

ลักษณะกายวิภาคและเส้นใยของใบเตยหอมและเตยทะเล

Anatomical and Fiber Characteristics of *Pandanus amaryllifolias* Roxb. and *P. odorifer* (Forssk.) Kuntze (Pandanaeae) Leaves

สุทธิรัตน์ ขาวปากกร^{1*} กรรณิการ์ ธีระกิตติธนากุล² สมนึก ลิ้มเจริญ³

สุนทร โต๊ะดำ⁴ อมลวรรณ ยอดรัก⁵ และปิยวรรณ ไกรนรา⁶

Sutthiratana Khaopakro^{1*}, Kannika Theerakitthanakul² Somnuk Limchareon³,

Soontorn Tohdam⁴, Amonwan Yodruk⁴, and Piyawan Krainara⁶

¹ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

²ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

³วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนราธิวาส มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

⁴หน่วยงานโครงการรวบรวมพันธุ์ไม้ดอกไม้ประดับป่าภาคใต้ กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช

⁵วิทยาลัยการอาชีพสุโขทัย-ลพบุรี ⁶โรงเรียนอนุบาลระแงะ

¹Applied Biology Department, Faculty of Science and Technology, Princess of Naradhiwas University

²General Science Department, Faculty of Science and Technology, Princess of Naradhiwas University

³Agricultural and Technology of Narathiwat Collage, Princess of Naradhiwas University

⁴The Wild Flowering and Ornamental Plants Project in Thai Peninsular, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation

⁵Sungaikolok Industrial and Community Education College ⁶Anubanrangae School

Received : 18 June 2019

Revised : 24 July 2019

Accepted : 6 September 2019

บทคัดย่อ

การศึกษากายวิภาคและเส้นใยของใบเตยหอมและเตยทะเล โดยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบเชิงประกอบและภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า ลักษณะเซลล์ผิวใบ ผิวใบด้านบนและด้านล่าง การพบผลึกรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนในชั้นไฮโปเดอร์มิส การพบการกระจายของผลึกรูปสี่เหลี่ยมด้านเท่า ลักษณะตุ่มรูปร่างกลมบนเซลล์ผิวใบและบนปากใบ เป็นลักษณะที่ใช้ในการจำแนกความแตกต่างระหว่างชนิดได้ เส้นใยเดี่ยวที่ได้จากวิธีการแยกเซลล์มีรูปร่างเรียวยาว ส่วนปลายมีลักษณะปลายแหลม จากการศึกษาเส้นใยที่ผ่านการแช่ฟอกด้วยวิธีต่าง ๆ (การแช่ฟอกด้วยน้ำ การแช่ฟอกด้วยสารเคมี โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 5 สำหรับเตยหอม และความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 15 สำหรับเตยทะเล) พบว่า ใบเตยทะเลจะให้ร้อยละปริมาณเส้นใยมากกว่าใบเตยหอมในทุกการทดลอง และเส้นใยที่ได้จากการแช่ฟอกด้วยน้ำมีร้อยละปริมาณเส้นใยมากกว่าการแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เส้นใยจะมีความกว้าง ความยาวของเส้นใยและหนาของผนังเซลล์ลดลงเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มสูงขึ้น คุณสมบัติของเส้นใยคำนวณจากค่า Runkel ratio ค่า felting rate (slenderness) และค่า flexibility coefficient เพื่อประเมินความเหมาะสมของเส้นใยในการนำไปใช้ผลิตเยื่อและกระดาษ โดยพบว่า เส้นใยเตยหอมที่ผ่านการแช่ฟอกด้วยน้ำและโซเดียมไฮดรอกไซด์ทุกความเข้มข้นมีความเหมาะสมในการผลิตเยื่อและกระดาษ

คำสำคัญ : กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด การผลิตเยื่อและกระดาษ เส้นใยจากการแยกเซลล์ การแช่ฟอก

*Corresponding author. E-mail : botany_g@hotmail.com

Abstract

The anatomical and fiber characteristics of *Pandanus amaryllifolias* Roxb. and *P. odorifer* (Forssk.) Kuntze (Pandanaceae) leaves were examined comparatively using a compound light microscope and a scanning electron microscope (SEM) in order to assess the value of anatomical features in species identification and classification. The characters of diagnostic importance are epidermal cell shape, the differentiation of the adaxial epidermis and abaxial epidermis, the occurrence of rhombic crystal in the hypodermis, the distribution of cubical crystals, the papillae on the epidermal cells, and the stomatal complex. The macerated fiber was slender shape with pointed end. The fibers were extracted using different methods (water retted, 2%, 5% sodium hydroxide retted for *P. amaryllifolias* and 10%, 15% sodium hydroxide retted for *P. odorifer*) and their fiber yield and fiber characteristic were investigated. The result revealed that all methods of *P. odorifer* had more fiber yield than *P. amaryllifolias*. Moreover, the water retted method had more fiber yield than sodium hydroxide retted method. The fiber length, fiber width and cell wall thickness were decreased as more concentration sodium hydroxide were used. The fiber characteristics were measured to determine Runkel ratio, felting rate (slenderness) and flexibility coefficient to evaluate the suitability for pulp and paper making. The result revealed that fibers of *P. amaryllifolias* using all methods were suitable for pulp and paper production.

Keywords : scanning electron microscope (SEM), pulp and paper making, macerated fiber, retted method

บทนำ

เตยหอม (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) เตยทะเล (*Pandanus odorifer* (Forssk.) Kuntze) จัดอยู่ในพืชวงศ์เตยทะเล (Pandanaceae) เตยหอมมีชื่อท้องถิ่นในภาคอีสาน-กลางว่า ป่า-แนะ-วอ-จึง (มาเลเซีย-นราธิวาส) (Pooma & Suddee, 2014) พบได้ทั่วไปทุกภาคของประเทศไทย ชอบขึ้นในที่ชื้นแฉะใกล้น้ำ ใช้ประโยชน์หลายอย่าง เช่น ใช้ในการปรุง แต่งสีอาหารนำไปใช้ทำขนม ต้มน้ำชุป หรือต้มเป็นน้ำชา ใบใช้เป็นยาช่วยบำรุงหัวใจ ต้นและรากใช้เป็นยาขับปัสสาวะ นอกจากนี้ยังใช้ในการจัดดอกไม้หรือใช้ดับกลิ่นเหม็นอับในบ้าน (Sutthirak, 2015) ส่วนเตยทะเลมีชื่อท้องถิ่นในภาคอีสาน-กลาง เรียกว่า ป่าแนะ (Pooma & Suddee, 2014) พบมากในภาคใต้ตามชายหาดใกล้ชายฝั่งทะเล ใช้ประโยชน์ทำเป็นเครื่องจักสานเพื่อประดิษฐ์เป็นเครื่องมือใช้ในครัวเรือนต่าง ๆ เช่น ใบใช้สานกระเป๋ากมวก และเสื่อ โดยเฉพาะเสื่อเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในพิธีแต่งงานของชาวมุสลิม นอกจากนี้ดอกมีสรรพคุณช่วยบำรุงหัวใจ รากอากาศช่วยขับปัสสาวะ อีกทั้งเตยทะเลยังนิยมปลูกเป็นไม้ประดับเพื่อบังลมเพราะทนต่อลมแรงและอากาศแล้ง (Sornprasit, 2011)

เส้นใยพืชเป็นแหล่งเซลลูโลสที่ย่อยสลายได้ มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Arrak, 2011) ในประเทศที่พัฒนาแล้วให้ความสำคัญกับการนำเซลลูโลสจากพืชมาใช้ประโยชน์ทางด้านวัสดุชีวภาพและพลังงานชีวภาพ โดยเฉพาะเส้นใยพืชที่ไม่ได้มาจากเนื้อไม้ (non-wood fiber) (Luepong *et al.*, 2011) จากการศึกษาข้อมูลพบว่าหมู่บ้านโคกป่าคา ตำบลโคกเคียน อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส มีต้นเตยหอมขึ้นอยู่ในพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติจำนวนมาก ไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ ขณะที่หมู่บ้านนาโระนุดอเหนือ ตำบลโคกเคียน อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส เป็นชุมชนที่อยู่บริเวณป่าชายเลน มีต้นเตยทะเลขึ้นอยู่

เป็นจำนวนมาก และไม่มีนำไปใช้ประโยชน์ ดังนั้นเพื่อเป็นการกระตุ้นให้ชาวบ้านในพื้นที่จังหวัดนราธิวาสเห็นคุณค่าของพืชในท้องถิ่นและเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มแหล่งของเส้นใยที่ไม่ได้มาจากเนื้อไม้ (non-wood fiber) และสามารถลดการตัดไม้ เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับส่วนเหลือทิ้งของพืช ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโครงสร้างทางกายวิภาคของใบเตยหอมและเตยทะเลและศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการแช่ฟอกเส้นใย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างพืช

เก็บตัวอย่างใบเตยหอมจากหมู่บ้านโคกป่าคา และตัวอย่างใบเตยทะเลจากหมู่บ้านบาโระบุตรเหนือ ตำบลโคกเคียน อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส ตัวอย่างละ 4 กิโลกรัม

2. การศึกษาปริมาณเส้นใยและคุณสมบัติของเส้นใยที่ได้จากการแช่ฟอก

การแช่ฟอกด้วยน้ำ นำใบพืชมาแช่ในน้ำ(ที่ไม่มีคลอรีน) ปิดฝาภาชนะ ทิ้งไว้เวลานานประมาณ 4-6 สัปดาห์ขึ้นไป จนเส้นใยแยกออกจากเนื้อเยื่ออื่นของพืช ล้างเส้นใยให้สะอาด แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน (Chonsakorn, 2015) นำเส้นใยไปชั่งน้ำหนัก แล้วหาปริมาณเส้นใย ด้วยสมการที่ (1) (Ratanakamnuan, 2014)

การแช่ฟอกด้วยสารเคมี โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 5 สำหรับเตยหอม และความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 15 สำหรับเตยทะเล นำมาต้มภายใต้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ล้างเส้นใยให้สะอาด แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน (Chonsakorn, 2015) นำเส้นใยไปชั่งน้ำหนัก แล้วหา ร้อยละของปริมาณเส้นใย ด้วยสมการที่ (1) (Ratanakamnuan, 2014)

$$\text{ปริมาณเส้นใย (\%)} = \frac{W_2}{W_1} \times 100 \quad \text{-----สมการที่ (1)}$$

โดย W_1 = น้ำหนักสดของพืช (กรัม)

W_2 = น้ำหนักแห้งของเส้นใย (กรัม)

3. การศึกษาลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์

3.1 การศึกษาเนื้อเยื่อผิว (epidermis) โดยวิธีการลอกผิวใบ

นำใบพืชมาลอกเนื้อเยื่อผิวใบทั้งด้านบนและเนื้อเยื่อผิวใบด้านล่างด้วยใบมีดโกน นำชิ้นตัวอย่างไปตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบเชิงประกอบ (compound light microscope) Olympus รุ่น CX31 และบันทึกภาพ

3.2 การศึกษากายวิภาคตัดขวางของใบ โดยวิธีการตัดอย่างแบบกึ่งบาง (semi-thin section) (ตัดแปลงจาก Kermanee, 2008)

นำใบพืชมาตัดตามขวาง โดยนำตัวอย่างพืชมาคงสภาพเนื้อเยื่อในกลูตารัลดีไฮด์ (glutaraldehyde) ความเข้มข้นร้อยละ 5 ทำการดึงน้ำออกจากเนื้อเยื่อด้วยอะซิโตน (acetone) ความเข้มข้นร้อยละ 30 50 70 90 และ 100 ตามลำดับ ขั้นตอนละ 30 นาที แช่ตัวอย่างในส่วนผสมของด้วยอะซิโตนกับพลาสติก (plastic mixture) อัตราส่วน 2:1 นาน 6 ชั่วโมง นำไปแช่ในพลาสติกบริสุทธิ์ (pure plastic mixture) นาน 48 ชั่วโมง ทำพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ที่อุณหภูมิ

80 องศาเซลเซียส นาน 12-18 ชั่วโมง จากนั้นนำไปตัดด้วยเครื่องตัดเนื้อเยื่อ (ultramicrotome) Leica รุ่น EM UC7 ให้มีความหนา 1,500 nm. และย้อมสีด้วยไทลูอิดิน บลู (toluidine blue) และเบสิค ฟุชซิน (basic fuchsin) และนำมาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบเชิงประกอบ Olympus รุ่น CX31

3.3 การศึกษากายวิภาคของเส้นใย โดยวิธีการแยกเซลล์ (maceration)

นำตัวอย่างใบเตยหอมและใบเตยทะเลมาแยกเซลล์เส้นใยเดี่ยวตามวิธี Franklin's method (Franklin, 1937) โดยใช้สารละลายกรดอะซิติก (acetic acid) กับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) อัตราส่วน 1:1 จนเส้นใยแยกออกจากกันเป็นเส้นใยเดี่ยว นำเส้นใยไปล้างด้วยน้ำ ย้อมสีด้วยซาฟรานิน (safranin) นำไปวางบนสไลด์และปิดด้วยกระจกปิดสไลด์แล้วจึงนำไปศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบเชิงประกอบ Olympus รุ่น CX31 โดยศึกษาลักษณะปลายเส้นใยและคุณสมบัติของเส้นใย ด้วยสมการที่ (2-4) (Ogunjobi *et al.*, 2014; Fagbemigun, 2016) นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธีของดันแคน (Duncan's new multiple range test; DMRT)

$$\text{Runkel ratio} = 2 \times (\text{CWT}/\text{LW}) \quad \text{-----สมการที่ (2)}$$

$$\text{Felting rate (Slenderness)} = \text{FL}/\text{FW} \quad \text{-----สมการที่ (3)}$$

$$\text{Flexibility coefficient} = \text{LW}/\text{FW} \times 100 \quad \text{-----สมการที่ (4)}$$

โดย	Cell wall thickness; CWT	= ความหนาของผนังเซลล์ (μm)
	Lumen width; LW	= ความกว้างของช่องในเซลล์ (μm)
	Fiber length; FL	= ความยาวของเส้นใย (μm)
	Fiber width; FW	= ความกว้างของเส้นใย (μm)

3.4 การศึกษากายวิภาคของเส้นใย ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM)

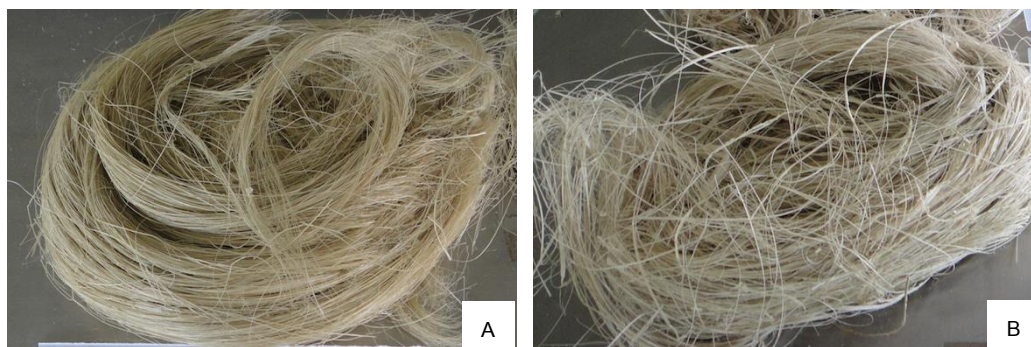
นำตัวอย่างเส้นใยที่ได้จากวิธีแช่ฟอกมาสอดเข้าไปในหลอดหด (heat-shrinkable tube) และนำไปให้ความร้อนจนหลอดหดขนาดลง แล้วตัดตัวอย่างตามขวาง (cross section) ขนาด 0.3 เซนติเมตร และตัดตัวอย่างตามยาว (long section) ขนาด 0.4 เซนติเมตร ติดตัวอย่างบนสตัป (stub) นำไปเคลือบ (coat) ด้วยทองคำ (Poonsawat, 2013) และนำมาศึกษาและถ่ายภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดแบบส่องกราด Hitachi SU8000 เพื่อศึกษาพื้นผิวเส้นใยด้านตัดตามยาว และลักษณะเส้นใยด้านตัดตามขวาง

ผลการวิจัย

1. ปริมาณเส้นใยจากการแช่ฟอก

จากการศึกษาปริมาณเส้นใยใบเตยหอมที่แช่ฟอกด้วยน้ำ (ที่ไม่มีคลอรีน) ทั้งไว้นานประมาณ 4-6 สัปดาห์ขึ้นไป จนเส้นใยแยกออกจากเนื้อเยื่ออื่นของพืช และแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 5 พบว่า มีปริมาณเส้นใยร้อยละ 3.60, 2.91 และ 2.85 ตามลำดับ (ภาพที่ 1A)

ปริมาณเส้นใยใบเตยทะเลที่แช่ฟอกด้วยน้ำ (ที่ไม่มีคลอรีน) และแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 15 พบว่า มีปริมาณเส้นใยร้อยละ 7.56, 6.03 และ 4.24 ตามลำดับ (ภาพที่ 1B)



ภาพที่ 1 ลักษณะเส้นใย (fiber) ที่แช่ฟอกด้วยน้ำ A) เส้นใยเตยหอม (B) เส้นใยเตยทะเล

2. ลักษณะทางกายวิภาคของใบและเส้นใย

2.1 กายวิภาคของเนื้อเยื่อผิวใบ

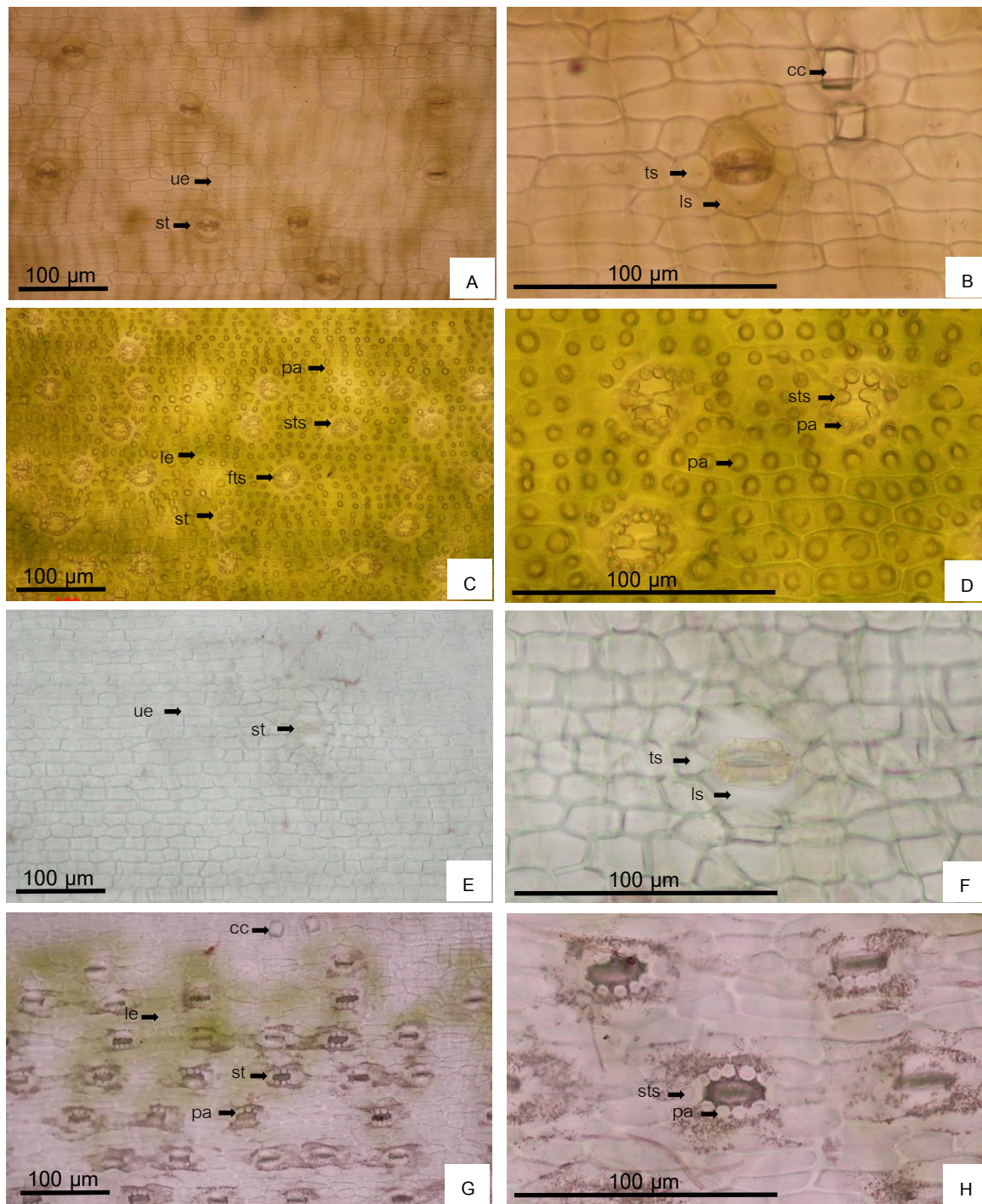
จากการลอกผิวใบใบเตยหอม พบว่า ผิวใบด้านบน (upper epidermis; adaxial epidermis) เซลล์มีรูปร่างสี่เหลี่ยม เซลล์มีความกว้าง $12.4 \pm 1.1 \mu\text{m}$ มีความยาว $57.7 \pm 15.4 \mu\text{m}$ ผิวเซลล์เรียบ ผนังด้านข้างเรียบ ปากใบ (stomata) เป็นแบบเตตระไซติก (tetracytic) (ภาพที่ 2A, 2B) เซลล์คุม (guard cells) เป็นรูปไต มีความยาว $26.9 \pm 2.1 \mu\text{m}$ เซลล์ข้างเซลล์คุม (subsidiary cell) บริเวณหัวท้าย (terminal subsidiary cells) ของเซลล์คุมมีขนาดเล็กกว่าเซลล์ข้างเซลล์คุมที่ขนาดด้านข้าง (lateral subsidiary cells) ผิวของเซลล์ข้างเซลล์คุมเรียบ (ภาพที่ 2B) ความหนาแน่นของปากใบที่ผิวใบด้านบน (ภาพที่ 2A) น้อยกว่าผิวใบด้านล่าง (ภาพที่ 2C) ส่วนผิวใบด้านล่าง (lower epidermis; abaxial epidermis) พบว่า เนื้อเยื่อชั้นผิวมีรูปร่าง 4-6 เหลี่ยม เซลล์มีความกว้าง $11.9 \pm 2.1 \mu\text{m}$ มีความยาว $40.6 \pm 8.1 \mu\text{m}$ บนผิวเซลล์มีตุ่ม (papillae) รูปร่างกลม เรียง 1 แถว แถวละ 3-5 อัน ผนังด้านข้างเรียบ ปากใบเป็นแบบเตตระไซติก เรียบ (ภาพที่ 2C, 2D) เซลล์คุมเป็นรูปไต มีความยาว $23.8 \pm 10 \mu\text{m}$ เซลล์ข้างเซลล์คุมบริเวณหัวท้ายมีลักษณะเป็นติ่งยื่นออกมา ติ่งส่วนใหญ่เป็นแบบ simple บางครั้งอาจพบแตกเป็น 2 แฉก (forked) บนผิวเซลล์ข้างเซลล์คุมที่ขนาดด้านข้างมีตุ่ม (papillae) รูปร่างกลม เรียง 1 แถว แถวละ 4-6 อัน (ภาพที่ 2D) ความหนาแน่นของปากใบที่ผิวใบด้านบนน้อยกว่าผิวใบด้านล่าง (ตารางที่ 1)

จากการลอกผิวใบเตยทะเล พบว่า เซลล์ผิวใบด้านบนมีรูปร่าง 4-6 เหลี่ยม เซลล์มีความกว้าง $13.8 \pm 1.5 \mu\text{m}$ มีความยาว $27.3 \pm 7.2 \mu\text{m}$ ผิวเซลล์เรียบ ผนังด้านข้างเรียบ ปากใบเป็นแบบเตตระไซติก (ภาพที่ 2E, 2F) เซลล์คุมเป็นรูปไต มีความ

ยาว $30.8 \pm 0.2 \mu\text{m}$ เซลล์ข้างเซลล์คุมบริเวณหัวท้ายของเซลล์คุมมีขนาดเล็กกว่าเซลล์ข้างเซลล์คุมที่ขนาดด้านข้าง ผิวของเซลล์ข้างเซลล์คุมเรียบ (ภาพที่ 2F) ความหนาแน่นของปากใบที่ผิวใบด้านบน (ภาพที่ 2E) น้อยกว่าผิวใบด้านล่าง (ภาพที่ 2G) ส่วนผิวใบด้านล่าง พบว่า เนื้อเยื่อชั้นผิวมีรูปร่าง 4-6 เหลี่ยม เซลล์มีความกว้าง $9.7 \pm 1.7 \mu\text{m}$ มีความยาว $30.5 \pm 9.5 \mu\text{m}$ ผนังบนผิวเซลล์เรียบ ผนังด้านข้างเรียบ ปากใบเป็นแบบเดตรัสไซติก (ภาพที่ 2G, 2H) เซลล์คุมเป็นรูปไต มีความยาว $31.5 \pm 3.6 \mu\text{m}$ เซลล์ข้างเซลล์คุมบริเวณหัวท้ายขนาดเล็กกว่าเซลล์ข้างเซลล์คุมที่ขนาดด้านข้าง ผิวเซลล์เรียบ (ภาพที่ 2H) ขณะที่บนผิวเซลล์ข้างเซลล์คุมที่ขนาดด้านข้างมีตุ่ม รูปร่างกลม เรียง 1 แถว แถวละ 4-5 อัน (ภาพที่ 2G, 2H) ความหนาแน่นของปากใบที่ผิวใบด้านล่างมากกว่าผิวใบด้านบน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ลักษณะกายวิภาคของใบเตยหอมและใบเตยทะเล

ลักษณะกายวิภาค	เตยหอม	เตยทะเล
เนื้อเยื่อผิวใบ		
ผิวใบด้านบน		
กว้าง (μm)	12.4 ± 1.1	13.8 ± 1.5
ยาว (μm)	57.7 ± 15.4	27.3 ± 7.2
เซลล์คุมยาว (μm)	26.9 ± 2.1	30.8 ± 0.2
ผิวใบด้านล่าง		
กว้าง (μm)	11.9 ± 2.1	9.7 ± 1.7
ยาว (μm)	40.6 ± 8.1	30.5 ± 9.5
เซลล์คุมยาว (μm)	23.8 ± 1.0	31.5 ± 3.6
ด้านตัดตามขวางของใบ		
upper epidermis		
กว้าง (μm)	6.4 ± 1.3	8.6 ± 0.9
ยาว (μm)	11.2 ± 1.4	11.0 ± 1.4
hypodermis		
กว้าง (μm)	9.2 ± 1.8	13.6 ± 2.7
ยาว (μm)	40.9 ± 17.1	70.3 ± 8.4
ท่อ (duct) เส้นผ่านศูนย์กลาง (μm)	22.2 ± 1.5	33.9 ± 5.1
lower epidermis		
กว้าง (μm)	6.3 ± 0.9	8.9 ± 1.2
ยาว (μm)	11.0 ± 1.3	11.9 ± 1.3

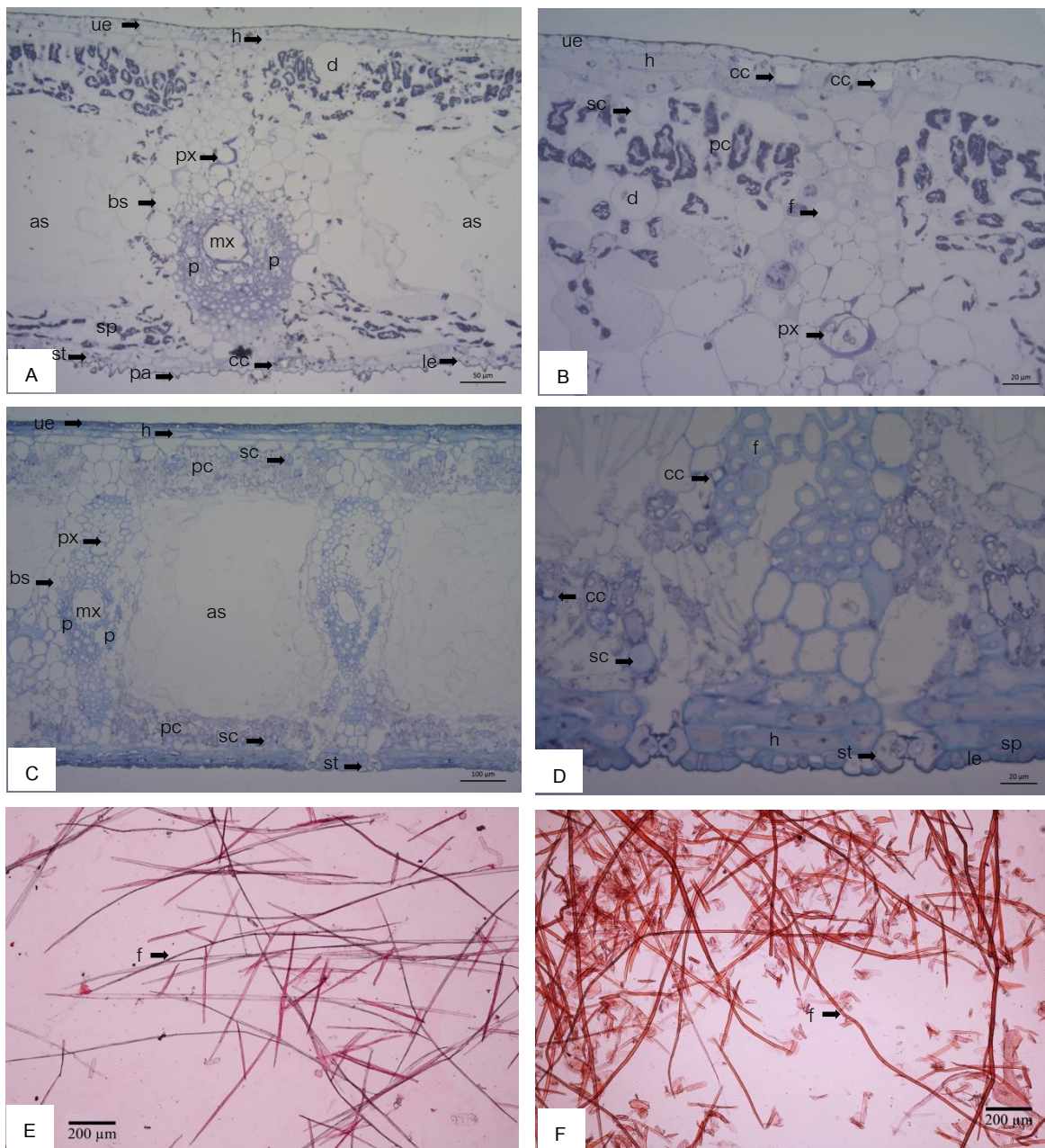


ภาพที่ 2 ลักษณะกายวิภาคของเนื้อเยื่อผิวใบ A-D) ผิวใบเตยหอม E-H) ผิวใบเตยทะเล A, B, E, F) ผิวใบด้านบน B, D, F, H) ผิวใบด้านล่าง แถบแสดงขนาด (scale bar) ในภาพ A-H) เท่ากับ 100 µm (cc = cubical crystal, fts = forked terminal subsidiary cell, le = lower epidermis, ls = lateral subsidiary cell, pa = papillae, st = stomata, sts = simple terminal subsidiary cell, ts = terminal subsidiary cell, ue = upper epidermis)

2.2 กายวิภาคด้านตัดตามขวางของใบ

กายวิภาคด้านตัดตามขวางของใบเตยหอม (ภาพที่ 3A) ประกอบด้วยชั้นผิวใบด้านบนจำนวน 1 ชั้น มีสารคิวติน (cutin) เคลือบอยู่ด้านบนนอก เซลล์ผิวมีความกว้าง $6.4 \pm 1.3 \mu\text{m}$ มีความยาว $11.2 \pm 1.4 \mu\text{m}$ ในชั้นนี้จะพบปากใบแทรกอยู่ ถัดเข้ามาเป็นชั้นไฮโปเดอริมิส (hypodermis) เรียงตัวอยู่ด้านล่างจากชั้นผิวใบด้านบนจำนวน 2 ชั้น และอยู่เหนือชั้นผิวใบด้านล่างจำนวน 2 ชั้น เซลล์มีความกว้าง $9.2 \pm 1.8 \mu\text{m}$ มีความยาว $40.9 \pm 17.1 \mu\text{m}$ บางเซลล์มีผลึกรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน (rhombic crystal) สะสมอยู่ภายใน (ภาพที่ 3B) ถัดมาเป็นชั้นมีโซฟิลล์ (mesophyll) แบบ bifacial ประกอบด้วยเซลล์พาลิเซด (palisade cell) ที่มีการเรียงตัว 3-4 ชั้น และชั้นของเซลล์สปองจี (spongy cell) รูปร่างไม่แน่นอน ในชั้นมีโซฟิลล์ ทั้งในส่วนชั้นของเซลล์พาลิเซดและชั้นของเซลล์สปองจีพบท่อ (duct) (ภาพที่ 3B) รูปร่างกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $22.2 \pm 2.5 \mu\text{m}$ เรียงตัวเดี่ยว ๆ แทรกอยู่ และพบเซลล์สเกลอเรนจิม่า (sclerenchyma cell) เรียงตัว 1 เซลล์ แทรกอยู่เป็นระยะมัดท่อลำเลียง (vascular bundle) เรียงตัวแทรกอยู่เป็นระยะในชั้นมีโซฟิลล์ ด้านนอกของมัดท่อลำเลียงมีเยื่อหุ้มท่อลำเลียง (bundle sheath) เรียงตัวอยู่ด้านข้างทั้ง 2 ข้าง มัดท่อลำเลียงประกอบด้วย เนื้อเยื่อไซเลม (xylem) ซึ่งมีโปรโตไซเลม (protoxylem) เรียงตัวอยู่ด้านบน เมทาไซเลม (metaxylem) เรียงตัวอยู่ทางด้านล่าง และมีเนื้อเยื่อโฟลเอ็ม (phloem) เรียงตัวอยู่ด้านข้างทั้ง 2 ด้าน บริเวณหัวและท้ายของมัดท่อลำเลียงจะพบไฟเบอร์ (fiber) เรียงตัวอยู่ ในใบที่มีเจริญเต็มที่แล้วจะมีช่องว่างลักษณะเป็นโพรงขนาดใหญ่ (air space) แทรกระหว่างกลุ่มมัดท่อลำเลียง ชั้นของผิวใบด้านล่างมีจำนวน 1 ชั้น เซลล์มีความกว้าง $6.3 \pm 0.9 \mu\text{m}$ มีความยาว $11.0 \pm 1.3 \mu\text{m}$ เซลล์ในชั้นนี้มีลักษณะคล้ายตุ่มยื่นออกมา (papillae) ปากใบที่พบแทรกอยู่ในชั้นนี้มีลักษณะเป็นตุ่มยื่นยาวกว่าเซลล์ผิวใบด้านล่าง จำนวนปากใบมีมากกว่าชั้นผิวใบด้านบน พบผลึกรูปสี่เหลี่ยมด้านเท่า (cubical crystal) สะสมอยู่ในโฟลเอ็มไฟเบอร์ (phloem fiber) บางเซลล์ (ตารางที่ 1)

กายวิภาคด้านตัดตามขวางของใบเตยทะเล (ภาพที่ 3C) ประกอบด้วยชั้นผิวใบด้านบนจำนวน 1 ชั้น มีสารคิวตินเคลือบอยู่ด้านบนนอก เซลล์มีความกว้าง $8.6 \pm 0.9 \mu\text{m}$ มีความยาว $11.0 \pm 1.4 \mu\text{m}$ ในชั้นนี้จะพบปากใบแทรกอยู่ ถัดเข้ามาเป็นชั้นไฮโปเดอริมิสเรียงตัวอยู่ด้านล่างจากชั้นผิวใบด้านบนจำนวน 3 ชั้น และอยู่เหนือชั้นผิวใบด้านล่างจำนวน 2 ชั้น เซลล์มีความกว้าง $13.6 \pm 2.7 \mu\text{m}$ มีความยาว $70.3 \pm 8.4 \mu\text{m}$ ถัดเข้ามาด้านในเป็นชั้นมีโซฟิลล์แบบ bifacial ประกอบด้วยเซลล์พาลิเซดชั้นบนที่มีการเรียงตัว 3-4 ชั้น และชั้นของเซลล์สปองจี ในชั้นมีโซฟิลล์พบท่อรูปร่างกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $33.9 \pm 5.1 \mu\text{m}$ เรียงตัวเดี่ยว ๆ แทรกอยู่ พบเซลล์สเกลอเรนจิม่า (ภาพที่ 3D) เรียงตัว 1 เซลล์ หรือเป็นกลุ่ม แทรกอยู่เป็นระยะในชั้นมีโซฟิลล์ทั้งในส่วนชั้นของเซลล์พาลิเซดและชั้นของเซลล์สปองจี มัดท่อลำเลียงเรียงตัวแทรกอยู่เป็นระยะในชั้นมีโซฟิลล์ ด้านนอกของมัดท่อลำเลียงมีเยื่อหุ้มท่อลำเลียงเรียงตัวอยู่ด้านข้างทั้ง 2 ข้าง มัดท่อลำเลียงประกอบด้วยเนื้อเยื่อไซเลมซึ่งมีโปรโตไซเลมเรียงตัวอยู่ด้านบน ขณะที่เมทาไซเลมเรียงตัวอยู่ทางด้านล่าง และมีเนื้อเยื่อโฟลเอ็มเรียงตัวอยู่ด้านข้างทั้ง 2 ด้าน บริเวณหัวและท้ายของมัดท่อลำเลียงพบไฟเบอร์เรียงตัวอยู่ ภายในใบที่มีเจริญเต็มที่แล้วจะมีช่องว่างลักษณะเป็นโพรงขนาดใหญ่แทรกระหว่างกลุ่มมัดท่อลำเลียง ชั้นของผิวใบด้านล่างมีจำนวน 1 ชั้น เซลล์มีความกว้าง $8.9 \pm 1.2 \mu\text{m}$ มีความยาว $11.9 \pm 1.3 \mu\text{m}$ ปากใบที่พบแทรกอยู่ในชั้นนี้ จำนวนปากใบมีมากกว่าชั้นผิวใบด้านบน และพบผลึกรูปสี่เหลี่ยมด้านเท่า (ภาพที่ 3D) สะสมอยู่ในกลุ่มเซลล์สเกลอเรนจิม่าที่อยู่ในชั้นมีโซฟิลล์ หรือไฟเบอร์ของมัดท่อลำเลียง (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 3 ลักษณะกายวิภาคของใบ A-B) เตยหอม A) กายวิภาคตัดขวางของใบเตยหอมแสดงการเรียงตัวของเนื้อเยื่อ B) ผลึกรูปสี่เหลี่ยมด้านเท่า C) กายวิภาคตัดขวางของใบเตยทะเลแสดงการเรียงตัวของเนื้อเยื่อ D) ผลึกรูปสี่เหลี่ยมด้านเท่า E) เส้นใยเตยหอมจากการแยกเซลล์ F) เส้นใยเตยทะเลจากการแยกเซลล์ แถบแสดงขนาด (scale bar) ในภาพ A) และ C) เท่ากับ 100 μm ในภาพ B) และ D) เท่ากับ 20 μm ในภาพ E) และ F) เท่ากับ 200 μm (as= air space, bs = bundle sheath, cc = cubical crystal, d = duct, f = fiber, h = hypodermis, le = lower epidermis, mx = metaxylem, p = phloem, pa = papillae, pc = palisade cell, px = protoxylem, sc = sclerenchyma cell, sp = spongy cell, st = stoma, ue = upper epidermis)

2.3 ลักษณะกายวิภาคของเส้นใย

เส้นใยเตยหอมที่ผ่านการแช่ฟอกด้วยน้ำ เซลล์เส้นใยเดี่ยวมีรูปร่างเรียวยาว เซลล์มีความกว้าง $12.2 \pm 1.4 \mu\text{m}$ และความยาว $1,457.7 \pm 351 \mu\text{m}$ ผนังเซลล์หนา $1.3 \pm 0.3 \mu\text{m}$ ช่องในเซลล์ (lumen) มีความกว้าง $13.8 \pm 3.8 \mu\text{m}$ ส่วนปลายมีลักษณะปลายแหลม (ภาพที่ 3E) เส้นใยที่ผ่านการแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 เซลล์เส้นใยเดี่ยวมีความกว้าง $12.1 \pm 0.4 \mu\text{m}$ และความยาว $998.8 \pm 40.0 \mu\text{m}$ มีผนังเซลล์หนา $1.2 \pm 0.2 \mu\text{m}$ และช่องในเซลล์มีความกว้าง $14.6 \pm 2.2 \mu\text{m}$ เส้นใยที่ผ่านการแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 เซลล์เส้นใยเดี่ยวมีความกว้าง $12.0 \pm 0.8 \mu\text{m}$ และความยาว $856.5 \pm 50.0 \mu\text{m}$ มีผนังเซลล์หนา $0.7 \pm 0.2 \mu\text{m}$ และ ช่องในเซลล์มีความกว้าง $15.2 \pm 2.7 \mu\text{m}$ (ตารางที่ 2) เมื่อศึกษาเส้นใยภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่า การแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้พื้นผิวของเส้นใยเรียบขึ้น (ภาพที่ 4B, 4D, 4F)

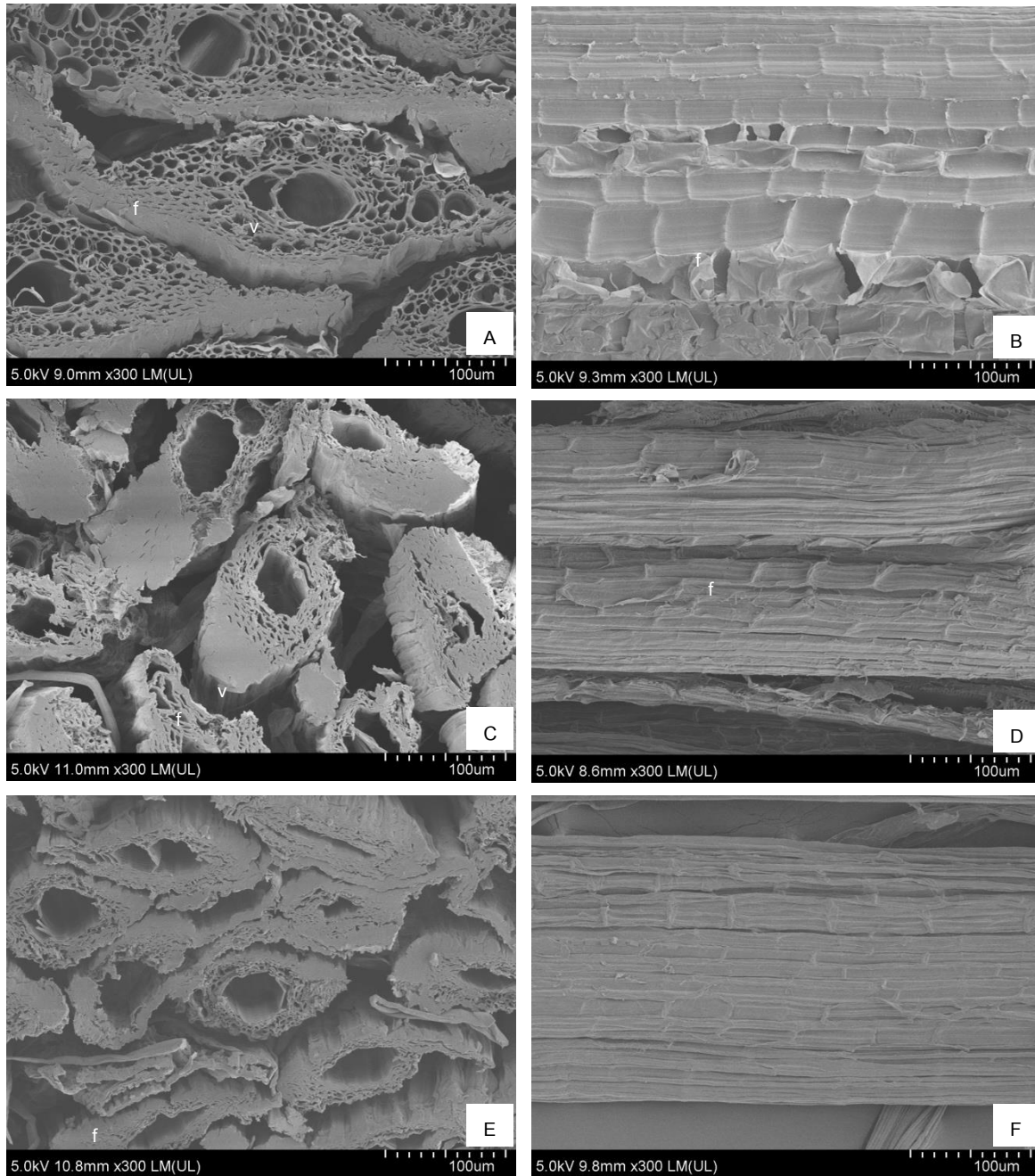
เส้นใยเตยทะเลที่ผ่านการแช่ฟอกด้วยน้ำ เซลล์เส้นใยเดี่ยวมีรูปร่างเรียวยาว เซลล์มีความกว้าง $22.2 \pm 0.2 \mu\text{m}$ และความยาว $1,192.6 \pm 20.0 \mu\text{m}$ มีผนังเซลล์หนา $3.3 \pm 0.4 \mu\text{m}$ และช่องในเซลล์มีความกว้าง $4.7 \pm 1.2 \mu\text{m}$ ปลายของเส้นใยเป็นแบบปลายแหลม (ภาพที่ 3F) เส้นใยที่ผ่านการแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 เซลล์เส้นใยเดี่ยวมีความกว้าง $22.3 \pm 0.3 \mu\text{m}$ และความยาว $606.0 \pm 10.0 \mu\text{m}$ มีผนังเซลล์หนา $2.3 \pm 0.4 \mu\text{m}$ และช่องในเซลล์มีความกว้าง $6.1 \pm 1.2 \mu\text{m}$ เส้นใยที่ผ่านการแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 เซลล์เส้นใยเดี่ยวมีความกว้าง $22.2 \pm 0.6 \mu\text{m}$ และความยาว $595.6 \pm 10.0 \mu\text{m}$ มีผนังเซลล์หนา $1.4 \pm 0.3 \mu\text{m}$ และ ช่องในเซลล์มีความกว้าง $7.2 \pm 1.1 \mu\text{m}$ (ตารางที่ 2) เมื่อศึกษาเส้นใยภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่า การแช่ฟอกเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้พื้นผิวของเส้นใยเรียบขึ้น (ภาพที่ 5B, 5D, 5F)

ตารางที่ 2 กายวิภาคและคุณสมบัติของเส้นใยเตยหอมและเตยทะเล

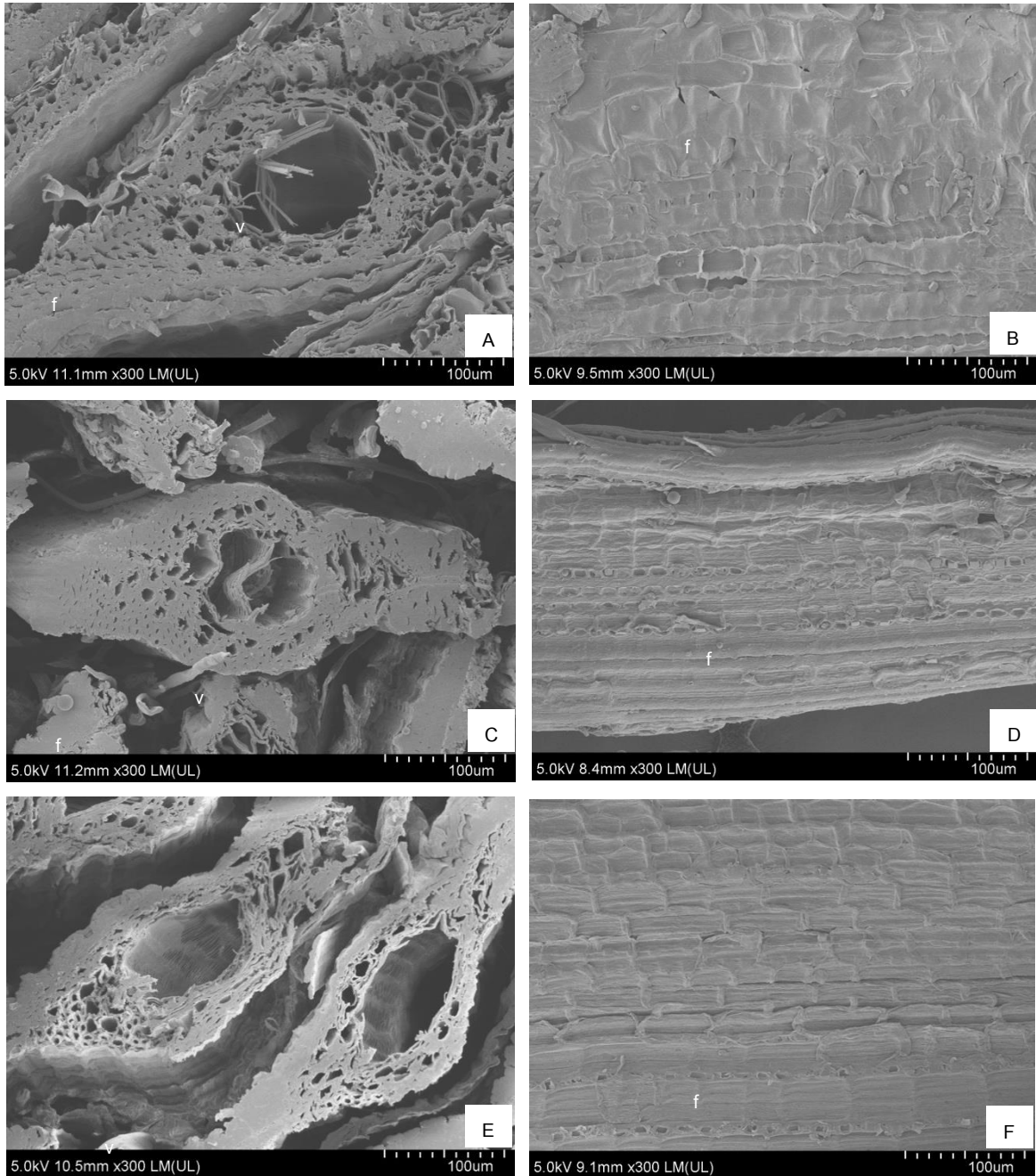
	เตยหอม			เตยทะเล		
	แช่น้ำ	NaOH 2%	NaOH 5%	แช่น้ำ	NaOH 10%	NaOH 15%
ความกว้างเส้นใย (μm)	$12.2^b \pm 1.4$	$12.1^b \pm 0.4$	$12.0^b \pm 0.8$	$22.2^a \pm 0.2$	$22.3^a \pm 0.3$	$22.2^a \pm 0.6$
ความยาวเส้นใย (μm)	$1,457.7^a \pm 351$	$998.8^{bc} \pm 40.0$	$856.5^c \pm 50.0$	$1,192.6^b \pm 20.0$	$606.0^d \pm 10.0$	$595.6^d \pm 10.0$
ความหนาของผนังเซลล์ (μm)	$1.3^c \pm 0.3$	$1.2^c \pm 0.2$	$0.7^d \pm 0.2$	$3.3^a \pm 0.4$	$2.3^b \pm 0.4$	$1.4^c \pm 0.3$
ความกว้างช่องในเซลล์ (μm)	$13.8^a \pm 3.8$	$14.6^a \pm 2.2$	$15.2^a \pm 2.7$	$4.7^c \pm 1.2$	$6.1^{bc} \pm 1.2$	$7.2^b \pm 1.1$
Runkel ratio [†]	0.19	0.16	0.09	1.40	0.75	0.39
Felting rate ^{**}	119.48	82.55	71.38	53.72	27.17	26.83
Flexibility coefficient ^{**}	113.11	120.66	126.67	21.17	27.35	32.43

หมายเหตุ ทริทเมนต์ที่ได้อักษร (a-d) ต่างกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

- [†]Runkel ratio >1 เส้นใยไม่เหมาะสำหรับผลิตเยื่อ, = 1 เส้นใยมีคุณภาพดีเหมาะสำหรับผลิตเยื่อ, <1 เส้นใยคุณภาพดีมากเหมาะสำหรับผลิตเยื่อได้ดี (Ogunjobi et al., 2014; Fagbemigun, 2016)
- ^{**}Felting rate >33 เส้นใยมีความเหมาะสมสำหรับใช้ผลิตเยื่อและกระดาษ (Enayati et al., 2009; Sharma et al. 2013; Fagbemigun, 2016)
- ^{**}Flexibility coefficient <30 เส้นใยมีความแข็งที่มากเกินไป, ช่วง 30-50 เส้นใยมีความแข็งที่พอ, ช่วง 55-75 เส้นใยมีความยืดหยุ่น, > 75 เส้นใยมีความยืดหยุ่นสูง (Sharma et al., 2013; Fagbemigun, 2016; Sharma et al., 2018)



ภาพที่ 4 ลักษณะกายวิภาคเส้นใย (fiber) ใบเตยหอมภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ด้านตัดขวาง (A, C, E) และด้านตามยาว (B, C, E) A-B) เส้นใยเตยหอมที่ผ่านการแช่ฟอกด้วยน้ำ C-D) เส้นใยที่ผ่านการแช่ฟอกด้วย NaOH ความเข้มข้นร้อยละ 2 E-F) เส้นใยที่ผ่านการแช่ฟอกด้วย NaOH ความเข้มข้นร้อยละ 5 แถบแสดงขนาด (scale bar) ในภาพ A-F) เท่ากับ 100 µm (f= fiber, v = vessel)



ภาพที่ 5 ลักษณะกายวิภาคเส้นใย (fiber) ใบเตยทะเล ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ด้านตัดขวาง (A, C, E) และด้านตามยาว (B, C, E) A-B) เส้นใยเตยหอมที่ผ่านการแช่ฟอกด้วยน้ำ C-D) เส้นใยที่ผ่านการแช่ฟอกด้วย NaOH ความเข้มข้นร้อยละ 10 E-F) เส้นใยที่ผ่านการแช่ฟอกด้วย NaOH ความเข้มข้นร้อยละ 15 แถบแสดงขนาด (scale bar) ในภาพ A-F) เท่ากับ 100 µm (f= fiber, v = vessel)

2.4 คุณสมบัติของเส้นใย

จากการคำนวณหา Runkel ratio พบว่า เส้นใยใบเตยทะเลที่แช่ฟอกด้วยน้ำมีค่ามากที่สุด (1.40) ส่วนเส้นใยใบเตยหอมที่แช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 มีค่าน้อยที่สุด (0.09) ค่า felting rate พบว่า เส้นใยใบเตยหอมที่แช่ฟอกด้วยน้ำและแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 5 มีค่า felting rate เท่ากับ 119.5 82.5 และ 71.4 ตามลำดับ ส่วนใบเตยทะเลที่แช่ฟอกด้วยน้ำและแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 15 มีค่า felting rate เท่ากับ 53.7 27.2 และ 26.8 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ค่า flexibility coefficient พบว่า เส้นใยใบเตยหอมที่ได้จากการทดลองมีค่า flexibility coefficient อยู่ในช่วง 113.11-126.67 ขณะที่เส้นใยเตยทะเลมีค่า flexibility coefficient อยู่ในช่วง 21.17-32.43 (ตารางที่ 2)

วิจารณ์ผลการวิจัย

1. ปริมาณเส้นใยจากการแช่ฟอก

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเส้นใยที่จากการแช่ฟอก พบว่า ใบเตยทะเลจะให้ร้อยละปริมาณเส้นใยมากกว่าใบเตยหอมในทุกการทดลอง และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณเส้นใยที่จากการแช่ฟอกทั้งสองวิธี พบว่า การแช่ฟอกด้วยน้ำทำให้มีร้อยละปริมาณเส้นใยมากกว่าการแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ การใช้สารเคมีความเข้มข้นสูงจะทำให้ร้อยละปริมาณเส้นใยลดลงเนื่องจากสารเคมีจะไปละลายองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลส เพคติน และลิกนิน ออกจากพืชได้ดีกว่าสารเคมีความเข้มข้นต่ำ (Reddy & Yang, 2015) การแช่ฟอกด้วยน้ำเป็นการแยกเอาเส้นใยที่อยู่ในใบออกจากเนื้อเยื่ออื่น ๆ โดยทำให้เพคตินหรือสารประกอบอื่น ๆ หลุดออกไป เป็นวิธีที่ประหยัดที่สุด แต่ใช้เวลาย่อยสลายนาน เนื่องจากเป็นการหมักที่อาศัยเอนไซม์จากธรรมชาติ และอุณหภูมิของน้ำมีผลต่อการย่อย (Chonsakorn, 2015) การแช่ฟอกด้วยน้ำในภาชนะปิดให้ปริมาณเส้นใยสูง และได้เส้นใยที่ละเอียดกว่าวิธีการแยกเส้นใยด้วยวิธีเชิงกล (Kengkhethit *et al*, 2012) ส่วนแช่ฟอกด้วยสารเคมี เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้เวลาย่อยสลายน้อยกว่าการแช่ฟอกด้วยน้ำ แต่ต้องคอยระวังไม่ให้เส้นใยเปื่อยเกินไป เนื่องจากปริมาณสารเคมีมีผลต่อการแยกเส้นใย หากใช้ปริมาณน้อยเกินไปเส้นใยแยกออกจากเนื้อเยื่อส่วนอื่นได้ยาก หรือหากใช้สารเคมีปริมาณมากจะทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงลดลง และขาดง่าย นอกจากนี้การสกัดแยกเส้นใยโดยแช่ฟอกด้วยสารเคมียังมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงกว่าแช่ฟอกด้วยน้ำ (Chonsakorn, 2015)

2. ลักษณะทางกายวิภาคของใบและเส้นใย

2.1 กายวิภาคของเนื้อเยื่อผิวใบ

จากการศึกษากายวิภาคของเนื้อเยื่อผิวใบของเตยหอมและเตยทะเล โดยการลอกผิวใบ พบว่า เซลล์ผิวใบด้านบนและด้านล่างมีรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัสจนถึงรูปร่างหลายเหลี่ยม โดยเซลล์ผิวใบด้านบนจะมีเซลล์ยืดยาว (elongated cell) ขณะที่เซลล์ผิวใบด้านล่างมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ เช่นเดียวกับรายงานของ Rahayu *et al*. (2012) และ Tihuraa & Erlinawati (2015) ขนาดเซลล์ผิวใบเตยหอมมีความยาวกว่าเซลล์ผิวใบของเตยทะเล ในใบเตยหอม พบว่า ผิวใบด้านบนมีลักษณะเรียบ ส่วนผิวใบด้านล่างมีตุ่มรูปร่างกลม เรียง 1 แถว แถวละ 3-5 อัน ขณะที่ในใบเตยทะเล พบว่า ทั้งผิวใบด้านบนและด้านล่างผิวเซลล์มีลักษณะเรียบ ลักษณะผนังเซลล์ด้านข้างทั้งในเตยหอมและเตยทะเลเรียบ Rahayu *et al*. (2012) และ Tihuraa & Erlinawati (2015) รายงานว่า พืชวงศ์เตยทะเล สกุล *Pandanus* จากประเทศอินโดนีเซีย เซลล์ผิวใบด้านบนมีผนังเซลล์ด้านข้างแบบผิวเรียบและหยักเว้าเล็กน้อย ขณะที่เซลล์ผิวใบด้านล่างมีผนังเซลล์ด้านข้างหลายแบบ ได้แก่ เรียบ เป็นลอน

เล็กน้อย และหยักเว้า ปากใบที่พบในเตยหอมและเตยทะเลเป็นแบบเตตระไซติก สามารถพบได้ทั้งผิวใบด้านบนและผิวใบด้านล่าง ในใบเตยหอม พบว่า ปากใบที่ผิวใบด้านบนมีเซลล์ข้างเซลล์คุมบริเวณหัวท้ายของเซลล์คุมขนาดเล็กกว่าเซลล์ข้างเซลล์คุมที่ขนาดด้านข้างและผิวของเซลล์ข้างเซลล์คุมเรียบ ส่วนปากใบที่ผิวใบด้านล่างมีเซลล์ข้างเซลล์คุมบริเวณหัวท้ายลักษณะเป็นดิ่งยื่นออกมาและผิวเซลล์ข้างเซลล์คุมที่ขนาดด้านข้างมีตุ่มรูปร่างกลม เรียง 1 แถว แถวละ 4-6 อัน ขณะที่ใบเตยทะเล พบว่า ทั้งผิวใบด้านบนและด้านล่าง เซลล์ข้างเซลล์คุมบริเวณหัวท้ายของเซลล์คุมมีขนาดเล็กกว่าเซลล์ข้างเซลล์คุมที่ขนาดด้านข้าง ชั้นผิวใบด้านบนมีผิวเซลล์ข้างเซลล์คุมที่ขนาดด้านข้างลักษณะเรียบ ส่วนชั้นผิวใบด้านล่างมีผิวเซลล์ข้างเซลล์คุมที่ขนาดด้านข้างลักษณะเป็นตุ่ม รูปร่างกลม เรียง 1 แถว แถวละ 4-5 อัน ความหนาแน่นของปากใบที่ผิวใบด้านล่างมากกว่าผิวใบด้านบน Tihuraa & Erlinawati (2015) รายงานว่า ปากใบเป็นแบบเตตระไซติกเป็นลักษณะของพืชวงศ์เตยทะเล นอกจากนี้ รูปร่างของผิวใบ เซลล์คุม และเซลล์ข้างเซลล์คุม อาจสามารถนำไปใช้ในการวินิจฉัยชนิดพืช (Jakubska, 2007)

2.2 กายวิภาคศาสตร์ตามขวางของใบ

จากการศึกษากายวิภาคศาสตร์ตามขวางของใบ พบว่า ทั้งในใบเตยหอมและเตยทะเลมีเซลล์ผิวใบด้านบนและด้านล่างจำนวน 1 ชั้น มีสารคิวตินเคลือบอยู่ด้านบน และพบปากใบแทรกอยู่ในชั้นนี้ ถัดเข้ามาเป็นชั้นไฮโปเดอร์มิส เซลล์มีลักษณะใส ไม่มีคลอโรพลาสต์อยู่ภายใน ในเตยหอมชั้นไฮโปเดอร์มิสเรียงตัวอยู่ด้านล่างจากชั้นผิวใบด้านบนจำนวน 2 ชั้นและอยู่เหนือชั้นผิวใบด้านล่างจำนวน 2 ชั้น บางเซลล์มีผลึกรูปสี่เหลี่ยมด้านเท่าสะสมอยู่ภายใน ขณะที่ในเตยทะเลชั้นไฮโปเดอร์มิสเรียงตัวอยู่ด้านล่างจากชั้นผิวใบด้านบนจำนวน 3 ชั้น และอยู่เหนือชั้นผิวใบด้านล่างจำนวน 2 ชั้น ผลึกที่พบอยู่เรียงตัวอยู่เป็นเซลล์เดี่ยวหรืออยู่เป็นคู่ และพบในชั้นไฮโปเดอร์มิสด้านนอกสุด (outermost layer hypodermis) (Rahayu *et al.*, 2012) ใบเตยหอมและเตยทะเลมีการจัดเรียงตัวของเนื้อเยื่อชั้นมีไซฟิลล์ แบบ bifacial ต่างจาก Rahayu *et al.* (2012) ซึ่งศึกษากายวิภาคศาสตร์ของพืชวงศ์เตยทะเล (Pandanaeae) สกุล *Pandanus* จากจาวา ประเทศอินโดนีเซียจำนวน 15 ชนิด พบว่า ทุกชนิดมีการจัดเรียงเนื้อเยื่อใบแบบ unifacial หรือ isolateral ขณะที่ Tomlinson (1965) รายงานว่า พืชสกุล *Pandanus* มีการจัดเรียงตัวของเนื้อเยื่อใบแบบ bifacial หรือ dorsiventral มัดท่อลำเลียงในเตยหอมและเตยทะเลเรียงตัวแทรกอยู่เป็นระยะในชั้นมีไซฟิลล์ด้านนอกของมัดท่อลำเลียงมีเยื่อหุ้มท่อลำเลียงเรียงตัวอยู่ด้านข้างทั้ง 2 ข้าง มัดท่อลำเลียงประกอบด้วย เนื้อเยื่อไซเลมซึ่งมีโพรงไซเลมเรียงตัวอยู่ด้านบน เมทาไซเลมเรียงตัวอยู่ทางด้านล่าง และมีเนื้อเยื่อโฟลเอ็มเรียงตัวอยู่ด้านข้างทั้ง 2 ด้าน บริเวณหัวและท้ายของมัดท่อลำเลียงจะพบไฟเบอร์เรียงตัวอยู่ ใบที่มีเจริญเต็มที่แล้วจะมีช่องว่างลักษณะเป็นโพรงอากาศขนาดใหญ่แทรกระหว่างกลุ่มมัดท่อลำเลียง นอกจากนี้ในเตยหอมยังพบผลึกรูปสี่เหลี่ยมด้านเท่าสะสมอยู่ในโฟลเอ็มไฟเบอร์บางเซลล์ ขณะที่ในเตยทะเลพบผลึกรูปสี่เหลี่ยมด้านเท่าสะสมอยู่ภายในกลุ่มเซลล์สเกลอเรนจิมมาที่อยู่ในชั้นมีไซฟิลล์ หรือไฟเบอร์ของมัดท่อลำเลียง

2.3 ลักษณะกายวิภาคของเส้นใย

ความกว้างเส้นใยเดี่ยวและความกว้างช่องในเซลล์ระหว่างเตยหอมและเตยทะเลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เส้นใยเดี่ยวเตยหอมและเตยทะเลจากการแช่ฟอกด้วยน้ำจะมีความยาวมากกว่าเส้นใยเดี่ยวที่ได้จากการแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้เส้นใยเดี่ยวเตยทะเลที่ผ่านการแช่ฟอกด้วยน้ำมีผนังเซลล์หนามากที่สุด และผนังเซลล์จะมีความหนาลดลงเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มสูงขึ้น ขณะที่เส้นใยเดี่ยวเตยหอม พบว่า ความหนาผนังเซลล์เส้นใยที่ผ่านการแช่ฟอกด้วยน้ำและแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แย้งกับผลการทดลองของ Amel *et al.* (2013) ซึ่งศึกษาเส้นใยปอแก้ว พบว่า โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5

มีผลทำให้ขนาดช่องในเซลล์ของเส้นใยปอแก้วเล็กลง และเพิ่มความหนาของผนังเซลล์เส้นใย ขณะที่แช่ฟอกด้วยน้ำจะทำให้ขนาดช่องในเซลล์ของเส้นใยเพิ่มขึ้น แต่ความหนาของผนังเซลล์เส้นใยลดลง จากการศึกษาเส้นใยเตยหอมและเตยทะเล ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่า เส้นใยที่แช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้พื้นผิวของเส้นใยมีความเรียบขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Reddy & Yang (2015) ซึ่งศึกษาการแยกสกัดเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการใช้สารเคมีและที่แยกสกัดด้วยสารเคมี ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ ซัคซินิคแอนไฮไดรด์ (succinic anhydride) พบว่า พื้นผิวของเส้นใยที่ได้จากการแยกสกัดด้วยสารเคมีมีความเรียบขึ้น เนื่องจากสารเคมีจะไปกำจัดลิกนินออกไป

2.4 คุณสมบัติของเส้นใย

ค่า Runkel ratio เป็นค่าที่บ่งบอกคุณภาพของเส้นใยสำหรับการผลิตเยื่อและกระดาษ ถ้าค่า Runkel ratio มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าเส้นใยไม่เหมาะสำหรับผลิตเยื่อ ถ้ามีค่าเท่ากับ 1 เส้นใยมีคุณภาพดีเหมาะสำหรับผลิตเยื่อ และถ้ามีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าเส้นใยมีคุณภาพดีมากเหมาะสำหรับผลิตเยื่อได้ดี (Ogunjobi *et al.*, 2014; Fagbemigun, 2016) เมื่อพิจารณาจากการคำนวณ Runkel ratio ของเส้นใยที่ได้จากการทดลอง พบว่า ส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่า 1 ยกเว้นเส้นใยเตยทะเลที่แช่ฟอกด้วยน้ำ ดังนั้นเส้นใยเตยหอมที่ผ่านการแช่ฟอกด้วยน้ำและโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเส้นใยเตยทะเลที่ผ่านการแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จึงมีความเหมาะสมในการผลิตเยื่อและกระดาษ สำหรับค่า felting rate หรือ slenderness ที่ได้จากเส้นใยนั้น จะมีผลต่อค่าความต้านทานการฉีกขาดและค่าความต้านทานต่อแรงดันทะลุของกระดาษ ถ้า felting rate มีค่ามากกว่า 33 แสดงว่าเส้นใยมีความเหมาะสมสำหรับใช้ผลิตเยื่อและกระดาษ (Enayati *et al.*, 2009; Sharma *et al.* 2013; Fagbemigun, 2016) เมื่อพิจารณาค่า felting rate พบว่า ส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 33 ยกเว้นเส้นใยเตยทะเลที่แช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้นเส้นใยเตยหอมที่ผ่านการแช่ฟอกด้วยน้ำและโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีความเหมาะสมในการผลิตเยื่อและกระดาษ สำหรับค่า flexibility coefficient เป็นค่าที่บ่งบอกการสร้างโครงข่ายพันธะของเส้นใยในแผ่นกระดาษ ถ้าเส้นใยมีค่า flexibility coefficient น้อยกว่า 30 แสดงว่าเส้นใยมีความแข็งที่มาก ถ้าอยู่ในช่วง 30-50 แสดงว่าเส้นใยมีความแข็งที่อ่อน ถ้าอยู่ในช่วง 55-75 แสดงว่าเส้นใยมีความยืดหยุ่น และถ้าเส้นใยมีค่า flexibility coefficient มากกว่า 75 แสดงว่าเส้นใยมีความยืดหยุ่นสูง (Sharma *et al.*, 2013; Fagbemigun, 2016; Sharma *et al.*, 2018) จากการทดลองพบว่า เส้นใยใบเตยหอมที่ได้จากทุกการทดลองมีค่า flexibility coefficient มากกว่า 75 ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมในการผลิตเยื่อและกระดาษ

สรุปผลการวิจัย

เส้นใยที่ผ่านการแช่ฟอกด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แก่ การแช่ฟอกด้วยน้ำ การแช่ฟอกด้วยสารเคมี โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 5 สำหรับเตยหอม และความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 15 สำหรับเตยทะเล พบว่า ใบเตยทะเลจะให้ร้อยละปริมาณเส้นใยมากกว่าใบเตยหอมในทุกการทดลอง และเส้นใยที่ได้จากการแช่ฟอกด้วยน้ำมีร้อยละปริมาณเส้นใยมากกว่าการแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ การแช่ฟอกด้วยน้ำเป็นวิธีที่ประหยัดแต่ใช้เวลาย่อยสลายนาน ขณะที่การแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้เวลาย่อยสลายน้อยกว่าแต่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงกว่าแช่ฟอกด้วยน้ำ การศึกษากายวิภาคของผิวและแผ่นใบ พบว่า ลักษณะเซลล์ผิวใบ ผิวใบด้านบนและด้านล่าง การพบผลึกรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนในชั้นไฮโปเดอร์มิส การพบการกระจายของผลึกรูปสี่เหลี่ยมด้านเท่า ลักษณะตุ่มรูปร่างกลมบนเซลล์ผิวใบและบนปากใบ สามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างเตยหอมและเตยทะเลได้ การศึกษากายวิภาคของเส้นใย พบว่า เส้นใยเดี่ยวที่ได้จากวิธีการแยกเซลล์มีรูปร่างเรียวยาว ส่วนปลายมีลักษณะปลายแหลม เส้นใยจะมีความกว้าง ความยาวของเส้นใยและหนาของผนังเซลล์

ลดลง เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้คุณสมบัติของเส้นใยคำนวณจากค่า Runkel ratio ค่า felting rate (slenderness) และค่า flexibility coefficient เพื่อประเมินความเหมาะสมของเส้นใยในการนำไปใช้ผลิตเยื่อและกระดาษ โดยพบว่า เส้นใยเตยหอมที่ผ่านการแช่ฟอกด้วยน้ำและโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเหมาะสมในการผลิตเยื่อและกระดาษ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2561 ขอขอบคุณชาวบ้านชุมชนบ้านโคกป่าค่าและชุมชนบ้านบาโระบุดอเหนือ ตำบลโคกเคียน อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าไปเก็บตัวอย่างพืช ขอขอบคุณอาจารย์พงษ์พันธุ์ สุขสุพันธ์สำหรับคำแนะนำการจัดจำแนกพืช ขอขอบคุณ ผศ.ดร. สาธิตมา สมานหมาน และ ดร. อรุษา คำสุข ในการพิสูจน์อักษร

เอกสารอ้างอิง

- Amel, B.A., Paridah, M.T., Sudin, R., Anwar, U.M.K., & Hussein, A.S. (2013). Effect of fiber extraction methods on some properties of kenaf bast fiber. *Industrial Crops and Products*, 46, 117–123.
- Arrak, T. (2011). *Characteristics and properties of Hibiscus tiliaceus Yarn*. M.H.E. Thesis, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)
- Chonsakorn, S. (2015). *Textile production technology from plant fibers Vol. 2: Retting technology*. Textile Industry Development Institute, Bangkok. (in Thai)
- Enayati, A.A., Hamzeh, Y., Mirshokraie, S.A., & Molaii, M. (2009). Papermaking potential of canola stalks. *BioResources*, 4(1), 245-256.
- Fagbemigun, T.K., Fagbemi, O., Buhari, F., Eze, M., & Chima, C.I. (2016). Fibre characteristics and strength properties of Nigerian pineapple leaf (*Ananas cosmosus*), banana peduncle and banana leaf (*Musa sapientum*)—potential green resources for pulp and paper production. *Journal of Scientific Research & Reports*, 12 (2), 1–13.
- Franklin, G.L. (1937). Permanent preparations of macerated wood fibres. *Tropical Woods*, 49, 21.22.
- Kengkhetkit, N., & Amornskchai, T. (2012). Utilisation of pineapple left waste for plastic reinforcement: 1. A novel extraction method for short pineapple left fiber. *Industrial Crops and Products*, 40, 55-61.
- Jakubska, A. 2007. The analysis of morphological differentiation of the epidermis of selected species of the genus *Epipactis* Zinn, 1975 (Orchidaceae: Neottieae). *Wroclaw*, 15(2), 41-45.
- Kermanee, P. (2008). *Techniques in plant tissue*. Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Luepong, K. Sasithorn, N. Manarungwit, K. (2011). *Water hyacinth paper production for packaging*. Faculty of Industry Education, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (in Thai)

- Ogunjobi, K.M., Adetogun, A.C., & Shofidiya, S.A. (2014). Investigation of pulping potentials of waste from conversion of *Anogeissus leiocarpus*. *IOSR Journal of Polymer and Textile Engineering*, 1(2), 26-30.
- Pooma, R. & Suddee, S. (eds.). (2014). *Tem Smitinand's Thai Plant Names, revised edition 2014*. The Office of the Forest Herbarium, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok. (in Thai)
- Poonsawat, T. (2013). The anatomical and fibre characteristics of some monocotyledons. In *10th National Kasetsart University Kamphaeng saen Conference*. (pp. 2312-2319). Kasetsart University. (in Thai)
- Rahayu, S.E., Kartawinata, K., Chikmawati, T., & Hartana, A. (2012). Leaf anatomy of *Pandanus* species (Pandanaceae) from Java. *Reinwardtia*, 13(3), 305-313.
- Ratanakamnuan, U. (2014). *Preparation of Biodegradable Modified Cellulose Films from Agricultural Waste under Microwave Energy*. Maejo University. (in Thai)
- Reddy, N. & Yang, Y. (2015). *Innovative Biofibers from Renewable Resources*. Springer, Berlin.
- Sharma, M., Sharma, C.L. & Kumar, Y.B. (2013). Evaluation of fiber characteristics in some weeds of Arunachal Pradesh, India for pulp and paper making. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*, 1(3), 15-21.
- Sharma, M., Sharma, C.L., Bage, M. Gogoi, B.R. & Pangging, G. (2018). Anatomical characteristics and fibre dimensions of some grass species of Arunachal Pradesh and their potential for pulp and paper. *Journal of Bioresources*, 5(1), 41-48.
- Somprasit, A. (2011). *Study and collect knowledge on wisdom of folk crafts in Southern part of Thailand*. Retrieved July 16, 2018, from <http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2010/8568> (in Thai)
- Sutthirak, W. (2015). *Conservation and utilization of local resources in Khlong Cha-un Sub-district: Pandanus*. Retrieved July 16, 2018, from <http://local-resource.klongchaun.go.th/File%20PDF/กรณีศึกษา%20การอนุรักษ์และใช้ประโยชน์ทรัพยากรท้องถิ่นตำบลคลองชะอุ่น/007%20กรณีศึกษาต้นไผ่เคยหอม.pdf> (in Thai)
- Tihurua, E.F. & Erlinawati, I. (2015). Leaf anatomy of *Pandanus* spp. (Pandanaceae) from Serangau and Bukit Baka-Bukit Raya national park, Kalimantan, Indonesia. *Reinwardtia*, 14(1), 223-231.
- Tomlinson, P.B. (1965). A study of stomatal structure in Pandanaceae. *Pacific Science*, 19(1), 38-54.