

วารสารปริทัศน์

2.1 แทนิน

2.1.1 แทนินในเปลือกไม้

เปลือกไม้เป็นส่วนหนึ่งของต้นไม้ มีองค์ประกอบทางเคมีหลัก ๆ อยู่ 3 ประเภท เช่นเดียวกับเนื้อไม้ คือ ไฮโดรเซลลูโลส (holocellulose), ลิกนิน (lignin) และสารแทรก (extractives) แต่ปริมาณและชนิดของสารในองค์ประกอบแต่ละประเภทมีมากน้อยต่างกัน ไปขึ้นอยู่กับชนิดไม้ ตำแหน่งในต้นไม้ ถิ่นที่อยู่และความแปรผันในต้นไม้ โดยปกติปริมาณสารแทรกและลิกนินในเปลือกไม้จะสูงกว่าในเนื้อไม้มาก แต่ปริมาณไฮโดรเซลลูโลสจะต่ำกว่าในเนื้อไม้ (7)

ไฮโดรเซลลูโลสและลิกนิน เป็นองค์ประกอบที่มีอยู่มากที่สุดในผนังเซลล์จึงนับเป็นองค์ประกอบหลักของต้นไม้ ส่วนสารแทรกนั้นเมื่อน้อยกว่าจึงมีความสำคัญรองลงไป สารแทรกสามารถสกัดออกจากเนื้อไม้ได้ด้วยตัวทำละลายบางชนิด (8) สารแทรกหมายถึง สารที่ไม่ใช่องค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์ (9) ประกอบด้วยสารประกอบทั้งอินทรีย์และอนินทรีย์หลายชนิด แทรกอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างไม้ ตัวอย่างสารแทรก เช่น เทอร์ปีนอยด์ (terpenoids) ขี้ผึ้ง (waxes) ไขมัน (fats) กรดเรซิน (resin acids) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ลิกแนน (lignans) น้ำตาล (sugars) และแทนนิน เป็นต้น ในขณะที่พืชมีชีวิตอยู่สารแทนนินจะถูกสร้างขึ้นมาในรูปของสารละลายรวมอยู่ในโปรโตพลาสซึม (protoplasm) ในเวคคิวโอลของเซลล์ (cell vacuoles) เมื่อเซลล์ตายแล้วสารโปรโตพลาสซึมสลายตัว สารแทนนินจะถูกดูดอยู่ในผนังเซลล์ (10) โดยทั่วไปแทนนินในเปลือกไม้ชนิดต่าง ๆ จะมีปริมาณสูงกว่าในเนื้อไม้มาก (11) ดังนั้นความสนใจในการใช้ประโยชน์เปลือกไม้ จึงเห็นหนักทางด้านสารแทรก โดยเฉพาะแทนนินเป็นส่วนใหญ่ ส่วนเปลือกที่เหลือจากการสกัดแทนนินออกแล้วยังสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงปรับปรุงสมบัติดิน แยกเป็นคอร์ก (cork) หรือเส้นใยและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไปอีก (12)

2.1.2 ประเภทของแทนนิน

ในปี ค.ศ. 1920 Freudenberg แบ่งลักษณะของแทนนินในเปลือกไม้ หรือเนื้อไม้ ออกเป็น 2 ประเภท คือ ไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนิน (hydrolyzable tannins) และคอน-

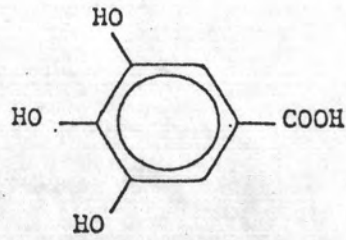
เดนซ์แทนนิน (condensed tannins) (13) ตัวอย่างไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนินหรืออาจเรียกว่า ไพโรแกลลอล (pyrogallol) เช่น แทนนินจากไม้ก่อ (chestnut) ไม้สมอ (myrabolan) ผลโอค (valonia) และเนื้อไม้โอค (oak wood) ส่วนคอนเดนซ์แทนนินซึ่งอาจเรียกว่าแคเทชอล (catechol) เช่น แทนนินจากเคบราชอ (quebracho) มิโมซา (mimosa) ไม้ชายเลน (mangrove) และเปลือกไม้โอค (oak bark) (14)

2.1.2.1 ไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนิน

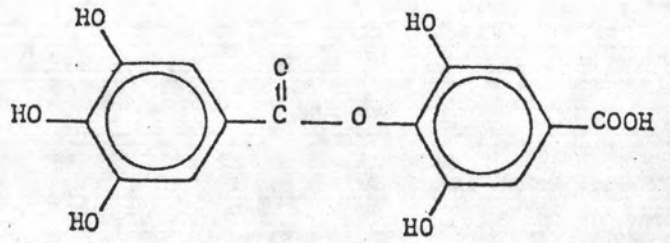
Jurd (15) อธิบายสมบัติทางเคมีของไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนินไว้ว่าแทนนินชนิดนี้เป็นเอสเตอร์ (esters) ระหว่างน้ำตาลหนึ่ง โมเลกุลกับกรดโพลีฟีนอลิกคาร์บอกซิลิก (polyphenolic carboxylic acids) อีกหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่ง โมเลกุล น้ำตาลส่วนใหญ่ที่พบมักเป็นกลูโคส (glucose) การเชื่อมกันแบบเอสเตอร์นี้ทำให้แทนนินสามารถถูกไฮโดรไลซ์แยกออกได้ด้วยกรด ด่าง หรือ เอนไซม์บางชนิด แทนนินประเภทนี้ยังสามารถแบ่งออกได้อีก 2 ชนิด คือ แกลโลแทนนิน (gallo tannins) และเอลลาจิกแทนนิน (ellagi tannins) โดยแทนนินชนิดแรก เมื่อถูกไฮโดรไลซ์แล้วจะให้กรดแกลลิก (gallic acid, ภาพที่ 2.1ก) ส่วนแทนนินชนิดหลังเมื่อถูกไฮโดรไลซ์จะให้เอลลาจิก (ellagic acid, ภาพที่ 2.1ค) แต่การแบ่งเช่นนี้ก็ยังไม่แน่นอนตายตัวเพราะเอลลาจิกแทนนินนั้นบางครั้งเมื่อถูกไฮโดรไลซ์แล้วก็ยังให้กรดแกลลิก โดยปกติไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนินจัดเป็นสารอสัณฐานที่ดูดน้ำ (amorphous hygroscopic substance) มีสีน้ำตาลแกมเหลือง สามารถละลายได้ในน้ำเกิดเป็นสารแขวนลอยได้มากกว่าเป็นสารละลายใสทั้งยังสามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์แบบมีขั้ว (polar) ได้บ้าง แต่ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายแบบไม่มีขั้ว เช่น คลอโรฟอร์มและเบนซีน

2.1.2.2 คอนเดนซ์แทนนิน

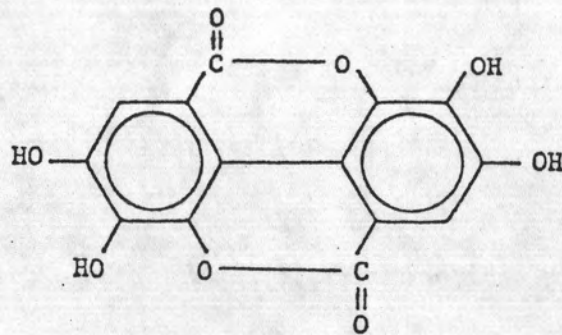
คอนเดนซ์แทนนินเป็นสารที่มีโมเลกุลสลับซับซ้อนมากจัดอยู่ในประเภทโพลีฟีนอล (polymeric polyphenols) มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 1,000 ขึ้นไป ประกอบด้วย โพลีไฮดริคฟีนอล (polyhydric phenols) ซึ่งเชื่อมกันเป็นโมเลกุลใหญ่ด้วย c-c linkage ไม่สามารถไฮโดรไลซ์ด้วยกรดหรือด่างได้ แต่ละลายได้ดีในน้ำร้อน แอลกอฮอล์ และ อะซิโตน (11)



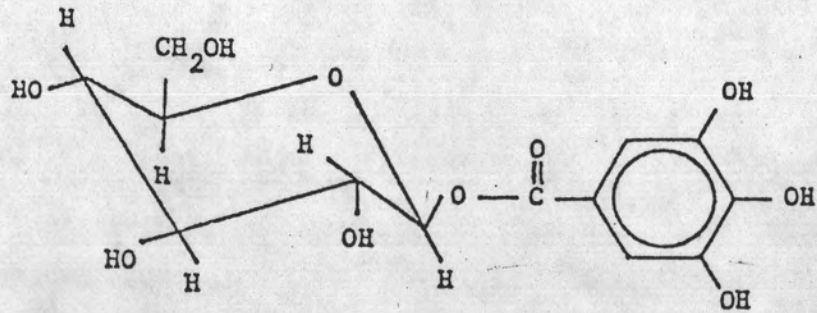
n. gallic acid



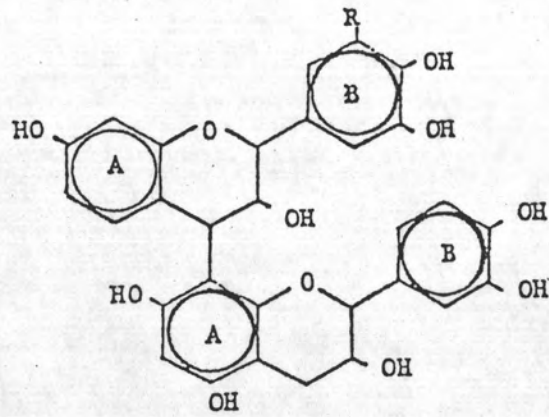
v digallic acid



k. ellagic acid

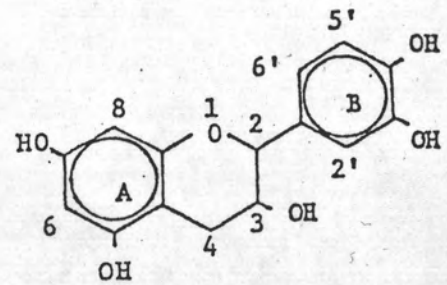
g. 1-galloyl- β -glucopyranose

ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างไฮโดรไลซ์เซเปิลแทนนิน

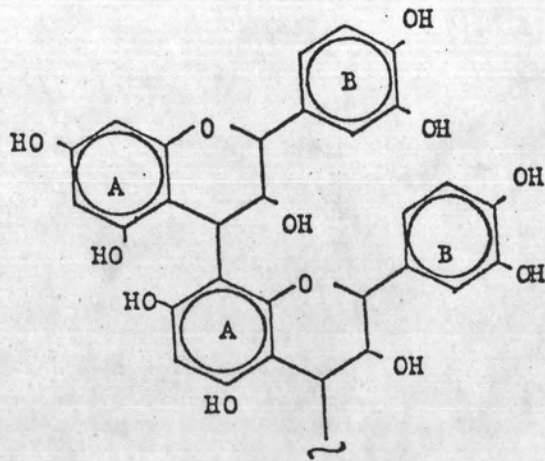


R = H or OH

n. biflavanols

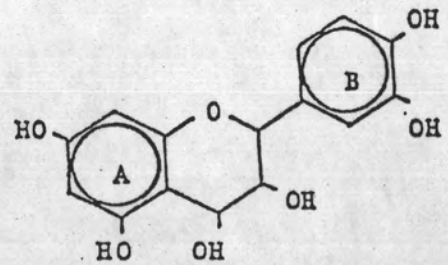


n. flavan-3-ol
(catechin)



etc.

n. bark condensed tannin



n. flavan-3,4-diol
(leucoanthocyanidin)

ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างคอนเดนซ์แทนนิน

เนื่องจากความสลับซับซ้อนในโครงสร้างของโมเลกุลและความลำบากในการแยกคอนเดนซ์แทนนินให้เป็นสารบริสุทธิ์จากสารที่สกัดได้ตามธรรมชาติ ทำให้รายละเอียดเกี่ยวกับสมบัติทางเคมียังเป็นปริศนาและไม่สมบูรณ์นัก อย่างไรก็ตามมีการวิเคราะห์พบว่าคอนเดนซ์แทนนินในเปลือกไม้ั้นประกอบด้วย โครงสร้างหลัก คือ ฟลาโวนอยด์ โมโนเมอร์ (flavonoid monomer) ซึ่งเป็นโมโนเมอร์ที่มีคาร์บอน 15 อะตอม มีโครงสร้างเป็น $C_6-C_3-C_6$ ซึ่ง C_6 หัวและท้ายมีโครงสร้างแบบเบนซิน ส่วน C_3 ตรงกลางอาจมีโครงสร้างแบบเป็นสายอะลิฟาติก (aliphatic chain) หรือเป็นแบบเบนโซไพแรน (benzopyran) ก็ได้ (16) Knowles และ White (17) และ Houwink และ Salomon (18) พบว่าคอนเดนซ์แทนนินมีโครงสร้างพื้นฐานที่ประกอบด้วยกลุ่มเรซอร์ซินอล (resorcinol group) และกลุ่มฟลอโรกลูซินอล (phloroglucinol group) ซึ่งเชื่อมด้วยกลุ่มคาร์บอนแบบอะลิฟาติกสั้น ๆ เข้ากับกลุ่มแคเทชอล (catechol) และไพโรแกลลอล (pyrogallol) ในปริมาณที่เท่า ๆ กัน นอกจากนี้ส่วนประกอบที่แน่นอนของการสกัดแทนนินจากพืชจะผันแปรไปตามชนิดพืชที่นำมาสกัดด้วย

Drewes et al. (19) ได้วิจัยและสรุปว่า ไดเมอร์ (dimer) ของคอนเดนซ์แทนนินจากเปลือกไม้มีโมซา มีลักษณะเป็นไบฟลาวานอล (biflavonols) ดังภาพที่ 2.2ก สำหรับสูตรโครงสร้างของคอนเดนซ์แทนนินที่เป็นโมเลกุลใหญ่ ๆ ของเปลือกไม้มีโมซา ยังไม่มีการพิสูจน์แต่เชื่อว่าสูตรโครงสร้างในทำนองเดียวกับไบฟลาวานอล

สูตรโครงสร้างของคอนเดนซ์แทนนินในเปลือกไม้สกุลสน ซึ่งมีการพิสูจน์โครงสร้างอย่างแน่นอนแล้ว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 พบว่าโมโนเมอร์ของแทนนินในเปลือกไม้สกุลสนนี้ประกอบด้วย ฟลาแวน-3-โอล (flavan-3-ol) ดังภาพที่ 2.2ข ซึ่งมีไฮดรอกซิล (OH) อยู่ 5 หมู่ และการเรียงตัวที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ 3 อาจแตกต่างกันในแต่ละโมโนเมอร์ ในแต่ละชนิดของไม้ดังกล่าวที่มีการค้นพบตามภาพที่ 2.2 ค

นอกจากนี้นักวิจัยหลายท่านยังพบว่า แทนนินในเปลือกพวงยูคาลิปตัส โกงกาง ประสัก มีโมโนเมอร์ประเภท ฟลาแวน-3, 4-ไดโอล (flavan-3, 4-diol) ดังภาพที่ 2.2ง (20) (21) (22) (23)

จากการทดลองแยกและสังเคราะห์สาร ตลอดจนการทำปฏิกิริยาเคมีของสารไพโรแอนโทไซยานินจากพืช (plant proanthocyanidins) หลายชนิด ชี้ให้เห็นถึงลักษณะการรวมตัวกันของโมโนเมอร์เชิงเส้น เพื่อเกิดเป็นคอนเดนซ์แทนนินว่าควรมีลักษณะการรวมตัวกันแบบ

โพลิเมอร์เชิงเส้น (linear polymer) โดยมีการเชื่อมกันของโมโนเมอร์ระหว่างตำแหน่งที่ 4 ของฟลาแวน-3-โอล หรือฟลาแวน-3, 4-ไดโอล หนึ่งหน่วยกับตำแหน่งที่ 6 หรือ 8 ของอีกหนึ่งหน่วย (19) (24) (25) (26) (27)

2.1.3 สมบัติของแทนนิน

2.1.3.1 สมบัติทั่วไปของแทนนิน (28) (29) (30)

1. แทนนินสามารถละลายน้ำ แอลกอฮอล์ อะซิโตนและไฟรีดีน แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายไขมัน (fat solvent) เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม
2. เป็นสารพวกอสัณฐาน ยากแก่การทำให้บริสุทธิ์
3. ส่วนมากแทนนินไม่สามารถตกผลึกได้
4. เป็นสารที่ให้ความฝาด
5. แทนนินชนิด ไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนินจะให้สีน้ำเงินดำ (dark blue) เมื่อทำปฏิกิริยากับเกลือเฟอร์ริก (ferric salt) ใช้ในอุตสาหกรรมทำหมึก ส่วนคอนเดนซ์-แทนนินจะให้สีเขียวดำ (greenish black) ใช้ในการย้อมแหและอวน
6. ส่วนมากแทนนินจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำกับโปรตีน เช่น เจลาติน (gelatin)
7. ในสารละลายต่างแทนนินและอนุพันธ์ (derivative) ของแทนนินจะดูดออกซิเจนทำให้สีเข้มขึ้น
8. แทนนินสามารถตกตะกอนจากสารละลายได้โดยใช้เกลือของโลหะ เช่น copper acetate, lead acetate, stannous chloride
9. แทนนินจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายด้วยสารเคมีต่าง ๆ เช่น ด่างทับทิม สารละลายไอโอดีน

2.1.3.2 สมบัติของความฝาด (28)

สารที่ทำให้เกิดความฝาด คือ โพลิเมอร์ (polymeric) ของสารประกอบที่มีกลุ่มฟีนอลและแคเทชอลหรือฟลาโวนอล ซึ่งมีมวลโมเลกุลสูง ๆ เนื่องจากสามารถเกิด cross linking ระหว่างไกลโคโปรตีนกับโปรตีน ทำให้การหล่อลื่น (lubricating action) ใน

ปากลดลง ส่วนคอนเดนซ์แทนนินชนิดลิวโคแอนโทไซยานินที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ๆ จะไม่เกิด cross linking ของไกลโคโปรตีนกับโปรตีนทำให้ไม่เกิดรสฝาด ในผลไม้จะมีแทนนินพวกฟลาโวนอล จะเกิดการโพลีเมอร์ไรซ์เชชันเป็นลิวโคแอนโทไซยานิน และมีมวลโมเลกุลใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่งเมื่อผลไม้สุก ลิวโคแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนไปเป็นตะกอนแข็งไม่สามารถเกิด cross linking ระหว่างไกลโคโปรตีนกับโปรตีนได้อีกต่อไป ดังนั้นผลไม้สุกจึงมีรสฝาดน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย แทนนินที่มีโพลีเมอร์ไรซ์เชชันสูง ๆ จะเกิด cross linking มากเกินไปเกิดเป็นตะกอนแข็งและไม่มีรสฝาด เพราะฉะนั้นความฝาดมากที่สุดควรมีขนาดโมเลกุลพอควรไม่เล็กหรือใหญ่เกินไป

ปริมาณและชนิดของแทนนินในพืชจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของพันธุ์พืช ความแก่อ่อน อากาศที่ปลูก ฤดูกาล เกือบแรงแห่งธาตุอาหาร แหล่งที่ปลูก และ ช่วงการเจริญเติบโต โดยทั่วไปแทนนินอยู่ในกลุ่มของสารที่ทำให้เกิดความฝาดซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโปรตีนที่ผิวหนังได้ ความฝาดนั้นนอกจากแทนนินแล้วยังมีสารอื่น ๆ อีกเช่น เกลือของพวกโลหะอลูมิเนียม โครเมียม สังกะสี แคลเซียม แมกนีเซียม สารดีไฮเดรตติง (dehydrating agent) เช่น เอซิลแอลกอฮอล์ อะซีโตน กลีเซอริน มีนเนอร์ลแอซิด เช่น ฮาโลจีเนตเตทอะซิติคแอซิด

2.1.3.3 ผลการรวมโปรตีนและแทนนิน (28) (31)

การรวมกันระหว่างโปรตีนและแทนนินมีผลหลายอย่างต่อผลิตภัณฑ์หนังที่เป็นประโยชน์ ดังนี้

1. สามารถแสดงความฝาดโดยเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีนและแทนนิน
2. ก่อให้เกิดการตกตะกอนในไวน์ น้ำผลไม้ และ ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ อาศัยหลักการนี้ทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม เช่น ไวน์ น้ำผลไม้ มีสีที่ใสขึ้น กระบวนการที่เกิดคือ เดิมสารพวกโปรตีน เช่น เจลาตินเพื่อให้ทำปฏิกิริยากับแทนนินที่อยู่ในผลิตภัณฑ์เกิดเป็นตะกอน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีลดลง เนื่องจากปริมาณแทนนินในผลิตภัณฑ์ลดลง
3. อาศัยหลักการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแทนนินกับโปรตีนนำไปใช้ในการฟอกหนังคือ เปลี่ยนหนังดิบ (hide) ไปเป็นหนังฟอก (leather) ซึ่งจะสร้างพันธะเอมิด

(amide bond) ระหว่างกลุ่มไฮดรอกซิลของกรดเพนอลลิกที่มีอยู่ในแทนนินกับกลุ่มไนโตรเจนของกรดอะมิโน (amino acid) ที่มีอยู่ในโปรตีน

2.1.4 แหล่งแทนนิน

โดยทั่วไปจะพบแทนนินอยู่ในพืชชนิดต่าง ๆ โดยมีอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ใบ ลำต้น ราก ผล เปลือก แต่คอนเดนซ์แทนนินจะพบในพืชบางชนิดเท่านั้น (32) ปริมาณแทนนินจะผันแปรไปตามชนิดของพืช แม้ในพืชชนิดเดียวกัน แต่อยู่ต่างถิ่นหรืออายุต่างกัน หรือแม้แต่ในต้นเดียวกันแต่อยู่ต่างส่วนกัน ก็ยังมีปริมาณแทนนินที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.1 ตารางที่ 2.2 และ ตารางที่ 2.3

ในปัจจุบันแหล่งใหญ่ของการสกัดแทนนินเป็นอุตสาหกรรมอยู่ในประเทศอาร์เจนตินา ออฟริกาใต้ บราซิล และปารากวัย การสกัดทำจากเนื้อไม้ของไม้เคบราซอ เช่น *Schinopsis lorentzii* และ *schinopsis balansae* ในอาร์เจนตินา และปารากวัย และเปลือกไม้มีโมซา เช่น *Acacia mollissima* ในแอฟริกาใต้และบราซิล (33) ส่วนไม้ชนิดอื่น ๆ ที่นับว่าเป็นแหล่งแทนนินที่รู้จักกันดี ได้แก่ ไม้ก่อ ในอเมริกาเหนือและยุโรป และ ไม้ในสกุลยูคาลิปตัส สัน และไม้ป่าชายเลนบางชนิด

ในประเทศอินเดีย สารสกัดแทนนินจากเปลือกไม้ได้จากป่าชายเลนพวกโกงกางและประสัก (*Bruguiera spp.*) ส่วนในบริเวณที่ราบต่ำและสูง ไม้ชนิดที่ถือว่าเป็นแหล่งแทนนิน ได้แก่ ไม้สาละ (*shorea robusta*) ไม้สีเสียดแก่น และ ไม้สมอ (34) (35)

ในประเทศออสเตรเลีย เปลือกไม้มีโมซา เช่น *Acacia mollissima* และ *Acacia mearnsii* นับเป็นแหล่งแทนนินที่สำคัญ มักจะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นกาวติดไม้แทนนินที่ได้จากเปลือกไม้สองชนิดนี้ ได้นำมาเป็นวัตถุดิบทางการค้าตั้งแต่กลางปี ค.ศ. 1974 แล้ว ปัจจุบันกาวที่ผลิตจากแทนนินมีโมซาได้นำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไม้อัดชนิดใช้งานภายนอกอาคารและแผ่นชั้นไม้อัดชนิดใช้เป็นไม้พื้นในประเทศออสเตรเลีย นอกจากนี้ไม้โครงสร้างชนิดไม้ประกับซึ่งใช้กาวแทนนินเป็นตัวประสานและใช้ความร้อนแบบคลื่นความถี่สูง (radio frequency heating) นั้น พบว่าภายใต้สภาวะของห้องปฏิบัติการได้ผ่านการทดสอบและยอมรับแล้วว่ามีความเหมาะสม (36)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณแก๊สจากเปลือกไม้ป่าชายเลนบางชนิดในท้องที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย จากการสกัดที่สภาวะต่าง ๆ (2)

ชนิด ไม้	ที่อยู่	อัตราส่วนเปลือกต่อน้ำ	อุณหภูมิ (°C)	แก๊ส-เปอร์มิลลิไฮด์ ^{1/}	แก๊ส ^{2/}
โกงกางใบเล็ก	สตูล	1:12	60	27.45	17.41
	ระนอง			28.51	18.22
	พังงา			28.35	18.10
	นครศรีธรรมราช			28.83	18.46
	จันทบุรี			26.62	16.78
โกงกางใบใหญ่	สตูล	1:12	60	26.30	16.54
	ระนอง			27.55	17.49
	พังงา			27.45	17.41
	นครศรีธรรมราช			27.63	17.55
	จันทบุรี			25.35	15.82
พังกาหัวส้ม	สตูล	1:8	70	23.10	14.11
	จันทบุรี			20.26	11.95
	สมุทรสาคร			18.83	10.86
ตะบูน	ระนอง	1:6	60	27.84	17.71
	พังงา			27.36	17.34
ลำแพน	นครศรีธรรมราช	1:6	60	25.00	15.55
	สมุทรสาคร			20.62	12.22
โปรงแดง	นครศรีธรรมราช	1:14	70	25.78	16.14
ถั่วดำ	นครศรีธรรมราช	1:6	70	21.84	13.15
ฝาดแดง	นครศรีธรรมราช	1:6	60	23.52	14.43
ประสักแดง	นครศรีธรรมราช	1:6	60	24.35	15.06
ตาตุ่มทะเล	นครศรีธรรมราช	1:6	70	16.48	9.07

1/ เปอร์เซ็นต์ตะกอนแก๊ส-เปอร์มิลลิไฮด์ เทียบกับน้ำหนักแห้งของเปลือก

2/ ปริมาณของแก๊ส-เปอร์มิลลิไฮด์ คำนวณจากสูตรของ Humpreys (4)

เปอร์เซ็นต์ปริมาณแก๊ส-เปอร์มิลลิไฮด์ = $0.76 \times$ เปอร์เซ็นต์ปริมาณตะกอนแก๊ส-เปอร์มิลลิไฮด์ -3.45

ตารางที่ 2.2 ปริมาณแทนนินจากเปลือกไม้โกงกางใบใหญ่ ในถิ่นต่าง ๆ ของโลก (11)

ประเทศ	ลักษณะตัวอย่าง	แทนนิน (%)	สารที่ไม่ใช่แทนนิน (%)
แอฟริกาตะวันออก	อายุ		
	15 - 20 ปี	42	13
	40 - 50 ปี	41	14
	80 - 100 ปี	45	12
ฟิลิปปินส์	-	26	-
มาเลเซีย	-	28	11
อินเดีย	-	24	13
ปาปัว	ความโต		
	น้อยกว่า 18 นิ้ว		
	Butt	16	10
	Half-height	18	11
	22 - 36 นิ้ว		
	Butt	23	11
	Half-height	24	11
	มากกว่า 38 นิ้ว		
Butt	24	11	
	Half-height	25	11
บอร์เนียว	-	20	-

ตารางที่ 2.3 Tannin content of some mangrove barks (2)

No.	Kangrove species	Tannin	Reaction of HCl precipitation	Formaldehyde coloration	Reaction of acetic precipitation	Acid-lead acetate coloration
1.	<i>Rhizophora apiculata</i>	17.16	+	-	-	+
2.	<i>Rhizophora mucronata</i>	20.55	+	-	-	+
3.	<i>Bruguiera parviflora</i>	3.41	+	-	-	±
4.	<i>Bruguiera cylindrica</i>	6.76	+	-	-	+
5.	<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	21.65	+	-	-	+
6.	<i>Ceriops tagal</i>	13.85	+	-	-	+
7.	<i>Xylocarpus granatum</i>	12.26	+	-	-	+
8.	<i>Xylocarpus molluccensis</i>	12.93	+	-	-	+
9.	<i>Excoecaria agallocha</i>	-	+	-	-	±
10.	<i>Sonneratia alba</i>	6.90	+	±	+	±
11.	<i>Heritiera formes</i>	9.32	+	±	+	±
	Catechol type		+	-	-	+
	Pyrogallol type		+(-)	+	+	-

Note : Tested by Lowenthal Method

ในปัจจุบัน กาวซึ่งผลิตจากสารแทนนินที่สกัดจากไม้มิโมซาของแอฟริกาใต้ได้นำมาใช้ในอุตสาหกรรมกันอย่างกว้างขวาง ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1964 โดยการนำมาใช้ในการผลิตไม้อัดชนิดใช้งานภายนอกอาคาร แผ่นชั้นไม้อัดชนิดใช้งานภายนอกอาคารและแผ่นบล็อกบอร์ด (block board) นอกจากนี้ยังใช้เป็นกาวอัดเยื่อสำหรับการเข้าไม้ และรวมทั้งการผลิตไม้ประกบที่ใช้เป็นไม้โครงสร้างอีกด้วย ได้มีการพัฒนา กาวแทนนินฟอร์มัลดีไฮด์จากไม้มิโมซา โดยใช้เป็นสารปรับปรุงสมบัติ (fortifier) สำหรับกาวแป้ง (starch adhesives) เพื่อใช้ในการผลิตกล่องลูกฟูกที่ต้องการความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศ (weather-resistant corrugated containers) (37) (38) (39) (40)

Kulvik (41) ได้รายงานว่าการใช้สารสกัดแทนนินที่ได้จากเปลือกไม้สกุลก่อ เช่น *Castanea* spp. ผสมลงในกาวสังเคราะห์ฟินอลเพื่อผลิตไม้อัดชนิดใช้งานภายนอกอาคารนั้น สามารถใช้ทดแทนกาวฟินอลได้มากกว่าร้อยละ 50 นอกจากนี้ สารสกัดแทนนินจากเนื้อไม้และกระพี้ของไม้ก่อ ยังใช้เป็นวัตถุทางการค้าที่สำคัญที่สุดสำหรับไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนินอีกด้วย สารสกัดแทนนินของไม้ชนิดนี้ส่วนใหญ่ได้จากไม้ก่อของประเทศ ฝรั่งเศส และอิตาลี การผลิตเป็นการค้านี้มักทำเป็นผงแห้ง (spray dried powder) เพื่อสะดวกในการเก็บและประหยัดในการขนส่ง (41) (42)

Coppens et al. (40) รายงานว่าแหล่งเปลือกสำหรับการผลิตแทนนินเป็นอุตสาหกรรมของประเทศบราซิลอยู่ในสวนป่า *Acacia negra* (*Acacia mollissima*) ที่ Rio Grande de Sul และป่าโกงกางธรรมชาติ (*Rhizophora mangle*) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

แทนนินเคบราซอจากประเทศแอฟริกาใต้และบราซิล นับเป็นสินค้าที่สำคัญในตลาดยุโรป โดยนำแทนนินชนิดนี้ไปเป็นส่วนประกอบของกาวลวณ ๆ หรือผสมกับกาวสังเคราะห์ชนิดอื่น ในโรงงานผลิตกาวสำหรับติดไม้และโรงงานผลิตแผ่นไม้ประกบ โดยเฉพาะในประเทศฟินแลนด์ ต้องใช้แทนนินเคบราซอนี้ถึงประมาณ 2,500 ตันต่อปี เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมผลิตไม้อัด (40) (43)

ความต้องการของตลาดโลกสำหรับการสกัดแทนนินธรรมชาตินั้น Scharenberg (33) พบว่าในปี ค.ศ. 1976 มีความต้องการสกัดแทนนินประมาณ 252,538 เมตริกตัน โดย

แยกเป็นแทนนินจากไม้สกุลก่อประมาณ 39,271 เมตริกตัน แทนนินจากไม้เคบราซอประมาณ 104,129 เมตริกตัน และแทนนินจากไม้มิโมซ่าอีกประมาณ 109,129 เมตริกตัน

2.1.5 การตรวจสอบัติของแทนนิน

Hais และ Macek (44) ใช้สารทดสอบวานิลลินในกรดเกลือเข้มข้น (Vanillin-conc. HCl.) ตรวจสอบประเภทฟีนอลิกที่เกี่ยวข้องกับฟลาโวนอยด์นับว่าได้ผลดี โดยเฉพาะการเกิดสีแดง (crimson) ที่เชื่อว่าควรมีฟลอรอกลูซินอลนิวเคลียส (phloroglucinol nucleus) ในสารประกอบที่ทดสอบ ซึ่งเป็นการอ้างอิงถึงคอนเดนซ์แทนนินนั่นเอง

Norman (45) รายงานการตรวจหาแทนนินไว้ว่า สารทดสอบที่ใช้คือ สารละลายเจลาติน (gelatin solution) หรือสารละลายเกลือเจลาติน (gelatin salt solution) เกิดปฏิกิริยาโดยแทนนินจะตกตะกอนพวกโปรตีนได้เป็นสารเชิงซ้อนโปรตีน-แทนนิน (protein-tannin complex) การเติมสารละลายเกลือ (salt solution) ลงไปเพื่อเร่งการตกตะกอนของโปรตีน (salting out) จะทำให้เห็นตะกอนชัดขึ้น ถ้าเกิดตะกอนขึ้นเมื่อเติมแต่เพียงสารละลายเกลือ แสดงว่าเป็นผลบวกที่ผิดพลาด (false-positive) สามารถทดสอบยืนยันได้จากการใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (ferric chloride solution) ถ้าได้ผลบวกจะเกิดเป็นสีน้ำเงิน ดำ-น้ำเงิน เขียว หรือเขียวอมน้ำเงิน และอาจมีตะกอนเกิดขึ้นด้วยการเกิดสีนี้เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเฟอร์ริกคลอไรด์และหมู่ฟีนอลิกของแทนนิน ถ้ามีฟีนอลิกสองหมู่จะได้สีเขียว ถ้ามีสามหมู่จะได้สีน้ำเงิน สารประกอบประเภทฟีนอลิก หรือโพลีฟีนอลิกที่นอกเหนือจากแทนนินก็เกิดสีได้กับเฟอร์ริกคลอไรด์ แต่ไม่เกิดตะกอนกับเจลาติน หรือสารละลายเกลือเจลาติน สารเหล่านี้จึงจัดอยู่ในพวกแทนนินเทียม (pseudotannins) ได้แก่สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าไฮโดรไลซ์เซบิลแทนนินและคอนเดนซ์แทนนิน เช่น gallic acid catechins chlorogenic acid ipecacuanhic acid ซึ่งจะให้ผลลบกับสารละลายเจลาตินหรือสารละลายเกลือเจลาตินด้วยเช่นกัน

Robinson (16) พบว่าคอนเดนซ์แทนนินเมื่อต้มกับกรดเจ็องจางจะได้โพลบาฟิน (phlobaphenes) หรือแทนนินเรด (tannin-red) ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ที่ไม่ละลายมีสีแดง-น้ำตาล นอกจากนี้คอนเดนซ์แทนนินยังสามารถทำปฏิกิริยากับโบรมีนเกิดตะกอนเบาสีอ่อนขึ้นได้ (46) อันอาจเป็นแนวทางในการตรวจหาคอนเดนซ์แทนนินได้อีกทางหนึ่ง ยิ่งกว่านั้น Claus et al.

(47) พบว่าคอนเดนซ์แทนนินเท่านั้นที่สามารถเกิดตะกอนกับโบรมีนได้ แต่ไฮโดรไลซ์เซเบิลแทนนินไม่สามารถเกิดตะกอนกับโบรมีน

2.1.6 การตรวจปริมาณแทนนิน

ในการหาปริมาณสารแทนนินซึ่งเป็นโพลีฟีนอลนั้น โดยปกติมีอยู่สองวิธี วิธีแรกอาศัยวิธีการตามแบบของ American Leather Chemists Association (8) ด้วยการใส่สารละลายแทนนินทำปฏิกิริยากับผงหนัง (hide powder) ให้เกิดตะกอนขึ้น วัตถุประสงค์ของวิธีนี้เพื่อนำแทนนินไปใช้ในการฟอกหนังเป็นส่วนใหญ่ ส่วนวิธีที่สองเรียกว่า Stiasny (7) เป็นวิธีที่ใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ในกรดเกลือ (formaldehyde-HCl) ไปตกตะกอนแทนนินออกมา วิธีนี้จะทำให้ทราบถึงปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดที่สามารถทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ เพื่อใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์กาวต่อไป

Hillis และ Urbach (48) พบว่า เมื่อให้ความร้อนต่อสารสกัดโพลีฟีนอลของไม้ปาชายเลน และของไม้มิโมซากับฟอร์มัลดีไฮด์ภายใต้สภาวะต่าง ๆ กัน พบว่าฟอร์มัลดีไฮด์จะทำปฏิกิริยากับสารสกัดมากที่สุด ที่ความเป็นกรด ต่าง 8 และน้อยที่สุดที่ความเป็นกรด ต่าง 4.5 และแนะนำว่าการตรวจการทำปฏิกิริยาของฟอร์มัลดีไฮด์กับโพลีฟีนอลจากไม้หลาย ๆ ชนิด ที่ความเป็นกรด ต่าง 8 ด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง น่าจะเป็นการวัดประสิทธิภาพของโพลีฟีนอลเพื่อใช้เป็นกาวติดไม้ได้ดีกว่าการหาแบบ Stiasny

Manas (49) รายงานว่า ในการพิจารณาการใช้ประโยชน์จากสารสกัดแทนนินนั้น ควรพิจารณาหาปริมาณแทนนินจากวิธี Stiasny เพราะจะทราบถึงสารแทนนินจริง ๆ ที่ทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ เหมาะต่อการนำไปใช้สังเคราะห์กาวติดไม้

ในประเทศที่มีอุตสาหกรรมการผลิตแทนนิน มักจะมีการกำหนดมาตรฐานของการทดสอบแทนนินไว้ เช่น ในอินเดียมี India standard ซึ่งกำหนดวิธีการทดสอบไว้ใน IS : 5466-1969 (1970) อังกฤษมี Society of Leather Technologists & Chemists กำหนดวิธีการทดสอบไว้ใน SLT (SLTC, 1981)

2.2 การแยกสกัดสารจากของแข็งด้วยของเหลว (50)

การสกัดของแข็งด้วยของเหลวมี 2 ลักษณะ คือ

1. โดยใช้ตัวทำละลายสกัดตัวถูกละลายที่อยู่ในวัตถุของแข็งออกมาอยู่ในตัวทำละลาย เช่น การสกัดเมล็ดน้ำมัน

เนื่องจากการใช้การสกัดของแข็งด้วยของเหลวมีหลายสาขา จึงรู้จักกันหลายชื่อ เช่น washing (การล้าง) percolation (เทตัวทำละลายร้อนลงบนของแข็ง เช่น กาแฟ) decoction (จุ่มอนุภาคในตัวทำละลายเดือด เช่น การทำชาหมักในโรงต้มสุรา) maceration (จุ่มอนุภาคลงในตัวละลายเย็น เช่น สมุนไพรใช้ทางเภสัชศาสตร์) elution (การนำตัวถูกละลายที่ติดอยู่ที่ผิวของของแข็งกลับคืนมา เช่น โครมาโตกราฟี) และอื่น ๆ

2. โดยใช้ตัวทำละลายทำปฏิกิริยากับวัตถุของแข็งที่สำคัญ เพื่อผลิตสารประกอบที่มีสารละลายได้ในตัวทำละลาย เช่น การทำสินแร่

การสกัดของแข็งด้วยของเหลวใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ กันอย่างกว้างขวาง ได้แก่

อุตสาหกรรมอาหาร	: น้ำตาลจากรากหัวผักกาด หรืออ้อย โดยใช้น้ำร้อน : น้ำมันจากเมล็ดพืช, ฝ้าย, ถั่วลิสง โดยใช้เบนซิน หรือตัวทำละลายที่มีคลอรีนอยู่ : กาแฟหรือชา โดยใช้ตัวทำละลายที่มีคลอรีนอยู่
อุตสาหกรรมยา	: อัลคาลอยด์, วิตามิน ยาปฏิชีวนะที่ได้จากสมุนไพร หรือรากไม้
อุตสาหกรรมเครื่องหอมและเครื่องปรุง	: เครื่องปรุงจากสมุนไพรและรากไม้
กระบวนการสินแร่	: ทองแดง ทองและอื่น ๆ

2.2.1 ขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการสกัด

1. การเตรียมสารที่จะทำการแยกสกัด ให้มีสภาพที่สามารถนำไปแยกสกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งอาจรวมถึงการบด การไม่ การลดขนาด หรือเปลี่ยนสภาพใหม่
2. ใช้วิธีการที่เหมาะสมเพื่อให้มีการสัมผัสระหว่างตัวทำละลายกับของแข็ง ทำเพื่อให้เกิดการถ่ายเทตัวถูกละลายที่มีในเนื้อของของแข็ง (ส่วนประกอบที่ละลายได้) ไปยังตัวทำ

ละลาย หลังจากการสัมผัสกันแล้ว จะแยกสารออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งประกอบด้วยตัวทำละลาย อยู่กับตัวถูกละลายซึ่งแยกออกจากของแข็ง เรียกว่า "overflow" (light phase) อีกส่วน หนึ่งประกอบด้วยของแข็งอยู่กับตัวถูกละลายที่สกัดไม่หมดและมีตัวทำละลายปนอยู่มาก เรียกว่า "underflow" (heavy phase)

3. นำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่โดยแยกออกจากตัวถูกละลาย ซึ่งอาจใช้วิธีการกลั่น

2.2.2 กลไกของการสกัด

การถ่ายเทตัวถูกละลายจากของแข็ง ไปยังของเหลวจะเกิดขึ้นสอดคล้องกับขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

ขั้นที่ 1 ถ้าตัวถูกละลายมีอยู่ในช่องว่างที่ถูกล้อมรอบด้วยกลุ่มของวัตถุ เมื่อตัวทำละลายจะแพร่เข้าไปข้างในเพื่อจับตัวถูกละลายแล้วจึงแพร่ออกมา เพื่อให้การสกัดเร็วขึ้น อาจทำได้โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวทำละลายกับอนุภาคของของแข็ง เมื่อของแข็งมีโครงสร้างเป็นห้อง ๆ (cellular structure) การสกัดจะเกี่ยวข้องกับการออสโมซิสของตัวถูกละลายผ่านผนังเซลล์ ถ้ามีการบิดอาจทำให้ผนังเซลล์แตกออก ซึ่งทำให้สกัดได้สารที่ไม่ต้องการออกมาด้วย จึงเกิดปัญหาได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่บริสุทธิ์

ขั้นที่ 2 ขั้นนี้เป็น การแพร่ของตัวถูกละลาย หรือ สารละลายจากด้านในของกลุ่มของวัตถุ ฝอยออกไปยังขอบนอกของอนุภาค ขั้นตอนนี้ถูกควบคุมโดยการแพร่

ขั้นที่ 3 ขั้นนี้เป็นกระบวนการถ่ายเทมวลสารของตัวถูกละลายที่อยู่ในอนุภาค ออกสู่สารละลายทั้งหมด

2.2.3 วิธีการแยกสกัดแบบต่อเนื่อง

1. Single contactor หรือ Single stage ของแข็งจะถูกป้อนเข้ามาด้วย อัตราการไหล L_0 ในขณะที่ตัวทำละลายบริสุทธิ์จะไหลสวนทางกับของแข็งที่ป้อนเข้ามาด้วยอัตราการไหล V_2 สารละลายที่ได้จะออกทาง Overflow ด้วยอัตราการไหล V_1 ส่วนของแข็งที่เหลือจากการสกัดจะออกทาง Underflow ด้วยอัตราการไหล L_1 ดังภาพที่ 2.3 ก โดยทั่วไปการนำวัตถุที่ละลายได้กลับคืนมาต่ำ อีกทั้งสารละลายที่ได้เจือจาง เทคนิคนี้จึงไม่ใช้ในอุตสาหกรรม

2. Simple multiple contact หรือ Multistage cocurrent (parallel) ของแข็งจะถูกป้อนเข้ามาด้วยอัตราการใช้ไหล L_0 พร้อมกับตัวทำละลายบริสุทธิ์ด้วยอัตราการใช้ไหลคงที่ V_1 ในขั้นที่ 1 ได้สารละลายออกจาก Overflow ส่วนของแข็งที่เหลือทาง Underflow จะถูกส่งต่อไปขั้นที่ 2 ด้วยอัตราการใช้ไหล L_1 เพื่อสัมผัสกับตัวทำละลายบริสุทธิ์ด้วยอัตราการใช้ไหล V_2 จากนั้นของแข็งที่เหลือทาง Underflow จะถูกส่งต่อไปขั้นที่ 3 ทำในลักษณะนี้จนถึงขั้นที่ n ดังแสดงในภาพที่ 2.3 ข วิธีนี้สารละลายที่ได้ยังคงเจือจางอยู่

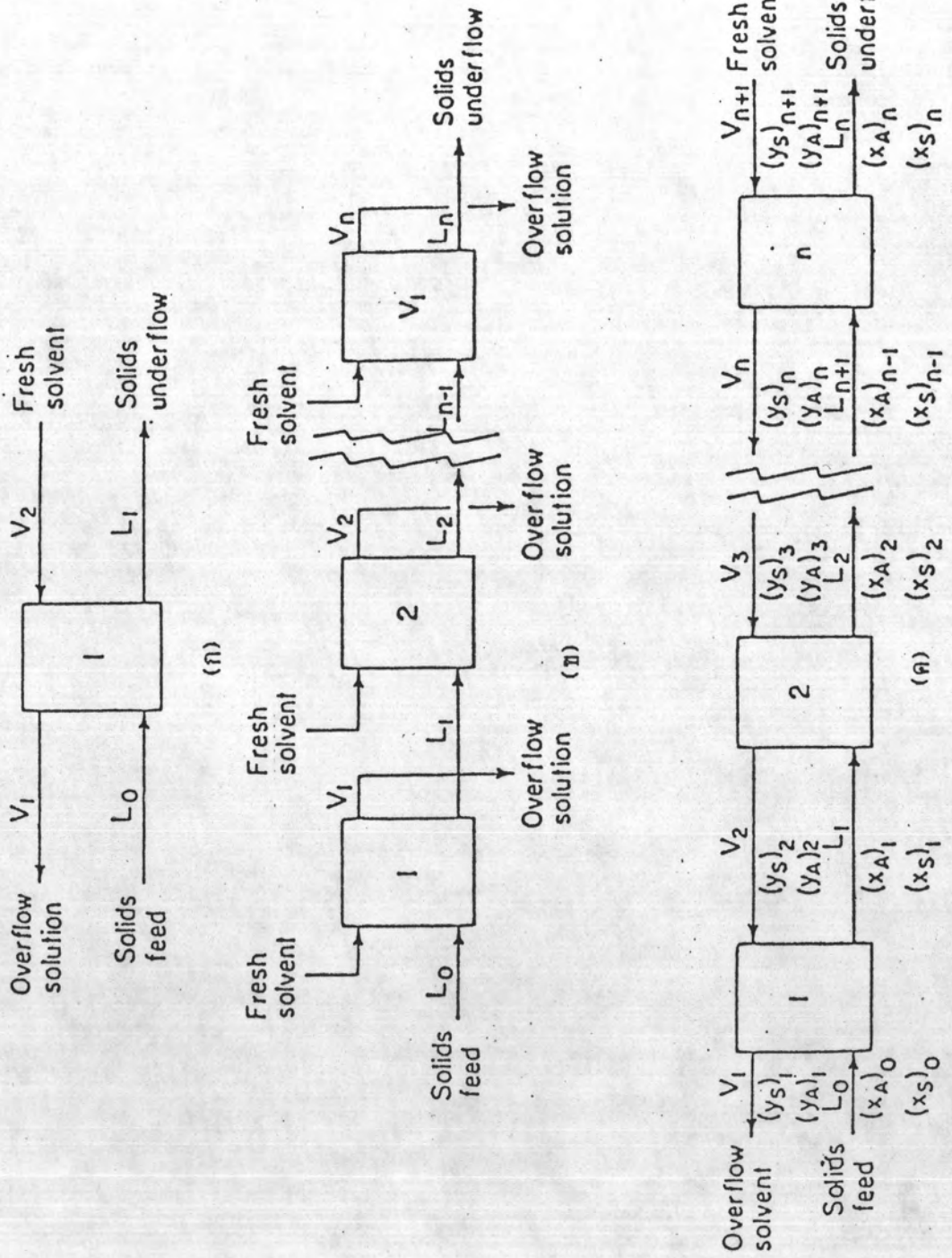
3. Continuous countercurrent multistage ของแข็งและตัวทำละลายจะไหลสวนทางกันด้วยอัตราการใช้ไหล L_0 และ V_{n+1} ในขั้นที่ 1 และ n ตามลำดับ องค์ประกอบสัดส่วนที่อัตราการใช้ไหล L_0 ของตัวถูกละลาย (A) และตัวทำละลาย (S) เป็น $(x_A)_0$ และ $(x_S)_0$ ในขณะที่องค์ประกอบสัดส่วนอัตราการใช้ไหล V_{n+1} ของตัวถูกละลาย และตัวทำละลายเป็น $(y_S)_{n+1}$ และ $(y_A)_{n+1}$ จะได้สารละลายออกจาก Overflow ในขั้นที่ 1 ด้วย อัตราการใช้ไหล V_1 โดยมีองค์ประกอบสัดส่วนที่อัตราการใช้ไหล V_1 ของตัวถูกละลาย และตัวทำละลายเป็น $(y_S)_1$ และ $(y_A)_1$ ส่วนของแข็งที่เหลือออกทาง Underflow ในขั้นที่ n ด้วย อัตราการใช้ไหล L_n โดยมีองค์ประกอบสัดส่วนที่อัตราการใช้ไหล L_n เป็น $(x_A)_n$ และ $(x_S)_n$ ดังในภาพที่ 2.3 ค สารละลายที่ได้สัมผัสครั้งสุดท้ายกับของแข็งบริสุทธิ์ที่ป้อนเข้ามา และของแข็งที่ถูกสกัดแล้วสัมผัสครั้งสุดท้ายกับตัวทำละลายบริสุทธิ์ระบบนี้จึงได้สารละลายที่มีความเข้มข้นสูง

2.2.4 วิธีการวิเคราะห์หาชั้นอุดมคติแบบ Countercurrent multistage ชั้นอุดมคติ

โดยปกติโมโนตันของ "ชั้นอุดมคติ" หรือ "ชั้นสมดุล" ในการถ่ายเทมวลสารจะนำมาใช้ แต่ในกรณีของ leaching "ชั้นอุดมคติ" คือ ชั้นผลลัพธ์ที่ออกจากชั้น "light phase", V ซึ่งเป็นองค์ประกอบเดียวกันกับสารละลายที่ยึดเกาะกับของแข็งออกจากชั้น "heavy phase", L

อัตราส่วนของจำนวนชั้นอุดมคติต่อจำนวนชั้นที่แท้จริง จำเป็นต้องทำให้มีผลลัพธ์เดียวกัน เรียกว่า ประสิทธิภาพชั้นทั้งหมด

$$\text{จำนวนชั้นที่แท้จริง} = \frac{\text{จำนวนของชั้นอุดมคติ}}{\text{ประสิทธิภาพชั้นทั้งหมด}}$$



ภาพที่ 2.3 แสดงวิธีการแยกสกัดแบบต่าง ๆ

ประสิทธิภาพขั้นนี้เกี่ยวข้องกับเวลาสัมผัสระหว่างของเหลวและของแข็งในแต่ละชั้น ซึ่งได้ข้อมูลจากการทดลอง

ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของการทำงานในลักษณะ Countercurrent multistage แบบอุดมคติมีวิธีการดังต่อไปนี้

2.2.4.1 การตั้งสมมติฐาน (Hypothesis)

มีการตั้งข้อสมมติดังต่อไปนี้

1. ระบบประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

- ของแข็งที่ไม่ละลายและเจือย (กาก)
- ส่วนที่ละลายตัวถูกละลายที่มีอยู่ในของแข็งอาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง
- ตัวทำละลายซึ่งละลายเฉพาะตัวถูกละลาย

2. ตัวถูกละลายไม่ถูกดูดซับโดยของแข็งที่เจือย (กาก)

3. ไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นระหว่างตัวถูกละลายและตัวทำละลาย

4. การคำนวณในระบบของแข็ง-ของเหลวขึ้นกับมโนทัศน์ของขั้นสมดุลหรือขั้นอุดมคติ

2.2.4.2 วิธีการวิเคราะห์

ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการสามเหลี่ยมมุมฉากในระบบต่อเนื่อง ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายใช้แทนสมดุลมวลสารและข้อมูลทางสมดุล

จากภาพที่ 2.4 สมการสมดุลมวลสารทั้งระบบเป็นดังนี้ คือ:-

$$\text{ทั้งหมด : } L_0 + V_{n+1} = L_n + V_1 \quad (1)$$

$$\text{ตัวถูกละลาย : } L_0(x_A)_0 + V_{n+1}(y_A)_{n+1} = L_n(x_A)_n + V_1(y_A)_1 \quad (2)$$

จากภาพที่ 2.5 ถ้าแสดงการไหลสุทธิ (net flow) จะได้ว่า :

$$L_{m-1} - V_m = L_m - V_{m+1} = \text{-----} = \Delta \quad (5)$$

ซึ่งสอดคล้องกับจุดบอกความแตกต่าง (point difference) สำหรับส่วนประกอบใด ๆ

$$L_{m-1}x_{m-1} - V_my_m = L_mx_m - V_{m+1}y_{m+1} = \text{-----} = \quad (6)$$

และ

$$(x) = \frac{L_{m-1}x_{m-1} - V_my_m}{L_{m-1} - V_m} \quad (7)$$

และ

$(x_A)_\Delta$, $(x_S)_\Delta$, $(x_C)_\Delta$ สามารถประมาณได้และเพราะฉะนั้นจุด Δ อาจถูกอนุมานได้

ลากเส้นตรงผ่าน x_0 และ y_1 (ภาพที่ 2.5) และลากเส้นตรงผ่าน x_n และ y_{n+1} เพราะฉะนั้นจุดที่เส้นตรงสองเส้นตัดกันคือ Δ

เริ่มต้นที่ขั้นที่ 1 ซึ่งเป็น "ขั้นอุดมคติ" จะทราบค่า y_1 ส่วน underflow L_1 อยู่บนเส้นโค้ง underflow และบนเส้น y_1C ที่จุดตัด ยกตัวอย่างเช่น จุด x_1

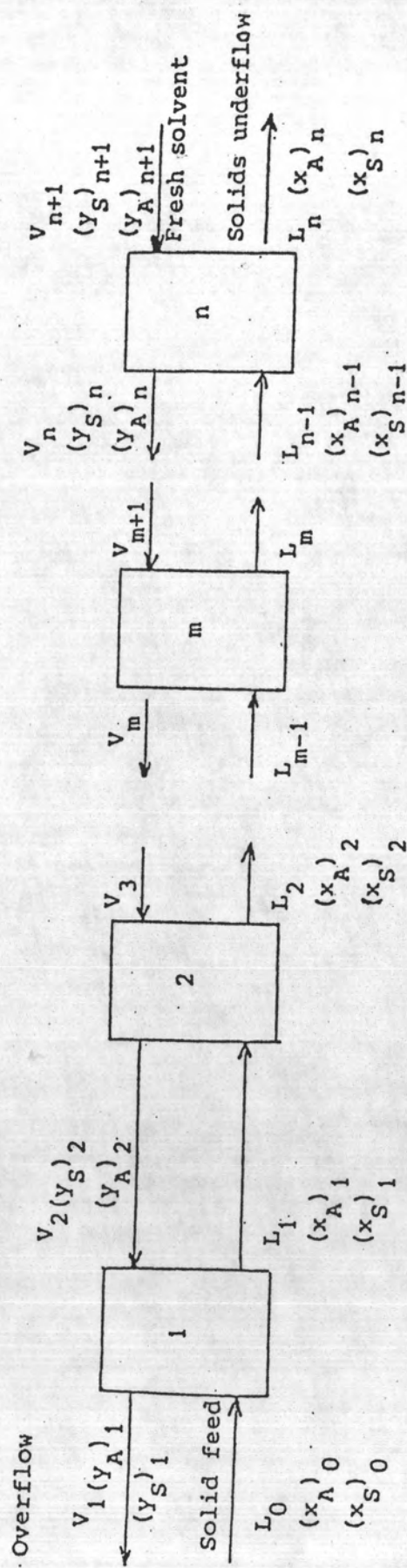
องค์ประกอบ y_2 ของเส้นทาง overflow V_2 ไหลจากขั้นอุดมคติ 2 ไปยังขั้นที่ 1 ซึ่งอยู่ด้านตรงข้ามกับมุมสามเหลี่ยม ใช้แทนบริเวณที่ไม่มีของแข็งอยู่และเส้นตรง x_1 จึงอยู่ที่จุดตัด

ทำแบบวิธีเดียวกันนี้ซ้ำต่อไปอีกจนกระทั่งองค์ประกอบของตัวถูกละลายทาง

underflow x_A เท่ากัน หรือน้อยกว่าองค์ประกอบของตัวถูกละลายที่ต้องการ $(x_A)_n$

จำนวนขั้นอุดมคติเท่ากับจำนวนของเส้นต่อเชื่อม (tie-lines)

เพื่อจะได้จำนวนขั้นที่แท้จริงจะต้องนำประสิทธิภาพขั้นทั้งหมดมาใช้



ภาพที่ 2.4 แสดงวิธีการแยกสกัดแบบ Counter-current multistage

2.3 ตัวทำลายลายในการสกัดแทนนินจากเปลือกไม้

ด้วยเหตุที่ในเปลือกไม้มีสารประกอบประเภทต่าง ๆ นอกจากแทนนินปนอยู่มากปริมาณของสารแต่ละชนิดมีไม่เท่ากัน การสกัดแทนนินเพื่อนำมาใช้ประโยชน์จำเป็นต้องพิจารณาถึงปริมาณของแทนนินในเปลือกไม้แต่ละชนิดด้วย เพื่อให้มีปริมาณมากพอ โดยสิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่ายน้อย รวมทั้งพิจารณาถึงความบริสุทธิ์และขนาดโมเลกุลของแทนนินที่เหมาะสมด้วย

การใช้น้ำและแอลกอฮอล์เป็นตัวสกัดที่มีสภาพขั้วสูงซึ่งเหมาะสมต่อการสกัดในทางอุตสาหกรรม เพราะมีราคาถูกเห็นถึงแม้จะละลายแทนนินออกมาได้ดี แต่ตัวทำลายทั้งสองนี้ก็สามารถละลายคาร์โบไฮเดรตบางชนิดออกมาด้วย จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพยายามศึกษาหาวิธีที่เหมาะสมในการสกัดและแยกสิ่งเจือปนจากแทนนิน นอกจากนั้นขนาดโมเลกุลของแทนนินที่แยกออกมาจากเปลือกไม้ ยังเป็นปัจจัยอีกประการหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง เพราะโครงสร้างของคอนเดนซ์แทนนินเป็นโพลีเมอร์ โพลีฟีนอล การเกิดคอนเดนซ์แทนนินจึงต้องเกิดจากการรวมตัวของโมโนเมอร์ โพลีฟีนอล (monomeric polyphenol) หลาย ๆ หน่วยมาจับรวมกันขึ้นกลายเป็นโมเลกุลใหญ่ และแทนนินในเปลือกแต่ละชนิดก็มีขนาดโมเลกุลต่างกันด้วย ดังนั้นถ้าแทนนินในเปลือกไม้ชนิดใดมีขนาดโมเลกุลใหญ่เกินไป ก็จะทำให้เกิดการใช้ประโยชน์ถูกจำกัดให้แคบลง

การใช้สารละลายต่างเป็นตัวสกัดแทนนิน จะได้ปริมาณสารที่ละลายในต่างซึ่งรวมทั้งแทนนินที่มีโมเลกุลใหญ่ และคาร์โบไฮเดรตมากกว่าใช้สารละลายที่เป็นกลาง สิ่งสำคัญก็คือแทนนินอาจเปลี่ยนโครงสร้างได้ในสารละลายที่เป็นต่าง (51) จนอาจเป็นการทำลายตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยา (reactive sites) ของแทนนินได้ ตัวอย่างการใช้สารละลายต่างเป็นตัวสกัดแทนนินจากเปลือกไม้เห็น ได้แก่ การทดลองของ Herrick และ Bock (52) และ Herrick และ Conca (53)

2.4 งานวิจัยที่ผ่านมา

กรรมวิธีการสกัดแทนนินจากเปลือกไม้และเนื้อไม้ พบว่าเป็นการยากที่จะกำหนดวิธีการให้เฉพาะเจาะจงลงไป เพราะโมเลกุลของแทนนินมีความสลับซับซ้อนและมีองค์ประกอบของโครงสร้างที่แตกต่างกันไปในแต่ละชนิด ถึงแม้จะเป็นชนิดเดียวกันแต่ก็อาจแตกต่างกันก็ยังมี ความผันแปรต่างกันออกไป ทำให้กรรมวิธีการสกัดซึ่งปฏิบัติต่อไม้ชนิดหนึ่งอาจไม่เหมาะสมกับไม้อีกชนิดหนึ่ง ดังนั้นจึงมีงานวิจัยเกิดขึ้นมากมาย โดยมีจุดประสงค์เหมือนกันคือ หาวิธีการที่เหมาะสม

แน่นอน ปรับปรุงศึกษาหาแนวทางที่ดี เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของการสกัดสูงต่อไปเรื่อย ๆ

ในปี ค.ศ. 1921 Harvey (54) ได้รวบรวมผลการหาปริมาณแทนนินในพืชต่าง ๆ รวมทั้งเปลือกไม้โกงกางในประเทศออสเตรเลีย สรุปได้ว่าเปลือกไม้โกงกางประกอบด้วย 2 ส่วนคือ เปลือกไม้ชั้นนอก (ross) และเปลือกไม้ชั้นในหรือเรียกทั่ว ๆ ไปว่าเปลือกไม้ ส่วนของ ross จะมีไม่เกิน 20 ส่วนของเปลือกไม้ทั้งหมด 100 ส่วน องค์ประกอบของเปลือกไม้และ ross แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 ปริมาณแทนนินในเปลือกไม้โกงกางที่ขนาดลำต้นต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.5

Hilbert F.L. (1938) (55) ได้พบว่าผลิตภัณฑ์แทนนินที่สกัดได้จากเปลือกไม้โกงกางประกอบด้วยแทนนิน 55 เปอร์เซ็นต์ และมีแทนนินชนิด condense tannin 35-40 เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์แทนนิน หนึ่งที่ฟอกด้วยแทนนินชนิดนี้จะมีสีคล้ำแข็งและเหนียว เนื่องจากมีปริมาณกรดแลคติก (Lactic acid) สูง

ตารางที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบของเปลือกไม้ (54)

	เปลือกไม้ผสมกับ Ross			
	ตัวอย่างที่ 1 %	ตัวอย่างที่ 2 %	ตัวอย่างที่ 3 %	ตัวอย่างที่ 4 %
Tannin	29.46	33.95	38.62	36.54
Non-tannin	10.93	10.31	9.58	9.14
Insolubles	17.11	43.24	39.30	41.82
Water	12.5	12.5	12.5	12.5
	เปลือกไม้			
	%	%	%	%
Tannin	35.77	43.37	46.07	43.29
Non-tannin	13.10	12.24	11.14	10.17
Insolubles	38.63	32.84	30.29	33.50
Water	12.5	12.5	12.5	12.5
	Ross			
	%	%	%	%
Tannin	3.8	5.56	8.28	10.7
Non-tannin	2.12	2.59	3.24	3.10
Insolubles	81.57	75.35	75.98	73.65
Water	12.5	12.5	12.5	12.5

ตารางที่ 2.5 แสดงปริมาณแทนนินในเปลือกไม้ที่มีขนาดลำต้นต่าง ๆ (54)

ไม้โกงกางชนิด	เส้นผ่านศูนย์กลาง (นิ้ว)	ปริมาณแทนนิน (%)
Rhizophora spp. (ไม้โกงกาง)	4	28.22
	4.5	33.81
	5	30.02
	6	30.85
	8	30.26
	9	32.36
	10	32.38
	12	38.02
Bruguiera spp. (ประสัก)	5	25.48
	9	29.82
	15	36.42
	19	36.87

Brandts (1952) (56) ทำการแยกสกัดแทนนินจากเปลือกไม้ป่าชายเลน 6 ชนิด ในชวาใต้ ประเทศอินโดนีเซีย โดยทำการสกัดเปลือกด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 3 ครั้ง แต่ละครั้งใช้เวลาในการสกัดนาน 1 ชั่วโมง และใช้อัตราส่วนเปลือกต่อน้ำ 1:3 สารที่สกัดได้ทำการระเหยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดันปกติจนได้ความเข้มข้นตามความต้องการ จึงนำสารสกัดเข้มข้นนี้ไปทาเป็นแผ่นบาง ๆ เพื่อให้น้ำระเหยออกจนแห้ง และทำเป็นผง ปริมาณแทนนินของเปลือกและสารสกัดก็หาโดยวิธีผงแห้ง (hide powder method) เทียบกับน้ำหนักสารสกัดแล้ว

Manas (1979) (49) พบว่าแทนนินอาจสกัดจากเปลือกไม้โดยใช้ถังเปิดเป็นชุด (batch and open-vat system) และใช้วิธีการแยกสกัดแบบต่อกันไปจนครบชุดของการสกัด (countercurrent method) ตัวแปรที่สำคัญอันมีอิทธิพลต่อปริมาณและสมบัติของสารสกัดแทนนินก็คือ อุณหภูมิในการสกัด ระยะเวลาของการชะล้าง อัตราส่วนของตัวสกัดต่อตัวอย่างในการสกัด สมบัติของตัวสกัด ขนาดของตัวอย่างและจำนวนครั้งหรือถังในระบบ

Chuntanaparb et al. (1985) (57) พบว่าอุณหภูมิที่ใช้สกัดแทนนินขึ้นอยู่กับชนิดของเปลือกไม้ เช่น sumac 50° - 60° ซ สมอ สีเสียดและมีไมซ่า 70° - 80° ซ โกงกาง 80° - 90° ซ เคนราซอ 100° - 120° ซ เป็นต้น แทนนินบางชนิดถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิสูง และบางชนิดไม่ละลายที่อุณหภูมิต่ำจึงควรเลือกใช้อุณหภูมิให้เหมาะสมกับชนิดของเปลือกไม้นั้น ๆ หรือใช้สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ช่วยในการปรับปรุงสารสกัดแทนนินได้

ในปี พ.ศ. 2523 ทศไนย์ รัตติวานิช และคณะ (58) ได้ทดลองหาปริมาณแทนนินจากเปลือกไม้ในป่าชายเลน โดยเก็บตัวอย่างเปลือกไม้ตามจังหวัดต่าง ๆ ทางภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ได้ทราบปริมาณผลิตภัณฑ์แทนนินต่อเปลือกไม้ และชนิดของแทนนินที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์แทนนิน โดยทำปฏิกิริยากับเฟอริคคลอไรด์จะเกิดเป็นสีน้ำเงิน แสดงว่ามี hydrolyzable tannin และสีดำเขียว แสดงว่ามี condense tannin ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงปริมาณและชนิดของแทนนินที่มีอยู่ในไม้ชายเลน (58)

ชนิดของเปลือกไม้	% Tannin
โกงกางใบใหญ่ (ภูเก็ต)	57.77
โกงกางใบใหญ่ (สตูล)	32.31
โกงกางใบเล็ก (พังงา)	33.81
โกงกางใบใหญ่ (พังงา)	38.43
แสม (ภูเก็ต)	62.01
แสม (ภูเก็ต)	52.81
ตะบูนดำ (สตูล)	52.81
ตะบูนดำ (ภูเก็ต)	56.20
ตะบูนขาว (สตูล)	48.89
ถั่วขาว (สตูล)	6.75
โกงกางใบใหญ่ (ตราด)	39.20
แสมขาว (ตราด)	23.31
ตะบูนดำ (ตราด)	49.55
โกงกางใบเล็ก (ตราด)	41.16
โกงกางใบใหญ่ (จันทบุรี)	32.75
ตะบูนขาว (ภูเก็ต)	47.62

ปี พ.ศ. 2524 พันธู และชวรัชชัย (59) ได้ศึกษาการแยกสกัดแทนนินจากเปลือกไม้
 โกงกางด้วยวิธีการแช่ในน้ำกลั่น น้ำประปา และ น้ำฝน แล้วแยกสารละลายออกจากกากโดยวิธี
 การกรอง ทดลองโดยใช้น้ำ 5 ลิตรต่อเปลือกไม้ 1 กิโลกรัมที่อุณหภูมิ 90 °ซ เวลาที่ใช้ในการแช่
 3 วัน แล้วนำสารละลายที่สกัดได้มาวิเคราะห์ หาปริมาณแทนนินโดยวิธีของ Lowenthal สรุปผล
 ได้ดังนี้

ปริมาณแทนนินที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำประปา	24.79 ก/กก. เปลือกไม้
ปริมาณแทนนินที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำฝน	27.09 ก/กก. เปลือกไม้
ปริมาณแทนนินที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำกลั่น	28.81 ก/กก. เปลือกไม้

นำสารละลายที่สกัดได้มาพอกหนังโดยเปรียบเทียบกับแทนนินที่นำมาจากโรงงานชนิด
 มิโมซา ผลการทดลองปรากฏว่าเวลาที่ใช้ในการพอกหนังแตกต่างกันดังนี้

หนังพอกด้วยแทนนินจากโรงงานใช้เวลา	15 วัน
หนังพอกด้วยแทนนินที่ทำการสกัดชนิดสารละลายใช้เวลา	19 วัน
หนังพอกด้วยแทนนินที่ทำการสกัดโดยนำสารละลายอบแห้งก่อนใช้เวลา	20 วัน
หนังที่พอกด้วยแทนนินสกัดได้จะเหนียวและแข็งกว่าหนังที่พอกด้วยแทนนินจากโรงงาน	

ปี พ.ศ. 2525 ไชยพร (60) ทดลองสกัดแทนนินจากเปลือกไม้โกงกางใบเล็ก
 โดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิดคือ น้ำ เอทานอล และอะซิโตน-น้ำ ผลจากการสกัดได้ปริมาณตะ-
 กอนแทนนินฟอร์มีลดีไฮด์เป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับน้ำหนักแห้งของเปลือกเท่ากับ 27.45, 26.62,
 และ 28.83 ตามลำดับ (คิดเป็นปริมาณแทนนินจากสูตรของ Humpreys เท่ากับ 17.41,
 16.48 และ 18.46 เปอร์เซ็นต์เทียบกับน้ำหนักแห้งของเปลือกตามลำดับ ปริมาณตะกอนแทนนิน-
 ฟอร์มีลดีไฮด์เป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับสารสกัดแห้งที่ได้เท่ากับ 83.33, 83.82 และ 86.01 ตาม
 ลำดับ

ปี พ.ศ. 2526 ประสิทธิ์สินธุ์ และชูเกียรติ (61) ได้ศึกษาการสกัดแทนนินจาก
 เปลือกไม้โกงกาง นำมาสกัดโดยใช้เครื่องบีบ Expeller ทดลองโดยใช้น้ำประปาปริมาตร

0.8, 1, 1.2 ลิตรต่อน้ำหนักเปลือกไม้ 1 กิโลกรัม ตั้งทิ้งไว้ 1 ถึง 2 วัน ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมาเข้าเครื่องบด นำสารละลายที่สกัดได้มาวิเคราะห์หาปริมาณแทนนินโดยวิธีของ Lowenthal สรุปผลได้ดังนี้

ปริมาณแทนนินที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำ 0.8 ลิตร	20.0 ก/กก. เปลือกไม้
ปริมาณแทนนินที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำ 1.0 ลิตร	23.4 ก/กก. เปลือกไม้
ปริมาณแทนนินที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำ 1.2 ลิตร	31.4 ก/กก. เปลือกไม้

นำสารละลายที่สกัดได้มาฟอกหนัง โดยเปรียบเทียบกับแทนนินที่นำมาจากโรงงานชนิดมิโมซาผลการทดลองปรากฏว่า เวลาที่ใช้ในการฟอกหนังแตกต่างกันดังนี้

หนังฟอกด้วยแทนนินจากโรงงานใช้เวลา	12 วัน
หนังฟอกด้วยแทนนินที่ทำการสกัดชนิดสารละลายใช้เวลา	25 วัน
หนังฟอกด้วยแทนนินจากโรงงานผสมกับแทนนินสกัดได้ (1:1) ใช้เวลา	20 วัน

หนังที่ฟอกด้วยแทนนิน สกัดจากเปลือกไม้ โกงกางผสมกับแทนนินที่นำมาจากโรงงาน จะมีความกรอบ มีสีเข้มกว่าหนังที่ฟอกด้วยแทนนินที่นำมาจากโรงงาน

ปี พ.ศ. 2527 ไชยพร และสมศักดิ์ (2) ได้ทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดแทนนินจากเปลือกไม้ป่าชายเลนชนิดต่าง ๆ โดยใช้การสกัดแบบสกัด 6 รอบใช้ตัวสกัดเวียนทำการสกัดต่อไปเรื่อย ๆ (six stages countercurrent) และใช้น้ำเป็นตัวสกัดได้ผลดังตารางที่ 2.7, 2.8 และ 2.9 และมีข้อเสนอแนะว่า วิธีที่ง่ายและเหมาะสมต่อการสกัดทางอุตสาหกรรมคือ ใช้น้ำเป็นตัวสกัด แต่ไม่ควรใช้น้ำกระด้าง เพราะแทนนินอาจทำปฏิกิริยากับแคลเซียมและแมกนีเซียมให้ออนได้ง่าย ทำให้เกิดการตกตะกอน ส่วนการสกัดหรือการระเหยแห้ง ควรใช้อุณหภูมิต่ำที่สุด ไม่ควรเกิน 60-70 องศาเซลเซียส และไม่ควรใช้ภาชนะที่ทำด้วยเหล็ก

ปี พ.ศ. 2530 ไพบูลย์ (62) ได้ทดลองแยกสกัดแทนนินจากเปลือกไม้ โกงกางสายพันธุ์ไรโซไซฟอรา (*Rhizophora* spp.) ด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ สกัดแบบแช่ สกัดในถังกวน และสกัดแบบกึ่งต่อเนื่องสวนทางกัน โดยใช้น้ำเป็นตัวสกัด ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 2.7 Proximate chemical analysis of some mangrove bark species in Thailand (2)

Species	Source (Province)	Ash (%)	Alcohol Benzene (%)	Hot water (leached)	Hot water (unleach)	1% NaOH (%)	Lignin (%)	Holo- cellulose (%)
<i>Rhizophora apiculata</i>	Satun	6.10	11.35	9.32	32.94	68.24	35.31	37.92
	Ranong	6.06	11.10	9.64	33.98	68.37	36.10	37.10
	Phangnga	5.98	11.20	9.20	33.97	68.65	36.40	37.22
	Nakhonsrithammarat	6.23	10.96	8.26	33.52	69.64	36.42	38.13
	Chanthaburi	7.35	9.26	7.02	31.76	67.20	34.20	42.17
<i>Rhizophora mucronata</i>	Satun	6.35	10.60	8.86	30.61	60.10	33.52	40.67
	Ranong	6.26	10.20	8.24	30.86	60.60	34.20	41.10
	Phangnga	6.43	10.10	8.12	30.92	60.21	34.40	40.95
	Nakhonsrithammarat	6.10	10.60	7.92	30.10	61.37	34.62	40.76
	Chanthaburi	7.26	8.46	7.24	29.20	59.21	32.16	44.88
<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	Satun	5.96	8.16	15.46	28.70	60.00	43.16	27.26
	Samutsakhon	5.20	8.20	14.38	28.20	56.24	30.10	42.12
	Chanthaburi	6.02	7.68	14.20	27.65	56.65	29.21	42.89
<i>Ceriops tagal</i>	Nakhonsrithammarat	6.88	17.92	12.38	31.06	44.00	23.98	38.84
<i>Lumnitzera littorea</i>	Nakhonsrithammarat	12.40	8.89	20.80	28.82	43.06	26.46	31.45
<i>Bruguiera parviflora</i>	Nakhonsrithammarat	5.60	8.45	12.48	28.68	48.10	31.28	42.19
<i>Bruguiera sexangula</i>	Nakhonsrithammarat	5.82	7.48	19.26	20.35	38.06	24.78	42.66
<i>Sonneratia alba</i>	Nakhonsrithammarat	6.32	8.46	18.24	28.68	36.98	26.64	40.33
	Samutsakhon	7.26	7.48	16.38	27.56	34.72	24.32	44.56
<i>Xylocarpus granatum</i>	Ranong	6.68	11.32	17.66	37.98	68.86	22.64	41.70
	Phangnga	6.40	11.10	17.26	37.56	68.64	22.42	42.82
<i>Excoecaria agallocha</i>	Nakhonsrithammarat	7.46	10.18	19.56	28.28	60.84	27.26	35.54

Percentage based on moisture-free samples

ตารางที่ 2.8 Tannin extract efficiency and other data on six-stages countercurrent extraction of the raw materials (2)

Species	Source (Province)	Extraction data		temp. (°C)
		bark-water ratio	leaching time (min)	
Rhizophora apiculata	Satun Ranong Phangnga Nakhonsrithammarat	1:12	60	60
Rhizophora mucronata	Satun Ranong Phangnga Nakhonsrithammarat Chanthaburi	1:12	60	60
Bruguiera gymnorhiza	Satun Chanthaburi Samutsakhon	1:8	60	70
Xylocarpus granatum	Ranong Phangnga	1:6	60	60
Sonneratia alba	Nakhonsrithammarat Samutsakhon	1:6	60	60
Ceriops tagal	Nakhonsrithammarat	1:14	60	70
Bruguiera parviflora	Nakhonsrithammarat	1:6	60	70
Lumnitzera littorea	Nakhonsrithammarat	1:6	60	60
Bruguiera sexangula	Nakhonsrithammarat	1:6	60	60
Excoecaria agallocha	Nakhonsrithammarat	1:6	60	70

ตารางที่ 2.9 Tannin contents of mangrove barks in Thailand (2)

Species	Source (Province)	Tannin Formaldehyde ppt (%) ^{1/}	Tannin Contents (%) ^{2/}
<i>Rhizophora apiculata</i>	Satun	27.45	17.41
	Ranong	28.51	18.22
	Phangnga	28.35	18.10
	Nakhonsrithammarat	28.83	18.46
	Chanthaburi	26.62	16.78
<i>Rhizophora mucronata</i>	Satun	26.30	16.54
	Ranong	27.55	17.49
	Phangnga	27.45	17.41
	Nakhonsrithammarat	27.63	17.55
	Chanthaburi	25.35	15.82
<i>Bruguiera gymncorrhiza</i>	Satun	23.10	14.11
	Chanthaburi	20.26	11.95
	Samutsakhon	18.83	10.86
<i>Ceriops tagal</i>	Nakhonsrithammarat	25.78	16.14
<i>Lumnitzera littorea</i>	Nakhonsrithammarat	23.52	14.43
<i>Bruguiera parviflora</i>	Nakhonsrithammarat	21.84	13.15
<i>Bruguiera sexangula</i>	Nakhonsrithammarat	24.35	15.06
<i>Sonneratia alba</i>	Nakhonsrithammarat	25.00	15.55
	Samutsakhon	20.62	12.22
<i>Xylocarpus granatum</i>	Ranong	27.84	17.71
	Phangnga	27.36	17.34
<i>Excoecaria agallocha</i>	Nakhonsrithammarat	16.48	9.07

^{1/} percentage based on moisture-free barks

^{2/} calculated according to the formula given by Humpreys (1956)

1. สกัดแบบแช่ ใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกไม้ต่อน้ำ 1:3 โดยน้ำหนัก เปลือกไม้บดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 0.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 80 °ซ ผสม Na_2SO_3 ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเปลือกไม้ สกัด 2 ครั้ง แต่ละครั้งใช้เวลาในการสกัด 20 นาที แยกสารละลายสกัดออกจากกากโดยใช้เครื่องบีบ ให้ผลการสกัดสูงสุด 77.6 เปอร์เซ็นต์ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้

2. สกัดในถังกวน เมื่อขนาดเปลือกไม้ขนาดเล็ก เวลาที่ใช้ในการสกัดจะน้อยกว่าเปลือกไม้ขนาดใหญ่ แต่ผลการสกัดสูงกว่า ที่อัตราส่วนระหว่างเปลือกไม้ต่อน้ำ 1:10 โดยน้ำหนักเปลือกไม้บดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 0.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้สกัด 30 °ซ เวลาที่ใช้ในการสกัด 10 นาที จะให้ผลการสกัดสูงสุดคือ 34.8 เปอร์เซ็นต์ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้ และความเร็วของใบพัดในช่วงระหว่าง 690, 820, 1100 รอบต่อนาที จะไม่มีผลต่อปริมาณที่ได้สกัด

3. สกัดแบบกึ่งต่อเนื่องส่วนทางกัน เมื่ออัตราการไหลของน้ำ 15 ลิตรต่อชั่วโมง ปริมาณเปลือกไม้ที่ป้อน 7 นาทีต่อครั้ง ๆ ละ 500 กรัมหรือ อัตราส่วนระหว่างเปลือกไม้ต่อน้ำ 1:3.5 โดยน้ำหนักเปลือกไม้บดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 0.5 มิลลิเมตรเติม Na_2SO_3 ปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ของเปลือกไม้ อุณหภูมิ 80 °ซ สกัด 3 ครั้ง จะให้ผลการสกัดสูงสุดคือ 48.7% ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้

สารละลายแทนนินที่สกัดได้นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 °ซ จะมีปริมาณแทนนินประมาณ 50-55 เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์แทนนินที่สกัดได้ เมื่อนำมาพอกหนังหนึ่งหนังที่พอกจะมีสีน้ำตาลแดง

ปี พ.ศ. 2530 ประเชิญ (63) ได้ศึกษาการแยกสกัดสารแทนนินจากเปลือกไม้ โกงกางเพื่อใช้ในการพอกหนังชนิดพอกทับ (Retanning) ใช้จีนเปลือกไม้แช่ในน้ำอุณหภูมิปกติเป็นเวลา 4, 7 และ 14 วัน กับการใช้น้ำอุณหภูมิ 60 °ซ เป็นตัวสกัด โดยทำการสกัดแบบต่อเนื่องกันไปจนครบชุดของการสกัด ชุดละ 3 ชั้นตอน และ 6 ชั้นตอน ชั้นตอนละ 1 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนเปลือกต่อน้ำต่าง ๆ กันคือ 1:6, 1:8 และ 1:10 ตรวจปริมาณสารสกัดแห้งที่ได้ และปริมาณตะกอนแทนนินฟอร์มัลดีไฮด์ โดยวิธี Stiasny วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 3 x 3 แฟกทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อก และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New multiple range test พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการแยกสกัดสารแทนนินจากเปลือกไม้ โกงกางคือ การสกัดโดยใช้น้ำอุณหภูมิ 60 °ซ ชุดการสกัด 3 ชั้นตอน อัตราส่วนเปลือกต่อน้ำ 1:6

กิโลกรัมต่อลิตร โดยคำนึงถึงปริมาณและคุณภาพของสารสกัดแทนนินที่ได้ พลังงานที่ใช้ในการสกัด และการทำแอมัลัมแห้ง

สำหรับการสกัดแทนนินเป็นจำนวนมากเพื่อใช้ในการฟอกชนิดฟอกทับ พบว่าได้ปริมาณสารสกัดแห้ง 33.28 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณตะกอนแทนนินฟอร์มาลดีไฮด์ 27.36 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับน้ำหนักเปลือกที่ใช้สกัด และปริมาณตะกอนแทนนินฟอร์มาลดีไฮด์ 80.26 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับปริมาณสารสกัดแห้ง

เมื่อนำแทนนินที่สกัดได้ไปใช้ฟอกหนังชนิดฟอกโครมทับฟาดเปรียบเทียบกับการใช้แทนนินมิโมซา แล้ววิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลในแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อก พบว่า สมบัติส่วนใหญ่ของหนังฟอกที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญได้แก่ ปริมาณน้ำมันและไขมัน ปริมาณสารที่ละลายในน้ำ ปริมาณเถ้าที่ละลายในน้ำ ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายน้ำ ปริมาณหนังสุก ปริมาณน้ำยาฟอก ความหนาแน่นปรากฏ การดูดน้ำ ความแน่นผิว แรงดึง การยืดตัว แรงฉีก ส่วนสมบัติที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คือ ปริมาณเถ้าทั้งหมด ปริมาณการหดตัวในน้ำเดือด และความหนา