บทที่ 5

อภิปรายผล สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของวัตถุดิบในภาพรวมทั้ง 3 โรงงาน พบว่า ชนิดของวัตถุดิบ แหล่งที่มาของวัตถุดิบและระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของอะฟลาท็อกซินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) ข้าวโพดและกากมะพร้าวเป็นวัตถุดิบ 2 ชนิดที่มีปริมาณอะฟลาท็อกซินปนเปื้อนสูงกว่าวัตถุดิบชนิดอื่นอย่างชัดเจน จากผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนปริมาณอะฟลาท็อกซินในข้าวโพดและกากมะพร้าวรวมกันมีมากกว่า 85 % ของปริมาณที่พบในวัตถุดิบอื่นรวมกันทุกชนิด ปริมาณอะฟลาท็อกซินในข้าวโพดและกากมะพร้าว มีความแตกต่างกันในแต่ละโรงงานตามแหล่งที่มาของวัตถุดิบที่โรงงานจัดซื้อ ในโรงงาน 1 ใช้ข้าวโพดชนิดเมล็ดซึ่งมีปริมาณการปนเปื้อนต่ำกว่าข้าวโพดป่นที่ใช้ในโรงงาน 2 และ 3 อย่างชัดเจน คือที่ปริมาณเฉลี่ย 7.08 ppb, 21.03 ppb และ 57.75 ppb ตามลำดับ (ตารางที่ 39) สอดคล้องกับรายงานของ FAO (1997) และกรมปศุสัตว์ (2544) ที่รายงานว่าข้าวโพดชนิดเมล็ดมีปริมาณอะฟลาท็อกซินต่ำกว่าชนิดป่น ในการศึกษาครั้งนี้กากมะพร้าวที่ใช้เป็นตัวอย่างส่วนใหญ่มีปริมาณอะฟลาท็อกซินปนเปื้อนในระดับต่ำกว่าที่เคยมีการศึกษาและรายงานไว้ก่อนหน้านี้ โดยเฉพาะในโรงงานที่ 3 มีค่าเฉลี่ยการปนเปื้อนเพียง 3.77 ppb ในขณะที่โรงงานที่ 1 และ 2 มีปริมาณการปนเปื้อน 33.94 ppb และ 91 ppb ตามลำดับ (ตารางที่ 39) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกากมะพร้าวที่ใช้ในโรงงาน 3 ได้มาจากโรงงานคั้นกะทิซึ่งมีปริมาณอะฟลาท็อกซินต่ำกว่ากากมะพร้าวที่ได้จากโรงงานบีบน้ำมัน (กรมปศุสัตว์ , 2544) ส่วนกากมะพร้าวที่ใช้ในโรงงาน 1 นั้น จากการสอบถาม พบว่า ทางโรงงานกำหนดให้ร้านจำหน่ายกากมะพร้าวใช้สารเคมีกำจัดเชื้อราและอะฟลาท็อกซินเพิ่มเติมอีกขั้นตอนหนึ่งก่อนนำมาใช้ที่โรงงาน และยังทราบว่าโรงงาน 1 สามารถกำหนดและตรวจสอบวัตถุดิบจากโรงจำหน่ายวัตถุดิบที่จัดซื้อได้ จึงทำให้ปริมาณการปนเปื้อนของอะฟลาท็อกซินในตัวอย่างวัตถุดิบจากโรงงาน 1 มีปริมาณไม่สูงมากนัก และพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับวัตถุดิบที่มีแหล่งที่มาจากโรงงาน 2 ที่จัดซื้อโดยไม่สามารถกำหนดและตรวจสอบคุณลักษณะวัตถุดิบ นอกจากนี้ พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอะฟลาท็อกซินโดยรวมในวัตถุดิบที่มาจากทั้ง 3 โรงงาน

โรงงาน 1 จากการพิจารณาสูตรอาหารของโรงงาน (ตารางที่ 5) ได้เลือกเก็บตัวอย่างวัตถุดิบเพียง 5 ชนิดสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณอะฟลาท็อกซินโดยไม่มีการเก็บตัวอย่างมันเส้น เนื่องจากมันเส้นไม่มีการเก็บรักษาไว้ที่โรงงาน ผลการวิเคราะห์ปริมาณอะฟลาท็อกซิน พบว่า วัตถุดิบทุกชนิดและอาหารข้นมีปริมาณอะฟลาท็อกซินปนเปื้อนอยู่ในระดับต่ำกว่าที่กำหนดไว้ในร่างกำหนดระดับอะฟลาท็อกซินในวัตถุดิบและอาหารสัตว์ของกรมปศุสัตว์ พ.ศ. 2544 และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณอะฟลาท็อกซินตามที่ E.U. กำหนด พบว่ามีเพียงอาหารข้นเท่านั้นที่มีปริมาณอะฟลาท็อกซินปนเปื้อนเกินกว่าระดับที่ E.U กำหนด คือ 5 ppb (FAO, 1995) รายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 39

ตารางที่ 39 เปรียบเทียบปริมาณอะฟลาท็อกซินในอาหารข้นที่ตรวจพบในวันแรกผลิตของแต่ละโรงงาน กับร่างกำหนดระดับอะฟลาท็อกซินในวัตถุดิบและอาหารสัตว์ของกรมปศุสัตว์ พ.ศ.2544 และระดับอะฟลาท็อกซินที่ E.U. กำหนด

วัตถุดิบ / อาหารข้น	ปริมาณอะฟลาท็อกซิน (ppb) ที่พบเฉลี่ยในแต่ละโรงงาน			ร่างกำหนดระดับอะฟลาท็อกซิน (ppb) ในวัตถุดิบและอาหารสัตว์ พ.ศ. 2544	ระดับอะฟลาท็อกซิน (ppb) ที่ E.U. กำหนด*
	1	2	3		
อาหารข้น	12.08	8.19	6.03	80	5
ข้าวโพด	7.08	21.03	57.75	50	20
กากมะพร้าว	33.94	91	3.77	50	20
รำละเอียด/รำหยาบ	1.24	0.10	0.84	25	50
กากปาล์ม	0.88	2.14	3.36	50	20
กากถั่วเหลือง	0.71	1.13	0.09	30	50
มันเส้น	+	6.55	6.88	25	50
กากเบียร์	-	1.08	2.61	ไม่ได้กำหนด	50
กากถั่วเขียว	-	0.26	-	ไม่ได้กำหนด	50
กากถั่วลิสง	-	8.75	-	300	20
กากทานตะวัน	-	3.12	-	ไม่ได้กำหนด	20
กากเมล็ดนุ่น	-	10.85	-	ไม่ได้กำหนด	20

*ที่มา ดัดแปลงจาก FAO (1995) - = ไม่ได้ใช้ในสูตร + = ไม่ได้เก็บตัวอย่าง

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในโรงงาน 1 พบว่า การเพิ่มขึ้นของความชื้นของวัตถุดิบเป็นปัจจัยสำคัญที่มีความสัมพันธ์และมีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของอะฟลาท็อกซินในรำละเอียดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โรงงาน 1 ใช้ระยะเวลาเก็บรักษารำละเอียดโดยเฉลี่ย 5.13 วัน ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 80.49 % มีความชื้นของรำละเอียดเพิ่มขึ้น 0.5 % และทำให้ปริมาณอะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้น 69.35% ขณะที่โรงงาน 3 ใช้ระยะเวลาเก็บรักษารำละเอียดโดยเฉลี่ย 5.63 วัน ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 82.63 % มีความชื้นเพิ่มขึ้น 0.09 % และทำให้ปริมาณอะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้นเพียง 9.52% จะเห็นได้ว่าทั้ง 2 โรงงานใช้ระยะเวลาการเก็บรักษาใกล้เคียงกัน แต่การเพิ่มขึ้นของความชื้นในรำละเอียดของโรงงาน 1 สูงกว่าจึงทำให้ปริมาณอะฟลาท็อกซินเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย การเพิ่มขึ้นของความชื้นในรำละเอียดของโรงงาน 1 อาจเนื่องมาจากการใช้กระสอบป่านสำหรับบรรจุรำละเอียด เพราะกระสอบป่านไม่สามารถป้องกันความชื้นจากสิ่งแวดล้อมได้ดีเท่ากับกระสอบพลาสติก โดยสังเกตได้จากในโรงงาน 1 มีความชื้นสัมพัทธ์ 80.49 % ต่ำกว่าโรงงาน 3 ประมาณ 2 % แต่รำละเอียดของโรงงาน 1 กลับดูดซับความชื้นไว้ได้มากกว่าในโรงงานที่ 3 อย่างไรก็ตาม ปริมาณอะฟลาท็อกซินในรำละเอียดของทั้ง 2 โรงงานยังต่ำกว่าที่กำหนดไว้ในร่างกำหนดระดับอะฟลาท็อกซินในวัตถุดิบและอาหารสัตว์ของกรมปศุสัตว์ พ.ศ. 2544 อยู่มาก กล่าวคือ ตามร่างฯ กำหนดไว้ไม่เกิน 25 ppb แต่โรงงาน 1 มีปริมาณการปนเปื้อนเพียง 1.24 ppb และโรงงาน 3 มีเพียง 0.84 ppb เท่านั้น ส่วนในโรงงานที่ 2 ซึ่งใช้รำหยาบไม่พบการเปลี่ยนแปลงใดๆ เนื่องจากรำหยาบมีส่วนประกอบที่เป็นเยื่อใยสูง ไม่เหมาะต่อการเป็นแหล่งอาหารของเชื้อรา (Wilson and Payne, 1994) ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งสำหรับวัตถุดิบในโรงงาน 1 คือ ข้าวโพดที่ถูกเก็บรักษาโดยกองไว้บนพื้นโดยตรง แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะฟลาท็อกซินที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยใด ทั้งนี้อาจเนื่องจากระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวโพดนานเพียง 3 วันและข้าวโพดอยู่ในรูปเมล็ดซึ่งมีการปนเปื้อนอะฟลาท็อกซินน้อยกว่าข้าวโพดป่น อย่างไรก็ตามการกองวัตถุดิบไว้บนพื้นโดยตรงเป็นวิธีการเก็บรักษาที่ไม่ถูกต้อง เพราะง่ายต่อการดูดซับความชื้นจากพื้นซีเมนต์ และถูกแมลง นก หนูกัดแทะ อันเป็นสาเหตุให้เชื้อราแทรกเข้าไปในเนื้อวัตถุดิบแล้วผลิตอะฟลาท็อกซินได้ง่ายขึ้นทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง (Procter, 1994 ; Wilson and Payne, 1994)

อาหารข้นที่ได้ข้อมูลจากการศึกษาในโรงงาน 1 พบการปนเปื้อนเฉลี่ย 12.08 ppb ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ในร่าง ฯ แต่เป็นปริมาณที่สูงกว่าระดับที่ E.U. กำหนด (ตารางที่ 39) มีข้อสังเกตว่าการผลิตอาหารข้นชนิดอัดเม็ดโดยใช้เครื่องจักรอัตโนมัติควบคุมการปล่อยวัตถุดิบและอาหารจากถังเก็บ และมีการฉีดพ่นน้ำอุ่นเข้าไปในขั้นตอนการอัดเม็ด อาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตและสร้างสารพิษของเชื้อราได้มากกว่าเครื่องผสมอาหารทั่วไป อุปกรณ์การผลิตในโรงงาน 1 มีอายุการใช้งานมาแล้ว 3 ปี โดยยังไม่มีการหยุดผลิตเพื่อบำรุงรักษาทั้งระบบ อาจเป็นสาเหตุให้เกิดการสะสมของเศษ

วัตถุดิบที่มีเชื้อราและสารพิษปนเปื้อนอยู่ภายในได้และอาจก่อปัญหาเพิ่มขึ้นได้ในอนาคต ซึ่งในจุดนี้ควรมีการศึกษาในลำดับต่อไป

โรงงาน 2 มีวัตถุดิบที่ใช้เป็นตัวอย่างทั้งหมด 11 ชนิด และมีการเปลี่ยนสูตรอาหาร 1 ครั้ง ในระหว่างการทำการศึกษา ผลการวิเคราะห์ปริมาณอะฟลาท็อกซินในวัตถุดิบและอาหารข้นเมื่อเปรียบเทียบกับร่างกำหนดระดับอะฟลาท็อกซินในวัตถุดิบและอาหารสัตว์ของกรมปศุสัตว์ พ.ศ. 2544 และระดับที่ E.U. กำหนด พบว่า กากมะพร้าวเป็นวัตถุดิบที่มีการปนเปื้อนสูงกว่าระดับที่กำหนดมาก คือมีปริมาณอะฟลาท็อกซินสูงถึง 91 ppb (ตารางที่ 15) แต่ระดับที่กำหนดตามร่างฯ มีได้เพียงไม่เกิน 50 ppb และ E.U. กำหนดไว้เพียง 20 ppb เท่านั้น (กรมปศุสัตว์, 2544 ; FAO, 1995) ส่วนอาหารข้นจากโรงงานนี้พบว่ามีปริมาณการปนเปื้อนโดยเฉลี่ย 8.19 ppb ซึ่งต่ำกว่าที่กำหนดไว้ในร่างฯ แต่เป็นปริมาณที่สูงกว่าระดับที่ E.U กำหนด (ตารางที่ 39)

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปัจจัยเรื่องระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณอะฟลาท็อกซินในมันเส้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) (ตารางที่ 27) โดยธรรมชาติมันเส้นมีส่วนประกอบที่เป็นแป้งในปริมาณมากและมีไซยาไนด์ที่ขัดขวางการเจริญเติบโตและสร้างสารพิษของเชื้อรา (Yoshizama, 1991) จึงพบการปนเปื้อนของอะฟลาท็อกซินในปริมาณที่ต่ำ แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นทำให้เชื้อราผลิตอะฟลาท็อกซินสะสมเพิ่มขึ้น จนทำให้พบความสัมพันธ์ของปริมาณอะฟลาท็อกซินที่เพิ่มขึ้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาได้ เมื่อเปรียบเทียบมันเส้นที่มาจากโรงงานที่ 2 และโรงงานที่ 3 พบว่า ในโรงงานที่ 2 มันเส้นถูกเก็บรักษาไว้ประมาณ 5 วัน มีปริมาณอะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้น 45.95% และมันเส้นที่มาจากโรงงานที่ 3 ใช้ระยะเวลาเก็บรักษาประมาณ 8 วัน มีปริมาณอะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้นประมาณ 51.45% ซึ่งเป็นผลที่เป็นไปในแนวทางเดียวกัน กล่าวคือ ถ้าระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณอะฟลาท็อกซินก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามระดับการปนเปื้อนของอะฟลาท็อกซินในมันเส้นยังต่ำกว่าระดับที่ร่างกำหนดระดับอะฟลาท็อกซินในวัตถุดิบและอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ พ.ศ. 2544 อยู่มาก (ตารางที่ 39) มันเส้นเป็นวัตถุดิบที่ให้ผลผลิตตามฤดูกาล มีการผลิตได้ภายในประเทศอย่างเพียงพอ และนักวิชาการด้านอาหารสัตว์แนะนำให้ใช้ในสูตรอาหารมากขึ้น (พันธิพา, 2540) ดังนั้นถ้ามันเส้นถูกเก็บรักษาเป็นระยะเวลาที่นานมากขึ้น โดยไม่มีวิธีการเก็บรักษาที่ดีจะทำให้พบการปนเปื้อนของอะฟลาท็อกซินมากขึ้นได้ ประกอบกับปริมาณการใช้มันเส้นในสูตรอาหารมีสัดส่วนสูง ก็อาจส่งผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณอะฟลาท็อกซินในอาหารข้นได้อีกด้วย

กากปาล์ม กากทานตะวันและ กากถั่วลิสง เป็นวัตถุดิบที่พบว่ามีปริมาณอะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับความชื้นที่เพิ่มขึ้นในวัตถุดิบ จากรายงานของ Church และ Pond (1982) ปาล์ม

ทานตะวันและถั่วลิสงเป็นพืชที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบใกล้เคียงกัน คือ 50 %, 40% และ 45 % ตามลำดับ จึงมีคุณสมบัติของการเป็นแหล่งอาหารที่เชื้อราต้องการคล้ายคลึงกัน จากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า ความชื้นก่อนผสมของกากถั่วลิสง กากทานตะวันและกากปาล์ม มีค่าเฉลี่ย 9.90%, 10.36% และ 8.48% ตามลำดับ ในระหว่างเก็บรักษามีความชื้นเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 0.57 % ,0.15% และ 0.29% ทำให้อะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้น 3.01 ppb, 0.15 ppb และ 1.99 ppb ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าถ้าวัตถุดิบมีคุณสมบัติการเป็นแหล่งอาหารของเชื้อราได้ใกล้เคียงกัน และมีความชื้นในวัตถุดิบและสภาวะแวดล้อมอื่นเหมาะสมตามที่เชื้อราต้องการแล้ว วัตถุดิบชนิดใดมีความชื้นเพิ่มขึ้นมากกว่าจะทำให้ปริมาณอะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้นตามมากกว่าด้วย สาเหตุที่ทำให้กากปาล์ม กากทานตะวันและกากถั่วลิสงได้รับอิทธิพลจากความชื้นมากกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น อาจเนื่องมาจากวัตถุดิบ 3 ชนิดนี้ถูกวางไว้ชิดผนังในแนวขวางทิศทางลม ทำให้มีโอกาสได้รับความชื้นในอากาศที่เข้ามาปะทะสูง ลักษณะของโรงเรือนที่เปิดไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณความชื้นในวัตถุดิบโดยรวมมากนัก แต่คาดว่าเมื่อถึงฤดูฝนอาจมีปัญหาเพิ่มขึ้น (พันทิพา, 2540)

โรงงาน 3 วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มี 7 ชนิด ผลการศึกษาปรากฏว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณอะฟลาท็อกซินในวัตถุดิบทั้ง 7 ชนิด มีความสัมพันธ์กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้ การเพิ่มขึ้นของปริมาณอะฟลาท็อกซินในมันเส้น กากมะพร้าว กากปาล์ม และกากถั่วเหลือง มีความสัมพันธ์สูงยิ่งกับการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาการเก็บรักษา(ตารางที่ 37) และการเพิ่มขึ้นของปริมาณอะฟลาท็อกซินในกากเบียร์ กากมะพร้าว ข้าวโพด กากปาล์ม และรำละเอียด มีความสัมพันธ์ที่สูงยิ่งกับความชื้นในวัตถุดิบ(ตารางที่ 37) เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะฟลาท็อกซินในทางสถิติ มีเพียงกากเบียร์และกากปาล์มเท่านั้นที่ไม่พบค่านัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งรายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 40 ผลการศึกษาที่ปรากฏเช่นนี้เป็นสิ่งที่ชี้ให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับวัตถุดิบทุกชนิดที่ศึกษาไม่ได้เกิดขึ้นเพราะความแตกต่างทางคุณลักษณะของวัตถุดิบ แต่เกิดจากการอยู่ภายใต้สภาวะการจัดการที่ไม่เหมาะสมเหมือนกัน จากการสอบถามและสังเกต พบว่า โรงเรือนที่ใช้เก็บรักษาวัตถุดิบของโรงงานแห่งนี้มีปัญหาเรื่องการป้องกันความชื้นจากภายนอก และการระบายความชื้นออกจากโรงเรือน สังเกตได้จากปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ในโรงงานนี้เปรียบเทียบกับโรงงาน 2 ที่อยู่ในเขตปศุสัตว์เดียวกัน และมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน คือ 27 – 29 °C พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ในโรงงานที่ 2 มีค่าระหว่าง 80 – 82 % ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงงานที่ 3 มีค่าที่สูงกว่า คือ 82 – 84 % และการเก็บรักษาวัตถุดิบโดยการวางกระสอบบรรจุวัตถุดิบไว้โดยตรงบนพื้นเป็นเหตุให้วัตถุดิบสามารถดูดซับความชื้นจากสิ่งแวดล้อมได้สะดวกขึ้น เมื่อระยะเก็บรักษาผ่านไปประมาณ 3 – 7 วัน ทำให้เชื้อราเจริญเติบโตและสร้างสารพิษเพิ่มขึ้นได้ในวัตถุดิบทุกชนิด สอดคล้องกับรายงานของ Dickens (1977) และ Strange (1991) ที่รายงานว่าถ้าอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม เชื้อราสามารถผลิตอะ ฟลาท็อกซินได้ภายใน 24 – 48 ชั่วโมง

ตารางที่ 40 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอะฟลาท็อกซินในวัตถุดิบที่มาจาก 3 โรงงาน

โรงงาน	วัตถุดิบ	ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอะฟลาท็อกซิน	ระดับแสดงความสัมพันธ์ (r)	ระดับแสดงค่าทางสถิติ (p)
1	รำละเอียด	ความชื้นวัตถุดิบ	0.87	< 0.05
2	มันเส้น	ระยะเวลาเก็บรักษา	0.74	< 0.05
	กากปาล์ม	ความชื้นวัตถุดิบ	0.99	< 0.01
	กากทานตะวัน	ความชื้นวัตถุดิบ	0.99	<0.01
	กากถั่วลิสง	ความชื้นวัตถุดิบ	0.74	
3	กากมะพร้าว	ระยะเวลาเก็บรักษา	0.82	< 0.05
		ความชื้นวัตถุดิบ	0.96	< 0.01
	กากปาล์ม	ระยะเวลาเก็บรักษา	0.94	
		ความชื้นวัตถุดิบ	0.85	
	ข้าวโพด	ความชื้นวัตถุดิบ	0.99	< 0.01
	รำละเอียด	ความชื้นวัตถุดิบ	0.95	< 0.01
	กากเบียร์	ความชื้นวัตถุดิบ	0.94	
	กากถั่วเหลือง	ความชื้นวัตถุดิบ	0.97	< 0.01
	มันเส้น	ระยะเวลาเก็บรักษา	0.87	< 0.05

FAO (1997) กำหนดค่าวิกฤตของความชื้นในข้าวโพดไว้ที่ 13.5% ภายใต้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 27 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 70% แต่จากผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่าข้าวโพดป่นที่มีความชื้นในวันที่ผสมอาหารเพียง 12.84 % ภายใต้อุณหภูมิ 27.4 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 82.69% เก็บรักษาไว้ประมาณ 4.25 วัน ทำให้อะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้น 10.61% และมีปริมาณอะฟลาท็อกซินในวันที่ผสมสูงถึง 57.75 ppb ซึ่งเกินกว่าที่กำหนดไว้ในร่างฯของกรมปศุสัตว์และระดับที่ E.U. กำหนด ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าการกำหนดมาตรการที่จะนำไปใช้ควบคุมปัจจัยต่างๆในวัตถุดิบแต่ละชนิด ควรเป็นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาที่แท้จริงภายในท้องถิ่นหรือภายในโรงงานนั้นๆ กรณีข้าวโพดป่นในโรงงาน 3 เป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นว่าถ้าวัตถุดิบแรกเข้ามีปริมาณอะฟลาท็อกซินใกล้เคียงกับระดับที่กฎหมายกำหนด เมื่อนำมาเก็บรักษาในโรงงาน ถ้าโรงงานนั้นไม่มีมาตรการควบคุมหรือตรวจสอบที่ดีปล่อยให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและสร้างสารพิษของเชื้อรา ทำให้

ปริมาณอะฟลาท็อกซินในวัตถุดิบจะถูกผลิตเพิ่มขึ้น จนอาจเกินระดับที่กำหนดและส่งผลให้อาหารข้นมีอะฟลาท็อกซินปนเปื้อนเกินกว่าที่กำหนดได้ ดังนั้นการมีข้อมูลที่สามารถระบุปัจจัยที่เป็นปัญหาในการเพิ่มขึ้นของอะฟลาท็อกซินในวัตถุดิบชนิดนั้นๆ แล้วนำผลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางเพื่อกำหนดมาตรการควบคุม จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งยวดต่อการวางแผนของโรงงานในการควบคุมการผลิตอาหารสัตว์ให้ปลอดภัยจากอะฟลาท็อกซิน

ในขั้นตอนการผสมอาหาร เครื่องผสมอาหารแบบอัตโนมัติ เครื่องผสมอาหารแบบแนวนอนและเครื่องผสมอาหารแบบแนวตั้ง อาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณอะฟลาท็อกซินในอาหารข้นได้แตกต่างกัน ดังนั้นควรมีการศึกษาในแต่ละแบบของเครื่องผสมอาหารต่อไปก่อนที่จะนำไปกำหนดเป็นมาตรการควบคุม

การใช้ Aflatest® P Column (Vicam, USA) ในการสกัดและใช้ Fluorometer ในการอ่านผล ค่า % Recovery ที่ได้จากการตรวจสอบวิธีนี้มีค่าเฉลี่ยประมาณ 90-110% ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่อยู่ในช่วงการยอมรับได้ตามข้อกำหนดเรื่องการใช้วิธีการตรวจใดๆเพื่อวัดปริมาณอะฟลาท็อกซินในวัตถุดิบและอาหารสัตว์ตาม Directive 98/53/EC

5.2 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าปริมาณอะฟลาท็อกซินที่แตกต่างกันในแต่ละโรงงาน เป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยของชนิดวัตถุดิบ แหล่งที่มาของวัตถุดิบและระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งข้าวโพดและกากมะพร้าวเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณอะฟลาท็อกซินปนเปื้อนสูงกว่าวัตถุดิบชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p < 0.05$) แหล่งที่มาของวัตถุดิบที่ได้จากโรงงาน 1 มีปริมาณอะฟลาท็อกซินในวัตถุดิบแตกต่างจากโรงงาน 2 อย่างชัดเจน($p < 0.05$) และการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะฟลาท็อกซินที่เพิ่มขึ้นโดยรวมในวัตถุดิบทุกชนิดได้รับอิทธิพลจากระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยิ่ง ($p < 0.01$)

สรุปผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลทำให้ปริมาณอะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้นในวัตถุดิบชนิดต่างๆ ดังนี้

<u>รำละเอียด</u> ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอะฟลาท็อกซินในรำละเอียด โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 9.52%-69.35% จากตารางที่ 9 ความชื้นของรำละเอียดเมื่อแรกเข้ามีค่าระหว่าง 5.97%-11.46% (เฉลี่ย 9.51%) ซึ่งต่ำกว่าค่ากำหนดของระดับความชื้นที่ถือได้ว่าวัตถุดิบมีคุณภาพเหมาะสมสำหรับผลิตอาหารสัตว์ ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ฉบับที่ 8 พ.ศ.2538 ที่กำหนดค่าไว้ไม่เกิน 11% แต่อย่างไรก็ตาม ผลจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ระดับความชื้นของรำละเอียดยังทำให้ปริมาณอะฟลาท็อกซินในรำละเอียดเพิ่มขึ้นได้ โดยปกติในโรงงานต้องมีการเก็บรักษาวัตถุดิบไว้ระยะหนึ่งทั้งเพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่องและเพื่อป้องกันการขาดแคลน และโรงเก็บวัตถุดิบก็ไม่สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศได้ เมื่อมีการเก็บรักษานานวันขึ้นโอกาสที่รำละเอียดจะดูดซับความชื้นจากสิ่งแวดล้อมก็เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงควรมีการพิจารณาการกำหนดความชื้นเพื่อควบคุมปริมาณอะฟลาท็อกซินในรำละเอียดให้ต่ำกว่าระดับที่ใช้ในปัจจุบัน

<u>มันเส้น</u> ระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอะฟลาท็อกซินในมันเส้น ในโรงงาน 2 ใช้ระยะเวลาเก็บรักษามันเส้นระหว่าง 0-13 วัน (เฉลี่ย 5 วัน) ทำให้อะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้น 45.95% และในโรงงาน 3 ใช้ระยะเวลาเก็บรักษาระหว่าง 0-30 วัน (เฉลี่ย 8 วัน) ทำให้อะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 51.45% ซึ่งทั้งสองโรงงานมีอุณหภูมิในช่วงเก็บรักษาตั้งแต่ 24-30 °C (เฉลี่ย 28 °C) และความชื้นสัมพัทธ์ 78-90% (เฉลี่ย 82%) มันเส้นที่ใช้ในโรงงาน 2 และ 3 เป็นมันเส้นที่ผลิตได้ในท้องถิ่น จากการสอบถามเจ้าหน้าที่ของโรงงานทั้ง 2 แห่ง พบว่าการจัดซื้อจากร้านขายวัตถุดิบไม่ได้คำนึงถึงความเปียกหรือแห้งของมันเส้นมากนัก เมื่อนำมาเก็บรักษาไว้ในโรงงานเป็นเวลานาน เชื้อราจึงผลิตอะฟลาท็อกซินได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าหากโรงงานจำเป็นต้องกักตุนมันเส้นไว้ใช้เป็นเวลานาน ควรนำมันเส้นเหล่านี้ไปตากแดดหรืออบเพื่อลดความชื้นลงจะช่วยควบคุมการเจริญเติบโตและสร้างสารพิษของเชื้อราได้อีกทางหนึ่งด้วย

<u>ข้าวโพด</u> ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอะฟลาท็อกซิน ข้าวโพดจากโรงงาน 3 มีความชื้นเมื่อแรกเข้าระหว่าง 12.4%-12.94% (เฉลี่ย 12.66%) เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 21.84-31.75 °C (เฉลี่ย 27.40 °C) ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 79-90% (เฉลี่ย 82.69%) เป็นเวลาตั้งแต่ 0-15 วัน (เฉลี่ย 4 วัน) ทำให้อะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้นประมาณ 10.61% และมีอะฟลาท็อกซินเมื่อวันผสมอาหารเฉลี่ย 57.75 ppb ซึ่งสูงกว่าที่ร่างฯกรมปศุสัตว์กำหนดไว้ คือไม่เกิน 50 ppb ประเด็นการพิจารณาเรื่องความชื้นในข้าวโพดคล้ายกับในรำละเอียด กล่าวคือ ในการกำหนดปริมาณความชื้นที่ถือได้ว่าวัตถุดิบมีคุณภาพเหมาะสมสำหรับผลิตอาหารสัตว์ตามประกาศ

กระทรวงฯ ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2538 กำหนดให้ความชื้นในข้าวโพดป่นต้องไม่เกิน 13% แต่จากข้อมูลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าความชื้นระหว่าง 12.4%-12.94% นั้นมากเพียงพอที่จะทำให้เชื้อราผลิตอะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้นได้ ดังนั้น ในการพิจารณากำหนดความชื้นในข้าวโพดเพื่อความปลอดภัยจากอะฟลาท็อกซินควรมีระดับต่ำกว่าที่ใช้ในปัจจุบัน

<u>กากมะพร้าว</u> ความชื้นและระยะเวลาการเก็บรักษาเป็น 2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอะฟลาท็อกซิน กากมะพร้าวที่มาจากโรงงาน 3 มีความชื้นเมื่อแรกเข้าระหว่าง 10.54%-11.34% (เฉลี่ย 10.92%) ใช้เวลาเก็บรักษา 0-11 วัน (เฉลี่ย 3 วัน) ภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 22-31 °C (เฉลี่ย 27.12 °C) ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 79-86.5% (เฉลี่ย 82.77%) ทำให้อะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้น 11.17% เนื่องจากกากมะพร้าวยังไม่มีมาตรการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณอะฟลาท็อกซินใดๆ ตามกฎหมาย ดังนั้น ในอนาคตเมื่อมีการพิจารณากำหนดการควบคุมการปนเปื้อนอะฟลาท็อกซินในกากมะพร้าว ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในการใช้ประกอบการตัดสินกำหนดระดับปัจจัยที่จะใช้ควบคุมและปริมาณอะฟลาท็อกซินให้สอดคล้องกันยิ่งขึ้น

<u>กากปาล์ม</u> ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอะฟลาท็อกซิน ในโรงงาน 2 กากปาล์มมีความชื้นแรกเข้าระหว่าง 7.85%-8.45% (เฉลี่ย 7.92%) ภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 25.75-31.47 °C (เฉลี่ย 28.43 °C) ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 78-86% (เฉลี่ย 81.63%) ทำให้อะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้น 92.99% และโรงงาน 3 กากปาล์มมีความชื้นแรกเข้าระหว่าง 12.14%-12.59% (เฉลี่ย 12.28%) ภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 22-31 °C (เฉลี่ย 27.12 °C) ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 79-86.5% (เฉลี่ย 82.77%) ทำให้อะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้น 38.99% ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงนี้สอดคล้องกับรายงานของ FAO (1997) ที่กำหนดค่าความชื้นวิกฤตที่ปลอดภัยจากการปนเปื้อนเชื้อราและอะฟลาท็อกซินของกากปาล์มไว้ที่ 5.7% ซึ่งต่ำกว่าระดับที่พบในโรงงาน 2 และ 3 กากปาล์มเป็นวัตถุดิบอีกชนิดหนึ่งที่ยังไม่มีมาตรการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณอะฟลาท็อกซินใดๆตามกฎหมาย ข้อมูลความชื้นของกากปาล์มที่ศึกษาในครั้งนี้ประกอบกับรายงานอ้างอิงต่างๆจะช่วยให้การพิจารณากำหนดระดับการควบคุมความชื้นและปริมาณอะฟลาท็อกซินในกากปาล์มให้สอดคล้องกันยิ่งขึ้น

<u>กากทานตะวัน</u> ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอะฟลาท็อกซิน กากทานตะวันที่มีความชื้นแรกเข้าระหว่าง 10.09%-10.35% (เฉลี่ย 10.21%) ภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 25.75-31.47 °C (เฉลี่ย 28.14 °C) ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 78-86% (เฉลี่ย 81.63%) เป็นระยะเวลา 0-10 วัน (เฉลี่ย 3 วัน) ทำให้อะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้น 16.35% การนำผลการศึกษาครั้งนี้ไปใช้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการกำหนดระดับปัจจัยต่างๆที่จะใช้ควบคุมการเพิ่มขึ้นของอะฟลาท็อกซินในกากทานตะวัน ในโรงงานเมื่อมีการเก็บรักษาวัตถุดิบไว้ระยะหนึ่งนานวันขึ้นโอกาสที่กาก

ทานตะวันจะดูดซับความชื้นจากสิ่งแวดล้อมก็เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการกำหนดค่าความชื้นของกากทานตะวันที่เหมาะสม จะช่วยให้การใช้กากทานตะวันเป็นส่วนผสมในอาหารข้นได้ปลอดภัยขึ้น

<u>กากถั่วลิสง</u> ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอะฟลาท็อกซิน กากถั่วลิสงที่ความชื้นแรกเข้าระหว่าง 8%-10.55% (เฉลี่ย 9.33%) ภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 25.75-31.53 °C (เฉลี่ย 28.82 °C) ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 76.8-86% (เฉลี่ย 80.95%) เป็นระยะเวลา 0-11 วัน (เฉลี่ย 6 วัน) ทำให้อะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้น 34.4% ในรายงานของ FAO (1997) กำหนดค่าวิกฤตที่ปลอดภัยจากการปนเปื้อนเชื้อราและอะฟลาท็อกซินของกากถั่วลิสงไว้ที่ไม่เกิน 7% ซึ่งจะเห็นว่าเป็นผลการศึกษาที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ ความชื้นของกากถั่วลิสงที่ได้จากการศึกษามีค่าสูงกว่าระดับความชื้นที่เป็นค่าวิกฤตจึงทำเชื้อราเจริญเติบโตและผลิตอะฟลาท็อกซินได้เพิ่มขึ้น ดังนั้น ถ้ามีการกำหนดความชื้นเพื่อควบคุมปริมาณอะฟลาท็อกซินในกากถั่วลิสงที่ใช้ในประเทศควรใช้ข้อมูล 2 ส่วนนี้ประกอบกัน

<u>กากเบียร์</u> ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอะฟลาท็อกซิน กากเบียร์ที่ความชื้นแรกเข้าระหว่าง 4%-6.35% (เฉลี่ย 11.41%) ภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 22-31 °C (เฉลี่ย 26.90 °C) ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 79-86% (เฉลี่ย 82.43%) เป็นระยะเวลา 0-13 วัน (เฉลี่ย 4 วัน) ทำให้อะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้น 68.01% กากเบียร์เป็นวัตถุดิบที่มีใช้เฉพาะในบางท้องถิ่น การกำหนดระดับเพื่อควบคุมปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อปริมาณอะฟลาท็อกซินควรใช้ข้อมูลที่มีการศึกษาในสภาพภูมิอากาศของท้องถิ่นนั้น ในปัจจุบันกรมปศุสัตว์ยังไม่ได้กำหนดค่าความชื้นของกากเบียร์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นอาหารสัตว์ไว้ ดังนั้นเมื่อมีการพิจารณากำหนดค่าความชื้นของกากเบียร์ในอนาคต ข้อมูลที่ศึกษาได้นี้จะเป็นส่วนประกอบในการพิจารณากำหนดที่เหมาะสมได้

<u>กากถั่วเหลือง</u> ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอะฟลาท็อกซิน กากถั่วเหลืองที่ความชื้นแรกเข้าระหว่าง 11.2%-11.64% (เฉลี่ย 11.41%) ภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 22.4-31 °C (เฉลี่ย 27.68 °C) ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 79-90.5% (เฉลี่ย 83.44%) เป็นระยะเวลา 0-11 วัน (เฉลี่ย 3 วัน) ทำให้อะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้น 44.4% ในรายงานของ FAO (1997) กำหนดค่าความชื้นวิกฤตที่ปลอดภัยจากการปนเปื้อนเชื้อราและอะฟลาท็อกซินของกากถั่วเหลืองไว้ที่ไม่เกิน 15% ภายใต้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิเฉลี่ย 27 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 70% ในขณะที่ประกาศกระทรวงฯ ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2538 กำหนดไว้ที่ไม่เกิน 13% แต่จากผลการทดลองเห็นได้ว่า กากถั่วเหลืองที่มีค่าไม่เกินระดับที่กำหนดและอยู่ภายใต้สภาวะที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 70% ทำให้อะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้นได้ ดังนั้น เมื่อมีการพิจารณาแก้ไขการกำหนดปริมาณความชื้นและอะฟลาท็อกซินข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการจัดทำโปรแกรมพื้นฐาน (Pre requisite program establishment) สำหรับการนำระบบ HACCP มาใช้กับโรงงานผลิตอาหารสัตว์ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะในส่วนของการจัดทำขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Procedure) หรือ การจัดทำวิธีปฏิบัติงาน (Work Instruction) เพื่อใช้กับการตรวจสอบและเก็บรักษาวัตถุดิบ ซึ่งต้องอธิบายขั้นตอนการปฏิบัติงานในแต่ละจุดของการผลิตว่าต้องปฏิบัติอะไรบ้าง ปฏิบัติอย่างไร และวิธีการปฏิบัติเป็นต้น เมื่อทราบว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอะฟลาท็อกซินในขั้นตอนการผลิตที่จุดใด การระบุระดับที่ต้องการตรวจสอบของการปฏิบัติงานจะใช้ได้อย่างเหมาะสม เป็นต้นว่า ข้าวโพดเมื่อทราบข้อมูลจากการศึกษาครั้งนี้แล้วว่าความชื้นเป็นปัจจัยที่มีผลทำให้อะฟลาท็อกซินเพิ่มขึ้นก็จะต้องจัดทำวิธีปฏิบัติงานเพื่อควบคุมและตรวจสอบความชื้นให้อยู่ในขอบเขตที่เหมาะสม เช่น ในจุดของการเก็บรักษาวัตถุดิบ ต้องมีการบันทึกข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ในจุดที่เก็บรักษาข้าวโพด และระยะเวลาที่เก็บรักษา เมื่อความชื้นสัมพัทธ์และระยะเวลาการเก็บรักษาเข้าสู่เกณฑ์ที่ตั้งไว้ซึ่งได้จากข้อมูลการศึกษานี้ ผู้รับผิดชอบที่จุดการเก็บรักษาวัตถุดิบต้องปฏิบัติ ดังนี้ เก็บตัวอย่างส่งห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ปริมาณอะฟลาท็อกซินหรือถ้าจำเป็นต้องใช้ต้องมีการบันทึกไว้อย่างชัดเจนเพื่อความสะดวกในการกักและเรียกคืนสินค้า เป็นต้น โปรแกรมพื้นฐานนี้จะเน้นในเรื่องการจัดการด้านสุขลักษณะของสถานที่ผลิต รวมทั้งสภาพแวดล้อมของกระบวนการผลิต เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับอาหาร ดังนั้น โรงงานผลิตอาหารสัตว์ที่จะจัดทำระบบ HACCP จำเป็นต้องจัดทำโปรแกรมพื้นฐานก่อน เนื่องจากการจัดทำและแก้ไขโปรแกรมพื้นฐานต้องใช้เวลานาน และอาจใช้งบประมาณจำนวนมาก อย่างไรก็ตามโรงงานที่ไม่มีโปรแกรมพื้นฐานการนำระบบ HACCP มาใช้กับโรงงานนั้นมักไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร (สุวิมล, 2544)