

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมี และดิซอร์พชันไอโซเทิร์มของหน่อไม้ไผ่ตง

Study of Physical and Chemical Properties and Desorption Isotherms for Bamboo Shoots

(*Dendrocalamus asper* Backer)

ชไมพร มหายุทธปัญญา (Chamaiporn Mahayotpanya)* ดร.สิงหนาท พวงจันทน์แดง (Dr.Singhanat Phoungchandang)**

บทคัดย่อ

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของหน่อไม้ไผ่ตง (*Dendrocalamus asper* Backer) โดยแบ่งหน่อไม้เป็น 3 ส่วน: ส่วนยอด ส่วนกลาง และส่วนโคน วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้า ปริมาณเส้นใย ความหนาแน่น และค่าสี พบว่า ส่วนกลาง มีปริมาณเส้นใยที่ค่อนข้างสูง และมีปริมาณเถ้าสูงที่สุด การศึกษาวิธีลดปริมาณสารไซยาไนด์ในหน่อไม้ไผ่ตง พบว่า เมื่อเวลาการต้มเพิ่มขึ้น ปริมาณสารไซยาไนด์มีค่าลดลง สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลดปริมาณสารไซยาไนด์ คือ การต้มในน้ำเดือด ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที การศึกษาดิซอร์พชันไอโซเทิร์มของหน่อไม้ไผ่ตงสดและหน่อไม้ไผ่ตงที่ผ่านการต้ม ที่อุณหภูมิ 20, 35 และ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้โปรแกรมสหสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรงโดยใช้แบบจำลอง 4 แบบจำลอง พบว่า แบบจำลอง Modified Halsey และแบบจำลอง Modified Oswin สามารถทำนายดิซอร์พชันไอโซเทิร์มของหน่อไม้ไผ่ตงสดและหน่อไม้ไผ่ตงที่ผ่านการต้มได้ดีที่สุด ตามลำดับ ทั้งในรูปแบบฟังก์ชัน $X_c=f(RH_c,T)$ และ $RH_c=f(X_c,T)$

ABSTRACT

Chemical and physical properties of Bamboo shoots (*Dendrocalamus asper* Backer) were studied. The shoots were cut into 3 parts: tip, middle and base. Moisture content, protein content, fat, ash, crude fiber density and color of each part were determined. It was found that the middle part of bamboo shoots contained rather high crude fiber and provided the highest ash content which was suitable for consumption. The reduction of cyanide content in bamboo shoots was performed. It was found that cyanide content in bamboo shoot was decreased with increased boiling time. The optimum conditions for cyanide content reduction were at 100°C for 30 minutes. Desorption isotherms of fresh and boiled bamboo shoots were determined at 20, 35 and 50°C and nonlinear regression was applied to the experimental data to fit with any of the 4 sorption isotherm models. The Modified Halsey and Modified Oswin model could fit the best for the fresh and boiled bamboo shoots for both $X_c=f(RH_c,T)$ and $RH_c=f(X_c,T)$, respectively.

คำสำคัญ: หน่อไม้ ดิซอร์พชันไอโซเทิร์ม ปริมาณสารไซยาไนด์

Key Words: Bamboo shoot, Desorption isotherm, Cyanide content

* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ไผ่ตง เป็นพืชที่นิยมปลูกในเมืองไทยมานาน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Dendrocalamus asper* Backer มีชื่อสามัญว่า Sweet Bamboo เป็น ไม้ อยู่ใน วงศ์ Gramineae ชื่อทางราชการ และชื่อพื้นเมือง นิยมเรียกกันทั่วไปว่า ไผ่ตง แทบทุกภาค อาจมีบางท้องถิ่นที่เรียกไผ่ตงว่า ไผ่บ้านหรือไผ่หวาน เนื่องจากเป็นไม้โตเร็ว สามารถขึ้นได้ดีในดินเกือบทุกชนิด จึงมีการปลูกกันโดยทั่วไป ซึ่งปัจจุบันได้มีการขยายพื้นที่ปลูกเพิ่มมากขึ้นและได้ขยายไปในหลายจังหวัดทั่วทุกภาค นอกจากนี้ไผ่ตงจะเป็นไผ่ที่นิยมบริโภคหน่อภายในประเทศแล้ว ยังมีส่วนหนึ่งได้ส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศในรูปแบบผลิตภัณฑ์หน่อไม้ไผ่ตงอัดปื๊บ หน่อไม้แห้ง หน่อไม้สดแช่แข็ง ประเทศที่สั่งซื้อหน่อไม้ไผ่ตงจากประเทศไทยก็มีได้จำกัดอยู่เฉพาะในเขตประเทศข้างเคียง หรือทวีปเอเชียเท่านั้น แต่ยังเป็นที่ต้องการของตลาดอื่นๆ เช่น ยุโรป และอเมริกาด้วย ความต้องการของตลาดต่างประเทศมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นทุกปี จนอัตราการผลิตของไทยไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด นอกเหนือจากประโยชน์ที่ได้จากหน่อไม้ไผ่ตงในรูปแบบต่างๆ แล้ว ถ้าไผ่ตงก็ยังมีประโยชน์อีกนานัปการ ทั้งประโยชน์ทางตรงและทางอ้อม ไผ่ตงจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง (สมปอง, 2539)

หน่อ ไม้ เป็น พืช ที่มี ปริมาณ ไขมัน ต่ำ ปริมาณเส้นใยและแร่ธาตุสูง โดยมีปริมาณโปรตีนสูง มีกรดอะมิโน 17 ชนิด ซึ่งมีปริมาณกรดอะมิโนสูงกว่าผักชนิดอื่นๆ เช่น กะหล่ำปลี แครอท หอมหัวใหญ่ และพริกทอง (Satya et al., 2010) แต่อย่างไรก็ตาม หน่อ ไม้ ยัง เป็น พืช ที่มี สารพิษ ได้แก่ cyanogenic glycosides อยู่ตามธรรมชาติ เช่นเดียวกับมันสำปะหลัง และพืชอื่นๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพืชที่ไม่ได้นิยมปลูกในประเทศไทย อาทิ อัลมอนต์ เมล็ดลูกเดือยอก ถั่วลิมา และข้าวฟ่าง เป็นต้น (สุวรรณิ และคณะ, 2554)

ดัชนีชี้วัดของไอโซเทอรัม เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสัมพัทธ์กับความชื้นสัมพัทธ์สมดุลหรือค่า Water activity ที่อุณหภูมิคงที่ การใช้

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการศึกษาดัชนีชี้วัดของไอโซเทอรัม เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสัมพัทธ์กับความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของอาหารรอบๆ อาหาร ณ จุดนี้ อาหารจะไม่มีน้ำหนักเพิ่มหรือลดลงภายใต้การเก็บรักษาในสภาวะดังกล่าว จึงมีประโยชน์สำหรับการนำมาใช้ในการกำหนดระดับความแห้งของอาหารในกระบวนการทำแห้ง สามารถนำมาใช้ในการทำนายความคงตัวและการเปลี่ยนแปลงของอาหารจากปริมาณความชื้นต่อค่า Water activity Choudhury et al. (2011) ศึกษาดัชนีชี้วัดของไอโซเทอรัมของหน่อ ไม้ สด (*Dendrocalamus longispathus*) ด้วยวิธี Gravimetric static โดยการ ใช้ สารละลายเกลืออิ่มตัว ที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 35 องศาเซลเซียส และ ใช้ แบบ จำลอง เพื่อ หา ดัชนีชี้วัดของไอโซเทอรัม 3 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลอง BET, Caurie และ GAB พบว่า แบบจำลอง Caurie สามารถทำนายดัชนีชี้วัดของไอโซเทอรัมของหน่อ ไม้ สดได้ดีที่สุด โดยพบทั้งดัชนีชี้วัดของไอโซเทอรัมและแอ็คชอร์พชันไอโซเทอรัมแต่อย่างไรก็ตาม แบบจำลอง BET, Caurie และ GAB ไม่มีอิทธิพลของอุณหภูมิต่อปริมาณความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นสัมพัทธ์สมดุล ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาดัชนีชี้วัดของไอโซเทอรัมของหน่อ ไม้ ไผ่ตง (*Dendrocalamus asper* Backer) ทั้ง หน่อ ไม้ ไผ่ตงสด และหน่อ ไม้ ไผ่ตงที่ผ่านการต้ม ด้วยวิธี Dynamic โดยการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอาหารในภาชนะปิดสนิทด้วยเครื่องมือ ที่อุณหภูมิ 20, 35 และ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกและใช้เวลาในการวัดสั้น รวมไปถึงการเลือกใช้แบบจำลองดัชนีชี้วัดของไอโซเทอรัมที่มีอิทธิพลของอุณหภูมิต่อปริมาณความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นสัมพัทธ์สมดุล เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล และอุณหภูมิของหน่อ ไม้ ไผ่ตง

วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษสมบัติทางกายภาพและเคมีของหน่อ ไม้ ไผ่ตงสดในส่วนต่างๆ เพื่อ

คัดเลือกส่วนที่เหมาะสม และศึกษาวิธีลดปริมาณสารไซยาไนด์ในหน่อไม้ไผ่ตงสด รวมถึงการศึกษาดิซอร์พชันไอโซเทิร์มของหน่อไม้ไผ่ตงสดและหน่อไม้ไผ่ตงที่ผ่านการต้ม เพื่อใช้เป็นประโยชน์ในการพัฒนากระบวนการทำแห้งหน่อไม้ไผ่ตงต่อไป

วิธีการวิจัย

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของหน่อไม้ไผ่ตงสด

นำหน่อไม้ไผ่ตง (*Dendrocalamus asper* Backer) ที่ได้จากแหล่งเดียวกันในจังหวัดขอนแก่น มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำคลอรีนความเข้มข้น 5 ppm แล้วล้างให้แห้ง ปอกเปลือกและตัดหน่อไม้ไผ่ตงแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนยอด ส่วนกลาง และส่วนโคน ซึ่งมีความยาวส่วนละประมาณ 10 เซนติเมตร ทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Association of Official Analytical Chemists [AOAC], 2000) ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000) ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000) ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000) ปริมาณเส้นใย (AOAC, 2000) ความหนาแน่น (Mohsenin, 1980) และค่าสี (CIE LAB) วางแผนการทดลองแบบ CRD และนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows

การศึกษาวิธีลดปริมาณสารไซยาไนด์ในหน่อไม้ไผ่ตงสด

นำหน่อไม้ไผ่ตงสด มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำคลอรีนความเข้มข้น 5 ppm แล้วล้างให้แห้ง ปอกเปลือกและตัดส่วนที่เหมาะสมข้างต้น จากนั้นนำหน่อไม้ไผ่ตงส่วนดังกล่าวมาต้มในน้ำเดือด ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที และนำหน่อไม้ไผ่ตงที่ผ่านการต้มในเวลาต่างๆ มาวิเคราะห์ปริมาณสารไซยาไนด์ เพื่อดูแนวโน้มการลดลงของปริมาณสารไซยาไนด์ในตัวอย่งหน่อไม้ไผ่ตงเมื่อเวลาการต้มเพิ่มขึ้น แล้วจึงนำผลที่ได้มาคัดเลือกสภาวะการต้มหน่อไม้ไผ่ตงที่เหมาะสม โดยค่าความปลอดภัยของการได้รับสารไซยาไนด์จาก

การบริโภคหน่อไม้ที่องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) และองค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดไว้ ไม่ควรเกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน (สุวรรณี และคณะ, 2554)

ดังนั้น เกณฑ์การคัดเลือกเวลาการต้มที่เหมาะสม คือ มีปริมาณการได้รับสารไซยาไนด์ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน วางแผนการทดลองแบบ CRD และนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows

การศึกษาดิซอร์พชันไอโซเทิร์มของหน่อไม้ไผ่ตงสดและหน่อไม้ไผ่ตงที่ผ่านการต้ม

นำหน่อไม้ไผ่ตงที่ล้างทำความสะอาดแล้วไปหาปริมาณความชื้นเริ่มต้น (AOAC, 2000) จากนั้นนำหน่อไม้ไผ่ตงส่วนที่เหมาะสมข้างต้น ทั้งหน่อไม้ไผ่ตงสดและหน่อไม้ไผ่ตงที่ผ่านการต้ม หั่นเป็นแผ่นให้มีความหนา 2 มิลลิเมตร ประมาณ 300 กรัม ไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบเบบถาด (Tray Dryer) รุ่น VCP8-A บริษัท Amfield, Hampshire ประเทศอังกฤษ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลมร้อน 0.5 เมตรต่อวินาที (Sun, Woods, 1994) วัดความเร็วลมโดยใช้เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) จากนั้นสุ่มตัวอย่างออกมาเพื่อวัดปริมาณความชื้นของหน่อไม้ไผ่ตงที่ค่าต่างกัน 7 ระดับ (Phoungchandang, Woods, 2000)

นำหน่อไม้ไผ่ตงที่ผ่านการทำแห้งดังกล่าวและทราบปริมาณความชื้นที่แน่นอนมาวัดค่า Water activity ด้วยเครื่อง Aqua Lab รุ่น Series 3TE ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่จุดสมดุล ที่อุณหภูมิ 20, 35 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นนำไปคัดเลือกแบบจำลองดิซอร์พชันไอโซเทิร์ม ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายของแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมสหสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรง (nonlinear regression) โดยข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะเหมาะสมกับ

แบบจำลองใด พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R²) สูงที่สุด และค่าประมาณความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error of estimate, SEE) ต่ำที่สุด

ตารางที่ 1 แบบจำลองสี่ขอร์พจน์ไอโซเทิร์ม

Model	$X_c=f(RH_c, T)$	$RH_c=f(X_c, T)$
Modified Oswin	$(C_1+C_2T)/(1/RH_c-1)^{(C_3)}$	$1/(((C_1+C_2T)X_c^{C_3})+1)$
Modified Henderson	$(\ln(1-RH_c)/(C_1(T+C_2)))^{(C_3)}$	$1-\exp(-(C_1(T+C_2)X_c^{C_3}))$
Modified Chung Pfof	$(1/C_1)\ln((T+C_2)\ln(RH_c)/C_1)$	$\exp((C_1(T+C_2)\exp(C_2X_c))$
Modified Halsey	$(\ln(RH_c)\exp(C_1+(C_2T)))^{(C_3)}$	$\exp(-\exp(C_1+(C_2T)X_c^{C_3}))$

ผลการวิจัย

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของหน่อไม้ไผ่ตงสด โดยการวิเคราะห์ทางองค์ประกอบโดยประมาณ ความหนาแน่น และค่าสี โดยใช้ปริมาณเส้นใยและปริมาณเถ้า เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกส่วนของหน่อไม้ที่มีความเหมาะสม จากการทดลองพบว่า ส่วนที่เหมาะสมแก่การบริโภค คือ ส่วนกลางและส่วนยอด ซึ่งส่วนกลางมีปริมาณเส้นใยที่ค่อนข้างสูง ร้อยละ 10.61 ต่อน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณเถ้าสูงที่สุด ร้อยละ 12.63 ต่อน้ำหนักแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 2 จึงเหมาะสำหรับการนำไปแปรรูปด้วยกระบวนการทำแห้ง และนำมาศึกษาในขั้นตอนต่อไป

การศึกษาวิธีลดปริมาณสารไซยาไนด์ในหน่อไม้ไผ่ตงสด (ส่วนกลาง) พบว่า เมื่อเวลาการต้มเพิ่มขึ้น ปริมาณสารไซยาไนด์มีค่าลดลง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่าความปลอดภัยของการได้รับสารไซยาไนด์จากการบริโภคหน่อไม้ที่องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) และองค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดไว้ไม่ควรเกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน และค่า Acceptable Daily Intake (ADI) หรือปริมาณ

สารที่ร่างกายสามารถรับได้ในแต่ละวัน คิดเป็นมิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม กำหนดไว้สำหรับสารไซยาไนด์ ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน จากผลการทดลองได้ประเมินการได้รับสารไซยาไนด์เข้าสู่ร่างกาย โดยการศึกษาข้อมูลการบริโภคหน่อไม้ของคนไทย พบว่า ปริมาณการบริโภคหน่อไม้ต้มเฉลี่ยเท่ากับ 126.6 กรัมต่อคนต่อวัน (สำนักมาตรฐานสินค้าและระบบคุณภาพ, 2549)

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพเคมีของหน่อไม้ไผ่ตงสด

Part of shoot	Tip	Middle	Base
Moisture content (%d.b)	1,319.26±21.09 ^b	1,377.98±25.95 ^a	1,381.61±11.89 ^a
Protein (%d.b)	24.34±1.78 ^a	19.77±3.09 ^b	11.43±0.72 ^c
Fat (%d.b)	0.36±0.17 ^a	0.25±0.12 ^a	0.32±0.08 ^a
Ash (%d.b)	9.41±0.06 ^c	12.63±0.08 ^a	10.76±0.13 ^b
Crude fiber (%d.b)	8.61±1.05 ^c	10.61±0.59 ^b	13.93±0.49 ^a
Density (kg/m ³)	984.23±7.76 ^a	991.45±11.50 ^a	993.22±2.65 ^a
L*	82.23±2.04 ^a	78.06±1.88 ^b	78.84±2.01 ^b
a*	-0.98±0.55 ^b	0.15±0.53 ^a	0.44±0.91 ^a
Color b*	21.50±4.53 ^a	17.98±2.37 ^b	16.84±2.65 ^b
C*	21.53±4.53 ^a	17.98±2.38 ^b	16.86±2.68 ^b
h* (°)	92.53±1.50 ^a	89.68±1.54 ^b	88.77±2.49 ^b

หมายเหตุ

^{a,b,c} ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

โดยตัวอย่างที่ต้มในน้ำเดือด ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที มีปริมาณสารไซยาไนด์เท่ากับ 2.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักเปียก ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งเมื่อคำนวณปริมาณการได้รับสารไซยาไนด์จากสูตร $Dose = (c \times cs)/(bw \times 1,000)$ พบว่า การบริโภคหน่อไม้ในปริมาณปกติจะได้รับสารไซยาไนด์เฉลี่ยเท่ากับ 0.0059 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน จากนั้นนำผลที่ได้มาประเมินความเสี่ยงต่อพิษที่เกิดขึ้น โดยเปรียบเทียบกับค่า ADI และ

รายงานความเสี่ยงเป็นค่า MOS (Margin of safety) ซึ่งคำนวณค่าได้จากสูตร $MOS = Dose/ADI$ ในกรณีค่า MOS น้อยกว่า 1 แสดงว่าปริมาณสารโดยเฉลี่ยที่ร่างกายได้รับไม่เกิดผลข้างเคียงต่อร่างกาย แต่ในกรณีค่า MOS มากกว่า 1 แสดงว่าปริมาณสารโดยเฉลี่ยที่ได้รับเกินค่ามาตรฐานหรืออยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัย พบว่า ค่า MOS สำหรับการบริโภคหน่อไม้ในปริมาณปกติมีค่าเท่ากับ 0.1181 จึงกล่าวได้ว่า ตัวอย่างหน่อไม้ไผ่ตงที่ต้มในน้ำเดือด ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที มีปริมาณการได้รับสารไซยาไนด์ไม่เกินค่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ และอยู่ในระดับที่ปลอดภัย

ตารางที่ 3 ผลของเวลาที่ใช้ในการต้มต่อปริมาณสารไซยาไนด์ในหน่อไม้ไผ่ตงสด (ส่วนกลาง)

Time (min)	Cyanide ^a (mg/kg)	Dose (mg/kg bw/day)	MOS
0	6.41 ± 0.13 ^a	0.0135 ^a	0.2704 ^a
30	2.80 ± 0.10 ^b	0.0059 ^b	0.1181 ^b
60	2.30 ± 0.22 ^c	0.0049 ^c	0.0972 ^c
90	1.88 ± 0.10 ^d	0.0040 ^d	0.0793 ^d
120	1.06 ± 0.13 ^e	0.0022 ^e	0.0448 ^e

หมายเหตุ

^{a,b,c,d,e} ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าที่แตกต่างกันในสมรรถกษัณย์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

$Dose = (c \times cs)/(bw \times 1,000)$

โดย Dose คือ ปริมาณการได้รับสารไซยาไนด์ (mg/kg bw/day)

^ac คือ ปริมาณสารไซยาไนด์เฉลี่ยในหน่อไม้ (mg/kg)

cs คือ ปริมาณการบริโภคหน่อไม้ (126.6 g/day)

bw คือ น้ำหนักตัวเฉลี่ย (60 kg)

MOS = Dose/ADI คือ ปริมาณสารไซยาไนด์โดยเฉลี่ยที่ร่างกายได้รับ

การศึกษาดิซอร์พชั่นไอโซเทิร์มของหน่อไม้ไผ่ตงสดและหน่อไม้ไผ่ตงที่ผ่านการต้ม โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH) อยู่ในช่วง 0.25-0.88 เมื่อพิจารณาจากค่า R² และค่า SEE พบว่า แบบจำลอง Modified Halsey และแบบจำลอง Modified Oswin สามารถทำนายดิซอร์พชั่นไอโซเทิร์มของหน่อไม้ไผ่ตงสดและที่ผ่านการต้มได้ดีที่สุด ตามลำดับ ทั้งใน

รูปฟังก์ชัน $X_c = f(RH_c, T)$ และ $RH_c = f(X_c, T)$ ดังแสดงในตารางที่ 4 และแทนค่าคงที่ของแบบจำลองดิซอร์พชั่นไอโซเทิร์มของหน่อไม้ไผ่ตงสดและที่ผ่านการต้ม ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ค่าคงที่ของแบบจำลองดิซอร์พชั่นไอโซเทิร์มของหน่อไม้ไผ่ตงสดและหน่อไม้ไผ่ตงที่ผ่านการต้ม

Type	Model*	Function	C ₁	C ₂	C ₃	R ²	SEE (%db)
Fresh	1	X _c	17.8448	-0.0563	1.4307	0.9932	1.3054
		RH	18.0387	-0.0506	1.5771	0.9752	0.0329
	2	X _c	0.00018127	343.4453	0.8391	0.9754	2.4726
		RH	0.00013407	264.1404	1.0066	0.9570	0.0433
	3	X _c	460.0846	239.1822	0.0481	0.9278	4.2350
		RH	591.6520	275.6207	0.0573	0.9365	0.0526
	4	X _c	3.0454	-0.0044	1.1813	0.9963	0.9535
		RH	3.0914	-0.0033	1.2138	0.9850	0.0255
Boiled	1	X _c	21.4386	-0.0771	1.6282	0.9959	1.0527
		RH	20.1324	-0.0467	1.5894	0.9951	0.0145
	2	X _c	0.0001346	277.1530	0.9570	0.9942	1.2490
		RH	0.00009388	323.3716	1.0240	0.9879	0.0228
	3	X _c	475.1137	234.1718	0.0461	0.9747	2.6081
		RH	716.3742	343.9352	0.0502	0.9726	0.0343
	4	X _c	3.7787	-0.0061	1.3459	0.9902	1.6185
		RH	3.1750	-0.0028	1.1950	0.9933	0.0169

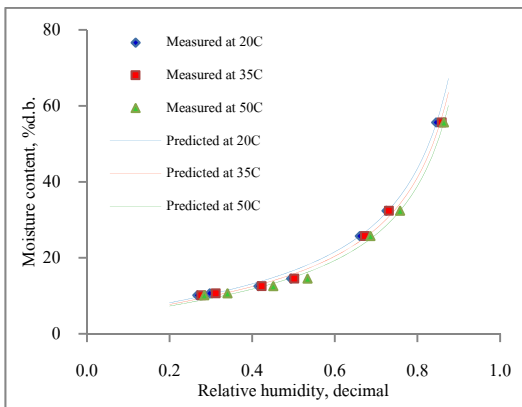
หมายเหตุ

Model* หมายถึง 1, 2, 3 และ 4 หมายถึง แบบจำลอง Modified Oswin, Modified Henderson, Modified Chung Ppost และ Modified Halsey ตามลำดับ

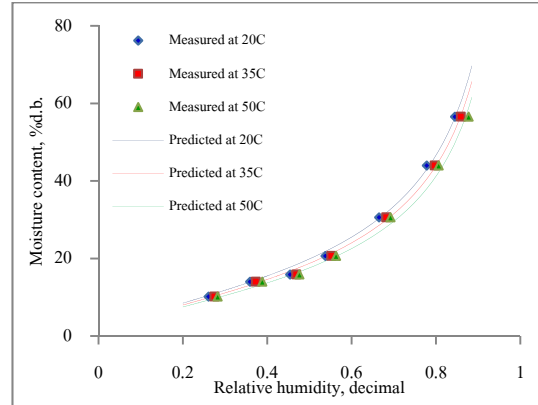
ตารางที่ 5 แบบจำลองดิซอร์พชันไอโซเทิร์มของหน่อไม้ไผ่ตงสดและหน่อไม้ไผ่ตงที่ผ่านการต้ม

Type	Model	Function
Fresh	Modified Halsey	$X_c = (-\ln(RH_c) \exp(3.0453 + (-0.0044T)))^{(41.1813)}$
		$RH_c = \exp(-\exp(3.0914 + (-0.0033T)) X_c^{-12138})$
Boiled	Modified Oswin	$X_c = (21.4386 + 0.0771T) ((1/RH_c - 1)^{0.1629})$
		$RH_c = 1 / (((20.1324 + (-0.0467T)) X_c^{1594}) + 1)$

ดิซอร์พชันไอโซเทิร์มของหน่อไม้ไผ่ตงสดและหน่อไม้ไผ่ตงที่ผ่านการต้ม แสดงในภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Halsey และแบบจำลอง Modified Oswin ในรูปฟังก์ชัน $X_c = f(RH_c, T)$ พบว่า ปริมาณความชื้นสมดุลมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดลง ณ ค่า Water activity คงที่ และปริมาณความชื้นสมดุลมีค่าลดลง เมื่อค่า Water activity ลดลง ณ อุณหภูมิคงที่



ภาพที่ 1 กราฟดิซอร์พชันไอโซเทิร์มของหน่อไม้ไผ่ตงสดเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Halsey ในรูปฟังก์ชัน $X_c = f(RH_c, T)$



ภาพที่ 2 กราฟดิซอร์พชันไอโซเทิร์มของหน่อไม้ไผ่ตงที่ผ่านการต้มเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Oswin ในรูปฟังก์ชัน $X_c = f(RH_c, T)$

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของหน่อไม้ไผ่ตงสด (ตารางที่ 2) พบว่า ปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า และปริมาณเส้นใย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่า ปริมาณโปรตีนในส่วนยอดมีค่าสูงที่สุด ตามด้วยส่วนกลาง และส่วนโคน ปริมาณเถ้าในส่วนกลางมีค่าสูงที่สุด ตามด้วยส่วนโคนและส่วนยอด โดยปริมาณเถ้า แสดงถึงส่วนของสารอนินทรีย์ (inorganic) ในหน่อไม้ไผ่ตงสด ซึ่งได้แก่แร่ธาตุต่างๆ ดังนั้น ถ้ามีปริมาณเถ้าสูง แสดงว่ามีแร่ธาตุต่างๆ สูง สำหรับปริมาณเส้นใย พบว่า ในส่วนโคนมีค่าสูงที่สุด ตามด้วยส่วนกลางและส่วนยอด ซึ่งหน่อไม้ไผ่ตงมีการแทงหน่อและเจริญเติบโตจากส่วน โคนไปยังส่วนยอด ส่วน โคนมีการเจริญเติบโตก่อน จึงมีอายุมากกว่าส่งผลให้มีปริมาณเส้นใยสูงกว่าส่วนอื่นๆ ผลการทดลองสอดคล้องกับ Satya et al. (2010) ที่กล่าวว่า หน่อไม้เป็น พืชที่มีปริมาณไขมันต่ำ มีปริมาณเส้นใยและแร่ธาตุสูง โดยมีปริมาณโปรตีนสูง มีกรดอะมิโน 17 ชนิด ซึ่งมีปริมาณกรดอะมิโน สูงกว่าผักชนิดอื่นๆ เช่น กะหล่ำปลี แครอท หอมหัวใหญ่ และพริกทอง โดยส่วนกลางของหน่อไม้ไผ่ตง มีปริมาณเส้นใยที่ค่อนข้างสูง ร้อยละ

10.61 ค่อน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณต่ำสุด ร้อยละ 12.63 ค่อน้ำหนักแห้ง จึงเหมาะสำหรับการนำไปแปรรูปด้วยกระบวนการทำแห้ง และนำมาศึกษาในขั้นตอนต่อไป

การศึกษาวิธีลดปริมาณสารไซยาไนด์ในหน่อไม้ไผ่ตงสด (ส่วนกลาง) (ตารางที่ 3) พบว่า เมื่อเวลาการต้มเพิ่มขึ้น ปริมาณสารไซยาไนด์มีค่าลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสารพิษ cyanogenic glycosides ไม่เสถียร สามารถเปลี่ยนเป็นสารไฮโดรเจนไซยาไนด์ ซึ่งสารประกอบไฮโดรเจนไซยาไนด์นี้ เป็นกรดอ่อนที่ระเหยง่ายและสลายตัวอย่างรวดเร็วเมื่อต้มในน้ำเดือด ผลการทดลองสอดคล้องกับ Food Standards Australia New Zealand [FSANZ] (2004) รายงานว่าในหน่อไม้มีองค์ประกอบของสารพิษ เรียกว่า cyanogenic glycosides ชนิด Taxiphyllin ซึ่งจะเกิดกระบวนการแยกสลายด้วยน้ำ (hydrolysis) แล้วได้กลูโคสและ hydroxybenzaldehyde cyanohydrins จากนั้น hydroxybenzaldehyde cyanohydrins จะสลายตัวแล้วได้ hydroxybenzaldehyde และ hydrogen cyanide เมื่อเซลล์พืชถูกทำลาย และการลดปริมาณสารไฮโดรเจนไซยาไนด์ทำได้โดยการต้มนอกจากนี้ Choudhury et al. (2010) รายงานว่า หน่อไม้มีการผลิตสารไฮโดรเจนไซยาไนด์ จึงทำให้หน่อไม้มีรสขม โดยพบว่า การสับละเอียดหรือทำเป็นชิ้นเล็ก ๆ การทำแห้งบางส่วน การต้มในน้ำ หรือน้ำเกลือแล้วรินน้ำทิ้งหรือการต้มในน้ำร้อน ประมาณ 10-15 นาที จะช่วยลดสภาพกรดและความขมของหน่อไม้ได้ ดังนั้น การต้มหน่อไม้ในน้ำเดือด ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เพียงพอสำหรับการลดปริมาณสารไซยาไนด์ในตัวอย่างหน่อไม้ไผ่ตงที่ทำการศึกษา อีกทั้งใช้ระยะเวลาสั้น จึงช่วยประหยัดเวลา และพลังงานที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบก่อนการนำไปแปรรูปด้วยกระบวนการทำแห้ง และนำมาศึกษาในขั้นตอนต่อไป

การศึกษาดิซอร์พชันไอโซเทิร์มของหน่อไม้ไผ่ตงสดและหน่อไม้ไผ่ตงที่ผ่านการต้ม พบว่า

แบบจำลอง Modified Halsey และแบบจำลอง Modified Oswin สามารถทำนายดิซอร์พชันไอโซเทิร์มของหน่อไม้ไผ่ตงสดและที่ผ่านการต้มได้ดีที่สุดตามลำดับ ทั้งในรูปแบบฟังก์ชัน $X_c=f(RH_c, T)$ และ $RH_c=f(X_c, T)$ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของอาภัสสรและคณะ (2548) พบว่า แบบจำลอง Modified Halsey สามารถอธิบายข้อมูลดิซอร์พชันไอโซเทิร์มของตะไคร้แก่และตะไคร้อ่อนได้ดีที่สุด ทั้งในรูปแบบฟังก์ชัน $X_c=f(RH_c, T)$ และ $RH_c=f(X_c, T)$ และ Phoungchandang et al. (2008) พบว่า แบบจำลอง Modified Halsey สามารถอธิบายข้อมูลดิซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบมะกรูดได้ดีที่สุด ทั้งในรูปแบบฟังก์ชัน $X_c=f(RH_c, T)$ และ $RH_c=f(X_c, T)$ เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของหน่อไม้ไผ่ตงสด (ตารางที่ 2) พบว่า หน่อไม้ไผ่ตงเป็นพืชที่มีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูง โดยส่วนกลางของหน่อไม้ไผ่ตงมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 19.77 ค่อน้ำหนักแห้ง สอดคล้องกับ Chen, Morey (1989) ซึ่งได้เสนอให้ใช้แบบจำลอง 4 แบบ ในการแสดงซอร์พชันไอโซเทิร์มสำหรับผลิตผลทางการเกษตรชนิดต่างๆ และพบว่า แบบจำลอง Modified Halsey เหมาะสมที่สุด สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมันและโปรตีนสูง สำหรับแบบจำลอง Modified Oswin เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของรุ่งกานต์ และคณะ (2547) พบว่าแบบจำลอง Modified Oswin สามารถอธิบายข้อมูลดิซอร์พชันไอโซเทิร์มของกระเทียมพันธุ์ศรีสะเกษได้ดีที่สุด ทั้งในรูปแบบฟังก์ชัน $X_c=f(RH_c, T)$ และ $RH_c=f(X_c, T)$ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Boquet et al. (1978) ที่พบว่า แบบจำลอง Modified Halsey และแบบจำลอง Modified Oswin เป็นแบบจำลองที่มีความเหมาะสมสำหรับอาหารจำพวกผัก

ดังนั้น จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของหน่อไม้ไผ่ตงสดในส่วนต่างๆ พบว่า ส่วนกลางของหน่อไม้ไผ่ตงมีความเหมาะสมที่สุด จึงนำมาศึกษาวิธีลดปริมาณสารไซยาไนด์ในส่วนกลางของหน่อไม้ไผ่ตง พบว่า การต้มหน่อไม้ในน้ำเดือด

ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที มีปริมาณสารไซยาไนด์เท่ากับ 2.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ซึ่งมีปริมาณการได้รับสารไซยาไนด์ไม่เกินค่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ และอยู่ในระดับที่ปลอดภัย และการศึกษาดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของหน่อไม้ฝรั่งสดและหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการต้ม พบว่าแบบจำลอง Modified Halsey และแบบจำลอง Modified Oswin สามารถทำนายดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของหน่อไม้ฝรั่งสดและหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการต้มได้ดีที่สุด ตามลำดับ ทั้งในรูปแบบฟังก์ชัน $X_c=f(RH_c,T)$ และ $RH_c=f(X_c,T)$ โดยงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์ในการพัฒนากระบวนการทำแห้งหน่อไม้ฝรั่งต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนประเภทเงินอุดหนุนทั่วไป จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ผู้ทำการวิจัยขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

รุ่งกานต์ บุญนาถกร, สิงหนาท พวงจันทน์แดง, บวรศักดิ์ สีนานนท์, สาโรช คำเจริญ, เขวามาลย์ คำเจริญ. การเปรียบเทียบการแปรรูปกระเทียมผงโดยการทำแห้งแบบใช้ลมร้อนและแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบล. ว. อาหาร 2547; 34(3): 248-260.

สมปอง สุนคนสิทธิ์. การปลูกฝรั่ง. กรุงเทพฯ: ชมรมไม้ผลแห่งประเทศไทย; 2539.

สุวรรณณี ชีรภาพธรรมกุล, เสกสรร ทองโพธิ์, วีระพร แจ่มศรี, พฤษชัย พรหมประสิทธิ์, จิราภา อุณหเลขกะ, ปิ่นนรี ชินวรรณวงศ์. การประเมินความเสี่ยงของสารไซยาไนด์จากการบริโภคหน่อไม้ของคนไทย. ว. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ 2554; 53(2): 67-79.

สำนักมาตรฐานสินค้าและระบบคุณภาพ สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ข้อมูลการบริโภคอาหารของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย; 2549.

อภัสสร ศิริจริยาวัตร, สิงหนาท พวงจันทน์แดง, บวรศักดิ์ สีนานนท์. ดีซอร์พชันไอโซเทิร์มและแบบจำลองการทำแห้งของตะไคร้โดยการทำแห้งแบบใช้ลมร้อน. ว. วิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา) 2548; 5(1): 59-69.

Association of Official Analytical Chemists . Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Arlington: AOAC; 2000.

Boquet R, Chirife J, Iglesias HA. Equations for fitting water sorption isotherms of foods. J Food Technol 1978; 13: 319-327.

Chen CC, Morey RV. Comparison of four EMC/ERH equations. Trans of the ASAE 1989; 32: 983-990.

Choudhury D, Sahu JK, Sharma GD. Biochemistry of bitterness in bamboo shoots. Physical Sci and Technol 2010; 6(2): 105-111.

Choudhury D, Sahu JK, Sharma GD. Moisture sorption isotherm, heat of sorption and properties of sorbed water of raw bamboo (*Dendrocalamus longispatus*) shoots. Ind Crops and Prod 2011; 33: 211-216.

Food Standards Australia New Zealand. Cyanogenic glycosides in cassava and bamboo shoots: A human health risk assessment Technical report series No. 28. Australia: FSANZ; 2004.

- Mohsenin NN. Physical properties of plant and animal material. New York: Gordon & Breach; 1980.
- Phoungchandang S, Woods JL. Moisture diffusion and desorption isotherms for bananas. J Food Sci 2000; 65(4): 651-657.
- Phoungchandang S, Srinukroh W, Leenanon B. Kaffir lime leaf (*Citrus hysteric* DC.) drying using tray and heat pump dehumidified drying. Drying Technol 2008; 26(12): 1602-1609.
- Satya S, Bal LM, Singhal P, Naik SN. Bamboo shoot processing: food quality and safety aspect (a review). Trends Food Sci Technol 2010; 21: 181-189.
- Sun DW, Woods JL. Low temperature moisture transfer characteristics of wheat in thin layers. Trans of the ASAE 1994; 37(6): 1919-1926.