

ผลของระดับอุณหภูมิในการอบต่อระยะเวลาการแห้งและคุณภาพของพืชอาหารสัตว์

จันทกานต์ อรณนันท^{1/} สุรนนท์ น้อยอุทัย^{1/} วรรณ อ่างทอง^{1/}

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของระดับอุณหภูมิในการอบต่อระยะเวลาการแห้ง และคุณภาพของพืชอาหารสัตว์แห้ง 5 ชนิด ได้แก่ หญ้าธูปี่ หญ้ากีนี่สีม่วง หญ้าแพงโกล่า ถั่วคาวาลเคดและถั่วท่าพระสไตโล ระหว่างเดือน เมษายน 2547 ถึง มิถุนายน 2549 วางแผนการทดลองสำหรับพืชแต่ละชนิดแบบ Completely Randomized Design มี 4 ซ้ำ สิ่งทดลอง คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ ได้แก่ 40 60 80 100 และ 150 องศาเซลเซียส โดยปลูกพืชอาหารสัตว์ทั้ง 5 ชนิด ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ชัยนาท จังหวัดชัยนาท ตัดหญ้าเมื่ออายุ 45 วัน หั่นให้มีขนาด 1-2 นิ้ว แล้วนำไปอบในตู้อบที่มีพัดลมเป่าให้อากาศร้อนกระจายทั่วตู้ ที่กลุ่มวิเคราะห์อาหารสัตว์และพืชอาหารสัตว์ จังหวัดปทุมธานี โดยสุ่มตัวอย่างออกจากตู้อบทุก 6 ชั่วโมง จนครบ 30 ชั่วโมง เมื่ออบที่อุณหภูมิ 40 60 และ 80 องศาเซลเซียส และสุ่มทุก 2 ชั่วโมง จนครบ 6 ชั่วโมง เมื่ออบที่อุณหภูมิ 100 และ 150 องศาเซลเซียส

ผลการทดลอง พบว่า พืชทุกชนิดมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นน้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ มีกลิ่นหอม มีสีอยู่ในกลุ่มสีเขียวและสีเหลือง เมื่ออบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 ชั่วโมง หรืออบที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง หรืออบที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ในด้านคุณค่าทางอาหารสัตว์ พบว่า เปอร์เซ็นต์ลิกนิน และ ADIN (Acid detergent insoluble nitrogen) ในพืชอาหารสัตว์ทั้ง 5 ชนิด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการอบที่เพิ่มขึ้น ส่วนการอบพืชอาหารสัตว์ทั้ง 5 ชนิด ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 2 ชั่วโมงขึ้นไป นั้น พบว่าไม่เหมาะสมเนื่องจากพืชแห้งที่ได้มีกลิ่นไหม้ มีสีอยู่ในโทนสีน้ำตาล และมีค่า ADIN ในช่วง 12-39 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : อุณหภูมิการอบ คุณภาพ หญ้าแห้ง

เลขทะเบียนวิจัย 47(1)(47:13)-0514-075

^{1/} กลุ่มวิเคราะห์อาหารสัตว์และพืชอาหารสัตว์ กองอาหารสัตว์ อำเภอมะนัง จังหวัดปทุมธานี

Effect of Drying Temperature on Drying Time and Hay Quality

Jantakarn Arananant ^{1/} Suranant Noiuthai ^{1/} Wanna Angthong ^{1/}

Abstract

The effect of drying temperature on drying time and hay quality of ruzi (*Brachiaria ruziziensis*), guinea (*Panicum maximum* TD58), pangola (*Digitaria eriantha*), cavalcade (*Centrosema pascuorum* cv. Cacalcade) and thaprastrylo (*Stylosanthes guianensis* CIAT184) were conducted during April 2004 to June 2006. The completely randomized design was used for each plant with 4 replications. Drying temperature at 40, 60, 80, 100 and 150°C were treatment in this study. 45 days cutting of 3 grasses and 2 legumes were grown at Chainat Animal Nutrition Research and Development Center. Before drying in air force oven at Feed and Forage Analysis Section, Pathumthanee, there were cut into small pieces (1-2 inch). During time of drying at 40, 60 and 80°C were interrupted approximately every 6 hours for sampling and every 2 hours at 100 and 150°C.

The result showed that all hay had <15% moisture content, desirable odor and green to yellowish green color after drying at 60 °C during 30 hours or at 80 °C during 12 hours or at 100°C during 4 hours. Although at 150°C about 2 hours of drying time was enough to dry all forages and made the highest of water evaporation rate, hays had undesirable odor and brown color. For the chemical composition, this study indicated that %lignin and %ADIN in hays trend to increase with increased drying temperature. Specially, hays had 12-39 % of ADIN and undesirable odor and brown color at 150°C, so drying at this temperature for 2 hours or more was unsuitable for all forages in this experiment.

Key words : Drying Temperature, Hay Quality

Research Project No. 47(1)(47:13)-0514-075

^{1/} Feed and Forage Analysis Section, Animal Nutrition Division, Muang District, Pathumthanee.

คำนำ

การผลิตพืชอาหารสัตว์แห้ง (hay) ให้ได้คุณภาพดีนั้น ต้องลดความชื้นในพืชให้คงเหลือไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ ให้เร็วที่สุด เพื่อลดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารอันเนื่องมาจากกระบวนการหายใจของเซลล์พืชที่ยังมีชีวิตอยู่ นับเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่ง ซึ่งวิธีการลดความชื้นนั้น มีอยู่ 2 วิธี คือ วิธีผึ่งแดดและวิธีใช้เครื่องมือช่วย สำหรับวิธีผึ่งแดด เป็นวิธีที่ทำกันโดยทั่วไป เพราะมีค่าใช้จ่ายน้อยและสะดวก แต่จะมีปัญหาในเรื่องของฤดูกาล เพราะในฤดูแล้งซึ่งตากพืชให้แห้งได้สะดวกแต่พืชอาหารสัตว์หลายชนิดกลับมีผลผลิตต่ำ ในขณะที่ฤดูฝนซึ่งพืชอาหารสัตว์จะมีการเจริญเติบโตดีและมีผลผลิตสูงกลับทำให้แห้งโดยมีผลผลิตสูงและคุณภาพดีค่อนข้างยาก (กรมปศุสัตว์, 2548) เพราะหากตัดหญ้าในระยะเวลาที่มีฝนตกบ่อยๆ พืชจะแห้งช้าและเกิดเชื้อราที่อาจสร้างสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสัตว์ได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารได้ เนื่องจากความชื้นจะกระตุ้นให้เซลล์พืชมีการหายใจต่อไปได้อีก ทำให้คาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้และธาตุอาหารที่เป็นแหล่งพลังงานในพืชลดลง และยังมีผลทำให้ส่วนใบของพืชที่เป็นส่วนที่มีโปรตีนสูงและมีค่าการย่อยได้สูงหลุดร่วง (Rankin และ Undersander, 2000) ส่วนวิธีใช้เครื่องมือช่วยโดยการใช้ลมร้อนเป่า และการใช้เครื่องอบแห้ง จะมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง แต่สามารถทำหญ้าแห้งคุณภาพดีได้ขณะที่ดินฟ้าอากาศไม่อำนวย (กรมปศุสัตว์, 2548) ซึ่งในต่างประเทศได้มีการศึกษาผลของระดับอุณหภูมิต่างๆ ที่มีต่อคุณค่าทางอาหารสัตว์ของอาหารสัตว์ต่างๆ เช่น ถั่วอัลฟัลฟา (Wu, 2004 และ Yang และคณะ, 1993) และต้นข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยวฝัก (Savoie และ Descoteaux, 2004) เป็นต้น แต่สำหรับประเทศไทยยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ ในการทำให้พืชอาหารสัตว์แห้ง โดยเฉพาะพันธุ์พืชอาหารสัตว์ที่ได้ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเพื่อผลิตเป็นเสบียงสัตว์เพื่อการจำหน่าย ซึ่งปัจจุบันกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตเสบียงสัตว์จำหน่ายมีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็น 239 กลุ่ม มีพื้นที่ผลิตรวม 32,271 ไร่ และมีผลผลิตเป็นพืชแห้งในปี 2549 รวม 16 ตัน และคาดว่าจะมีผลผลิตเพิ่มขึ้นในทุกๆ ปี ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาผลของระดับอุณหภูมิในการอบต่อระยะเวลาการแห้งและคุณภาพของพืชอาหารสัตว์แห้ง 5 ชนิด คือ หญ้าธูปี่ หญ้ากินนีสีม่วง หญ้าแพงโกล่า ถั่วคาวาลเคด และถั่วท่าพระสไตโล เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับใช้ในการพัฒนาเทคนิคการผลิตพืชอาหารสัตว์แห้งคุณภาพดีเพื่อการจำหน่ายโดยเกษตรกรในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ดำเนินการทดลองที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ชัยนาท จังหวัดชัยนาท และกลุ่มวิเคราะห์อาหารสัตว์และพืชอาหารสัตว์ ตำบลบางกะดี อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี ระหว่างเดือนเมษายน 2547 ถึง มิถุนายน 2549 รวม 2 ปี 2 เดือน

วางแผนการทดลองแบบ Completely randomize design (CRD) มี 4 ซ้ำ มีสิ่งทดลอง คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ ได้แก่ 40 60 80 100 และ 150 องศาเซลเซียส โดยใช้หญ้าที่หญ้ากินนีสีม่วง หญ้าแพงโกล่า ถั่วคาวาลเคด และถั่วท่าพระสไตโล ตัดที่อายุ 45 วัน โดยก่อนอบจะหั่นให้มีขนาด 1 – 2 นิ้ว นำใส่ถาดอลูมิเนียมขนาด กว้าง x ยาว x สูง ประมาณ 8 x 12 x 3 นิ้ว ประมาณถาดละ 250 กรัม เคลี่ยให้กระจายมีความหนาประมาณ 1½ นิ้ว นำเข้าตู้อบแห้งที่มีพัดลมเป่าเพื่อให้อากาศร้อนมีการกระจายทั่วตู้อบ

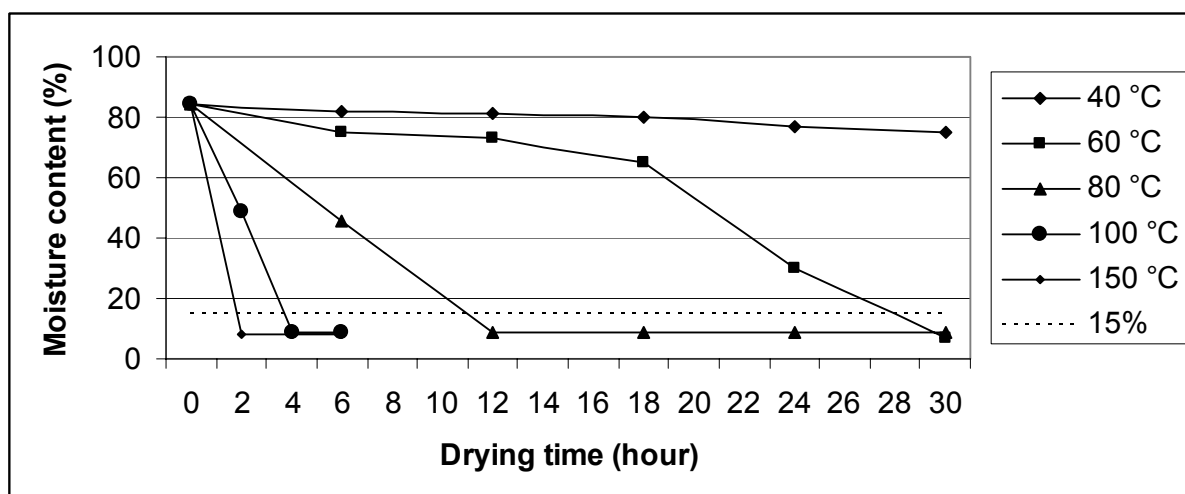
การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล ดำเนินการดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบทุกถาดและสุ่มตัวอย่างครั้งละ 4 ถาด ออกจากตู้อบทุก 6 ชั่วโมง รวม 30 ชั่วโมง เมื่ออบที่อุณหภูมิ 40 60 และ 80 องศาเซลเซียส และสำหรับการอบที่อุณหภูมิ 100 และ 150 องศาเซลเซียส จะสุ่มทุก 2 ชั่วโมง รวม 6 ชั่วโมง
2. เมื่อนำออกจากตู้อบปล่อยให้เย็น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่หายไป
3. นำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นคงเหลือ
4. ตัวอย่างที่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ จะนำไปตรวจสอบสีของตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มโดยใช้ Methuen Handbook (Kornerup และ Wancher, 1984) และวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์โปรตีนหยาบ (AOAC, 1984) Neutral detergent fiber (NDF) Acid detergent fiber (ADF) เซลลูโลส ลิกนิน และ Acid detergent insoluble nitrogen (ADIN) (Goering และ Van Soest, 1970)
5. วิเคราะห์ผลทางสถิติแยกตามชนิดพืชโดย Analysis of Variance ของ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ญักรูชี

การทำญักรูชีเพื่อให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน ญักรูชีจะต้องมีความชื้นไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ (กรมปศุสัตว์, 2548) ซึ่งจากภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่า การอบญักรูชีที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนครบ 30 ชั่วโมง ญักรูชียังคงมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นคงเหลือมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ แต่การอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 ชั่วโมง หรืออบที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมงขึ้นไป หรืออบที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมงขึ้นไป หรือ อบที่ 150 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงขึ้นไป ทุกตัวอย่างจะมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นน้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาอัตราการระเหยของน้ำจากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิ 60 80 100 และ 150 องศาเซลเซียส อัตราการระเหยของน้ำจะสูงสุดในคาบแรกของการอบ โดยมีค่าสูงมากที่สุดเมื่ออบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส คือเท่ากับ 40.90 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง และจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาการอบเพิ่มขึ้น แต่สำหรับที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส จะมีค่าลดลง เพิ่มขึ้นและลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Savoie และ Descoteaux (2004) ที่นำต้นข้าวโพดหลังจากเก็บเกี่ยวฝักที่อัดเป็นฟ่อนขนาด $0.81 \times 0.89 \times 1.52$ เมตร มีความชื้น 56 เปอร์เซ็นต์ วางฟ่อนเรียงกันชั้นเดียว และอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ด้วย bath dryer ที่ใช้ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของแก๊สโพรเพน เพื่อลดความชื้นให้เหลือ 19 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ต้องใช้เวลารวม 50 ชั่วโมง มีอัตราการระเหยของน้ำสูงสุดที่ 8 ชั่วโมงแรกของการอบ คือ 2.91 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง และอัตราการระเหยของน้ำจะค่อยๆ ลดลงใน 8 ชั่วโมงที่ 2 3 และ 4 นอกจากนี้แล้ว Wu (2004) ได้ศึกษาลักษณะการแห้งของถั่วอัลฟัลฟา และพบว่า ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส อัตราการระเหยของน้ำจะมีลักษณะเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นช่วงๆ ขณะที่การอบที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส อัตราการระเหยของน้ำเริ่มต้นจะสูงสุดตามปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในพืช ทั้งนี้เพราะความร้อนจะไปทำลายแว็กซ์ (wax) ที่เคลือบอยู่ที่ผิวของพืช ทำให้อัตราการแห้งเพิ่มขึ้นจนถึงระดับวิกฤติจากนั้นจะลดลงเพราะอัตราการเคลื่อนย้ายของน้ำจากส่วนในของพืชไปยังผิวนอกของพืชลดลง



ภาพที่ 1 เปอร์เซ็นต์ความชื้นคงเหลือในหน้ารูซี่ ที่นำออกจากตู้อบเมื่ออบที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

ตารางที่ 1 อัตราการระเหยของน้ำ (เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่หายไปต่อชั่วโมง) ของหน้ารูซี่ เมื่ออบที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิการอบ				
	40°C	60°C	80°C	100°C	150°C
2				31.98	40.96
4				8.20	0.27
6	1.61	5.19	10.07	1.87	0.02
12	0.88	0.97	2.67		
18	0.62	2.81	0.02		
24	1.93	4.61	0.02		
30	1.00	1.73	0.00		

ส่วนสีและกลิ่นของหน้ารูซี่แห้ง ซึ่งแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า การอบที่อุณหภูมิ 60-100 องศาเซลเซียส หน้ารูซี่แห้งจะมีกลิ่นหอมและมีสีอยู่ในโทนสีเขียวยหรือเหลืองอมเขียว แต่การอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่ 2 ชั่วโมงแรก หน้ารูซี่แห้งมีกลิ่นใหม่แต่ยังมีสีเขียวอยู่ เมื่อเวลาการอบเพิ่มขึ้นเป็น 4 และ 6 ชั่วโมง กลิ่นใหม่จะแรงขึ้นและสีเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล การเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นนี้ เป็นเพราะ การอบที่อุณหภูมิสูงๆ จะเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า Maillard reaction ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่าง amino group ของกรดอะมิโนกับ carbonyl group ของน้ำตาล ได้สาร melanoidin ที่มีสีน้ำตาล ขณะเดียวกันก็เกิดสาร aroma compound ที่ให้กลิ่นเกิดขึ้นด้วย กลิ่นจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของกรดอะมิโนที่ประกอบอยู่ในพืช เช่น อะลานีน (alanine) เมื่อทำปฏิกิริยาจะได้สาร acetaldehyde ที่มีกลิ่น roasted barley และถ้าเป็นไลซีน (lysine) จะให้กลิ่นขนมปัง เป็นต้น ซึ่งปัจจัย

ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา Maillard reaction นั้น ได้แก่ ความเป็นกรดต่าง(สภาพที่เป็นต่างปฏิกิริยาจะเกิดได้อย่างสมบูรณ์) อุณหภูมิ (อัตราการเกิดของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น) ปริมาณน้ำในวัตถุนั้นๆ (ปฏิกิริยาจะถูกละช้าลงเมื่อมีความชื้นสูงหรือมีความชื้นต่ำ) น้ำตาล (น้ำตาลเพนโทสเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลเฮกโซส) และแร่ธาตุบางชนิด (ทองแดงและเหล็กจะเพิ่มอัตราการเกิดของปฏิกิริยาขณะที่มังกานีสและดีบุกยับยั้งปฏิกิริยา) นอกจากนี้แล้วปฏิกิริยาที่เรียกว่า caramelization ก็ทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนาได้ ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงมากๆ (ITU Food Engineering Department,2006)

ตารางที่ 2 คุณภาพของหญ้าที่อบที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน

อุณหภูมิ (°C)	ชั่วโมง	%โปรตีน	%NDF	%ADF	%lignin	%ADIN ^{/1}	สี	กลิ่น
60	30	6.68 ^{bc}	64.56 ^b	36.30 ^a	3.72 ^d	5.81 ^{abc}	GG	G
80	12	6.74 ^{bc}	65.07 ^b	36.54 ^a	3.40 ^b	6.72 ^c	GG	G
	18	6.62 ^b	67.01 ^d	40.06 ^e	3.72 ^d	6.37 ^{abc}	GG	G
	24	6.71 ^{bc}	62.35 ^a	37.53 ^c	3.04 ^a	6.76 ^c	GG	G
	30	6.94 ^c	65.16 ^b	37.06 ^b	3.56 ^c	6.54 ^{bc}	GG	G
100	4	5.98 ^a	66.72 ^d	39.44 ^c	4.03 ^a	5.23 ^{ab}	OY	G
	6	6.14 ^a	65.81 ^c	39.59 ^c	3.56 ^c	5.09 ^a	OL	G
150	2	6.94 ^c	70.00 ^c	40.34 ^e	4.60 ^f	13.95 ^d	OL	M
	4	6.62 ^b	69.58 ^c	41.74 ^f	5.18 ^g	28.59 ^e	OB	M
	6	6.79 ^{bc}	69.95 ^c	41.76 ^f	5.36 ^h	29.91 ^f	OB	M
%CV		1.73	0.28	0.42	1.01	2.98		

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยอักษรชนิดเดียวกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

^{/1} : % of Total nitrogen สี GG ; greynish green OY ; olive yellow OL ; olive OB ; olive brown กลิ่น G; หอม M; ไหม้

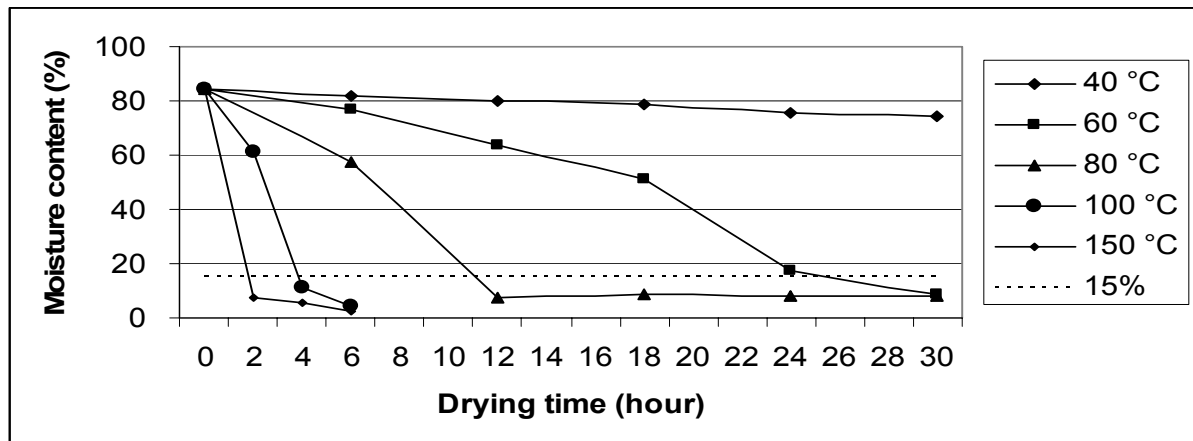
สำหรับส่วนประกอบทางเคมี จากตารางที่ 2 พบว่า ค่าโปรตีนของหญ้าที่อบที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีค่าอยู่ในช่วง 5.98-6.94 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่า NDF ADF ลิกนิน และ ADIN พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ค่า ADF ลิกนิน และ ADIN จะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดตามระยะเวลาการอบที่เพิ่มขึ้น คือ ค่า ADF เพิ่มขึ้นจาก 40.34 เปอร์เซ็นต์ เป็น 41.76 เปอร์เซ็นต์ ค่าลิกนิน เพิ่มขึ้นจาก 4.60 เปอร์เซ็นต์ เป็น 5.36 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่า ADIN จากการอบที่อุณหภูมิในช่วง 60-100 องศาเซลเซียส นั้น จะมีค่าอยู่ในช่วง 5-6 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่ออบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมงแรก ค่าADIN

มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 13.95 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มเป็น 28.59 และ 29.91 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาการอบเพิ่มขึ้นเป็น 4 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของค่า ADF และ ADIN เมื่ออบที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะสอดคล้องกับรายงานของ Yang และคณะ (1993) ที่พบว่า เมื่ออบถั่วอัลฟalfa ที่อุณหภูมิ 130 140 150 และ 160 องศาเซลเซียส ค่า ADF และ ADIN จะเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากความร้อนทำให้สารเพคตินทำปฏิกิริยาจับกับลิกนินและเฮมิเซลลูโลส (Hamm และคณะ, 2002) ขณะเดียวกันก็เกิดจากปฏิกิริยา Maillard reaction ที่ทำให้เกิดสาร Maillard polymer ซึ่งเป็นสารที่มีสีน้ำตาล มีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในส่วนของลิกนินมากกว่าปกติ โดยมีประมาณ 11 เปอร์เซ็นต์ มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์เหมือนลิกนิน ไม่ละลายในกรดแต่ละลายได้ในสารละลายที่เป็นด่าง จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า artifact lignin โดยในพืชส่วนที่เกิดปฏิกิริยา Maillard reaction ได้มากที่สุด คือ เฮมิเซลลูโลส และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ ขณะที่กรดอะมิโน คือ ไลซีนในโปรตีนที่มี amino group ที่เป็นอิสระจะไวต่อการทำปฏิกิริยามากที่สุด (Van Soest, 1982) นอกจากนี้แล้วพืชต่างชนิดกันจะไวต่อการเกิดปฏิกิริยา Maillard reaction ต่างกัน เพราะมีปริมาณไลซีนแตกต่างกัน เช่น หญ้าชิกแนลตั่ง (*B. brizantha*) หญ้าแพงโกล่า หญ้ากินนีสีม่วง และถั่วสไตโล มีปริมาณไลซีน 6.02 3.43 5.56 และ 4.81 เปอร์เซ็นต์โปรตีนตามลำดับ (Tedeschi และคณะ, 2000) สำหรับค่า ADIN นี้ มีความสำคัญ คือ เป็นตัวชี้วัดความเสียหายที่เกิดจากความร้อน โดยถ้ามีค่ามากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด แสดงว่ามีความเสียหายเกิดขึ้น (Undersander, 2006) โดยไนโตรเจนส่วนนี้จะไม่ถูกย่อยในกระเพาะรูเมน

ดังนั้น อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับการอบหญ้าที่ คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 ชั่วโมง หรืออบที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง หรืออบที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง

2. หญ้ากินนีสีม่วง

จากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่า หญ้ากินนีสีม่วงเมื่ออบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนครบ 30 ชั่วโมง ยังคงมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นคงเหลือมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 ชั่วโมง หรืออบที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมงขึ้นไป หรืออบที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมงขึ้นไป หรือ อบที่ 150 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงขึ้นไป ทุกตัวอย่างมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นน้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ และจากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิ 80 100 และ 150 องศาเซลเซียส อัตราการระเหยของน้ำจะสูงสุดในคาบแรกของการอบ โดยจะมีค่าสูงมากที่สุดเมื่ออบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส คือ เท่ากับ 41.20 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง และจะลดลงเรื่อยเมื่อเวลาการอบเพิ่มขึ้น แต่สำหรับที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส อัตราการระเหยของน้ำจะเพิ่มขึ้นและลดลง เช่นเดียวกับที่พบในการทดลองกับหญ้ารูซี่



ภาพที่ 2 เปรี่เซ็นต์ความชื้นคงเหลือในหญ้ำกีนีสีม่วง ที่นำออกจากตู้อบเมื่ออบที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

ตารางที่ 3 อัตราการระเหยของน้ำ (เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่หายไปต่อชั่วโมง) ของหญ้ำกีนีสีม่วง เมื่ออบที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิการอบ				
	40°C	60°C	80°C	100°C	150°C
2				27.87	41.20
4				12.46	0.25
6	1.04	4.17	10.37	0.71	0.09
12	1.05	4.44	3.30		
18	1.26	2.17	0.09		
24	1.44	2.57	0.00		
30	0.82	0.33	0.00		

ตารางที่ 4 คุณภาพของหญ้ากินนีสีม่วงที่อบที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน

อุณหภูมิ (°C)	ชั่วโมง	%โปรตีน	%NDF	%ADF	%lignin	%ADIN ^{/1}	สี	กลิ่น
60	30	7.65 ^f	70.25 ^e	44.48 ^d	3.55 ^c	8.58 ^d	GG	G
80	12	6.65 ^b	69.46 ^{cde}	44.32 ^d	3.00 ^a	8.00 ^{cd}	GG	G
	18	6.85 ^c	69.53 ^{cde}	44.11 ^{cd}	2.92 ^a	7.30 ^{bc}	GG	G
	24	6.47 ^a	69.65 ^{de}	43.24 ^b	2.95 ^a	7.25 ^{bc}	GG	G
	30	6.92 ^c	69.38 ^{bcd}	43.28 ^b	3.03 ^a	6.32 ^a	GG	G
100	4	6.93 ^c	66.53 ^a	43.00 ^b	3.21 ^b	6.99 ^{ab}	GG	G
	6	7.69 ^f	66.45 ^a	41.62 ^a	3.29 ^b	6.29 ^a	GG	G
150	2	7.23 ^d	68.72 ^{bc}	42.82 ^b	4.11 ^a	16.43 ^e	OL	M
	4	7.99 ^g	69.13 ^{bcd}	43.40 ^{bc}	4.53 ^e	21.11 ^f	OB	M
	6	7.42 ^e	68.56 ^b	45.78 ^e	5.21 ^f	37.05 ^g	OB	M
%CV		1.90	0.34	0.62	1.31	0.20		

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยอักษรชนิดเดียวกันในแนวดิ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

^{/1}: % of Total nitrogen สี GG ; greynish green OB ; olive brown OL ; olive กลิ่น G ; หอม M ; ไหม้

ส่วนสีและกลิ่นของหญ้ากินนีสีม่วงแห้งที่แสดงในตารางที่ 4 นั้น จะเห็นว่า การอบที่อุณหภูมิ 60-100 องศาเซลเซียส หญ้าแห้งที่ได้จะมีสีอยู่ในโทนเขียวและมีกลิ่นหอม แต่การอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 2 4 และ 6 ชั่วโมงจะมีกลิ่นไหม้ แต่จะแตกต่างกันที่ 2 ชั่วโมงแรก ที่สียังคงเป็นสีเขียวอยู่ ซึ่งเป็นเพราะอัตราการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาลโดยปฏิกิริยา Maillard reaction จะขึ้นอยู่กับปริมาณพื้นที่ผิวและอัตราการแห้งที่ผิว โดยปฏิกิริยาจะเกิดที่ผิวส่วนนอกที่เป็นส่วนที่มีเซลลูโลสมากที่สุดก่อนแล้ว จึงจะเข้าไปยังส่วนในของพืช (Wedzicha, 2006) และเนื่องจากหญ้ากินนีสีม่วงมีลำต้นและใบค่อนข้างใหญ่ จึงมีพื้นที่ผิวมาก ดังนั้น จึงต้องใช้เวลาในการเปลี่ยนสีมากกว่าพืชที่มีลำต้นและใบเล็ก

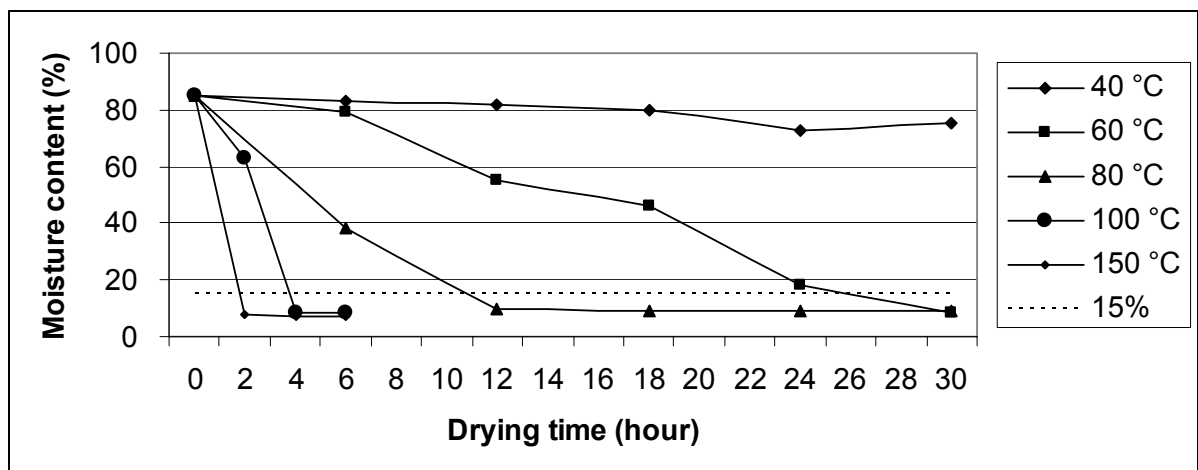
สำหรับส่วนประกอบทางเคมี พบว่า ค่าโปรตีน NDF ADF ลิกนิน และ ADIN ของหญ้ากินนีสีม่วงแห้งเมื่ออบที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ นั้น มีความแตกต่างทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยโปรตีนมีค่าอยู่ในช่วง 6.47-7.99 เปอร์เซ็นต์ NDF และ ADF มีค่าอยู่ในช่วง 69.38-70.25 และ 41.62-45.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนค่าลิกนิน และ ADIN โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดตามระยะเวลาการอบที่เพิ่มขึ้น คือ ค่าลิกนิน เพิ่มขึ้นจาก 4.11 เปอร์เซ็นต์ เป็น 5.21 เปอร์เซ็นต์ และค่า ADIN เพิ่มขึ้นจาก 6-8 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออบในช่วงอุณหภูมิ 60-100 องศาเซลเซียส และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 16.43 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

นาน 2 ชั่วโมง และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 21.11 และ 37.05 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาการอบเพิ่มขึ้นเป็น 4 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Yang และคณะ (1993)

ดังนั้น อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับการอบกล้วยากินนี้สีม่วง คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 ชั่วโมง หรืออบที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง หรืออบที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง

3. กล้วยาแฟงโกล่า

จากภาพที่ 3 ที่แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นคงเหลือในกล้วยาแฟงโกล่าเมื่ออบที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่ออบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนครบ 30 ชั่วโมง กล้วยาแฟงโกล่ายังคงมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นคงเหลือมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ แต่การอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 ชั่วโมง หรืออบที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมงขึ้นไป หรืออบที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมงขึ้นไป หรือ อบที่ 150 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงขึ้นไป ทำให้กล้วยาแฟงโกล่าทุกตัวอย่างแห้งและมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นน้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการระเหยของน้ำจะสูงสุดในคาบแรกของการอบที่อุณหภูมิ 80 100 และ 150 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 5 และจะมีค่าสูงมากที่สุดเมื่ออบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส คือ เท่ากับ 41.83 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง และจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาการอบเพิ่มขึ้น แต่การอบที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส อัตราการระเหยของน้ำจะมีการลดลงและเพิ่มขึ้นเป็นช่วงๆ เช่นกัน



ภาพที่ 3 เปอร์เซ็นต์ความชื้นคงเหลือในกล้วยาแฟงโกล่า ที่นำออกจากตู้อบเมื่ออบที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

ตารางที่ 5 อัตราการระเหยของน้ำ (เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่หายไปต่อชั่วโมง) ของหญ้าแพงโกล่าเมื่ออบที่ อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิการอบ				
	40°C	60°C	80°C	100°C	150°C
2				29.51	41.83
4				11.36	0.09
6	2.19	4.06	11.31	0.79	0.09
12	0.76	6.22	2.48		
18	1.28	0.51	0.00		
24	3.40	2.78	0.02		
30	0.06	0.28	0.04		

ตารางที่ 6 คุณภาพของหญ้าแพงโกล่าที่อบที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน

อุณหภูมิ (°C)	ชั่วโมง	%โปรตีน	%NDF	%ADF	%lignin	%ADIN ^{/1}	สี	กลิ่น
60	30	9.86 ^{de}	65.44 ^c	40.65 ^b	4.04 ^{ab}	7.61 ^b	GG	G
80	12	8.84 ^b	65.44 ^c	41.48 ^c	4.75 ^c	7.77 ^b	CG	G
	18	8.81 ^b	65.71 ^{cd}	41.68 ^c	4.73 ^c	8.51 ^c	CG	G
	24	8.64 ^{ab}	66.26 ^{def}	41.92 ^c	3.97 ^a	9.41 ^d	GG	G
	30	8.50 ^a	65.94 ^{cde}	41.83 ^c	4.23 ^b	10.48 ^e	GG	G
100	4	9.68 ^{cd}	63.49 ^a	41.40 ^c	4.05 ^{ab}	7.11 ^a	GG	G
	6	9.58 ^c	64.54 ^b	39.97 ^a	4.14 ^{ab}	7.53 ^b	GG	G
150	2	10.01 ^{ef}	66.62 ^{ef}	42.02 ^c	5.80 ^a	17.48 ^f	OB	M
	4	10.04 ^{ef}	66.94 ^f	44.67 ^d	6.93 ^e	29.55 ^g	OB	M
	6	10.11 ^f	67.95 ^g	45.47 ^e	7.84 ^f	37.42 ^h	OB	M
%CV		1.99	0.37	0.82	2.20	2.62		

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยอักษรชนิดเดียวกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

^{/1} : % of Total nitrogen สี GG ; greynish green OB ; olive brown CG; cactus green

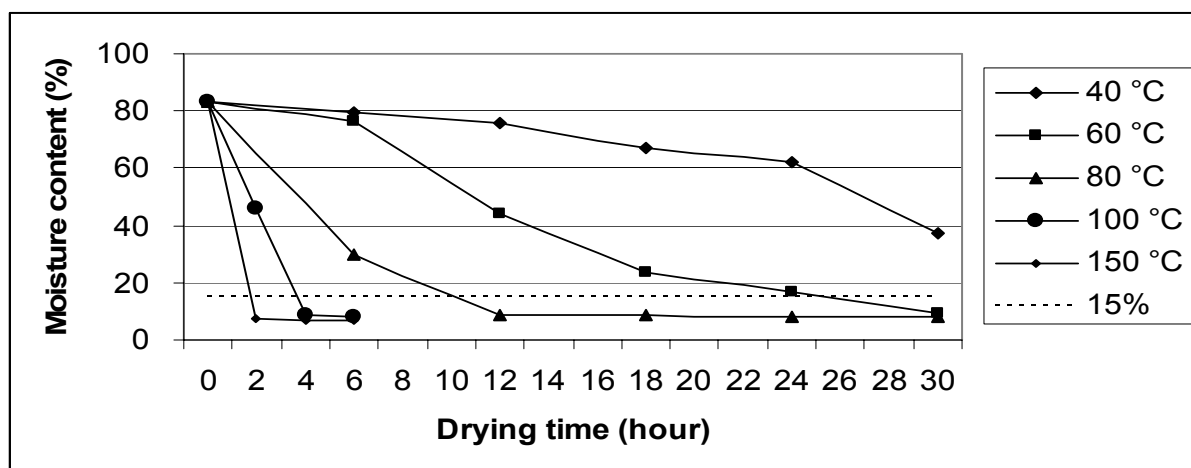
กลิ่น G; หอม M; ไหม้

จากตารางที่ 6 หย้าแพงโกล่าแห้งที่ได้จะมีกลิ่นไหม้และมีสีน้ำตาล เมื่ออบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 2 4 และ 6 ชั่วโมง การที่หย้าแพงโกล่าเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลตั้งแต่ 2 ชั่วโมงแรกของการอบ เป็นเพราะพื้นที่ผิวของหย้าแพงโกล่าในการเกิดปฏิกิริยา Maillard reaction มีน้อย เนื่องจากลำต้นและใบมีขนาดเล็ก ส่วนการอบที่อุณหภูมิอื่น ๆ นั้น หย้าแห้งที่ได้จะมีกลิ่นหอมและมีสีอยู่ในโทนสีเขียว

ในด้านส่วนประกอบทางเคมีของหย้าแพงโกล่าที่อบที่อุณหภูมิและระยะเวลาการอบต่างๆ พบว่า ค่าโปรตีนมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 8.50-10.11 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่า NDF ADF ลิกนิน และ ADIN ก็มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน โดยเฉพาะค่า ADF ลิกนินและ ADIN ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดตามระยะเวลาการอบที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะค่า ADIN ที่มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 7-10 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออบที่อุณหภูมิในช่วง 60-100 องศาเซลเซียส เป็น 17.48 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง และเพิ่มขึ้นเป็น 37.42 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 6 ชั่วโมง แสดงว่า มีความเสียหายจากความร้อนเกิดขึ้นจากการอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ดังนั้น อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับการอบหย้าแพงโกล่า คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 ชั่วโมง หรืออบที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง หรืออบที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง

4. ถั่วคาวาลเคด

ถั่วคาวาลเคดเมื่ออบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนครบ 30 ชั่วโมง พบว่า ยังคงมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นคงเหลือมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ และเมื่ออบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 ชั่วโมง หรืออบที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมงขึ้นไป หรืออบที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมงขึ้นไป หรือ อบที่ 150 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงขึ้นไป ทุกตัวอย่างจะมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นน้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 4 และจากตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิ 80 100 และ 150 องศาเซลเซียส อัตราการระเหยของน้ำจะสูงสุดในคาบแรกของการอบ โดยจะมีค่าสูงมากที่สุดเมื่ออบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส คือ เท่ากับ 39.01 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง และจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาการอบเพิ่มขึ้นแต่สำหรับที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส อัตราการระเหยของน้ำจะมีลักษณะลดลงและเพิ่มขึ้นเป็นช่วงๆ เช่นเดียวกับที่พบในการทดลองกับหย้ารูซี่ หย้ากินนีสีม่วง และหย้าแพงโกล่า



ภาพที่ 4 เปอร์เซ็นต์ความชื้นคงเหลือในถั่วคาวาลเคด ที่นำออกจากตู้อบเมื่ออบที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

ส่วนสีและกลิ่นดังแสดงในตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่า การอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่ 2 ชั่วโมงแรก ถั่วคาวาลเคดแห้งมีกลิ่นไหม้และสีน้ำตาลอมเขียว แต่เมื่อเวลาการอบเพิ่มขึ้นเป็น 4 และ 6 ชั่วโมง กลิ่นไหม้จะแรงขึ้นและสีเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล การที่ต้องใช้เวลามากกว่า 2 ชั่วโมง จึงจะเห็นเป็นสีน้ำตาลทั้งหมดนั้นเป็นเพราะปริมาณพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยา Maillard reaction มีมากและน้ำหนักกดทับของชั้นพืชที่มีผลต่ออัตราการระเหยของน้ำที่ผิว ส่วนการอบที่อุณหภูมิต่ำกว่านั้นจะได้ถั่วคาวาลเคดแห้งที่มีกลิ่นหอมและมีสีอยู่ในโทนสีเขียวหรือเหลืองอมเขียว

ตารางที่ 7 อัตราการระเหยของน้ำ (เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่หายไปต่อชั่วโมง) ของถั่วคาวาลเคด เมื่ออบที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิการอบ				
	40°C	60°C	80°C	100°C	150°C
2				30.73	39.01
4				8.35	0.06
6	2.62	4.41	10.89	0.24	0.03
12	2.09	6.83	2.03		
18	3.34	1.68	0.09		
24	1.05	0.49	0.05		
30	2.97	0.08	0.05		

ตารางที่ 8 คุณภาพของถั่วคาวาลเคดที่อบที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน

อุณหภูมิ (°C)	ชั่วโมง	%โปรตีน	%NDF	%ADF	%lignin	%ADIN ^{/1}	สี	กลิ่น
60	30	16.95 ^{bc}	42.38 ^c	32.78 ^e	5.89 ^{bc}	6.08 ^{ab}	OY	G
80	12	17.60 ^d	37.08 ^a	29.46 ^a	5.58 ^a	6.31 ^{ab}	SG	G
	18	17.10 ^c	40.40 ^b	30.99 ^c	6.01 ^{bc}	6.58 ^{abc}	SG	G
	24	16.56 ^{ab}	41.62 ^c	31.36 ^{cd}	5.72 ^{ab}	6.80 ^{bc}	SG	G
	30	17.77 ^d	42.72 ^c	31.32 ^{cd}	6.19 ^c	5.90 ^a	SG	G
100	4	16.52 ^{ab}	42.27 ^c	31.91 ^d	6.06 ^{cd}	7.09 ^c	OY	G
	6	17.17 ^e	40.41 ^b	30.25 ^b	6.18 ^{cd}	6.19 ^{ab}	GG	G
150	2	17.73 ^d	50.91 ^e	32.93 ^e	8.20 ^e	12.25 ^d	OB	M
	4	16.77 ^{abc}	51.12 ^e	34.69 ^f	11.44 ^f	23.39 ^e	MB	M
	6	16.46 ^a	52.86 ^f	36.88 ^g	13.15 ^g	35.61 ^f	MB	M
%CV		1.04	3.80	1.05	2.08	1.16		

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยอักษรชนิดเดียวกันในแนวดิ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

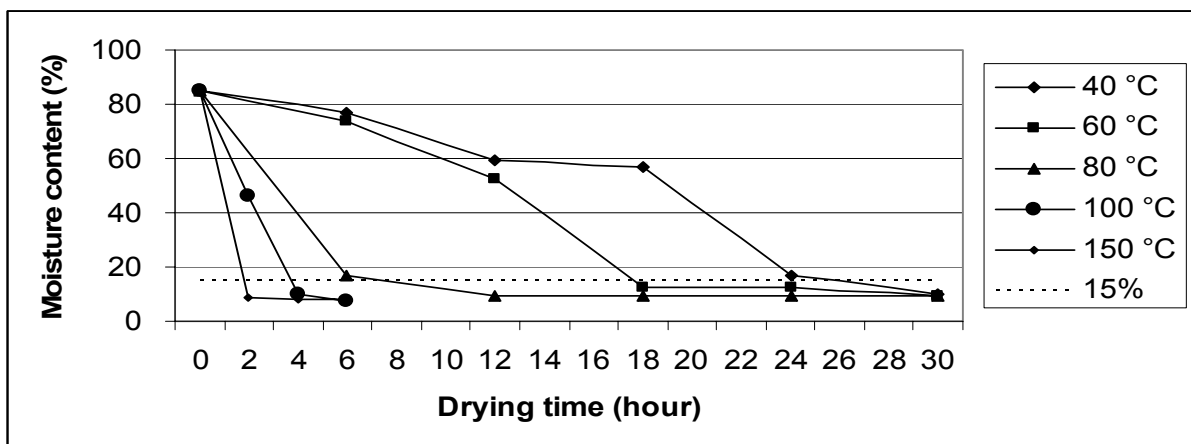
^{/1} : % of Total nitrogen สี GG ; greynish green OY ; olive yellow OB ; olive brown SG; spinach green MB; mustard brown กลิ่น G; หอม M; ไหม้

สำหรับส่วนประกอบทางเคมีของถั่วคาวาลเคด พบว่า ค่าโปรตีนของถั่วคาวาลเคดแห้งมีความแตกต่างทางสถิติเมื่ออบที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 16.46-17.77 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่า NDF ADF ลิกนิน และ ADIN ก็มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นกันโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาการอบที่เพิ่มขึ้น แต่ที่เห็นได้ชัดคือ เมื่ออบที่อุณหภูมิในช่วง 60-100 องศาเซลเซียส ค่าลิกนินและ ADIN จะมีค่าอยู่ในช่วง 5-6 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่ออบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ค่าลิกนิน และ ADIN กลับเพิ่มขึ้นเป็น 8.20 และ 12.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับและเพิ่มเป็น 13.15 และ 35.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเวลาการอบเพิ่มเป็น 6 ชั่วโมง

ดังนั้น อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับการอบถั่วคาวาลเคด คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 ชั่วโมง หรืออบที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง หรืออบที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ส่วนการอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ซึ่งมีค่า ADIN น้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ แต่ถั่วแห้งที่ได้มีกลิ่นไหม้และมีสีน้ำตาล ดังนั้น จึงเป็นอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมในการอบถั่วคาวาลเคด

5. ถั่วทำพระสไตโล

ผลจากการอบถั่วทำพระสไตโลที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงดังภาพที่ 5 ซึ่งจะมีแตกต่างจากที่ทดลองในหญ้าฐี หญ้ากินนีสีม่วง หญ้าแพงโกล่า และถั่วคาวาลเคด เพราะ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่ออบจนครบ 30 ชั่วโมง จะได้ถั่วทำพระสไตโลแห้งที่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นคงเหลือน้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่เมื่ออบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าใช้เวลาน้อยกว่า คือ 18 ชั่วโมง แต่การอบที่ 80 100 และ 150 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาเท่ากับในหญ้าฐี หญ้ากินนีสีม่วง หญ้าแพงโกล่า และถั่วคาวาลเคด คือ 12 ชั่วโมงขึ้นไป 4 ชั่วโมงขึ้นไป และ 2 ชั่วโมงขึ้นไป ตามลำดับ ก็จะได้ถั่วแห้งที่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นน้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ โดยมีอัตราการระเหยของน้ำจะสูงสุดในคาบแรกของการอบที่อุณหภูมิ 80 100 และ 150 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 9 โดยจะมีค่าสูงมากที่สุดเมื่ออบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส คือ เท่ากับ 41.11 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง และจะลดลงเรื่อยเมื่อเวลาการอบเพิ่มขึ้น แต่สำหรับที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส จะมีลักษณะเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นช่วงๆ เช่นกัน



ภาพที่ 5 เปอร์เซ็นต์ความชื้นคงเหลือในถั่วทำพระสไตโล ที่นำออกจากตู้อบเมื่ออบที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

ส่วนสีและกลิ่น ดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่า ถั่วทำพระสไตโลแห้งจะมีกลิ่นไหม้และสีน้ำตาลอมเขียว เมื่ออบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่ 2 ชั่วโมงแรก แต่เมื่อเวลาการอบเพิ่มขึ้นเป็น 4 และ 6 ชั่วโมง กลิ่นไหม้จะแรงขึ้นและสีเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งเหตุผลน่าจะเป็นเช่นเดียวกันกับที่พบในถั่วคาวาลเคด ส่วนการอบที่อุณหภูมิต่ำกว่านั้นจะได้ถั่วทำพระสไตโลแห้งที่มีกลิ่นหอมและมีสีอยู่ในโทนสีเขียวหรือเหลืองอมเขียว

ในส่วนของ NDF ADF ลิกนินและ ADIN ของถั่วทำพระสไตโลแห้งเมื่ออบที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 17.38-18.59 45.00-55.25 35.46-44.63 4.98-12.23 และ 0.200-1.056 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างของค่าลิกนินและ ADIN จะเห็นได้ชัดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส คือ ค่าลิกนิน เพิ่มขึ้นจาก 4-5

เปอร์เซ็นต์ เมื่ออบที่อุณหภูมิในช่วง 60-100 องศาเซลเซียส เป็น 18.51 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงและเพิ่มเป็น 39.22 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาการอบเพิ่มขึ้นเป็น 6 ชั่วโมง แสดงว่า อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ไม่เหมาะสมในการอบถั่วท่าพระสไตโล

ตารางที่ 9 อัตราการระเหยของน้ำ (เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่หายไปต่อชั่วโมง) ของถั่วท่าพระสไตโล เมื่ออบที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิการอบ				
	40°C	60°C	80°C	100°C	150°C
2				31.95	41.11
4				9.35	0.03
6	4.75	7.08	12.15	0.15	0.03
12	5.00	4.07	1.67		
18	0.55	2.65	0.04		
24	3.06	0.01	0.01		
30	0.15	0.10	0.01		

ตารางที่ 10 คุณภาพของถั่วท่าพระสไตโลที่อบที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน

อุณหภูมิ (°C)	ชั่วโมง	%โปรตีน	%NDF	%ADF	%lignin	%ADIN ^{/1}	สี	กลิ่น
40	30	17.75 ^{bcd}	45.15 ^a	39.37 ^d	4.98 ^a	8.46 ^d	GG	B
60	18	17.38 ^b	50.13 ^e	39.50 ^d	5.88 ^d	8.27 ^{cd}	GG	G
	24	17.69 ^{bcd}	49.91 ^e	39.38 ^d	5.86 ^d	9.45 ^e	OL	G
	30	17.90 ^{cde}	49.51	39.45 ^d	5.82 ^d	9.25 ^e	OL	G
80	12	18.11 ^{def}	46.42 ^c	37.82 ^c	5.76 ^d	7.60 ^{bc}	OL	G
	18	18.32 ^{efg}	45.13 ^a	36.31 ^b	5.36 ^c	8.02 ^{bcd}	OL	G
	24	18.51 ^{fg}	45.00 ^{bc}	35.46 ^a	5.19 ^b	7.77 ^{bcd}	OL	G
	30	18.53 ^{fg}	45.67 ^{ab}	35.76 ^{ab}	5.02 ^a	7.42 ^b	OL	G
100	4	18.59 ^g	47.97 ^d	38.29 ^c	5.40 ^c	6.56 ^a	OL	G
	6	17.56 ^{bc}	47.44 ^d	38.19 ^c	5.46 ^c	7.65 ^{bcd}	GG	G
150	2	16.54 ^a	51.89 ^f	39.12 ^d	7.57 ^e	18.51 ^f	OB	M
	4	17.57 ^{bc}	54.49 ^g	40.59 ^e	10.03 ^f	31.32 ^g	MB	M
	6	16.81 ^a	55.25 ^h	44.63 ^f	12.23 ^g	39.22 ^h	MB	M
%CV		1.33	1.14	1.35	1.43	1.07		

หมายเหตุ : ตัวเลขที่กำกับด้วยอักษรชนิดเดียวกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

^{/1} : % of Total nitrogen สี GG ; greynish green OL ; olive OB ; olive brown MB; mustard brown กลิ่น B ; อับ G ; หอม M ; ไหม้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองอบหญ้าที่ หญ้ากินนีสีม่วง หญ้าแพงโกล่า ถั่วคาวาลเคดและถั่วท่าพระสไตโด ด้วยตูบแห้งที่มีพัดลมเป่าเพื่อให้อากาศร้อนมีการกระจายทั่วตูบ ที่อุณหภูมิ 40 60 80 100 และ 150 องศาเซลเซียส สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การอบหญ้าที่ หญ้ากินนีสีม่วง หญ้าแพงโกล่า และถั่วคาวาลเคด ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 ชั่วโมง หรือ อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง หรือ อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ทำให้ได้พืชแห้งที่มีกลิ่นหอม สีสอยู่ในโทนเขียวหรือเหลือง และมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นคงเหลือน้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ส่วนถั่วท่าพระสไตโด สามารถอบให้แห้งได้ที่ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 30 ชั่วโมง หรือ อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง หรือ อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง หรือ อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง

2. ส่วนการอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 2 4 และ 6 ชั่วโมง พืชทุกชนิดเปอร์เซ็นต์ความชื้นไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่เหมาะสมในการอบเนื่องจากพืชแห้งมีกลิ่นไหม้และส่วนใหญ่จะมีสีอยู่ในโทนน้ำตาล

3. ด้านคุณค่าทางอาหารสัตว์ พบว่า เปอร์เซ็นต์ลิกนิน และ ADIN ในหญ้าและถั่วแห้งทุกชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการอบที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ค่า ADIN ส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด

ข้อเสนอแนะ

ควรทำการศึกษาเพื่อยืนยันผลโดยการอบหญ้าในปริมาณมากทั้งในรูปอัดฟ่อนและไม่อัดฟ่อน รวมทั้งศึกษาด้านทุนการผลิต เพื่อพัฒนาระบบการผลิตและคุณภาพของพืชอาหารสัตว์แห่งต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และคนงานของศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์ชัยนาททุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานทำให้ผลการดำเนินงานสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมปศุสัตว์. 2548. หญ้าแห้ง. กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด กรุงเทพฯ. 22 หน้า.
- AOAC. 1984. Official Methods of Analysis. 14th Ed. Assoc. of Official Analytical Chemists Inc., Virginia, U.S.A. 1,141 p.
- Goering, H.K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage Fiber Analysis (Apparatus, Reagent, Procedures and Some Applications). Agriculture Handbook No.379. United State Department of Agriculture, Washington D.C., U.S.A. 20 p.
- Goering, H.K., P.J. Van Soest and R.W. Hemken. 1973. Relative susceptibility of forages to heat damage as affected by moisture, temperature and pH. J.Dairy Sci. 56:137-143.
- Hamm, M., P. Debeire, B. Monties and B. Chabbert. 2002. Effect of industrial processing on alfalfa cell walls. J. Sci Food Agric. 82(15) : 1806-1815.
- ITU Food Engineering Department. 2003. 2 Carbohydrates.
<http://atlas.cc.itu.edu.tr/~boyaci/03%20CHO2.pdf>.
- Kornerup, A. And J.H. Wanscher. 1984. Methuen Handbook of Colour. Richard Clay Ltd., Sussex, Great Britain. 252 p.
- Rankin, M. and D. Undersander. 2000. Rain damage to forage during hay and silage making. Focus on Forage. 2(4). <http://www.uwex.edu/ces/crops/uwforage/Rain-Damage.htm>.
- Sovoie, P. and S. Descoteaux. 2004. Artificial drying of corn stover in mid-size bales. Canadian Biosystems Engineering. 46:2.25-2.34.
- Tedeschi, L.O., A.N. Pell, D.G. Fox and C.R. Llamas. 2001. The amino acid profile of the whole plant and of four plant residues from temperate and tropical forages. J.Anim.Sci. 79:525-532.

Undersander, D. 2006. Forage Quality : Terms and Definition.

http://forage.ildt.net/Repository/2006%20Western%20Cdn%20Alfalfa%20Training%20Seminar/11_Dan_UndersanderForageQualityAlfalfa.pdf#search=%22%20ADIN%20protein%20protection%20rumen%20%22. 8 p.

Van Soest, P.J. 1982. Nutritional Ecology of the Ruminant. Comstock Publishing Associates, London. 373 p.

Wedzicha, B.L. 2006. The effect of amino acids on the browning of wort : modeling of browning during the frying, baking, roasting and toasting of food. University of Leeds. www.food.leeds.ac.uk/staff/blw/fmc/examples/browning.htm. 4 p.

Wu, H. 2004. Alfalfa drying properties and technologies-in review. Nature and Science. 2(4):65-67.

Yang, J.H., G.A. Broderick and R.G. Koegel. 1993. Effect of heat treating alfalfa hay on chemical composition and ruminal *in vitro* protein degradation. J.Dairy Sci. 76:154-164.