TPT-21

การศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพในการตรวจสอบความแตกต่างทางสรีรวิทยาของขิง

*ศสิมา ตรีแก้ว[1],อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล[1]และวิชา หมั่นทำการ[1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

ผู้เขียนติดต่อ: ศสิมา ตรีแก้ว E-mail: oh-yo_yo@hotmail.com

บทคัดย่อ

ขิงอ่อนเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตขิงดองส่งออก การคัดแยกขิงอายุปานกลางที่มีสีและลักษณะภายนอกใกล้เคียงขิงอ่อนเป็นกระบวนการสำคัญในการผลิต งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติทางกลและกายภาพที่เหมาะสมที่สามารถนำมาจำแนกขิงอ่อนและขิงอายุปานกลาง โดยนำขิงพันธุ์หยวกอายุอ่อน (4-6 เดือน) และปานกลาง (7-9 เดือน) มาวัดค่าและวิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติทางกลจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบตัว ความชื้นและความถ่วงจำเพาะ จากการศึกษาพบว่า ขิงอายุ 4-6 เดือน มีค่าสมบัติทางกลและความถ่วงจำเพาะแตกต่างจากขิงอายุ 7-9 เดือนอย่างมีนัยสำคัญ (ระดับความเชื่อมั่น 95%) เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแง่งขิงภายในเหง้าที่อายุเดียวกัน พบว่า สำหรับขิงอายุ 4-6 เดือนค่าสมบัติทางกลและกายภาพไม่มีความแตกต่างระหว่างแง่งลูกที่ 1 และที่ 2 อย่างไรก็ตามสำหรับขิงอายุ 7-9 เดือนมีความแตกต่างระหว่างแง่งลูกที่ 1, 2, 3 และ 4 ในค่าสมบัติทางกล แต่ค่าความชื้นและความถ่วงจำเพาะไม่แตกต่างกัน เมื่อนำขิงที่มีสีและลักษณะภายนอกใกล้เคียงกันทั้งสองอายุมาแบ่งเป็น 2 กลุ่มและวิเคราะห์ทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบขิงที่มีสีและลักษณะภายนอกใกล้เคียงกันที่มีอายุต่างกันพบว่า ขิงที่มีอายุต่างกันจะมีสมบัติทางกลที่แตกต่างกันถึงแม้ว่าจะมีสีและลักษณะภายนอกเหมือนกันก็ตามทั้งในกลุ่มสีอ่อนและสีเข้ม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสมบัติทางกลเป็นสมบัติที่เหมาะสมในการใช้ตรวจสอบความแตกต่างทางสรีรวิทยาของขิงในด้านอายุและความแตกต่างภายในเหง้า

คำสำคัญ: ขิง; สมบัติทางกล;ความชื้น;ความถ่วงจำเพาะ; สี; อายุเก็บเกี่ยว

บทนำ

ขิง Ginger เป็นพืชล้มลุกจำพวกใบเลี้ยงเดี่ยวอยู่ในตระกูล ซิงจิเบอราซีอี (Zingiberraceae) มีชื่อสามัญว่า Ginger มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zingiber officinale* Roscoe. เป็นพืชที่มีลำต้นที่แท้จริงอยู่ใต้ดินเรียกว่า“ไรโซม (Rhizome)” แง่งขิงหรือเหง้าขิง เป็นส่วนที่ใช้บริโภคมีลักษณะเป็นแท่งสั้น ค่อนข้างแข็ง มีสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน ห่อหุ้มไว้ด้วยผิวนอกซึ่งเป็นเกล็ดเล็กๆ บริเวณผิวจะมีรากฝอยจำนวนมากงอกออกมาแง่งขิงที่อยู่ใต้ดินนี้จะแตกแขนงขนานไปกับพื้นดิน โดยแตกแขนงเป็นแบบนิ้วมือ สามารถมีชีวิตอยู่ได้มากกว่า 1 ฤดู [1]

ขิงเป็นเครื่องเทศที่สำคัญของโลกและยังมีสรรพคุณทางยา เช่น ช่วยขับลม รักษาโรคท้องอืดท้องเฟ้อ คลื่นไส้อาเจียน รักษาอาการไอที่มีเสมหะ ช่วยย่อยอาหาร ช่วยขับเหงื่อ [2] นอกจากนี้ขิงยังเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยประเทศไทยสามารถผลิตขิงคุณภาพดีเป็นอันดับ1ใน3 ของโลก ซึ่งในแต่ละปีมีการส่งออกเป็นมูลค่าเกือบพันล้านบาท ซึ่งในปี 2554-2555 มีปริมาณการส่งออก 52,045.69 ตัน คิดเป็นมูลค่า 1,478,844,897 บาท [3] ตลาดขิงบริโภคสดที่สำคัญในต่างประเทศได้แก่ มาเลเซีย สิงคโปร์ ดูไบ และอินโดนีเซีย สำหรับขิงแปรรูปตลาดต่างประเทศที่สำคัญได้แก่ ญี่ปุ่น เกาหลี ปากีสถาน สหรัฐอาหรับ และประเทศในแถบยุโรปการแปรรูปขิงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับขิง ซึ่งสามารถนำ

ขิงอ่อนและขิงแก่มาแปรรูปได้หลายประเภท เช่น ขิงดอง ขิงแช่อิ่ม น้ำเชื่อมขิง ขิงเคลือบน้ำตาล ชาขิง ขิงผง และใช้เป็นส่วนประกอบของขนมหรืออาหารบางชนิด เช่น ลูกอม เบียร์ ตลอดจนนำมาเป็นยาสมุนไพรได้ [4] ซึ่งผลิตภัณฑ์แปรรูปส่งออกที่สำคัญของไทยคือ ขิงดองซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำขิงที่สดและอยู่ในสภาพดีมาล้างให้สะอาด ปอกเปลือก อาจตัดแต่งหรือหั่นเป็นชิ้นหรือรูปร่างตามต้องการ คลุกเกลือ ทำให้สะเด็ดน้ำ และดองด้วยเครื่องปรุงรสเช่น น้ำส้มสายชู เกลือ น้ำตาล ขิงสดที่นำมาแปรรูปนั้นจะต้องเป็นขิงอ่อนเท่านั้นเพราะเมื่อดองแล้วจะให้รสชาติไม่เผ็ดหรือเผ็ดเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นรสชาติที่ตลาดต่างประเทศต้องการ แต่ในการผลิตขิงดองมักจะพบปัญหารสชาติไม่คงที่เนื่องจากขิงสดที่นำมาแปรรูปนั้นอาจจะไม่ใช่ขิงอ่อนทั้งหมดเพราะขิงอ่อนกับขิงอายุปานกลาง(ขิงดอกแดง) นั้นมีสีและลักษณะภายนอกใกล้เคียงกันแต่ขิงอายุปานกลางจะมีเส้นใยและปริมาณสาร 6 – gingerol ซึ่งเป็นสารให้ความเผ็ดมากกว่าขิงอ่อน [5] ดังนั้นถ้าขิงสดที่นำมาแปรรูปมีเส้นใยและความเผ็ดมากเกินไปจะส่งผลกระทบถึงคุณภาพผลิตภัณฑ์ขิงแปรรูปตามที่ตลาดต่างประเทศต้องการ

เพื่อเพิ่มคุณภาพการตรวจสอบขิงสดก่อนการแปรรูป ผลผลิตผู้วิจัยจึงมุ่งที่จะศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมในการตรวจสอบคุณภาพของขิงอ่อนและขิงอายุปานกลาง(ขิงดอกแดง) เพื่อช่วยจำแนกความอ่อน-แก่ของขิงสด ก่อนเข้าสู่กระบวนการแปรรูป ซึ่งจะช่วยเพิ่มคุณภาพให้แก่ผลิตภัณฑ์ขิงส่งออกในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลที่เหมาะสมในการตรวจสอบคุณภาพของขิงในด้านอายุและความแตกต่างภายในเหง้า

อุปกรณ์และวิธีการ

ขิงในงานวิจัยนี้เป็นขิงพันธุ์หยวก ที่มาจากแหล่งเพาะปลูกเดียวกันในอำเภอภูเรือ จังหวัดเลยการศึกษานี้จำแนกขิงออกเป็น 2 กลุ่ม คือขิงอ่อน (อายุ4-6 เดือน) จำนวน 42 ตัวอย่าง และขิงอายุปานกลาง (อายุ7-9 เดือน) จำนวน 60 ตัวอย่าง มาทำการศึกษาดังนี้

1.การแบ่งกลุ่มขิง

1.1คัดเลือกตัวอย่าง โดยนำเหง้าขิงแต่ละเหง้ามาเลือกแง่งแม่ แง่งลูก แล้วกำหนดรหัส (Code) ตามลำดับการงอก นำเหง้าขิงที่กำหนดรหัส (Code) ไปบันทึกภาพสำหรับตรวจสอบดูตำแหน่งของแง่งขิงดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 Coding of ginger rhizome for primary, secondary and tertiary rhizomes.

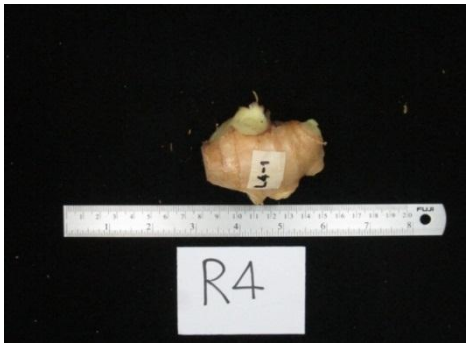
1.2 นำตัวอย่างที่ได้ทำการบันทึกภาพด้วยกล้องดิจิตอล (Canon PowerShot A2200, JP) ตัดแบ่งเป็นแง่งๆ ดังรูปที่ 2 แล้วบันทึกภาพอีกครั้ง เพื่อนำไปหาค่าสี ขนาดความกว้าง ขนาดความยาวของแต่ละแง่ง โดยใช้โปรแกรม Image J (National Institute of Mental Health, U.S.A) ในการหาค่าและขนาดต่างๆ

รูปที่ 2 Cut ginger for dimensional Measurement.

1.3 นำภาพแง่งขิงที่ได้ทำการบันทึกไว้ มาจำแนกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มขิงเปลือกสีอ่อน และกลุ่มขิงเปลือกสีเข้ม ซึ่งใช้วิธีการจำแนกด้วยสายตา โดยมีหลักการพิจารณาดังนี้ กลุ่มขิงเปลือกสีอ่อน จะมีเปลือกสีขาวอมเหลือง หรือสีเหลืองอ่อนๆ มีเส้นปล้องไม่ชัดเจนหรือยังไม่เป็นสีน้ำตาล และยังคงมีส่วนกาบใบที่เป็นสีชมพูติดอยู่ดังรูปที่ 3 ส่วนกลุ่ม

ขิงเปลือกสีเข้ม จะมีเปลือกสีเหลืองอมน้ำตาล มีเส้นปล้องชัดเจนดังรูปที่ 4

รูปที่ 3 Cut ginger classified into pale color group.



รูปที่ 4 Cut ginger classified into dark color group.

2. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความอ่อน-แก่ของขิง

2.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ

2.1.1การหาค่าความถ่วงจำเพาะทำโดยการชั่งน้ำหนักในอากาศด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล (Mettler Toledo รุ่น PL3002) ดังรูปที่5 และชั่งน้ำหนักในน้ำด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล (Mettler Toledo รุ่นPL3002) ดังรูปที่6 เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ดังสมการที่ (1) [6]

$$\text{Specific gravity} = \frac{W_g}{W_d} \qquad (1)$$

เมื่อ W_g = น้ำหนักขิงในอากาศ, g

W_d = น้ำหนักขิงในน้ำ, g

รูปที่ 5 Measurement for weight in air (W_g).

รูปที่ 6 Measurement for weight in water(W_d).

2.1.2 การหาค่าปริมาณความชื้นนำตัวอย่างขิงที่สับเป็นชิ้นเล็กๆใส่ในภาชนะอลูมิเนียมที่ผ่านการอบให้แห้งและทำการชั่งน้ำหนักแล้วประมาณ 5 กรัม นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง [7] ต่อจากนั้นนำตัวอย่างขิงออกจากตู้อบ แล้วนำไปไว้ในโถดูดความชื้น (Desiccator) ปล่อยให้เย็น นำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณความชื้นดังสมการที่ (2)

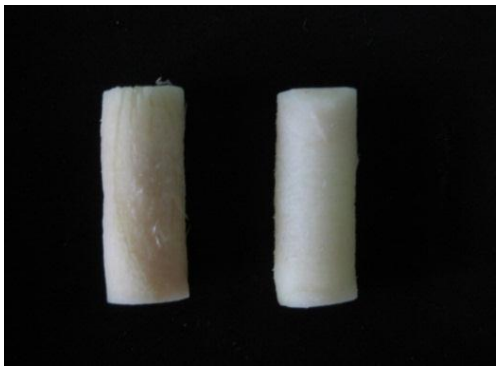
$$\text{ร้อยละของปริมาณความชื้น} = \frac{(A-B)\times 100}{A} \qquad (2)$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างสดก่อนอบ, g

B = น้ำหนักตัวอย่างแห้งหลังอบ, g

2.2.การศึกษาสมบัติทางกลของขิง

2.2.1 เตรียมตัวอย่างเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm ยาว 3 cm ตัวอย่างละชิ้น1ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 Ginger samples in cylindrical form.

2.2.2 นำตัวอย่างขิงไปตัดด้วยใบมีดรูปตัววี (Warner Bratzler blade) โดยใช้เครื่องTexture Analyser รุ่น LR5K, Lloyd, UK) ดังรูปที่ 8 โดยใช้ Load cell 500 N ความเร็ว 60 mm/min

รูปที่ 8 Mechanical testing using Texture analyser

3.การวิเคราะห์ผลการทดลอง นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้โปรแกรมSPSS V.11.5 เพื่อศึกษาอิทธิพลของความอ่อนแก่ลำดับการเกิดแง่งในเหง้าขิง และสีเปลือกที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของขิง

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ (1) การแบ่งกลุ่มของขิง (2) การศึกษาความอ่อน-แก่ของขิง โดยมีรายละเอียดของหัวข้อต่างๆดังนี้

(1) ขิงในการศึกษาครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ขิงที่อยู่ในช่วงอายุ 4-6 เดือน และ7-9 เดือน นำมาทำการชั่งน้ำหนัก และวัดความกว้าง ความยาว ได้ข้อมูลดังตารางที่ 1

Table 1: Weight, width and height of gingers atdifferent maturity.

Stages	Early mature gingers (4 to 6months)	Mature gingers (7 to 9months)
Average Weight (g)	35.65±8.44	41.86±12.82
Average Width (cm)	4.63±0.42	4.48±0.69
Average Height (cm)	6.24±1.41	6.98±1.60

(2) การศึกษาความอ่อน-แก่ของขิง ในการศึกษานี้จะแบ่งขิงออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ขิงอ่อนและขิงอายุปานกลาง โดยขิงอ่อนจะเป็นขิงที่อยู่ในช่วงอายุ 4-6 เดือน ส่วนขิงอายุปานกลางจะเป็นขิงที่อยู่ในช่วงอายุ 7-9 เดือน มาศึกษาและวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางกลของขิง ดังนี้

2.1 ศึกษาและวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างขิงอ่อน (อายุ 4-6 เดือน) กับขิงอายุปานกลาง (อายุ 7-9 เดือน) โดยการหาค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าปริมาณความชื้น และสมบัติทางกลจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบตัว มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติ

จากการทดลอง พบว่าขิงที่มีอายุแตกต่างกันทั้ง 2 กลุ่ม คือ ช่วงอายุ 4-6 เดือน และ 7-9 เดือนมีค่าความถ่วงจำเพาะ และสมบัติทางกลจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบตัวแตกต่างกัน แต่มีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยขิงที่มีอายุ 4-6 เดือนจะมีความถ่วงจำเพาะและสมบัติทางกลน้อยกว่าขิงที่มีอายุ 7-9 เดือนดังตารางที่ 2

Table 2: Analysis of variance to compare average values of specific gravity, moisture content and mechanical properties of gingers in 4-6 months old group and 7-9 months old group.

Stages (months)	specific gravity	Moisture content (%)	Maximum Load (N)	Deformation at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)

4-6	1.01±0.07*	94.67±3.61ns	38.30±20.45*	8.60± 2.55*	0.20±0.18*	1.19x10^4±5.65x10^{3*}
7-9	1.02±0.01*	90.43±3.54ns	88.26±42.62*	12.21±3.50*	0.57±0.35*	2.20x10^4±1.20x10^{4*}

Note: * : Significant difference at p≤0.05 ns: No significant difference at p≤0.05

2.2 ศึกษาและวิเคราะห์ความแตกต่างภายในเหง้าของกลุ่มขิงอ่อน (อายุ 4 - 6 เดือน) โดยการหาค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าปริมาณความชื้น และสมบัติทางกลจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบตัว มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติ

ซึ่งจะแบ่งแง่งขิงตามลำดับการงอกของขิง โดยแง่งลูกที่ 1 หมายถึง แง่งที่งอกออกมาจากท่อนพันธุ์ (แง่งแม่) เป็นลำดับแรก

จากการทดลองดังตารางที่ 3 พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าปริมาณความชื้น และสมบัติทางกลจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบตัวไม่มีความแตกต่างกันระหว่างแง่งลูกที่ 1และที่ 2 เนื่องจากแง่งลูกที่ 1 และที่ 2 มีการงอกและระยะเวลาของการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน และไม่มีเส้นใยหรือมีน้อยมากทำให้มีค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าปริมาณความชื้นและสมบัติทางกลไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงว่าขิงที่อายุ 4-6 เดือน ไม่มีความแตกต่างกันภายในเหง้าขิง

Table 3: Analysis of variance to compare average value of mechanical and physical properties between primary rhizome and secondary rhizome from the ginger root at 4 to 6 months old.

Order of growth from root	specific gravity	Moisture content (%)	Maximum Load (N)	Deformation at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
Primary rhizome	1.02±0.06ns	94.59±4.26ns	37.73±20.30ns	8.71±2.43ns	0.19±0.17ns	1.09x10^4±1.23x10^{3ns}
Secondary rhizome	1.01±0.07ns	94.74±3.00ns	38.80±21.03ns	8.50±2.71ns	0.20±0.19ns	1.28x10^4±1.22x10^{3ns}

Note: ns: No significant difference at p≤0.05

2.3 ศึกษาและวิเคราะห์ความแตกต่างภายในเหง้าของกลุ่มขิงอายุปานกลาง (อายุ7 - 9 เดือน) โดยการหาค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าปริมาณความชื้น และสมบัติทางกลจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบตัวมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติซึ่งจะแบ่งแง่งขิงตามลำดับการงอกของขิง

จากการทดลอง พบว่าขิงที่อายุ 7-9 เดือน มีค่าปริมาณความชื้นและความถ่วงจำเพาะไม่แตกต่างกันระหว่างแง่งลูกที่ 1,2,3 และ 4 แต่มีค่าสมบัติทางกลแตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากแต่ละแง่งมีการงอกและระยะเวลาของการเจริญเติบโตที่ทำให้มีเส้นใยไม่เท่ากันจึงส่งผลให้สมบัติทางกลจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 4

Table 4: Analysis of variance to compare average value of mechanical and physical properties between primary rhizome, secondary, tertiary and quatenary rhizome from the ginger root at 7 to 9 months old.

Order of growth from root	specific gravity	Moisture content (%)	Maximum Load (N)	Deformation at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
Primary rhizome	1.02±0.01a	89.04±4.76a	57.41±26.87a	10.00±2.87a	0.34±0.27a	1.58x10^4±9.22x10^{3a}
Secondary rhizome	1.02±0.01a	90.69±2.80a	103.82±41.49b	13.55±3.08b	0.69±0.33b	2.64x10^4±1.38x10^{4b}

Tertiary rhizome	1.02±0.00 [a]	91.93±1.38 [a]	111.42±38.93 [c]	13.38±3.36 [c]	0.71±0.30 [c]	2.48x10[4]±8.53x10[3c]
Quatenary rhizome	1.02±0.01 [a]	92.03±2.51 [a]	74.81±42.91 [d]	11.80±6.37 [d]	0.59±0.60 [d]	1.51x10[4]±7.45x10[3d]

Note: a,b,c,d Different character in vertical column means significant difference at p≤0.05

2.4 ในการศึกษานี้มีสมมติฐานคือ ขิงที่แก่ปานกลางซึ่งมีความเผ็ดมากกว่าขิงอ่อนแต่ถ้ามีสีเปลือกเหมือนกับขิงที่อ่อนน่าจะมีสมบัติเชิงกลหรือสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างจากขิงอ่อน

การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างขิงที่มีสีและลักษณะภายนอกใกล้เคียงกันโดยการจำแนกด้วยสายตา ทั้งขิงอ่อนและขิงแก่ เริ่มจากแบ่งขิงออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มขิงเปลือกสีอ่อน (เปลือกมีสีขาวอมเหลือง) และกลุ่มขิงเปลือกสีเข้ม (เปลือกมีสีเหลืองอมน้ำตาล) ที่มีอายุต่างกันแล้วนำกลุ่มขิงเปลือกสีอ่อนที่มีอายุ 4-6 เดือน และอายุ 7-9 เดือน มาวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติทำซ้ำสำหรับขิงเปลือกสีเข้มทั้งสองอายุ

2.4.1 กรณีขิงเปลือกสีอ่อน

จากการทดลอง พบว่า กลุ่มขิงเปลือกสีอ่อนที่มีอายุ 4-6 เดือนกับอายุ 7-9 เดือน มีค่าปริมาณความชื้นและความถ่วงจำเพาะไม่แตกต่างกัน แต่มีสมบัติทางกลแตกต่างกันทางสถิติ โดยกลุ่มขิงเปลือกสีอ่อนที่มีอายุ 4-6เดือน มีค่า Maximum Load ค่าDeformation at Maximum Load ค่าWork to Maximum Load และค่าStiffness น้อยกว่ากลุ่มขิงเปลือกสีอ่อนที่อายุ 7-9 เดือน เนื่องจากขิงที่มีอายุมากขึ้นก็จะมีเส้นใยมากขึ้นตามไปด้วยจึงส่งผลให้มีแรงในการตัดเฉือนมากกว่าขิงอายุอ่อนถึงแม้ว่าจะมีสีและลักษณะภายนอกเหมือนกันก็ตาม ดังตารางที่ 5

Table 5: Analysis of variance to compare average value of mechanical and physical properties between early mature ginger (4-6 months old) and mature ginger (7-9 months old) with similar pale skin color and external skin appearance.

Stages (months)	specific gravity	Moisture content (%)	Maximum Load (N)	Deflection at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
4-6	1.02±0.07 [ns]	94.48±2.81 [ns]	40.80±24.85 [*]	8.77±2.84 [*]	0.22±0.22 [*]	1.27x10[4]±6.10x10[3*]
7-9	1.02±0.00 [ns]	91.43±4.06 [ns]	108.85±43.88 [*]	12.92±3.51 [*]	0.70±0.37 [*]	2.33x10[4]±9.70x10[3*]

Note: [*]: Significant difference at p≤0.05Ns: No significant difference at p≤0.05

2.4.2 กรณีขิงเปลือกสีเข้ม

จากการทดลอง พบว่ากลุ่มขิงเปลือกสีเข้มที่มีอายุต่างกันมีค่าความถ่วงจำเพาะไม่แตกต่างกันแต่จะมีค่าความชื้นและสมบัติทางกลแตกต่างกันทางสถิติ โดยกลุ่มขิงเปลือกสีเข้มที่อายุ4-6 เดือนมีความชื้นมากกว่ากลุ่มขิงเปลือกสีเข้มอายุ 7-9 เดือน แต่กลุ่มขิงเปลือกสีเข้มที่อายุ4-6 เดือนมีค่าMaximum Load ค่าDeformation at Maximum Load ค่าWork to Maximum Load และค่าStiffness น้อยกว่ากลุ่มขิงเปลือกสีเข้มที่อายุ 7-9 เดือน แสดงให้เห็นว่าขิงที่มีอายุมากกว่าจะมีเส้นใยมากกว่าตามไปด้วย แม้ว่าจะมีสีและลักษณะภายนอกใกล้เคียงกัน แต่จะมีปริมาณเส้นใยที่ต่างกันตามอายุ ดังตารางที่ 6

Table 6: Analysis of variance to compare average value of mechanical and physical properties between early mature ginger (4-6 monthsold) and mature ginger (7-9 monthsold) with similar darkened skin color and external skin appearance.

Stages (months)	specific gravity	Moisture content (%)	Maximum Load (N)	Deformation at Maximum Load (mm)	Work to Maximum Load (J)	Stiffness (N/m)
4-6	1.02±0.07 [ns]	94.48±4.72 [*]	33.28±9.67 [*]	8.31±2.06 [*]	0.16±0.08 [*]	1.06x10[4]±4.73x10[3*]
7-9	1.02±0.01 [ns]	90.62±2.89 [*]	71.15±34.76 [*]	11.55±3.41 [*]	0.45±0.29 [*]	2.08x10[4]±1.38x10[4*]

Note: [*]: Significant difference at p≤0.05 ns: No significant difference at p≤0.05

สรุป

จากการทดลองและการวิเคราะห์ผล พบว่า ขิงที่มีอายุ 4 – 6เดือนจะมีความถ่วงจำเพาะและสมบัติทางกลน้อย

กว่าขิงที่มีอายุ 7 – 9 เดือนแต่มีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกัน และภายในเหง้าของกลุ่มขิงอ่อน (อายุ 4 -6 เดือน) ไม่มีความแตกต่างกันภายในเหง้าขิง ส่วนกลุ่มขิงอายุปานกลาง (อายุ7-9เดือน) มีค่าปริมาณความชื้นและความถ่วงจำเพาะไม่แตกต่างกันระหว่างแง่งลูกที่ 1,2,3 และ 4แต่มีค่าสมบัติทางกลแตกต่างกันทางสถิติ ผลการทดลองนี้อาจนำไปใช้คัดแยกขิงอ่อนออกจากขิงแก่ปานกลางได้โดยสุ่มขิงมาวัดค่าสมบัติทางกลระหว่างแง่งต่างๆ ในเหง้าเปรียบเทียบกัน ถ้ามีความแตกต่างกันทางสถิติก็จะสามารถสรุปได้ว่าเป็นขิงแก่ปานกลาง เมื่อทำการจำแนกขิงที่มีสีและลักษณะภายนอกของเปลือกใกล้เคียงกันด้วยสายตาออกเป็น 2 กลุ่ม พบว่ากลุ่มขิงเปลือกสีอ่อนที่มีอายุ 4-6 เดือนกับอายุ 7-9 เดือน มีค่าปริมาณความชื้นและความถ่วงจำเพาะไม่แตกต่างกัน แต่มีสมบัติทางกลแตกต่างกันทางสถิติ โดยกลุ่มขิงเปลือกสีอ่อนที่มีอายุ 4-6เดือน มีค่าสมบัติทางกลน้อยกว่าอายุ 7-9 เดือน และกลุ่มขิงเปลือกสีเข้มที่มีอายุต่างกันมีค่าความถ่วงจำเพาะไม่แตกต่างกันแต่จะมีค่าความชื้นและสมบัติทางกลแตกต่างกันทางสถิติ โดยกลุ่มขิงเปลือกสีเข้มที่มีอายุ4-6เดือนมีค่าสมบัติทางกลน้อยกว่าอายุ 7-9 เดือนเช่นเดียวกับกลุ่มขิงเปลือกสีอ่อน แสดงให้เห็นว่าสมบัติทางกลเป็นสมบัติที่เหมาะสมในการใช้ตรวจสอบความแตกต่างทางสรีรวิทยาของขิงในด้านอายุและความแตกต่างภายในเหง้า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัย-เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย และทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

[1] ไฉน ยอดเพชร. 2542. พืชผักอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์รั้วเขียว,กรุงเทพฯ

[2] อับดุลฮาเล็ม มาลี.2540. สมุนไพรขิง, ยะลา:คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

[3] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. การนำเข้า-ส่งออก ขิงแห้งและขิงสดปี2554-2555. แหล่งที่มา-:http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php. เข้าดูเมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2556

[4] อนงค์ เสริฐวาสนา. 2551. การพัฒนากระบวนการแปรรูปน้ำขิงผงและขิงผง. วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย-ขอนแก่น. 74 น.

[5] Baranowski, J.D. 1986. Changes in solids, oleoresin, and(6) gingerol content of ginger during growth in Hawaii. Hort Sci. 21(1), pp.145 - 146

[6] บัณฑิต จรีโมภาส. 2545. สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เกษตร, นครปฐม:ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัย-เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

[7] American Society of Agricultural Engineers. 1994. ASAE standard 1994: Standards, engineering practices data. U.S.A.pp. 471