

RESEARCH ARTICLE

Effect of Temperature on Efficacy of Bentonite to Adsorb Aflatoxin B1

Yuttana Muttaree¹, Budit Tengjaroenkul^{1*}, Komkrich Pimpukdee¹, Peerapol Sukon¹,
Urai Tengjaroenkul²

Abstract

Objective—To investigate effect of temperature on efficacy of bentonite to adsorb aflatoxin B1 (Afb1) *in vitro*.

Materials and Methods—Thai bentonite clay sized less than 40, 60, 100 and 200 μm was heated in oven at temperature from 100°C to 1,000°C, at 100°C interval for 1 hour. The bentonite samples were mixed with 5 ppm Afb1 solution, and then shaken at 1,000 rpm for 24 hours. Adsorption capacity of bentonite was examined using UV-spectrophotometry at λ 362 nm.

Results—The bentonite clay heated at 600°C showed the best efficacy on adsorption of Afb1. Except for the clay heated at 700°C, the clay heated at 600°C had significantly greater efficacy on the adsorption than the clay heated at other temperatures, including the clay at room temperature ($P < 0.05$). However, when compared at the same temperature, size of the clay was found not significantly involved in the adsorption capacity ($P > 0.05$).

Conclusion—Temperatures had effect on efficacy of the bentonite to adsorb aflatoxin B1. Thai bentonite heated at 600°C for 1 hour demonstrated the greatest efficacy on the adsorption than that heated at other temperatures.

KKU Vet J. 2012;22(2):234-241.

<http://vmj.kku.ac.th/>

Keywords: Aflatoxin; Adsorbent; Bentonite; Temperature

¹Faculty of Veterinary Medicine, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

²Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author E-mail: btengjar@kku.ac.th

ผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของเบนโทไนด์ในการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินบี 1

ยุทธนา มัทธูรี¹, บัณฑิตย์ เต็งเจริญกุล^{1*}, คมกริช พิมพักคี¹, พีระพล สุขอ้วน¹, อุไร เต็งเจริญกุล²

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของเบนโทไนด์ในการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินบี 1 ในหลอดทดลอง

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ นำเบนโทไนด์ขนาดอนุภาค 40, 60, 100 และ 200 μm ไปเผาที่อุณหภูมิ 100°C ถึง 1000°C ห่างกันทุก 100°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินบี 1 โดยเขย่าเบนโทไนด์ในสารละลายอะฟลาทอกซินความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม ในหลอดทดลอง นาน 24 ชั่วโมง และทำตรวจวัดปริมาณอะฟลาทอกซินที่ถูกดูดซับด้วยเครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตเมตรี ความยาวคลื่น 362 nm

ผลการศึกษา จากการเปรียบเทียบการดูดซับของเบนโทไนด์ที่ไม่เผาและที่ผ่านการเผาอุณหภูมิต่างๆ พบว่าเบนโทไนด์ที่เผาที่อุณหภูมิ 600°C มีประสิทธิภาพในการดูดซับอะฟลาทอกซินบี 1 สูงที่สุด ซึ่งแตกต่างจากเบนโทไนด์ที่อุณหภูมิอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ยกเว้นที่อุณหภูมิ 700°C นอกจากนี้ ยังพบว่าขนาดของอนุภาคเบนโทไนด์ที่มีความสามารถในการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบในการอบที่อุณหภูมิเท่ากัน

ข้อสรุป อุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพของเบนโทไนด์ในการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินบี 1 โดยความร้อนที่อุณหภูมิ 600°C สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับได้ดีกว่าความร้อนที่อุณหภูมิอื่น ๆ

วารสารสัตวแพทยศาสตร์ มข. 2555;22(2):234-241.

<http://vmj.kku.ac.th/>

คำสำคัญ: อะฟลาทอกซิน สารดูดซับ เบนโทไนด์ อุณหภูมิ

¹คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

*ผู้เขียนที่ให้การติดต่อ E-mail: btengjar@kku.ac.th

บทนำ

สารพิษอะฟลาทอกซินชนิดบี1 (Aflatoxin B1) เป็นสารพิษจากเชื้อรา *Aspergillus flavus* และ *A. parasiticus* ที่มีความเป็นพิษมากกว่าอะฟลาทอกซินชนิดอื่น ๆ และมักพบการปนเปื้อนในอาหารสัตว์ เช่น ข้าวโพด ถั่ว ข้าว รำข้าว และฝ้าย [1] ปัจจุบันมีรายงานถึงความเป็นพิษของอะฟลาทอกซิน

นที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในคนและมักทำความเสียหายแก่อุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ [1-5] การหาวิธีควบคุมและวิธีลดการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินในวัตถุดิบอาหารทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวจึงเป็นสิ่งจำเป็น ทั้งนี้ อาจใช้วิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี หรือว่าวิธีทางจุลชีววิทยา แต่การใช้วิธีทางกายภาพโดยใช้สารดูดซับ (Sorbent) สารพิษจากเชื้อราเป็นวิธีที่ได้ผลในเชิงปฏิบัติมากที่สุดในอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์และอาหารสัตว์ สารดูดซับมีอยู่หลายชนิด ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ มอนต์มอริล โลไนต์ ซีโอไลต์ เฮกโตไรท์ เวอมิควิลท์ และเบนโทไนท์ [6-10]

ในปัจจุบัน เบนโทไนท์ที่ใช้เป็นสารดูดซับนั้น พบว่ามีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ แร่กลุ่มสเมกไทต์ และมอนต์มอริล โลไนต์ องค์ประกอบรอง ได้แก่ ซิลิกอน ไดออกไซด์ เหล็กออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ องค์ประกอบเหล่านี้ทำให้เบนโทไนท์เป็นสารดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซิน ที่มีประสิทธิภาพ [11, 12] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของศุภรัตน์ [13] ที่พบว่าเบนโทไนท์สามารถดูดซับอะฟลาทอกซิน M1 ออกได้ทั้งหมดในน้ำนมวัวดิบ แหล่งดินเบนโทไนท์ที่สำคัญอยู่ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา กรีซ เยอรมัน ญี่ปุ่น และตุรกี สำหรับประเทศไทยนั้น พบดินเบนโทไนท์มากในเขตจังหวัดลพบุรี และจากการศึกษาพบว่ามีแร่มอนต์มอริล โลไนต์ประมาณร้อยละ 60 เป็นส่วนประกอบหลัก [14] จากการศึกษาประสิทธิภาพของสารดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินจากแหล่งดินต่าง ๆ ซึ่งรวมถึงดินเบนโทไนท์ ในประเทศไทย เปรียบเทียบกับสารดูดซับสารพิษทางการค้าจากต่างประเทศ พบว่ามีประสิทธิภาพการดูดซับใกล้เคียงกัน [15, 16] นอกจากนี้ยังพบว่าการอบหรือเผาดินด้วยความร้อนสูงสามารถเปลี่ยน โครงสร้างของดินและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซิน การศึกษาของ Pimpukdee [17] พบว่าเฮกโตไรต์เป็นดินที่มีความใกล้เคียงกับเบนโทไนท์เมื่อได้รับความร้อนที่ 700 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงสามารถดูดซับอะฟลาทอกซินบี 1 ได้สูงสุด อย่างไรก็ตาม การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของเบนโทไนท์ในการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินยังมีน้อย ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อดูผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของเบนโทไนท์ในการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การเตรียมอะฟลาทอกซิน

เพาะเชื้อรา *A. parasiticus* สายพันธุ์ NRRL 2999 ในข้าวที่อุณหภูมิ 25°C นาน 4 วัน จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณอะฟลาทอกซินด้วยยูวีสเปกโตรโฟโตเมตรี ที่ความยาวคลื่น 362 nm [18]

เบนโทไนท์

บดตัวอย่างดินเบนโทไนท์จากจังหวัดลพบุรีด้วยเครื่องบด (Typ-LD1A Model-Masch. Nr.40689, Retsch) และร่อนแยกให้ได้ขนาด 40, 60, 100 และ 200 μm ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100°C จนถึง 1,000 °C โดยห่างกันทุก 100 °C นาน 1 ชั่วโมง

การศึกษาการดูดซับสารพิษในหลอดทดลอง

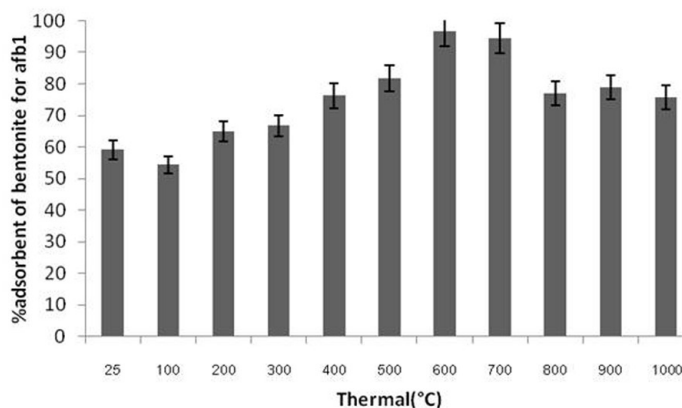
นำตัวอย่างเบนโทไนท์ทุกขนาด ทั้งที่ไม่ผ่านการอบ (25°C) และที่ผ่านการอบ จำนวนตัวอย่างละ 100 μg ใส่ในสารละลายอะฟลาทอกซินบี 1 ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม จำนวน 5 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า 1,000 รอบต่อนาที นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นตกตะกอนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็ว 4,500 รอบ/นาที นาน 25 นาทีแล้วนำสารละลายตัวอย่างส่วนใสไปวัดปริมาณอะฟลาทอกซินที่เหลืออยู่ในหลอดทดลองด้วยเครื่องยูวีสเปกโทรโฟโตเมตรี ที่ความยาวคลื่น 362 nm ทำการทดลอง 5 ซ้ำ วิเคราะห์เปรียบเทียบการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินของเบนโทไนท์แต่ละขนาดอนุภาคและที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วย ANOVA และ Duncan Multiple Range Test ด้วยโปรแกรม SPSS Version 11.5

ผลการศึกษา

จากผลการทดลองพบว่า เบนโทไนท์ที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 600°C มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินบี 1 สูงที่สุด และแตกต่างจากเบนโทไนท์ที่อุณหภูมิต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ยกเว้นที่อุณหภูมิ 700°C (Figure 1) ประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินบี 1 เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 25°C มีแนวโน้มลดลงที่อุณหภูมิ 100°C หลังจากนั้นค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงระดับสูงสุดที่อุณหภูมิ 600°C และมีแนวโน้มลดลงไปจนถึงที่อุณหภูมิ 1,000°C (Figure 1)

นอกจากนี้ จากผลการศึกษาพบว่า ขนาดของอนุภาคเบนโทไนท์มีความสามารถในการดูด

Figure 1. Percentage of Adsorption of AfB1 by Bentonite at Different Temperatures



ซึบสารพิษอะฟลาทอกซินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบในการอบที่อุณหภูมิเท่ากัน เบนโทไนด์ที่ขนาดอนุภาค 40 , 60, 100 และ 200 μm ที่ ผ่านอุณหภูมิ 100°C มีความสามารถในการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินในระดับต่ำสุดที่ร้อยละ 49.61, 59.30, 51.30 และ 53.42 ตามลำดับ และการดูดซับสารพิษของเบนโทไนด์ทั้ง 4 ขนาด ค่อยๆ สูงขึ้นจนถึงที่อุณหภูมิ 600°C มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินปี 1 ได้ในระดับสูงที่ร้อยละ 96.04, 96.88, 96.49 และ 96.78 ตามลำดับ (Table 1)

วิจารณ์

จากผลการทดลองการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินปี 1 ของเบนโทไนด์ที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าอุณหภูมิที่ 600°C ดูดซับได้ดีที่สุด โดยที่อุณหภูมิระหว่าง 100-300°C การดูดซับของเบนโทไนด์ในแต่ละขนาด ยังไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อสังเกตจาก Figure 1 เปรียบเทียบระหว่างเบนโทไนด์ที่ไม่ได้ผ่านความร้อนกับผ่านความร้อนอุณหภูมิที่ 100°C พบว่าการดูดซับสารพิษลดลง และเริ่มดูดซับได้ดีขึ้นที่ความร้อนตั้งแต่ 400-600°C ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 600°C เบนโทไนด์สามารถดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินปี 1 ในหลอดทดลองได้สูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ย 96.62% แต่ไม่แตกต่างจากที่อุณหภูมิ 700°C ที่มีค่าเฉลี่ย 94.37%

Table 1. Percentage of Adsorption for Aflatoxin B1 at Different Particle Sizes of Bentonite

Temperature (°C)	Particle Size of Bentonite (μm)				Mean \pm SD* (%)
	40	60	100	200	
25	60.08	61.56	57.86	56.84	59.09 \pm 2.13 ^f
100	49.61	59.30	51.30	53.42	53.41 \pm 4.23 ^{c,f}
200	64.42	71.65	62.78	57.11	63.99 \pm 5.99 ^{d,e,f}
300	66.87	63.17	69.09	64.76	65.97 \pm 2.57 ^{c,d,e}
400	77.11	81.69	71.15	72.11	75.52 \pm 4.88 ^{b,d,e}
500	80.21	83.15	78.40	82.89	81.16 \pm 2.27 ^b
600	96.04	96.88	96.49	96.78	96.55 \pm 0.38 ^a
700	92.74	93.69	96.67	93.88	94.20 \pm 1.69 ^a
800	78.50	71.80	77.32	77.72	76.34 \pm 3.06 ^{b,c}
900	80.04	78.34	77.59	78.26	78.56 \pm 1.04 ^b
1000	76.68	73.20	71.75	80.30	75.48 \pm 3.82 ^{b,c,d}

*Means with different superscripts indicate a significant difference.

ปัจจัยเรื่องการสูญเสียน้ำมีผลต่อการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินบี 1 จากการประชุมขององค์การอนามัยโลก(WHO) ที่กรุงเจนีวาในปี ค.ศ. 2005 ได้รายงานไว้ว่า เบนโทไนด์สามารถดูดซับน้ำได้น้อยหรือมีความสามารถในการอมน้ำได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปที่อุณหภูมิ 100-200°C และเมื่อได้รับการเพิ่มความร้อนที่สูงขึ้นให้กับเบนโทไนด์จะทำให้เริ่มเกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้นที่อุณหภูมิ 450-500°C และเกิดการสูญเสียน้ำในอนุภาคโดยสมบูรณ์เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 600-750°C [19] ส่วนสารดูดซับประเภทใกล้เคียงกับเบนโทไนด์เกิดการสูญเสียน้ำแตกต่างกัน โดยคาโอไลไนท์เกิดการสูญเสียน้ำจำนวนมากที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียสและถูกขจัดน้ำออกหมดที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส [20] แคลเซียมมอนโมลิไลไนท์เกิดการสูญเสียน้ำระหว่าง 450-600°C [21] และแคลเซียมเบนโทไนด์ เสียน้ำมากที่อุณหภูมิระหว่าง 300-750°C [22] หลังจากเกิดการสูญเสียน้ำทำให้มีเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) [21] การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลของดินเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 400-800°C [23] โดยการพองตัวสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวของการดูดซับที่อุณหภูมิ 500°C [24] และอาจเป็นไปได้ที่การดูดซับเริ่มดีขึ้นที่อุณหภูมินี้ ส่วนโครงสร้างของแคลเซียมเบนโทไนด์เกิดการพองตัวมากที่ อุณหภูมิ 900°C [22] การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของสารดูดซับด้วยความร้อนสูงเป็นผลให้โครงสร้างยุบตัวลงทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับถูกทำลาย จากรายงานขององค์การอนามัยโลก อุณหภูมิที่ 850-1000°C โครงสร้างของดินเกิดการเสื่อมสภาพ [19] โดยการเสียไอออนที่ขั้วบวกทำให้ได้น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดเก้าถ่านเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 850°C คาร์บอน 1 อะตอม เกิดการรวมตัวกับ ออกซิเจน 1 อะตอมหรือการออกซิไดซ์ (Oxidize) กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์

การทดลองการดูดซับอะฟลาทอกซินในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีไขมันมากกว่า 50 % โดยใช้ดินเหนียวในการทดสอบ 3 ชนิดคือ เบนโทไนด์ มอนโมลิไลไนท์และเซปีโอไลท์ พบว่าการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 650°C สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับได้ดีกว่าดินที่ไม่ได้ใช้ความร้อน โดยสัดส่วนการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินบี 1 ของดินที่ใช้ความร้อนกับไม่ใช้ความร้อนอยู่ที่ 9:1 [25] ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองอุณหภูมิที่ 500°C เริ่มการดูดซับดินถึงอุณหภูมิที่ 600°C เป็นจุดสูงสุดในการดูดซับสารพิษ การดูดซับเริ่มลดลงไม่มากจากอุณหภูมิ 600-700 องศาเซลเซียสอาจมีความเกี่ยวเนื่องจากการผลการทดลองของ Pimpukdee (2000) ซึ่งพบว่าการใช้เฮคโตไรท์เผาที่อุณหภูมิ 700°C สามารถดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินบี 1 ได้ดีกว่าอุณหภูมิอื่นส่วนอุณหภูมิที่ 1000°C ดูดซับได้น้อยลงและสามารถชี้ให้เห็นว่าโครงสร้างของเฮคโตไรท์อาจยุบตัวลงทำให้การดูดซับสารพิษลดลง แสดงว่าการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินบี 1 ของเบนโทไนด์ที่เผาด้วยความร้อนเหมาะสมอยู่ระหว่างอุณหภูมิ 500-700°C เนื่องจากการแลกเปลี่ยนอะตอมที่มีประจุบวกมากขึ้นที่อุณหภูมิ 300-700°C [25] การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมีด้วยความร้อนทำให้เกิดการสูญเสียน้ำและเกิดการพองตัวของสารดูดซับเกิดช่องว่างภายในโครงสร้างทำให้สามารถดูดซับได้มากกว่าตัวที่ไม่ได้ให้ความ

ร้อนหรือตัวที่ใช้ความร้อนต่ำกว่าระหว่าง 500 องศาเซลเซียสลงมา นอกจากนี้การให้ความร้อนสูงมากจนเกินไปอาจทำให้โครงสร้างถูกทำลายทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับน้อยลงหลังอุณหภูมิระหว่าง 600-700°C การเลือกใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารดูดซับ ดังนั้นปัจจัยเรื่องอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพของเบนโทไนท์ มีผลต่อการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินบี 1 อย่างเห็นได้ชัด ส่วนระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาของการดูดซับไม่มีผลต่อการดูดซับ [26]

การศึกษานี้พอสรุปได้ว่าอุณหภูมามีผลต่อประสิทธิภาพของเบนโทไนท์ในการดูดซับสารพิษอะฟลาทอกซินบี 1 และความร้อนที่อุณหภูมิ 600°C สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษได้ดีกว่าความร้อนที่อุณหภูมิต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาสัตวแพทยศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

1. World Health Organization (WHO). 1977. Chronic liver disease and mycotoxin aflatoxin. *Meeting of Investigators on Chronic Liver Disease*; 1977 Nov 21-25; Geneva.
2. Williams JH, Phillips TD, Jolly PE, Stiles JK, Jolly CM, Aggarwal D. Human aflatoxicosis in developing countries: A reviews of toxicology, exposure, potential health consequences, and interventions. *Am J Clin Nutr.* 2004;80:1106-1122.
3. Bintvihok A, Davitayananda D. Aflatoxins and their metabolites residues in chicken tissues from 5 parts (10 provinces) of Thailand. *J Health Res.* 2002;16:37-54.
4. Harintharanon K, Sailasuta A, Rungsipipat A, Bintvihok A, Sasipreyajan J. Pathological changes and faecal excretion levels seen in broiler chicks after a single oral dose of aflatoxin B1. *Thai J Vet Med.* 2000;30:35-49.
5. Beaver RW, Wilson DM, James MA, Haydon KD. Distribution of of aflatoxins in tissue of growing pigs fed an aflatoxin-contaminated with a high affinity aluminosilicate sorbent. *Vet Human Toxicol.* 1990;32:16-18.
6. Uopasai S, Pimpakdee K, Tengjaroenkul b, Muanglai P, Surachon P. Effect of natural charcoal powder added in swine feeds as aflatoxin adsorbents on improving performance of swine production and histopathological changes of swine livers. *KKU Vet J.* 2008;18:109-119.
7. Desheng Q, Fan L, Yanhu Y, Niya Z, Adsorption of aflatoxin B-1 on montmorillonite. *Poult Sci.* 2005;84:959-961.
8. Elmore AR, Cosmetic Ingredient Review Expert Panel. Final report on the safety assessment of aluminum silicate, calcium silicate, magnesium aluminum silicate, magnesium silicate, magnesium trisilicate, sodium magnesium silicate, zirconium silicate, attapulgite, bentonite, fuller's earth, hectorite, kaolin, lithium magnesium silicate, lithium magnesium sodium silicate, montmorillonite, pyrophyllite, and zeolite. *Int J*

- Toxicol.* 2003;22:37-102.
9. Phillips TD, Kubena LF, Harvey RB, Taylor DR, Heidelbaugh ND. 1988. Hydrated sodium calcium aluminosilicate: A high affinity sorbent for aflatoxin. *Poult Sci.* 1998;67:243–247.
 10. Smith EE, Phillips TD, Ellis JA, Harvey RB, Kubena LF, Thompson J, Newton G. Hydrated sodium calcium aluminosilicate reduction of AFM1 residues in dairy goat milk. *J Anim Sci.* 1994;72:677–682.
 11. Chansiripornchai P, Fink-Gremmels J. Evaluation of the aflatoxin B1 adsorption capacity of bentonite using an in vitro method mimicking monogastric gastro-intestinal tract conditions. *Thai J Vet Med.* 2004;34:13-19.
 12. Muanglai P, Tengjaroenkul B, Sukon P, Pimpakdee K, Tengjaroenkul U. Efficacy of Bentonite on reducing toxicity of aflatoxin B1 in diet of Nile tilapia fish. *KKU Vet J.* 2010;20:21-33.
 13. Kositcharoenkul S. Removal of aflatoxin M1 from raw milk by bentonite [thesis]. Bangkok: Kasetsart University; 1999.
 14. Supamathanon N. Separation, characterization and modification of montmorillonite in clay from Nakhonratchasima province, Thailand [thesis]. Nakhonratchasima: Suranaree University; 2004.
 15. Sittiwong J. Adsorption isotherms of Aflatoxin B1 on some commercial and synthetic adsorbents [thesis]. Chiang Mai: Chiang Mai University; 2008.
 16. Noyrod P. Efficacy of natural adsorbents for the adsorption of aflatoxin B1 [thesis]. Chiang Mai: Chiang Mai University; 2008.
 17. Pimpakdee K. Effect of heat treatments on Hectorite for the adsorption of aflatoxin B1. 30th Congress on Science and Technology of Thailand; 2004 October 19-21; Bangkok..
 18. Kubena LF, Harvey RB, Phillips TD, Corrier DE, Huff WE. 1990. Diminution of aflatoxicosis in growing chickens by dietary addition of a hydrated sodium calcium aluminosilicate. *Poult Sci.* 1990;69:727–735.
 19. World Health Organization (WHO). Bentonite, kaolin and selected clay minerals. *Environmental Health Criteria* 231; 2005.
 20. Grim RE. *Clay Mineralogy*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill; 1968.
 21. Ho C, Handy RL. *Modification of Ca-montmorillonite by low-temperature heat treatment*. Ames: Iowa State University; 1968.
 22. Bayram H, Onal M, Yilmaz H, Sarikaya Y. *Thermal analysis of a white calcium bentonite*. Hungary: Springer Budapest; 2010.
 23. Sakizci M, Alver BE, Yorukogullari E. Thermal behavior and immersion heats of selected Clays from Turkey. *J Therm Anal Calorim.* 2009;98:449-436.
 24. Onal M, Sarikaya Y. Thermal Analysis of Some Organoclays. *J Therm Anal Calorim.* 2008;91:261-265.
 25. Pimpukdee, K. In vitro and in vivo characterization of potential enterosorbents for aflatoxin B1 [dissertation]. College Station (TX): Texas A&M University; 2000.
 26. Pimpukdee K, Kubena LF, Bailey CA, Huebner H, Afriyie-Gyawu E, Phillips TD. Aflatoxin-induced toxicity and depletion of hepatic vitamin A in young broiler chicks: Protection of chicks in the presence of low levels of NovaSil PLUS in the diet. *Poult Sci.* 2004;83:737-744.