2000) และมีไขมันในตับเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 9; Scheideler, 1993) อีกทั้งยังทำให้ค่าฮีมาโตคริต ฮีโมโกลบิน โปรตีน อัลบูมิน กรดยูริก ไตรกลีเซอไรด์ และคอเลสเตอรอลของเลือดลดลง (Kubena *et al.*, 1990) นอกจากนี้ยังพบว่าไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีอะฟลาทอกซิน 0.075 ppm ขึ้นไปเป็นเวลา 7 สัปดาห์ มีผลทำให้คุณภาพซากในด้านน้ำหนักซากและเนื้อหน้าอกด้อยลงด้วย (Doerr *et al.*, 1983)



ภาพที่ 8 ขนาดตับไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีอะฟลาทอกซิน 2.5 ppm ทั้งที่ไม่เสริมและเสริมด้วยสารดูดซับ (zeolite NaA) ช่วงอายุ 21-42 วัน (Maizzo *et al.*, 2000)



ภาพที่ 9 พยาธิสภาพตับไก่เนื้อ (ช่วงอายุ 1-21 วัน)

ก) ได้รับอาหารปกติ ข) ได้รับอาหารมีอะฟลาทอกซิน 4 ppm และ ค) ได้รับอาหารมีอะฟลาทอกซินเสริมด้วยสารดูดซับ (Improved Milbond-TX[®]) จะเห็นได้ว่าพยาธิสภาพของตับไก่ที่ได้รับสารพิษอะฟลาทอกซินจะเกิดก้อนไขมันสะสมในส่วนไซโทพลาสซึมของเซลล์ (hepatocytes) ดังลูกศรที่เห็นในภาพถือว่าค่อนข้างรุนแรงถึงรุนแรงมาก (Ledoux *et al.*, 1999)

การใช้ซีโอไลท์และ/หรือสารประเภทลูมิโนซิลิกเกตลดความเป็นพิษของอะฟลาทอกซินในสัตว์ปีก

จากการศึกษาซีโอไลท์สังเคราะห์ (NaX, NaY, NaA และ CaA) ในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) ถึงความสามารถในการดูดซับอะฟลาทอกซินชนิด B₁ (AFB₁) พบว่า NaA (ZN) มีประสิทธิภาพดีที่สุด และเมื่อนำมาทดลองกับไก่เนื้อเพศผู้ (*in vivo*) จำนวน 80 ตัว อายุ 3-6 สัปดาห์ ด้วยการให้อาหารที่มี AFB₁ 2.5 ppm พบว่า ไก่ทุกกลุ่มมีประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกัน แต่กลุ่มที่ได้รับ ZN 1% มีน้ำหนักตัวเพิ่มสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (1,697 vs. 1,594 ก.) ในขณะที่กลุ่มที่ได้รับ AFB₁ โดยไม่เสริม ZN มีการเจริญเติบโตต่ำกว่าและมีน้ำหนักตัวสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าเสริมด้วย ZN จะทำให้สมรรถภาพการผลิตและขนาดของตับไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม แสดงว่า ZN ช่วยลดความเป็นพิษของอะฟลาทอกซินได้ (Miazso *et al.*, 2000; ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ผลของซีโอไลท์ต่อน้ำหนักตัวเพิ่ม อัตราการเปลี่ยนอาหาร และน้ำหนักตัวของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารมีอะฟลาทอกซิน 2.5 ppm (Miazzo *et al.*, 2000)

กลุ่มทดลอง		น้ำหนักตัวเพิ่ม			
AFB ₁ (ppm)	ZN ^{IV} (%)	ช่วงอายุ 21-42 วัน (ก)	เปลี่ยนแปลงจาก กลุ่มควบคุม (%)	อัตราแลก น้ำหนัก	ตบ (ก/100 ก.น.น. ตัว)
0	0	1,594±18 ⁿ	0	2.11±0.02 ⁿ	3.13±0.10 ⁿ
0	1	1,697±19 ⁿ	6	2.03±0.05 ⁿ	3.21±0.06 ⁿ
2.5	0	1,432±20 ^v	-11	2.11±0.03 ⁿ	4.24±0.21 ⁿ
2.5	1	1,576±22 ^{nv}	-1	2.02±0.02 ⁿ	3.52±0.14 ^v

ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ที่มีอักษรกำกับไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ^vZN = ซีโอไลท์ NaA.

Oguz *et al.* (2000a) ได้ศึกษาการลดความเป็นพิษของอะฟลาทอกซิน (AF) ที่ระดับ 50 และ 100 ppb ในไก่เนื้อ โดยเสริม Clinoptilolite (CLI) 15 ก./กก. อาหาร ตลอดอายุ 42 วัน พบว่า กลุ่มที่ได้รับ AF ที่ระดับ 100 ppb มีน้ำหนักตัวเพิ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเสริม CLI ลงไป จะช่วยทำให้สมรรถภาพการผลิตของไก่ดีขึ้น ส่วนกลุ่มที่ได้รับ AF เพียง 50 ppb มีน้ำหนักตัวเพิ่มไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเสริม CLI ในอาหารที่ปราศจาก AF ไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตของตัวไก่

Oguz *et al.* (2000b) ทดลองเสริม Clinoptilolite (CLI) ซึ่งเป็นซีโอไลท์ธรรมชาติที่ระดับ 1.5 และ 2.5% ในอาหารไก่เนื้อที่มีอะฟลาทอกซิน (AF) 2.5 ppm เป็นเวลา 21 วัน พบว่า การเสริม CLI ในอาหารที่มี AF ทำให้ไก่มีซีรัมโปรตีน อัลบูมิน กรดยูริก และคอเลสเตอรอล รวมทั้งค่าเม็ดเลือดแดงอัดแน่น ปริมาตรเม็ดเลือดแดง ระดับของเม็ดเลือดเฉลี่ย ฮีโมโกลบิน ปริมาตรเกล็ดเลือด และเม็ดเลือดขาว (ชนิดไม่มีแกรนูล) ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริมซีโอไลท์

นอกจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังมีซีโอไลท์ธรรมชาติอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีชื่อว่า “ไฮดรทโซเดียม แคลเซียม อลูมิโนซิลิเกต” (hydrated sodium calcium aluminosilicate, HSCAS) นิยมนำมาใช้ในการดูดซับสารพิษจากเชื้อรา ซีโอไลท์ชนิดนี้เป็นผลึกพวก phyllosilicates ของแคลเซียม alkali และ alkaline earth (Phillips *et al.*, 1988) มีสูตรโครงสร้างคือ $\text{NaK}_2\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_{21}\text{O}_{70}\text{H}_2\text{O}$ พบครั้งแรกในปี 1942 (Azomite, 2001) มีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงไว้ในตารางที่ 11 HSCAS มีชื่อการค้าต่างๆ มากมาย เช่น Azomite[®] (Azomite, 2001), Novasil[™] (Scheideler, 1993; Kubena *et al.*, 1998) และ Sitto-F1 (เขาวมาลย์และสาโรช, 2542) เป็นต้น คุณสมบัติทางกายภาพ มีจุดหลอมเหลวมากกว่า 1,000[°]ฟ มีสีน้ำตาลจนถึงชมพู ละลายน้ำได้น้อยกว่า 1% และไม่มึนกลื่น ใช้เป็นตัวป้องกันการจับตัว

เป็นก้อนของอาหาร (anticaking agent) โดยใช้ในระดับ 0.5 ถึง 1.0% แต่ไม่ควรใช้เกิน 2% ของสูตรอาหาร (Azomite, 2001) เพราะจะทำให้เป็นฝุ่น

เหตุที่ HSCAS นิยมนำมาใช้ในการลดความเป็นพิษของอะฟลาทอกซินนั้น เนื่องจากมีการค้นพบคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ (aflatoxin-binding capacity) โดยมีรายงานครั้งแรกในปี 1987 (Phillips *et al.*, 1987) ซึ่งต่อมามีการทดลองนำเอาอะฟลาทอกซิน B₁ มาติดฉลาก (label) ด้วยกัมมันตภาพรังสี แล้วทดสอบการดูดซับสารพิษด้วยสารดูดซับหลายชนิด ได้แก่ aluminas, zeolite, silicas, phyllosilicates ฯ ผลปรากฏว่า HSCAS เป็นสารที่สามารถดูดซับอะฟลาทอกซิน B₁ ได้ดีที่สุด (ได้มากกว่า 80%) และสามารถทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียรมาก ที่ pH 2, 7 และ 10 ที่อุณหภูมิ 25 และ 27^oC (Phillips *et al.*, 1988) ซึ่งจากการศึกษาในระดับโมเลกุล พบว่าเกิดจากหมู่ β -carbonyl (C=O) ของอะฟลาทอกซินรวมตัวกับไอออนอลูมิเนียม (aluminum ions) ของ HSCAS เกิดเป็นพันธะที่แข็งแรงระหว่างโมเลกุล (Sarr *et al.*, 1990; Kubena *et al.*, 1998) ด้วยเหตุนี้สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจึงไม่สามารถผ่านข้ามผนังของลำไส้ ทำให้ไม่สามารถดูดซึมได้ ความเป็นพิษของอะฟลาทอกซินจึงลดลง

ตารางที่ 11 องค์ประกอบทางเคมี (%) ของ HSCAS

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	TiO ₂	H ₂ O	LOI*	ที่มา
65.85	11.43	1.37	2.07	0.78	5.23	3.67	0.15	0.20	-	6.52	Azomite (2001)
29.90	10.00	2.58	0.07	3.10	0.16	3.60	-	-	2.90	-	Scheideler (1993)

* Loss on incineration

จากการทดลองเสริม HSCAS ระดับต่างๆ ลงในอาหารไก่เนื้อที่มีอะฟลาทอกซิน (AF) 5 ppm พบว่า การเสริมที่ระดับ 0.5% สามารถลดความเป็นพิษของ AF ที่มีต่อปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวเพิ่ม น้ำหนักตับและไขมันในตับได้ 40, 38, 37 และ 4% ตามลำดับ แต่ถ้านเสริมที่ระดับ 1.0% จะลดความเป็นพิษของ AF ได้ 100, 84, 80 และ 49% ตามลำดับ (Araba and Wyatt, 1991)

Jindal *et al.* (1993) ทดลองเสริม HSCAS ในไก่เนื้อที่อายุ 1-42 วัน โดยกลุ่มแรกให้อาหารปกติ กลุ่มที่ 2 ได้รับความที่มีอะฟลาทอกซินชนิด B₁ (AFB₁) 0.5 ppm กลุ่มที่ 3 ให้อาหารที่มี HSCAS 0.5% และกลุ่มที่ 4 ได้รับความที่มีทั้ง AFB₁ 0.5 ppm และ HSCAS 0.5% พบว่ากลุ่มที่ได้รับ HSCAS 0.5% อย่างเดียวและไก่กลุ่มที่ได้รับทั้ง AFB₁ 0.5 ppm เสริมด้วย HSCAS

0.5% มีน้ำหนักตัว ปริมาณอาหารที่กินและอัตราแลกน้ำหนักดีขึ้น ตลอดจนมีซีรัมโปรตีน คอเลสเตอรอล แคลเซียม และฟอสฟอรัสสูงขึ้น

Kubena *et al.* (1990) ทดลองเสริม HSACS 0.5 % ในไก่เนื้อเพศผู้ที่อายุ 1-21 วัน ที่ได้รับอาหารซึ่งมีอะฟลาทอกซิน (AF) 3.5 ppm หรือ trichothecene T-2 (T-2 toxin) 8.0 ppm อย่างใดอย่างหนึ่งหรือมีทั้ง 2 อย่างร่วมกัน ผลปรากฏว่า การเสริม HSCAS ทำให้ไก่มีน้ำหนักตัวดีขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เสริม นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเสริมในกลุ่มที่มี AF ช่วยลดความเป็นพิษต่อตับ ไต กระเพาะแท้ กิ่ง ม้าม และตับอ่อนได้ รวมทั้งช่วยให้ซีรัมคอเลสเตอรอลและอัลบูมินดีขึ้น (ตารางที่ 12 และ 13) แต่เสริมในกลุ่มที่มี T-2 toxin ไม่สามารถลดการเกิดปากอักเสบ (oral lesion) ได้ และการเสริมในกลุ่มที่มีทั้ง AF และ T-2 toxin พบว่าช่วยลดความเป็นพิษต่อตับได้เพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 12 ผลของ HSCAS ต่ออวัยวะภายในของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารมีอะฟลาทอกซิน (AF) 3.5 ppm หรือ trichothecene T-2 (T-2 toxin) 8 ppm หรือมีทั้ง 2 อย่างร่วมกัน (Kubena *et al.*, 1990)

AF (ppm)	T-2 (ppm)	HSCAS (%)	ตับ	ไต	หัวใจ	กระเพาะ	กิ่ง	ม้าม	ตับอ่อน
			← (ก./100 ก.น.น.ตัว) →						
0	0	0	2.97 ¹	0.55 ⁿ	0.78 ^{ขข}	0.69 ¹	2.57 ⁿ	0.090 ^{ขข}	0.42 ^ข
0	0	0.5	3.16 ^{ขข}	0.57 ⁿ	0.79 ^{ขข}	0.75 ^{ขข}	2.64 ⁿ	0.095 ⁿ	0.43 ^ข
3.5	0	0	4.37 ^ข	0.83 ⁿ	0.89 ⁿ	0.79 ^{ขข}	2.97 ^ข	0.133 ⁿ	0.49 ⁿ
3.5	0	0.5	3.50 ⁿ	0.71 ^ข	0.84 ^{ขข}	0.75 ^{ขข}	2.66 ⁿ	0.120 ^{ขข}	0.48 ⁿ
0	8	0	2.93 ¹	0.53 ⁿ	0.75 ^{ขข}	0.74 ^{ขข}	2.98 ^ข	0.076 ^{ขข}	0.39 ^ข
0	8	0.5	3.07 ¹	0.55 ⁿ	0.73 ¹	0.70 ¹	2.95 ^ข	0.070 ^ข	0.40 ^ข
3.5	8	0	4.90 ⁿ	0.87 ⁿ	0.85 ^{ขข}	0.85 ⁿ	3.48 ⁿ	0.125 ^{ขข}	0.49 ⁿ
3.5	8	0.5	4.15 ^ข	0.81 ^{ขข}	0.82 ^{ขข}	0.82 ^{ขข}	3.34 ⁿ	0.107 ^ข	0.49 ⁿ

ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ที่มีอักษรกำกับไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 13 ผลของ HSCAS ต่อค่าโลหิตวิทยาและชีวเคมีของเลือดของไก่เนื้อที่ได้รับอาหารที่มีอะฟลาทอกซิน (AF) 3.5 ppm หรือ trichothecene T-2 (T-2 toxin) 8 ppm หรือมีทั้ง 2 อย่างร่วมกัน (ดัดแปลงจาก Kubena *et al.*, 1990)

AF (ppm)	T-2	HSCAS (%)	โลหิตวิทยา		ชีวเคมีของเลือด				
			ฮีโม โกลบิน (ก./คค.)	ฮีมา โตคริต (%)	กรด ยูริก	ไตรกลี เซอไรด์ (มก./คค.)	คอเลส เตอรอล	โปรตีน	อัลบูมิน
0	0	0	7.80 ^{กข}	29.4 ^ก	6.2 ^{กข}	88 ^{กข}	133 ^ก	2.68 ^ก	1.20 ^ก
0	0	0.5	8.03 ^ก	29.8 ^ก	6.7 ^ก	101 ^ก	131 ^ก	2.72 ^ก	1.20 ^ก
3.5	0	0	7.43 ^{กขท}	27.8 ^{ขท}	5.2 ^{กขท}	72 ^{ขท}	73 ^ข	1.67 ^{กข}	0.67 ^ข
3.5	0	0.5	7.03 ^{กขข}	27.9 ^{ขท}	5.3 ^{กขท}	72 ^{ขท}	92 ^ก	1.90 ^ก	0.79 ^ก
0	8	0	7.64 ^{กขท}	29.4 ^ก	5.0 ^{กขท}	72 ^{ขท}	113 ^ข	2.26 ^ข	1.00 ^ข
0	8	0.5	7.27 ^{ขกข}	28.7 ^{กข}	5.3 ^{กขท}	74 ^{กข}	111 ^ข	2.22 ^ข	0.97 ^ข
3.5	8	0	6.49 ^ข	27.2 ^ก	4.3 ^{ขท}	60 ^ก	71 ^ข	1.43 ^ข	0.58 ^ข
3.5	8	0.5	6.65 ^{กข}	26.7 ^ก	4.1 ^ก	69 ^{ขท}	78 ^{กข}	1.52 ^ข	0.61 ^ข

ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ที่มีอักษรกำกับไม่เหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

Kubena *et al.* (1991) ได้ทดลองเสริม HSCAS 0.5% ในไก่วงเพศผู้ที่อายุ 1-21 วัน ซึ่งได้รับอาหารที่มีอะฟลาทอกซิน (AF) 0.5 และ 1 ppm พบว่า กลุ่มที่ได้รับ AF 1 ppm มีน้ำหนักตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ มีอัตราการตายสูง ในขณะที่กลุ่มที่ได้รับ AF 0.5 ppm มีน้ำหนักตัวลดลงเช่นกัน แต่ไม่มีผลต่ออัตราการตาย การเสริม HSCAS ในกลุ่มที่ได้รับ AF ทั้ง 2 ระดับ ช่วยให้ไก่มีสมรรถภาพการผลิตดีขึ้นและมีอัตราการตายลดลง โดยการเสริมในกลุ่มที่ได้รับ AF 0.5 ppm ช่วยลดความเป็นพิษต่อตับ ไต กิ่ง ม้าม ค่าโลหิตวิทยาและค่าชีวเคมีของเลือดได้ แต่การเสริมให้กับกลุ่มที่มี AF 1 ppm ไม่สามารถลดความเป็นพิษได้

เขาวมาลย์และสาโรช (2542) ศึกษาการใช้ HSCAS (Sitto-F1 และ Novasil) เป็นตัวดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซิน (AF) ในเป็ดเนื้อ Cherry Valley อายุ 1 วัน ที่ได้รับอาหารควบคุม (AF < 10 ppb) และอาหารทดลองซึ่งมี AF 30, 60 และ 120 ppb ตามลำดับ แล้วเสริม Sitto-F1 0.5% หรือ Novasil 0.5% เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า การเสริมสารดังกล่าวในอาหารที่มี AF ทั้ง 3 ระดับ ทำให้เป็ดมีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น มีอัตราการตายลดลง นอกจากนี้ยังช่วยให้ความรุนแรงของโรค aflatoxicosis [ความผิดปกติของขาและการเจริญเติบโตของขน ปีก หาง

(helicopter disease or angel wing) ความเข้มของสี ปริมาณของจุดเลือดออกที่แผ่นนิ้วเท้าและไขมันในตับ] ต่างๆ ลดลงได้

สำหรับข้อสงสัยที่ว่า การใช้ซีโอไลท์ซึ่งเป็นสารประเภทอลูมิโนซิลิเกตที่มีความสามารถในการดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุกับสารหลายชนิด อาจมีผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ของวิตามินและแร่ธาตุในร่างกายสัตว์ได้นั้น Theophilou (2000) รายงานว่า การใช้ Clinoptilolite ซึ่งเป็นซีโอไลท์ธรรมชาติ ไม่มีผลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะอื่นในอาหาร เช่น วิตามิน กรดอะมิโน และแร่ธาตุปฏิกาย่อย เพราะเมื่อนำ Clinoptilolite ไปเสริมให้แก่สุกรในระดับสูง (10% ในอาหาร) ก็ไม่พบว่า มีผลเสียต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารและน้ำหนักตัวเพิ่มแต่อย่างใด

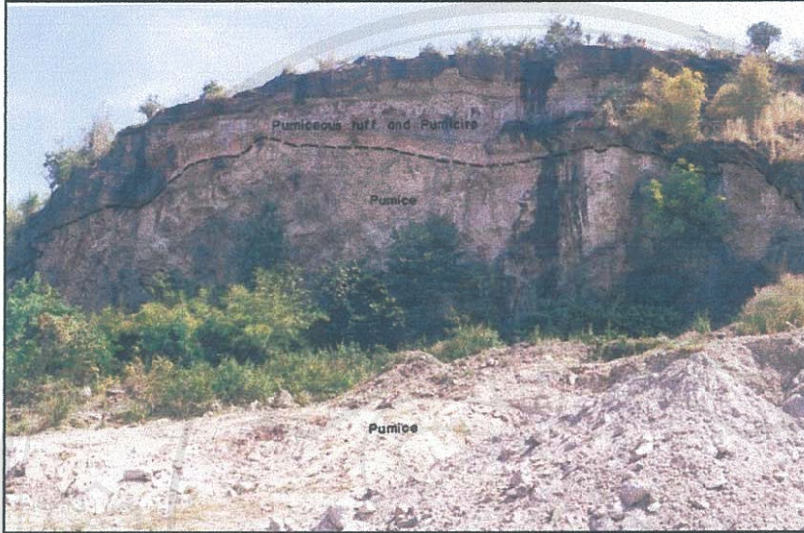
จากประโยชน์ของซีโอไลท์ทั้งในการลดแอมโมเนียและสารพิษจากเชื้อราดังกล่าวข้างต้น จึงเป็นข้อสันนิษฐานว่า หินพัมมิช (Pumice) ซึ่งเป็นหินแก้วภูเขาไฟที่พบในประเทศไทย อาจมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับซีโอไลท์ ในปัจจุบันได้นำหินนี้มาใช้ในการเกษตรโดยเฉพาะการปลูกพืช เนื่องจากมีความพรุนในตัวสูง ทำให้ดินมีความโปร่ง ช่วยรักษาสมดุลน้ำในดิน เป็นตัวดูดซับยาฆ่าแมลงและปุ๋ยเคมีแล้วปลดปล่อยสารเหล่านี้ออกมาอย่างช้าๆ ทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ข้อมูลการใช้ในปศุสัตว์ยังมีอยู่น้อยมาก คาดว่าน่าจะมีคุณสมบัติในการดูดซับแอมโมเนียและสารพิษจากเชื้อราได้เช่นเดียวกับซีโอไลท์

ข้อมูลทั่วไปของหินพัมมิช

พัมมิช เป็นหินแก้วภูเขาไฟ (volcanic glass) ชนิดหนึ่งที่มีฟองแก๊สเล็กๆ อยู่ในเนื้อมากมายจนมีลักษณะพรุนคล้ายฟองน้ำ ซึ่งรูพรุนที่อยู่ในเนื้อหินนี้เกิดจากการขยายตัวของไอน้ำและแก๊สขณะที่แมกมา (magma) อยู่ในสถานะพลาสติก (ยังไม่แข็งตัว) จึงมีน้ำหนักเบาลอยน้ำได้เรียกว่า หินลอยน้ำ ใช้จัดดูภาชนะได้ดี ทำให้ผิวภาชนะวาว ชาวบ้านเรียกว่า หินส้ม (สมาคมธรณีวิทยาแห่งประเทศไทย, ม.ป.ป.)

กำเนิดของหินนี้เกิดจากการเย็นตัวของแมกมาที่มีความหนืดสูง มีปริมาณไอน้ำและแก๊สต่างๆ ละลายปนอยู่มาก โดยขณะที่แมกมาเคลื่อนตัวขึ้นมาใกล้ผิวโลกบริเวณปล่องภูเขาไฟ แก๊สต่างๆ และไอน้ำจะแยกตัวออกจากแมกมาเป็นฟองอากาศขนาดต่างๆ กัน ประกอบกับมีแรงเคลื่อนตัวขึ้นสู่ผิวโลกอย่างรวดเร็ว จึงรีดดันให้แมกมาแทรกผ่านขึ้นมาทางช่องแคบๆ ของปล่องภูเขาไฟพร้อมกับแก๊สต่างๆ และไอน้ำบางส่วนดันตัวหินขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ แมกมาส่วนนี้จะเย็นตัวทันทีทำให้แข็งกลายเป็นหินเรียกว่า หินพัมมิช มีลักษณะเป็นเส้นใยและช่องว่างจำนวนมาก อันเนื่องมาจากรูพรุนของโพรงแก๊สต่างๆ และไอน้ำที่หนีหายไป (ภาพที่ 10 และ 11) โดยส่วนที่เป็นเส้นใยคือ เนื้อหินซึ่งประกอบขึ้นด้วยแก้วภูเขาไฟที่มีรูเป็นท่อขนาดเล็กอยู่ภายในมากมาย (ภาพที่ 12)

นอกจากนี้ยังมีแร่ที่ตกผลึกมาก่อนหน้านี้ปนอยู่เล็กน้อย เช่น แร่พลาจิโอเคลส เฟลด์สปาร์ (Plagioclase feldspar) และแร่เหล็กบางชนิด (สิโรตม์, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 10 หินพัมมิช หินภูเขาไฟประเภทที่เย็นตัวจากลาวาภายหลังการแทรกตัวขึ้นมาสัมผัสกับหินพัมมิเซียสทัฟฟ์ (Pumiceous tuff) และหินพัมมิไซต์ (Pumicite) ซึ่งเกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟและมีการวางตัวเป็นชั้น เช่นที่ เขาพนมฉัตร จ.ลพบุรี (สิโรตม์, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 11 หินพัมมิชเขาพนมฉัตร ตัดเป็นแผ่น แสดงเส้นใยที่ประกอบด้วยแก้วภูเขาไฟ และช่องว่างระหว่างเส้นใย ซึ่งเกิดจากแก๊สต่างๆ และไอน้ำที่ระเหยหายไป จุดสีขาว คือ แร่ Plagioclase feldspar (สิโรตม์, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 12 แก้วภูเขาไฟ (ขยาย 70 เท่า) แสดงรูซึ่งเป็นท่อขนาดเล็ก

อย่างไรก็ดีในบางช่วงของพัฒนาการของภูเขาไฟ ช่องทางภายในปล่องถูกปิดกั้นด้วยหินพัมมิช แต่แมกมายังคงปะทุอยู่เบื้องล่าง แก๊สต่างๆ และไอน้ำยังคงแยกตัวออกจากแมกมาและมีการสะสมตัวภายในปล่องภูเขาไฟมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิดระเบิดอย่างรุนแรง ทำให้หินพัมมิชที่เกิดขึ้นมาก่อนและหินอื่นๆ ซึ่งเป็นส่วนของปล่องภูเขาไฟ ถูกแรงระเบิดแตกตัวเป็นชิ้นส่วนเล็กและใหญ่ ฟุ้งกระจายปนกับละอองเถ้าภูเขาไฟ และส่วนของแมกมาซึ่งเย็นตัวทันทีในอากาศ บางส่วนจะลอยค้างอยู่ในอากาศเป็นเวลานานหรือถูกลมพัดพาไปสะสมตัวไกลออกไป บางส่วนตกลงสู่พื้นโลกสะสมตัวในที่ใกล้ๆ ปากปล่องภูเขาไฟ เมื่อแข็งตัวกลายเป็นหินเรียกว่า หินพัมมิชเซียสท์ไฟฟ์ (Pumiceous tuff) คือ หินตะกอนภูเขาไฟ ซึ่งประกอบด้วยเศษหินพัมมิชที่มองเห็นด้วยตาเปล่าปนอยู่กับเถ้าภูเขาไฟ (ภาพที่ 13) ส่วนพวกที่มีเนื้อละเอียดและประกอบด้วยเถ้าภูเขาไฟเกือบทั้งหมดเรียกว่า หินพัมมิชไซด์ (Pumicite) หินภูเขาไฟเหล่านี้รวมเรียกว่า หินพัมมิช เช่นกัน (สิโรตม์, ม.ป.ป.)

แหล่งของพัมมิชในประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยมีภูเขาไฟจำนวนมากตั้งแต่ครั้งบรรพกาล อายุตั้งแต่ 2 แสนปีถึง 20 ล้านปีโดยประมาณ อยู่ตามแนวจังหวัดเชียงราย แพร่ น่าน ลำปาง อุตรดิตถ์ เพชรบูรณ์ ลพบุรี สระแก้ว ระยอง จันทบุรี อ่าวไทย จนถึงเมืองไพลิน เข้าไปในกัมพูชา ส่วนภาคอีสานตอนใต้ จะมีภูเขาไฟตามแนวจังหวัดบุรีรัมย์ (ภูกระโดง ภูอังคาร ภูพนมรุ้ง เขาไปรบัต; ดีพริ้อม, ม.ป.ป.) ดังนั้นจึงพบหินพัมมิชได้ เช่นที่ จังหวัดลำปาง เพชรบูรณ์ และลพบุรี เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบในภาคใต้ตามชายทะเลด้านตะวันตก บริเวณจังหวัดสตูล ตรัง และพังงารวมไปถึงตามบริเวณชายหากระหว่างจังหวัดระยองถึงชลบุรีด้วย (สมาคมธรณีวิทยาแห่งประเทศไทย, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 13 หินพัมมิเซียสทัฟฟ์ ซึ่งประกอบด้วยเศษหินพัมมิชมากมาย ฝังในเนื้อหิน
เขาพนมฉัตร จ.ลพบุรี (สิโรตม์, ม.ป.ป.)

คุณสมบัติของหินพัมมิช

หินพัมมิชมีสีขาวถึงสีเทาอ่อน มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ ซิลิกาในปริมาณสูงประมาณ 70% และอลูมินาประมาณ 13% (ตารางที่ 14) มีคุณสมบัติทางกายภาพ คือ ดัชนีหักเหที่ 1.5 จุดหลอมเหลวที่ 1,500^๐ซ มีความพรุนในตัวสูง (ตารางที่ 15) เป็นตัวดูดซับและกรองที่ดี มีสภาพเป็นกลาง (pH~8.0; Anonymous, 2001) พัมมิชนี้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, C.E.C.) ที่ 50-80 meq/100 ก. อย่างไรก็ตามพัมมิชยังมีคุณสมบัติในการเป็นหินแก้ว ซึ่งแม้บดให้ละเอียดก็ยังคงมีความคมของแก้วอยู่ สามารถบาดผิวของไร หนอนของแมลง ไล่เดือนฝอย และไล่เดือนน้ำของเหลวภายในซึ่มออกมาภายนอกเซลล์ได้ แต่ไม่มากพอที่จะระคายเนื้อเยื่อของคน (ดีพร้อม, ม.ป.ป.)

ตารางที่ 14 องค์ประกอบทางเคมี (%) ของพัมมิช

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	SO ₃	H ₂ O	LOI*	ที่มา
71.75	12.33	1.98	0.12	3.59	4.47	4.47	0.01	0.11	0.18	3.71	-	1/
70.90	12.76	1.75	0.09	1.36	3.23	3.83	0.02	0.14	0.21	3.88	-	1/
70.00	14.00	3.00	8.00	-	-	-	-	-	-	-	-	2/
70.00	13.66	1.26	0.20	1.12	1.33	5.39	0.02	-	-	0.97	5.75	3/

^{1/}Anonymous (2001) ^{2/}Kyi and Chadwick (1999) ^{3/}สิโรตม์ (ม.ป.ป.); ตัวอย่างจากเขาพนมฉัตร จ.ลพบุรี

* Loss on incineration

ตารางที่ 15 พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนของพัมมิช (นิคม จึงอยู่สุข, 2540; อ้างโดย สิโรตม์, ม.ป.ป.)

ตัวอย่างพัมมิช (mesh)	พื้นที่ผิว (m^2/g)	ขนาดรูพรุน ($^{\circ}A$)
40 – 60	7.35	85.72
60 – 80	12.82	82.22
80 – 100	13.07	75.07

$^{\circ}A = 1/10$ ของมิลลิไมครอน

คุณสมบัติของหินพัมมิชที่ใช้เป็นสารปรับปรุงดิน

สิโรตม์ (ม.ป.ป.) กล่าวว่า หินพัมมิชจากเขาพนมฉัตร ประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญ คือ

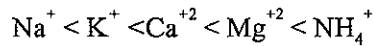
ก. ส่วนที่เป็นแก้วภูเขาไฟ ส่วนนี้เป็นของแข็ง มีรูพรุนหลายขนาด (ตั้งแต่มิลลิเมตรถึงไมครอน) มีทั้งที่ติดต่อกันและไม่ติดต่อกัน การบดให้ละเอียดเป็นแป้งยังคงมีช่องว่างและรูพรุนอยู่ แก้วภูเขาไฟนี้เกิดจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วจากแมกมาประเภทแอซิด (acidic magma) ทำให้แก้วภูเขาไฟไม่มีรูปผลึก (amorphous) และมีปริมาณของซิลิกาอยู่มาก มีธาตุหลัก ธาตุรอง และธาตุเสริมเล็กน้อย มีค่า pH เป็นกลาง คุณสมบัติที่สำคัญของแก้วภูเขาไฟที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือ

- มีรูพรุนไว้ดูดซับ เก็บความชื้น และเก็บของเหลวต่างๆ ไม่ยอมให้สิ่งที่ เป็นประโยชน์ต่อพืชถูกพัดไหลหรือซึมหายไป แต่จะเก็บไว้แล้วค่อยๆ ปล่อยออกมาให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ในโอกาสต่อไป นอกจากนี้ความพรุนยังช่วยให้การถ่ายเทอากาศภายในดินดีขึ้น ในกรณีที่เป็นดินเหนียวจัดจะช่วยทำให้ดินร่วนซุยขึ้น (รากพืชจะเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างเห็นได้ชัด)

- และเนื่องจากแก้วภูเขาไฟมีอยู่มากที่สุดและมีลักษณะเป็น amorphous คือ ไม่มีรูปผลึก แต่มีรูพรุนและมีพื้นที่ผิวจำนวนมาก จึงสามารถละลายได้ง่ายกว่าหินทั่วไป (ซึ่งประกอบด้วยแร่ต่างๆ ที่มีรูปผลึก) นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบเป็นซิลิกาสูง จึงทำให้เกิดการละลายของธาตุซิลิกาออกมาในรูปของซิลิซิก แอซิด (ซึ่งเป็นกรดที่อ่อนมาก ไม่มีผลต่อค่า pH ในดินและไม่ฤทธิ์ในการกัดกร่อน) การละลายนี้มีปริมาณสูงเพียงพอที่พืชจะดูดซึมเอาไปใช้เพิ่มความแข็งแรงของเซลล์ผิวได้ จึงทำให้ศัตรูพืชโดยเฉพาะตัวอ่อนของแมงหรือแมลงไม่สามารถทำอันตราย คุดน้ำเลี้ยง หรือรบกวนการเจริญเติบโตของพืชได้

ข. ส่วนที่เป็นแร่ดิน แร่ดินในหินภูเขาไฟนี้มีวิวัฒนาการต่อเนื่องจากการเกิดขึ้นของแก้วภูเขาไฟ กล่าวคือ จะต้องมีการเกิดภูเขาไฟเป็นต้นกำเนิดเกิดขึ้นก่อน แล้วจึงมีการเปลี่ยนแปลงภายหลังจนกลายเป็นแร่ดิน แต่การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นเพียงบางส่วนเท่านั้น คือ ประมาณ 15-30% โดยปริมาตร แร่ดินมีค่า pH เป็นกลาง และมีคุณสมบัติที่สำคัญที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือ

- ดูดซับความชื้นและของเหลวต่างๆ ซึ่งช่วยเสริมคุณสมบัติของแก้วภูเขาไฟ
- สามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกและลบกับพืชได้ ซึ่งประจุบวกที่สำคัญต่อพืช ได้แก่



ส่วนประจุลบ ได้แก่ SO_4^{-2} , Cl^- , PO_4^{-3} และ NO_3^{-2} เมื่อประจุบวกและลบเหล่านี้ถูกจับไว้โดยแร่ดิน ต้นพืชจะสามารถดูดซึมผ่านรากเข้าไปใช้ได้ทันที โดยไม่จำเป็นต้องทำให้ประจุเหล่านี้เป็นสารละลายก่อน เพราะส่วนปลายรากของพืชสามารถสร้างประจุ H^+ หรือสารอินทรีย์ขึ้น ทำหน้าที่เป็นตัวแลกเปลี่ยนธาตุอาหารที่มีอยู่ในแร่ดินไปใช้ประโยชน์ได้

ค. ส่วนที่เป็นแร่ซีโอไลต์และซิลไวต์ (Sylvite) ซึ่งมีอยู่มากพอควร แร่ทั้ง 2 ชนิดนี้ตรวจพบได้ด้วยวิธี X-ray diffraction analysis แร่ซีโอไลต์ มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกกับธาตุต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่พืช ทำให้ไม่ถูกชะล้างสูญหายไป สำหรับแร่ซิลไวต์หรือเกลือโปแตสเซียมคลอไรด์ที่สามารถละลายน้ำได้ง่าย ส่วนหนึ่งจะถูกพืชดูดไปใช้โดยตรง อีกส่วนถูกแร่ดินและซีโอไลต์ดูดซับเก็บไว้แล้วค่อยๆ ปล่อยให้พืชนำไปใช้อีกทีหนึ่ง

การใช้ประโยชน์จากพืชมัชในทางเกษตร

ดีพร้อม (ม.ป.ป.) กล่าวว่าสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเพาะเห็ดได้ โดยใช้ในอัตราพืชมัชผงบดละเอียด 3 ส่วน คลุกกับวัสดุอื่นๆ 97 ส่วน หรือ 3% หากใช้น้อยกว่านี้ผลผลิตจะยังไม่ดีที่สุด แต่ถ้าใช้มากเกินไปจะทำให้โครงสร้างของเห็ดแข็งกระด้าง เนื้อเห็ดไม่น่ารับประทาน และได้ผลผลิตลดลง นอกจากนี้พืชมัชยังใช้แก้ปัญหาไรเห็ด โดยการผสมพืชมัชในขี้เลื่อยหรือฟางหมักที่ระดับ 3% สามารถช่วยลดไรในถุงเห็ดได้ทุกชนิด เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากหินแก้วภูเขาไฟในพืชมัชขนาดตัวไรให้เป็นแผล มีน้ำซึมออกมา ทำให้ไรไม่สามารถทนอยู่ได้ และช่วยให้ผลผลิตเห็ดทุกชนิดที่เพาะในถุงเพิ่มขึ้นประมาณ 10% แต่ถ้าใช้พืชมัชปลอมจากปูนโดโลไมท์หรือปูนมาร์ล หินปูนฝุ่น หินปูนบด ขี้เลื่อยหินอ่อน ดินเบาไดอะตอมไมท์ลำปาง ดินขาวคาโอลิไนท์ จะไม่สามารถแก้ปัญหาไรเห็ดได้ เพราะไม่มีหินแก้วใช้ขนาดตัวไร

การทดลองนำพืชมัชมาเสริมในอาหารสัตว์ปีก

นิคมและคณะ (2546) ได้ศึกษาการใช้พืชมัชในอาหารไก่เนื้อ (ช่วงอายุ 8-49 วัน) เทียบกับอะโซไมท์® ซึ่งเป็นซีโอไลต์ชนิดหนึ่ง โดยใช้ไก่ 960 ตัว แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 3 ซ้ำ ให้ไก่กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม กลุ่มที่ 2 และ 3 เสริมด้วยพืชมัช 2 และ 4% ตามลำดับ กลุ่มที่ 4 เสริมด้วยอะโซไมท์® 2% วัดปริมาณแก๊สแอมโมเนียด้วยเครื่อง digital sensor (CROWCON TXgard-Plus)

ในวันสุดท้ายของแต่ละสัปดาห์ ยกเว้นสัปดาห์แรก รวมทั้งหาปริมาณความชื้นในมูล ผลปรากฏว่า การเสริมสารดูดซับทั้งสองชนิดไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิต (น้ำหนักตัวเพิ่ม ปริมาณอาหารที่กิน และอัตราแลกน้ำหนัก) อัตราการตายและคุณภาพซากของไก่เนื้อ รวมทั้งปริมาณความชื้นในมูล สำหรับปริมาณแอมโมเนียในคอกสัตว์ พบว่า การใช้สารดูดซับทั้งสองชนิดดังกล่าวทำให้ปริมาณแอมโมเนียลดลงแต่ไม่พบนัยสำคัญ การใช้สารดูดซับชนิดพัมมิชที่ระดับ 4% ให้ผลในการลดแอมโมเนียใกล้เคียงกับเมื่อใช้อะโซไมท์[®] ที่ระดับ 2%

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าพัมมิชมีการใช้ประโยชน์ที่น่าสนใจ อีกทั้งข้อมูลเบื้องต้นก็มีประสิทธิภาพเช่นเดียวกับซีโอไลท์ แต่ซีโอไลท์ส่วนใหญ่ยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้มีราคาสูง ในขณะที่พัมมิชมีในประเทศไทยพบได้หลายพื้นที่ตามแนวของภูเขาไฟ เช่น จังหวัดลำปาง เพชรบูรณ์ และลพบุรี เป็นต้น ประกอบกับข้อมูลการนำมาใช้ในสัตว์ปีกชนิดอื่น รวมทั้งประสิทธิภาพในการลดความเป็นพิษจากเชื้อราซึ่งไม่มีรายงาน ด้วยเหตุนี้จึงควรศึกษาถึงการนำพัมมิชมาใช้ทดแทนซีโอไลท์จากต่างประเทศ ซึ่งอาจช่วยลดต้นทุนการผลิต รวมทั้งช่วยลดปัญหามลภาวะ ตลอดจนปัญหาการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซินในอาหารไก่ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved