รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

---

1. **แผนงานวิจัย** : เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตผลเกษตร

2. **โครงการวิจัย** : การลดการปนเปื้อนเชื้อราและสารพิษจากเชื้อราในผลิตผลเกษตรและผลิตภัณฑ์

3. **ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย)** : การพัฒนากระดาษจากกากพืชสมุนไพรร่วมกับสารสกัดหยาบสมุนไพรเพื่อใช้ควบคุมการปนเปื้อนเชื้อราในผลิตผลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวและผลิตภัณฑ์

   ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Development of paper made from herbal plant residues for controlling fungi contamination in agricultural produces and products

4. **คณะผู้ดำเนินงาน**

   หัวหน้าการทดลอง : นางสาวเนตรา สมบูรณ์แก้ว สังกัด กวป.

   ผู้ร่วมงาน : นายกนกศักดิ์ ลอยเลิศ สังกัด กวป.

5. **บทคัดย่อ** :

พืชสมุนไพรหลายชนิดถูกสกัดนำสารสำคัญออกไปใช้ประโยชน์ กากพืชเหลือจากการสกัดยังมีเส้นใยที่ยังนำมาใช้ประโยชน์ได้ การทดลองนี้มีจุดประสงค์ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระดาษจากกากเหง้าข่า กระชายดำ ไพล และตะไคร้ และนำไปเคลือบสารสกัดพืชต่างๆ เพื่อควบคุมการปนเปื้อนเชื้อราในผลิตผลเกษตรและผลิตภัณฑ์ โดยนำกากพืชข้างต้นผ่านกระบวนการแยกเยื่อ ฟอกขาว และขึ้นรูปกระดาษ นำกระดาษเยื่อพืชที่ให้สมบัติกระดาษ เช่น การทนต่อแรงดึงและยืดหยุ่นสูง ไปเคลือบสารสกัดหยาบพืช ได้แก่ สารสกัดหยาบข่า กระชายดำ ไพล หรือตะไคร้ เพื่อควบคุมการเจริญของเชื้อรา *Aspergillus flavus* และ *Aspergillus niger* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ และนำกระดาษที่มีประสิทธิภาพทดสอบเก็บรักษาพริกขี้หนูสดและแห้ง พบว่า สารสกัดข่าเข้มข้น 200 ppm สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *A. flavus* and *A. niger* ได้สูงกว่าสารสกัดกระชายดำ ไพล และตะไคร้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อนำกากพืชมาแยกเยื่อ กากข่าและตะไคร้ให้ปริมาณเยื่อสูงถึง 24 และ 11% ตามลำดับ สามารถนำมาพัฒนาผลิตกระดาษได้ สำหรับกากกระชายดำและไพลให้ปริมาณเยื่อต่ำกว่า 3% เมื่อนำเยื่อข่าและเยื่อตะไคร้ที่ฟอกขาวและไม่ฟอกขาวมาผลิตกระดาษ พบว่าสมบัติของกระดาษทั้งสองชนิดที่ฟอกขาวมีค่าความต้านแรงดึงขาด (tensile strength) และ ค่าโมดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) สูงกว่ากระดาษที่ไม่

กรมวิชาการเกษตร

ฟอก แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของกากพืช พบว่า กระดาษเยื่อตะไคร้มีความแข็งแรงกว่า ทนต่อแรงดึงได้ดี มีความยืดหยุ่นสูงกว่า เมื่อนำกระดาษทั้งสองชนิดมาเคลือบสารสกัดพืช พบว่ากระดาษเยื่อข่าและกระดาษเยื่อตะไคร้ฟอกขาวและไม่ฟอกขาวที่เคลือบสารสกัดข่าเข้มข้นตั้งแต่ 60% ขึ้นไป สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *A. flavus* และ *A. niger* ในอาหารเลี้ยงเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่กระดาษเยื่อตะไคร้ฟอกขาวดูดซึมสารสกัดข่าได้ดีกว่า จึงนำกระดาษเยื่อตะไคร้ฟอกขาวที่เคลือบสารสกัดข่าความเข้มข้น 60 และ 70% มาห่อหุ้มพริกขี้หนูสดและแห้ง พบว่า กระดาษเคลือบสารสกัดดังกล่าว ไม่มีผลต่อการควบคุมเชื้อราและการเปลี่ยนสีในพริกขี้หนูสด ขณะที่กระดาษเคลือบสารสกัดข้างต้นห่อหุ้มพริกขี้หนู และบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ สามารถชะลอการเปลี่ยนสีของพริกแห้ง และลดปริมาณสารอะฟลาทอกซิน บี1 ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยไม่พบการปนเปื้อนของเชื้อรา อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของกระดาษเยื่อตะไคร้ฟอกขาวที่เคลือบสารสกัดข่าทั้งสองความเข้มข้นในการควบคุมเชื้อรา สารอะฟลาทอกซิน บี1 และการเปลี่ยนแปลงสีของพริกแห้ง ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ

คำสำคัญ กระชายดำ กระดาษ กากพืชสมุนไพร การผลิตเยื่อกระดาษ ข่า ตะไคร้ ไพล สารสกัดพืช

ศูนย์วิทยทรัพยากร

Abstract

Residue of rhizomes of galangal, kra chai dum, plai, and lemongrass from extracting processes were individually studied as alternative raw material to pulping and paper production. Effectiveness of crude galangal extract (200 ppm) to control *Aspergillus flavus* and *Aspergillus niger* was significantly greater than other crude extracts. Pulp yield of galangal and lemongrass residues were 25 and 11%, respectively. Whilst, pulp yields of kra chai dum and plai were lower than 3%. Paper made from bleached galangal and lemongrass pulp showed higher tensile strength and elasticity than non-bleached pulp. However, strength and elasticity of bleached lemongrass pulp paper were significantly higher than paper made from bleached galangal pulp. Bleached- and non-bleached pulp paper of galangal and lemongrass were coated with 50-70% of galangal crude extract before being tested in PDA medium to control growth of *A. flavus* and *A. niger*. All paper treated with at least 60% concentration of extract significantly inhibited growth of *A. flavus* and *A. niger* compared to paper coated with either water or ethanol (control groups). Galangal extract absorbed to bleached lemongrass pulp paper higher than other paper. Afterward, fresh and dry chilli were wrapped with bleached lemongrass pulp paper coated with galangal extract at 60-70% concentration before being packed in plastic bags (for fresh chilli) and aluminium foil bags (for dry chilli) to determine the contamination of fungi, aflatoxin B1 and colour deterioration during 1 and 4 weeks storage, respectively. The papers did not affect to colour and fungus growth in wrapped fresh chilli comparing to chilli without paper wrapping. Whilst, dry chilli wrapped with paper coated with at least 60% galangal extract significantly

contained lower concentration of aflatoxin B1 and caused small deterioration of colour compared to chilli wrapped with uncoated paper and without wrapping paper (foil bag alone).

Keyword galangal, kra chai dum, lemongrass, medicinal plant residue, paper, plai, plant extract pulping process

6. คำนำ :

การปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อราโดยเฉพาะสารอะฟลาทอกซินอาจพบได้แม้ว่าจะมีการป้องกันที่ดีแล้วก็ตาม ดังนั้นการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อลดปริมาณสารพิษจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการลดความเสี่ยงของผู้บริโภคต่อการได้รับสารพิษ หลักการขั้นต้นในการประเมินวิธีลดปริมาณสารพิษคือวิธีการนั้นสามารถทำลาย ลดความเป็นพิษ หรือกำจัดสารพิษให้หมดไปได้หรือไม่ โดยที่วิธีการนั้นต้องไม่มีสิ่งที่เป็นพิษอื่นในอาหาร ต้องคงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารนั้นไว้ดังเดิมหรือในระดับที่ยอมรับ และไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งต้องทำลายสปอร์ของเชื้อราได้ด้วยหลักการที่กล่าวมานั้น เพื่อลดการใช้สารเคมีซึ่งอาจเป็นอันตราย จึงให้ความสำคัญกับชีววิธีในการควบคุมเชื้อราและสารพิษจากเชื้อรา มีรายงานการศึกษาการใช้จุลินทรีย์จำพวก เชื้อรา แบคทีเรีย และยีสต์ ในการทำลายสารพิษจากเชื้อรา ยกตัวอย่างการศึกษาของ Shohei *et al*. (1996) พบว่าสาร Aflastatin A ซึ่งสร้างโดย *Streptomyces* sp. สามารถยับยั้งการสร้างสารอะฟลาทอกซินโดย *Aspergillus parasiticus* ได้ เป็นต้น

การใช้สารสกัดจากพืช เช่น สารสกัดจากกระชายดำ ไพล ปุดสิงห์ ข่า พริกไทย และกระเทียม เป็นวิธีการควบคุมเชื้อราและแบคทีเรียที่ปลอดภัย เป็นทางเลือกที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค อย่างไรก็ตามการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดพืชที่ผ่านมา มุ่งเน้นผลของสารออกฤทธิ์ในการรักษาหรือบรรเทาอาการเจ็บป่วยในสัตว์และมนุษย์ แต่ยังไม่มีผลการศึกษารายงานถึงชนิด ความเข้มข้น และกลไกการทำงานของสารสำคัญในพืชเหล่านี้ รวมถึงความเข้มข้นที่เหมาะสมในการควบคุมการเจริญของเชื้อรา *Aspergillus niger* และ *Aspergillus flavus* รวมถึงการทำลายสารโอคราทอกซินและอะฟลาทอกซินในผลิตผลเกษตร หากสามารถเข้าใจวิธีการทำงานของสารสำคัญจากสารสกัดพืช จะสามารถนำสารสำคัญเหล่านี้ไปพัฒนาเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ในการควบคุมเชื้อราและลดการปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อราที่สามารถใช้ได้สะดวก รวดเร็ว และปลอดภัยต่อผู้บริโภค ทั้งในระดับครัวเรือนและอุตสาหกรรม

อย่างไรก็ตามปัญหาที่พบในการนำสารสกัดจากพืชมาใช้กับผลิตผลเกษตร คือ ลักษณะของผลิตผลเกษตรถูกรบกวนด้วยสีและกลิ่นของสารสกัด เช่น ถั่วลิสงที่เคลือบด้วยสารสกัดกระชายดำ ทำให้สีของถั่วลิสงเป็นสีม่วงคล้ำจากสีของกระชายดำ หรือถั่วลิสงที่เคลือบด้วยสารสกัดปุดสิงห์ มีผิวเงางาม แต่มีกลิ่นคล้ายกับแมงดา (เนตรา และคณะ, 2558) ดังนั้นจึงควรพัฒนาวิธีการประยุกต์ใช้สารสกัดพืชเพื่อควบคุมเชื้อราและสารพิษในผลิตผลเกษตร

วัสดุบรรจุภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์มีบทบาทอย่างมากในการควบคุมการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในผลิตผลเกษตรตลอดโซ่อุปทาน แต่การใช้บรรจุภัณฑ์อย่างไม่เหมาะสม ได้ถูกยกขึ้นเป็นปัญหาในการเพิ่มปริมาณขยะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ (degradable packaging material) จึงถูกพัฒนาและ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น การเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อราและสารพิษให้กับวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ เช่น การเติมสารสกัดพืชที่สามารถลดปริมาณการปนเปื้อนของเชื้อราและสารพิษ จะลดปัญหาการเน่าเสียในผลิตผลเกษตร เพิ่มอายุการวางจำหน่าย และมีความปลอดภัยแก่ผู้บริโภค

จากกระบวนการสกัดสารสำคัญจากส่วนต่าง ๆ ของพืชสมุนไพร เช่น เหง้าข่า ไพล กระชายดำ และต้นตะไคร้ กากพืชที่เหลือจากการสกัดสารดังกล่าวยังมีประโยชน์ นอกจากจะประกอบด้วยสารสำคัญที่เหลือจากการสกัดแล้ว ยังประกอบด้วยเส้นใยจำนวนมาก เส้นใยจากเศษวัสดุพืชถูกพัฒนาให้เป็นประโยชน์หลายด้าน เช่น ปุ๋ย และบรรจุภัณฑ์ ศิริพรและคณะ (2558) ได้วิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์กระดาษย่อยสลายได้และพลาสติกชีวภาพที่ได้จากผลิตผลเกษตร เช่น กระดาษและพลาสติกจากเปลือกทุเรียน ซึ่งได้กระดาษและพลาสติกที่มีคุณภาพดี สามารถนำมาเป็นถ้วยและจานกระดาษ เป็นฟิล์มห่อหุ้มผลไม้สดซึ่งช่วยชะลอการสุกของผลไม้ได้ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการพัฒนากระดาษและเยื่อกระดาษจากวัสดุทางการเกษตรอีกหลายชนิด เช่น เส้นใยกล้วย (บุษรา และคณะ, 2554) ชานอ้อย (ชญานินและรักชนก, 2560) หญ้านวลน้อย (วุฒิพงษ์, 2561) และทะลายปาล์มน้ำมัน (วุฒินันท์และคณะ, 2561) อย่างไรก็ตามมีรายงานผลการศึกษาการพัฒนากระดาษจากพืชสมุนไพรยังไม่มาก ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการผลิตกระดาษจากกากพืชสมุนไพรที่เหลือจากการสกัดสารสำคัญ และผลของการนำกระดาษมาเคลือบสารสกัดพืช ในการควบคุมเชื้อราในผลิตผลหรือผลิตภัณฑ์เกษตร

7. วิธีดำเนินการ :

-อุปกรณ์

- กากพืชสมุนไพร ได้แก่ กากเหง้าข่า เหง้าไพล เหง้ากระชายดำ และ ต้นตะไคร้
- เชื้อรา *Aspergillus flavus* และ *Aspergillus niger*
- พริกขี้หนูผลสด และพริกขี้หนูแห้ง
- เอทานอล 95% v/v
- โซเดียมไฮดรอกไซด์
- ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% v/v
- โซเดียมซิลิเกต
- แมกนีเซียมซัลเฟต
- อาหารเลี้ยงเชื้อรา Potato Dextrose Agar (PDA)
- โถแก้วดูดความชื้น (Desiccator)
- ตะแกรงสเตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 นิ้ว
- ตะแกรงสเตนเลส สำหรับแยกเซลลูโลส
- หม้อสเตนเลส
- เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary Evaporator) ยี่ห้อ Buchi รุ่น Rotavapor R-3
- เตาให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า (Hot Plate)

กรมวิชาการเกษตร

- เครื่องปั่นผสมอาหารอเนกประสงค์ ยี่ห้อ Phillips
- เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Konica Minolta รุ่น CR-400
- เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler
- เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ Testo รุ่น 174H
- เครื่องวัดความหนา (Dial Thickness Gauge) ยี่ห้อ Moore and Weirht
- เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษแบบอัตโนมัติ ยี่ห้อ Xell
- เครื่องอัดแผ่นกระดาษแบบอัตโนมัติ ยี่ห้อ PTI Austria รุ่น P40140
- เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุแบบอเนกประสงค์ ยี่ห้อ Instron รุ่น 3345
- เครื่องวัดค่าการซึมผ่านของอากาศผ่านกระดาษด้วยอุปกรณ์ Gurley (Gurley Type Densometer) ยี่ห้อ Yasuda รุ่น 323-Auto
- เครื่องดูดจ่ายสารเคมีอัตโนมัติ (Auto Pipette)
- กระดาษซับน้ำ (Blotting Paper) 250±10 แกรม
- ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ขนาด 5.5x8.0 นิ้ว
- จานพลาสติกสำหรับเลี้ยงเชื้อรา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร
- ปิเปตทิป (Pipette Tips)
- ชุดตรวจสอบสารแอฟลาทอกซิน DOA ELISA Test Kit
- ตู้เย็น
- ถุงพลาสติก

-วิธีการ

1. การเตรียมสารสกัดพืช

เตรียมสารสกัดหยาบจากพืช 4 ชนิด ได้แก่ กระชายดำ ขา ไพล และ ตะไคร้ สกัดด้วยเอทานอล โดยนำพืชสมุนไพรแห้งหั่นชิ้น แช่ในเอทานอล (อัตราพืชสมุนไพร 1 ส่วนต่อเอทานอล 5 ส่วน) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง กรองแยกกาก ระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary evaporator) และทดสอบคุณสมบัติของสารสกัดหยาบสมุนไพรในการยับยั้งเชื้อรา *A. flavus* และ *A. niger* โดยเตรียมสารแขวนลอยของสปอรความเข้มข้น 10^6 สปอร์/มิลลิลิตร ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) โดยหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งเชื้อรา (Minimum Inhibitory Concentration: MIC)

2. การเตรียมกระดาษ การเคลือบกระดาษ และการทดสอบประสิทธิภาพกระดาษ

2.1 การเตรียมกระดาษ

การเตรียมกระดาษดัดแปลงจากวิธีการของ ศิริพรและคณะ (2556) โดยนำกากพืชสมุนไพร ได้แก่ กากของเหง้าข่า กระชายดำ ไพล และต้นตะไคร้ ที่ผ่านกระบวนการสกัดสารสำคัญแล้ว ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 10 เท่าของน้ำหนักตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 80-90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองเยื่อแล้วล้างด้วยน้ำสะอาดจนไม่มีฟอง ต้มภายใต้สภาวะเดิมซ้ำอีกครั้ง นำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่

ศรีวิชาการเกษตร

อุณหภูมิ 55°C ได้เส้นใยแห้งที่ไม่ฟอกขาว สำหรับการผลิตเส้นใยฟอกขาว ผลิตโดยนำเยื่อใยพืชที่ได้ไปฟอกด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 30% เติมโซเดียมซิลิเกตและแมกนีเซียมซัลเฟต ปริมาณ 2.0 และ 0.05% โดยน้ำหนักตัวอย่าง ปรับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ให้เป็นด่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ต้มที่อุณหภูมิ 80-90°C เป็นเวลา 20 นาที ล้างเยื่อด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำเยื่อที่ได้ไปทำให้แห้ง และเลือกเยื่อแห้งที่ได้จากกากพืชที่ให้ผลผลิตเยื่อสูง (Total pulp yield) เพื่อไปขึ้นรูปกระดาษ 60 แกรม โดยใช้เยื่อแห้ง 1.26 กรัม แช่น้ำให้ท่วม (ประมาณ 100-150 มิลลิลิตร) นานประมาณ 12 ชั่วโมง จากนั้นเทเยื่อที่แช่น้ำใส่เครื่องปั่นอเนกประสงค์ เติมน้ำ 1 ลิตร ปั่นนาน 3 นาที จากนั้นเทน้ำเยื่อใส่ลงเครื่องขึ้นรูปกระดาษและเครื่องอัดกระดาษ (ตามลำดับ) นำกระดาษมาตาก (พร้อมแผ่นอลูมิเนียมที่ใช้ระหว่างขึ้นรูปและอัดกระดาษ) เพื่อลดความชื้น เมื่อกระดาษแห้งแล้ว นำไปทดสอบสมบัติของกระดาษต่อไป

2.2 การทดสอบสมบัติของกระดาษ นำกระดาษจากข้อ 2.1 (จำนวนตัวอย่างกระดาษ 10 ซ้ำ) ทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน ดังนี้

1).ความต้านแรงดึงขาด (Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D 828-97 (Standard Test Method for Tensile Properties of Paper and Paperboard Using Constant-Rate-of-Elongation Apparatus)

2). การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) ตามมาตรฐาน ASTM D 828-97

3). ค่าโมดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) หรือค่าความเค้นที่ทำให้วัสดุยืดตัวตามที่กำหนด ตามมาตรฐาน ASTM D 828-97

4). ค่าการซึมผ่านของอากาศ (Air Permeability) ด้วย Gurley Type Densometer ตามมาตรฐาน TAPPI T460 om-96 (Air Resistance of Paper (Gurley Method))

5). ความหนา (Thickness) ตามมาตรฐาน TAPPI T410 om-89

6). ความชื้น (Moisture content) ตามมาตรฐาน TAPPI T411-om-89

7). น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ (Basis Weight) ดัดแปลงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.170-2550

เปรียบเทียบสมบัติกระดาษแต่ละชนิดทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% (P=0.05)

2.3 การเคลือบกระดาษด้วยสารสกัดพืชและการทดสอบประสิทธิภาพกระดาษเคลือบในการควบคุมเชื้อรา

คัดเลือกสารสกัดพืชที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อราจากการทดลองหัวข้อที่ 1 มาทดสอบเคลือบกระดาษที่ให้เยื่อคุณภาพดี (จากการทดลองหัวข้อที่ 2.1-2.2) โดยศึกษาการเคลือบสารสกัดพืชที่ความเข้มข้นและปริมาตรแตกต่างกัน ด้วยการระบายสารสกัดพืชด้วยพู่กัน วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 11 กรรมวิธี 5 ซ้ำ ดังนี้

กรมวิทยาศาสตร์

กรรมวิธีที่ 1 กระดาษไม่เคลือบสารสกัดหยาบ จุ่มน้ำกลั่น
กรรมวิธีที่ 2 กระดาษไม่เคลือบสารสกัดหยาบ จุ่มเอทานอล เข้มข้น 100%
กรรมวิธีที่ 3 กระดาษเคลือบสารสกัดหยาบ 50% ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร
กรรมวิธีที่ 4 กระดาษเคลือบสารสกัดหยาบ 50% ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร
กรรมวิธีที่ 5 กระดาษเคลือบสารสกัดหยาบ 50% ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร
กรรมวิธีที่ 6 กระดาษเคลือบสารสกัดหยาบ 60% ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร
กรรมวิธีที่ 7 กระดาษเคลือบสารสกัดหยาบ 60% ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร
กรรมวิธีที่ 8 กระดาษเคลือบสารสกัดหยาบ 60% ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร
กรรมวิธีที่ 9 กระดาษเคลือบสารสกัดหยาบ 70% ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร
กรรมวิธีที่ 10 กระดาษเคลือบสารสกัดหยาบ 70% ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร
กรรมวิธีที่ 11 กระดาษเคลือบสารสกัดหยาบ 70% ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร

การทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อรา *A. niger* และ *A. flavus* ของกระดาษเคลือบสารสกัดหยาบพืช ทดสอบด้วยวิธี disc diffusion method โดยใช้แผนกระดาษที่เคลือบสารสกัดพืชขนาด 1.0 x 1.0 เซนติเมตร วางลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่เกลี่ยสารแขวนลอยของสปอรเชื้อรา *A. niger* และ *A. flavus* ความเขมขน 10^6 สปอร์/มิลลิลิตร เก็บที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 33±1°C) เปนเวลา 3 วัน ตัวอยางควบคุม คือ กระดาษจากกากพืชที่ไม่เคลือบสารสกัดหยาบพืช แต่จุ่มน้ำกลั่นหรือเอทานอล ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ

3. การทดสอบกระดาษในการควบคุมเชื้อราในผลิตผลเกษตร

นำกระดาษที่ให้ผลดีในการเคลือบสารสกัดพืช (ผลจากการทดลองข้อ 2.3) มาห่อหุ้มผลิตผลเกษตร ได้แก่ พริกขี้หนูผลสด และผลิตภัณฑ์ ได้แก่ พริกขี้หนูแห้ง วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 กรรมวิธี จำนวน 5 ซ้ำ ดังนี้

<u>พริกขี้หนูผลสด</u>

กรรมวิธีที่ 1 พริกไม่ห่อหุ้มกระดาษ บรรจุในถุงพลาสติก
กรรมวิธีที่ 2 พริกห่อหุ้มด้วยกระดาษไม่เคลือบสารสกัดพืช บรรจุในถุงพลาสติก
กรรมวิธีที่ 3 พริกห่อหุ้มด้วยกระดาษเคลือบสารสกัดพืชเข้มข้น 60% บรรจุในถุงพลาสติก
กรรมวิธีที่ 4 พริกห่อหุ้มด้วยกระดาษเคลือบสารสกัดพืชเข้มข้น 70% บรรจุในถุงพลาสติก

เก็บรักษาเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 13±2°C วัดคุณภาพของพริก โดยตรวจวัดสี การปนเปื้อนของเชื้อรา *Aspergillus* spp. และสารแอฟลาทอกซินด้วยชุดตรวจสอบ DOA ELISA Test Kit

<u>พริกขี้หนูแห้ง</u>

กรรมวิธีที่ 1 พริกไม่ห่อหุ้มกระดาษ บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์
กรรมวิธีที่ 2 พริกห่อหุ้มด้วยกระดาษไม่เคลือบสารสกัดพืช บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์
กรรมวิธีที่ 3 พริกห่อหุ้มด้วยกระดาษเคลือบสารสกัดพืชเข้มข้น 60% บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์
กรรมวิธีที่ 4 พริกห่อหุ้มด้วยกระดาษเคลือบสารสกัดพืชเข้มข้น 70% บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์

กรมวิชาการเกษตร

เก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 33±1°C) วัดคุณภาพของพริกแห้ง โดยตรวจวัดสี การปนเปื้อนของเชื้อรา Aspergillus spp. และสารแอฟลาทอกซินด้วยชุดตรวจสอบ DOA ELISA Test Kit

4. ต้นทุนการผลิตกระดาษเคลือบสารสกัด โดยพิจารณาต้นทุนจากวัตถุดิบ สารเคมี ค่าน้ำประปา และค่าไฟฟ้า ต่อกระดาษ 1 แผ่น (พื้นที่ 188.60 ตารางเซนติเมตร)

-เวลาและสถานที่

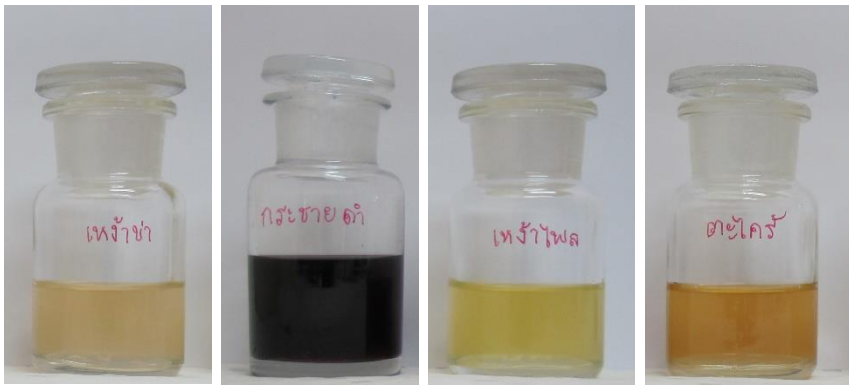
ระยะเวลา (เริ่มต้น – สิ้นสุด) : ตุลาคม 2561 ถึง กันยายน 2563

สถานที่ดำเนินการ : ห้องปฏิบัติการกองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

8. ผลการทดลองและวิจารณ์ :

1. สารสกัดพืช

ได้สารสกัดหยาบข่า กระชายดำ ไพล และตะไคร้ที่สกัดด้วยเอทานอล (Figure 1) เมื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดแต่ละชนิดในการควบคุมการเจริญของเชื้อรา *A. flavus* และ *A. niger* พบว่าสารสกัดหยาบข่า 200 ppm (ความเข้มข้นต่ำสุด) สามารถควบคุมการเจริญของเชื้อราทั้ง 2 ชนิดได้ 100% รองลงมาได้แก่ สารสกัดหยาบไพล เข้มข้น 9,000 ppm ยับยั้งการเจริญของ *A. flavus* 86% และ *A. niger* 78% สารสกัดหยาบกระชายดำเข้มข้น 9,000 ppm ยับยั้ง *A. flavus* 84% และ *A. niger* 71% ขณะที่สารสกัดหยาบตะไคร้ สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราทั้ง 2 ชนิดได้เพียง 9% และ 0% ตามลำดับ อาจเนื่องจากสารสกัดหยาบตะไคร้ที่สกัดด้วยเอทานอลมีสารสำคัญ citronellal และ linalool ในปริมาณต่ำเมื่อเทียบกับน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการเจริญของเชื้อราลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ กนกพร (2555) และ ธัญญ์วารินและคณะ (2560) ที่พบว่าประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบตะไคร้ที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ในการยับยั้งเชื้อรา *A. flavus* และ *Aspergillus tamari* อยู่ในอัตราที่ต่ำหรือไม่สามารถยับยั้งได้



(a) (b) (c) (d)

Figure 1 Ethanol crude extracts of (a) galangal, (b) kra chai dum, (c) plai, and (d) lemongrass

กรมวิชาการเกษตร

2. กระดาษจากเยื่อกากพืช

นำกากเหง้าข่า กากเหง้ากระชายดำ กากเหง้าไพล และกากตะไคร้ (ที่เหลือจากการสกัด) ใส่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ) และให้ความร้อน เพื่อละลายลิกนิน (สารที่เชื่อมเส้นใยไว้ด้วยกัน) เมื่อเส้นใยหรือเยื่อแยกออกจากกัน กำจัดโซดาไฟและล้างเส้นใยด้วยน้ำสะอาด จนเส้นใยไม่ลื่นมือ (โซดาไฟถูกชะล้างไป) หลังจากอบแห้งเส้นใยแต่ละชนิดที่ได้จะมีลักษณะเริ่มแรกเป็นสีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้ม ผิวสัมผัสหยาบ (Table 1)

นำเยื่อจากกากข่าและตะไคร้มาฟอกขาวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เข้มข้น 30% และเติมโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ปริมาณ 2% โดยน้ำหนักตัวอย่างแห้ง เพื่อช่วยคงสภาพ pH และทำให้เกิดความเสถียร H_2O_2 จึงไม่สลายตัวง่าย และเติมแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) 0.05 % โดยน้ำหนักตัวอย่างแห้ง เพื่อทำให้ H_2O_2 อยู่ในรูป Inactive form ไม่ทำปฏิกิริยากับโลหะต่างๆ และเมื่อทำงานร่วมกับ Na_2SiO_3 จะช่วยลดการสลายตัวของ H_2O_2 ลักษณะเส้นใยของกากสมุนไพรที่ฟอกด้วย H_2O_2 ปริมาณ 10 เท่าของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง มีลักษณะแตกต่างกัน เส้นใยจากกากเหง้าข่า มีขนาดสั้น หยาบ เส้นค่อนข้างใหญ่ น้ำหนักเส้นใยที่ได้ประมาณ 24.10% จากกากแห้ง 100 กรัม กากกระชายดำและกากไพลให้ผลผลิตต่ำกว่า 3% ของน้ำหนักกากแห้ง เส้นใยไพลให้สัมผัสค่อนข้างหยาบ แต่น้อยกว่าเส้นใยกระชายดำและเส้นใยข่า ขณะที่เส้นใยจากกากตะไคร้ มีเส้นใยยาวเส้นเล็ก เนื้อสัมผัสนุ่มกว่าเส้นใยชนิดอื่น (Table 1) การที่เส้นใยข่า กระชายดำ และไพลมีขนาดสั้น เนื่องจากการเตรียมพืชทั้งสามชนิดก่อนการสกัดสารสำคัญ เหง้าพืชจะถูกหั่นเป็นชิ้นกลมบาง เพื่อให้สามารถสกัดสารสำคัญออกมาได้มากที่สุด หากตัวอย่างแห้งก่อนการแยกเส้นใยมีความยาวหรือหั่นตามความยาวเส้นใย น่าจะทำให้ได้เส้นใยที่ยาวและได้ผลผลิตเยื่อมากขึ้น

Table 1 Appearances of fiber extracted from residues of rhizomes of galangal, kra chai dum, plai and stalk of lemongrass

Residues	Fiber appearance before bleaching	Fiber appearance after bleaching	Total pulp yield (%)
Galangal rhizome			24.10%
Kra chai dum rhizome			1.41%
Plai rhizome			2.98%
Lemongrass stalk			11.19%

กรมวิชาการเกษตร

พิจารณาคัดเลือกกากพืชที่ให้ผลผลิตเยื่อ (Total pulp yield) สูงสองอันดับแรก ได้แก่ กากข่า และกากตะไคร้ เพื่อนำไปผลิตกระดาษขั้นต่อไป โดยนำเส้นใยหรือเยื่อข่าฟอก ข่าไม่ฟอก ตะไคร้ฟอก และตะไคร้ไม่ฟอก ไปผ่านกระบวนการปั่น แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นแผ่นกระดาษและเครื่องอัดกระดาษ ได้ตัวอย่างกระดาษข่าฟอก ข่าไม่ฟอก ตะไคร้ฟอก และตะไคร้ไม่ฟอก (Figure 2)

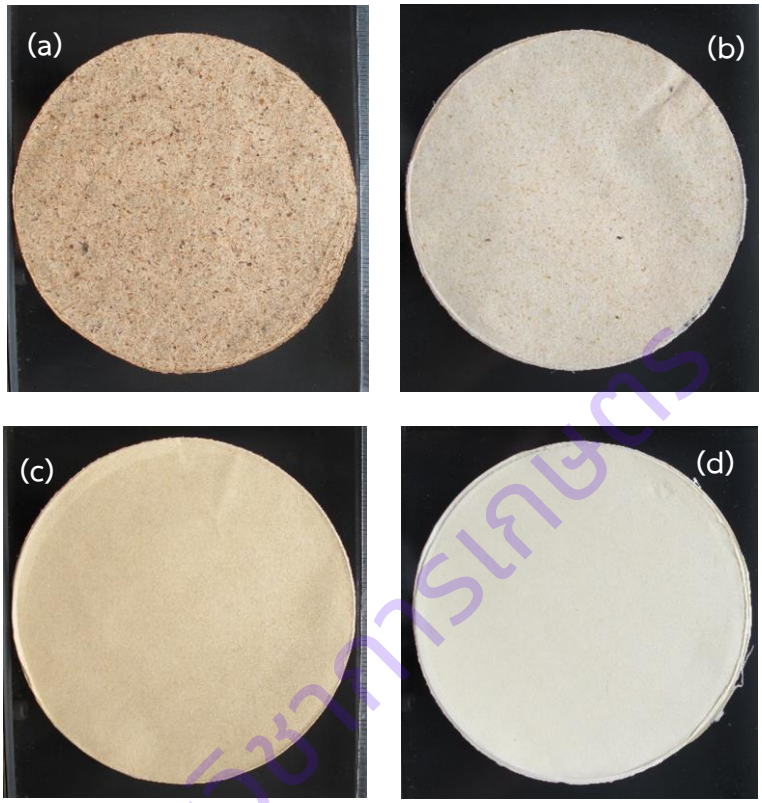


Figure 2 Paper from pulps of (a) non-bleached galangal, (b) bleached galangal, (c) non-bleached lemongrass and (d) bleached lemongrass

3. สมบัติกระดาษ

ทดสอบสมบัติกระดาษเยื่อข่าไม่ฟอก (NG) ข่าฟอก (BG) ตะไคร้ไม่ฟอก (NL) และตะไคร้ฟอก (BL) ได้แก่ ค่าความต้านแรงดึงขาด การยืดตัว ณ จุดขาด ค่าโมดุลัสของสภาพยืดหยุ่น ค่าการซึมผ่านของอากาศ ความหนา น้ำหนักมาตรฐาน และค่าความชื้น ได้ผลการทดสอบ (Table 2) ดังนี้

ศรีปทุมวิชาการเกษตร

Table 2 Properties of pulp paper of non-bleached galangal (NG), bleached galangal (BG), non-bleached lemongrass (NL), and bleached lemongrass (BL)

Types of paper	Tensile strength ($kgf.cm^2$)	Elongation at break (%)	Modulus of elasticity (MPa)	Thickness (mm)	Weight (g)	Moisture content (%)	Air permeability (μm/Pa.s)
NG	35.0	2.199	554.0	0.2020	1.2086	10.486	79.6
BG	64.0	1.360	981.0	0.1760	1.1892	9.211	19.2
NL	216.3	3.209	1,641.0	0.1440	1.2374	8.642	122.9
BL	196.1	2.591	1,903.0	0.1280	1.1158	8.564	119.8
$LSD_{0.05}$	42.54	0.5289	189.62	0.01499	0.04375	0.4163	44.64
CV (%)	20.8	14.9	11.1	6.9	2.7	3.4	30.8

ค่าความต้านแรงดึงขาด (Tensile strength) ของกระดาษจากกากตะไคร้มีค่าสูงกว่ากระดาษจากกากข่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบกระดาษจากเยื่อที่ฟอกและไม่ฟอกขาว (NG เปรียบเทียบกับ BG และ NL เปรียบเทียบกับ BL) การฟอกขาวไม่มีผลต่อความต้านทานต่อแรงดึงของกระดาษ ขณะที่การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) หรือเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของกระดาษนั้น กระดาษจากเยื่อตะไคร้มีค่าสูงกว่ากระดาษจากเยื่อข่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเยื่อที่ฟอกขาวและไม่ฟอก พบว่ากระดาษที่ฟอกขาวทั้งจากเยื่อตะไคร้และเยื่อข่า มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวน้อยกว่ากระดาษจากเยื่อที่ไม่ฟอกขาว (Table 2) สาเหตุสำคัญมาจากผลของสารเคมีและความร้อนที่ใช้ขณะฟอกขาวทำให้ความแข็งแรงและแรงยึดของเยื่อลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานผลการศึกษาคุณสมบัติของเยื่อกระดาษเปลือกใบปอสาที่ฟอกด้วยสารเคมีต่างๆ (วิขัณฑ์ และประเทือง, 2550)

ค่าโมดุลัสของสภาพยืดหยุ่น หรือค่าความเค้นที่ทำให้วัสดุยืดตัว (Modulus of elasticity) เป็นค่าบอกระดับความแข็งแกร่งของวัสดุ ซึ่งกระดาษเยื่อตะไคร้สามารถทนต่อแรงเค้นได้สูงกว่ากระดาษเยื่อข่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเยื่อกระดาษฟอกและไม่ฟอกขาว พบว่าค่าความเค้นที่ทำให้วัสดุยืดตัวของกระดาษฟอกขาวทั้งสองชนิดสูงกว่ากระดาษที่ไม่ฟอกขาว

ความหนา (Thickness) และน้ำหนัก (Weight) ของกระดาษเยื่อข่าสูงกว่ากระดาษจากเยื่อตะไคร้อย่างมีนัยสำคัญ กระดาษจากเยื่อที่ฟอกขาวมีความหนา น้ำหนักน้อยกว่ากระดาษจากเยื่อที่ไม่ฟอก ทั้งนี้น้ำหนักและความหนาของเยื่อที่ไม่ฟอกอาจมาจากปริมาณลิกนินและสารอื่นๆ ที่ยังปนเปื้อนกับเยื่อ (วุฒินันท์และคณะ, 2561) ขณะที่เยื่อที่ฟอกขาวแล้วนั้น กระบวนการฟอกขาวนอกจากจะทำให้ลิกนินมีสีอ่อนลงแล้ว ยังกำจัดลิกนินและสารอื่น ๆ ไปด้วยส่งผลให้เยื่อแยกตัวออกจากกันได้ดีและแตกออกมีเส้นแขนงเล็กๆ ยึดเกาะกันมากขึ้น

ปริมาณความชื้น (Moisture content) ในเยื่อกระดาษข่ามีระดับสูงกว่าความชื้นในเยื่อกระดาษตะไคร้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเยื่อกระดาษข่าฟอกและไม่ฟอกขาว เยื่อกระดาษที่ไม่

กรมวิชาการเกษตร

ฟอกขาว มีปริมาณความชื้นสูงกว่า เนื่องจากใยของข่ามีความหนากว่าเยื่อตะไคร้ และมีปริมาณลิกนินและส่วนประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่เยื่อใย ซึ่งเป็นส่วนที่สามารถดูดซับความชื้นไว้ (วิขัณฑ์และประเทือง, 2550) สำหรับเยื่อตะไคร้ที่ฟอกและไม่ฟอกมีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ

นอกจากนี้เยื่อกระดาษข่ามีสมบัติการยอมให้อากาศผ่าน (Air permeability) สูงกว่าเยื่อกระดาษตะไคร้ ทั้งนี้อาจเป็นผลจากโครงสร้างเยื่อใยของเยื่อข่ายังคงมีลิกนินและส่วนประกอบอื่น ๆ ปะปน (วุฒินันท์และคณะ, 2561) ซึ่งอาจไปทำให้มีช่องว่างที่อากาศผ่านจำนวนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเยื่อกระดาษจากตะไคร้ที่มีช่องว่างสม่ำเสมอ มีน้ำมัน หรือสารประกอบอื่นๆ ปนเปื้อนที่เยื่อน้อยกว่าข่า (Figure 3)

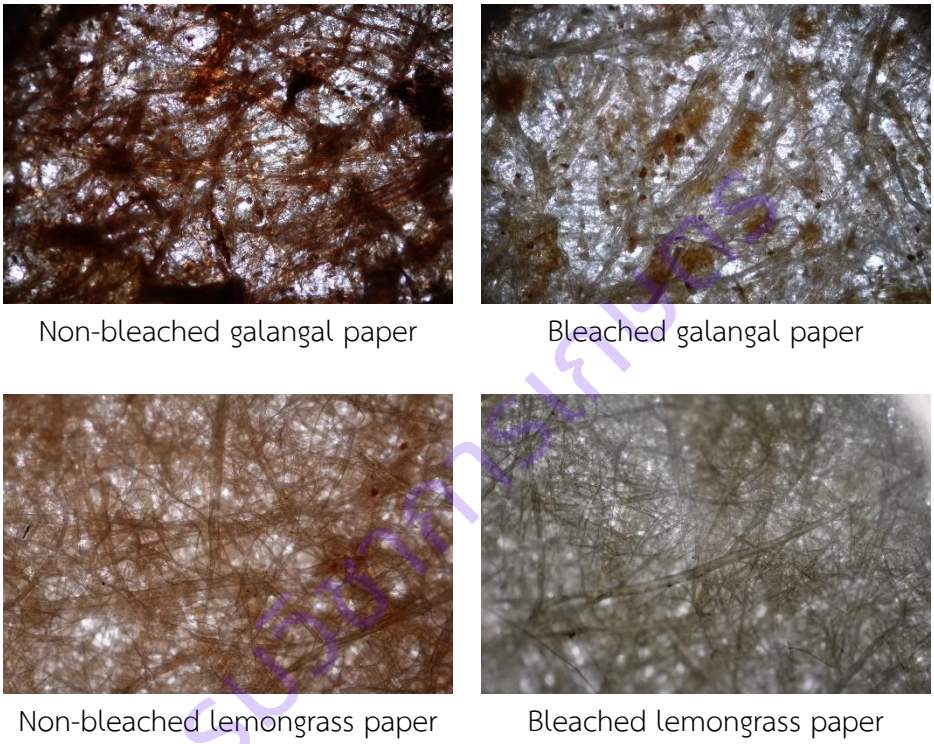


Figure 3 Structure of pulp paper made from non-bleached and bleached galangal pulp and non-bleached and bleached lemongrass pulp

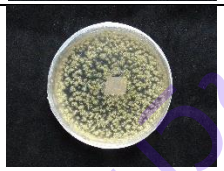
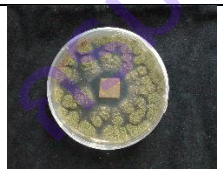
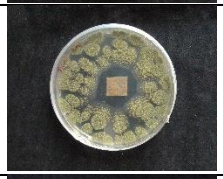
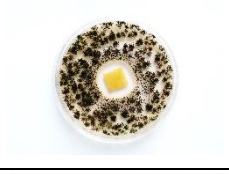
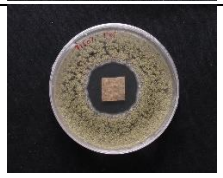
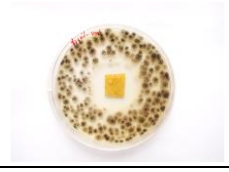
4. ประสิทธิภาพของกระดาษเคลือบสารสกัดในการควบคุมเชื้อรา

จากผลการทดสอบสมบัติของกระดาษ ได้แก่ สมบัติทนต่อแรงดึง มีความยืดหยุ่น ดูดซับสารสกัดได้ดี และปริมาณผลผลิตเยื่อสูง จึงนำกระดาษเยื่อข่าและกระดาษเยื่อตะไคร้ที่ฟอกขาวมาเคลือบสารสกัดพืชแต่ละชนิด ได้แก่ สารสกัดข่า สารสกัดกระชายดำ และสารสกัดไพล (จากผลการทดลองข้อ 1. สารสกัดตะไคร้ไม่มีประสิทธิภาพควบคุมเชื้อรา) ที่ความเข้มข้นและปริมาตรของสารสกัดแตกต่างกัน ไปทดสอบควบคุมเชื้อรา *A. flavus* และ *A. niger* โดยนำกระดาษที่เคลือบสารสกัดพืชชนิดต่าง ๆ ขนาด 1.0 x 1.0 เซนติเมตร วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่มีการเกลี่ยสารแขวนลอยของสปอรเชื้อราความเข้มข้น 10^6 สปอร์/มิลลิลิตร และบมที่อุณหภูมิหอง (ประมาณ 33±1°C) เป็นเวลา 3 วัน เปรียบเทียบกับกระดาษที่ไม่เคลือบสารสกัดพืช พบว่ากระดาษ

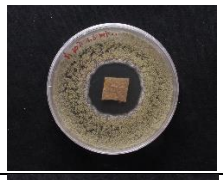
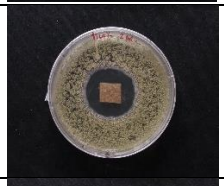
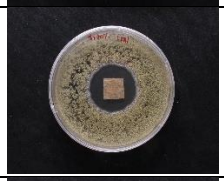
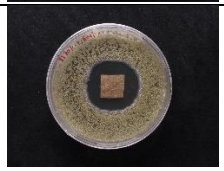
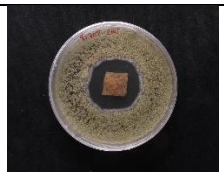
ควบบริการการเกษตร

เยื่อข่าฟอกขาวเคลือบด้วยสารสกัดข่ามีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อรา *A. flavus* และ *A. niger* ได้ สารสกัดข่าต่ำสุดที่ควบคุมเชื้อราทั้งสองชนิดได้ คือ ความเข้มข้น 50% ปริมาตร 1.0-2.0 มิลลิลิตร แต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าหรือมีขนาดของส่วนใสที่เชื้อราไม่สามารถเจริญได้ (Zone of inhibition) น้อยกว่ากรรมวิธีสารสกัด 60 และ 70% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ความเข้มข้น 60% ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของ *A. flavus* และ *A. niger* โดยมีขนาดส่วนใสเฉลี่ย 9.883 และ 7.920 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างความเข้มข้น 60 และ 70% และปริมาตรสาร 1.0 1.5 และ 2.0 มิลลิลิตร พบว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการควบคุมเชื้อรา ดังนั้นที่ความเข้มข้น 60% และปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม เนื่องจากใช้สารสกัดน้อยกว่ากรรมวิธีอื่น (Table 3)

Table 3 Growth inhibition zone of *A. flavus* and *A. niger* on the PDA medium resulting from use of bleached galangal (BG) paper coated with galangal extract in various concentrations and amounts after 3 days of incubation

BG paper: coating conditions	Appearance of *A. flavus* at day 3	Inhibition zone (mm)	Appearance of *A. niger* at day 3	Inhibition zone (mm)
Coated with sterile distilled water 2.0 ml		0.000		0.000
Coated with 100% ethanol 2.0 ml		0.000		0.000
Coated with galangal extract 50% conc., 1.0 ml		3.894±0.197		4.565±0.214
Coated with galangal extract 50% conc., 1.5 ml		4.297±0.201		4.422±0.628
Coated with galangal extract 50% conc., 2.0 ml		4.355±0.213		5.247±0.604
Coated with galangal extract 60% conc., 1.0 ml		9.883±0.288		7.920±0.144

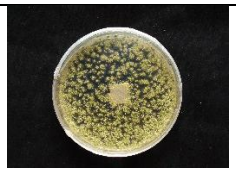
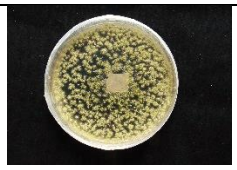
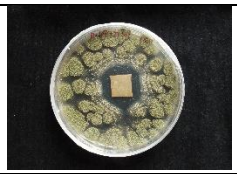
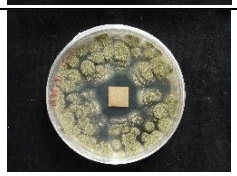
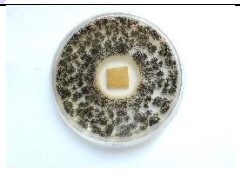
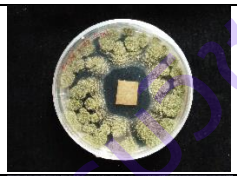
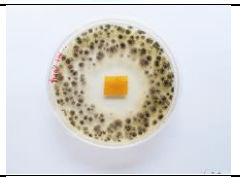
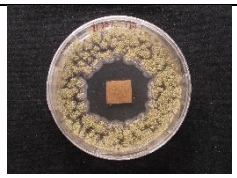
ลิขสิทธิ์กรมวิชาการเกษตร

Coated with galangal extract 60% conc., 1.5 ml		9.833±0.282		8.600±0.769
Coated with galangal extract 60% conc., 2.0 ml		10.197±0.144		8.821±0.721
Coated with galangal extract 70% conc., 1.0 ml		9.750±0.250		8.424±0.144
Coated with galangal extract 70% conc., 1.5 ml		9.917±0.381		8.771±0.380
Coated with galangal extract 70% conc., 2.0 ml		10.407±0.140		8.910±0.388
		$DMRT_{0.05}$	0.7688	0.8740

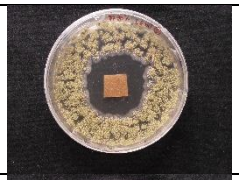
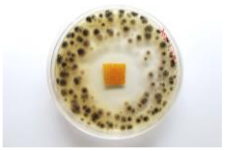
กระดาษเยื่อตะไคร้ฟอกขาวเคลือบด้วยสารสกัดข่าที่ความเข้มข้น 50 60 และ 70% และปริมาตร 1.0 1.5 และ 2.0 มิลลิลิตร สามารถควบคุมการเจริญของเชื้อรา *A. flavus* และ *A. niger* ได้ โดยสารสกัดเข้มข้น 50% ปริมาตร 1.0-2.0 มิลลิลิตร ยับยั้งเชื้อราทั้งสองชนิดได้แต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่ากระดาษเคลือบสารสกัดข่า 60-70% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าที่กรรมวิธี 60% ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร มีขนาดส่วนใสในอาหารเลี้ยงเชื้อ *A. flavus* และ *A. niger* เฉลี่ย 10.583 และ 9.333 มิลลิเมตร (ตามลำดับ) ซึ่งถือว่าเป็นกรรมวิธีที่ใช้สารสกัดต่ำสุดที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *A. flavus* และ *A. niger* เนื่องจากสารสกัดข่าความเข้มข้น 60-70% และปริมาตร 1.0-2.0 มิลลิลิตร ไม่มีผลทางสถิติในการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมเชื้อราทั้งสองชนิด อย่างไรก็ตามกระดาษเยื่อตะไคร้เคลือบสารสกัดข่ามีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อรา ทั้งสองชนิดดีกว่ากระดาษเยื่อข่าเคลือบสารสกัดข่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่าขนาดของส่วนใสในจานเลี้ยงเชื้อ *A. flavus* และ *A. niger* ที่ใช้กระดาษเยื่อตะไคร้เคลือบสารสกัดข่า (60-70%) มีค่าเฉลี่ย 11.79 และ 9.51 มิลลิเมตร ตามลำดับ ขณะที่ส่วนใสในอาหารเลี้ยงเชื้อราที่ใช้กระดาษเยื่อข่ามีค่าเฉลี่ย 10.07 และ 8.40 มิลลิเมตร ตามลำดับ (P = 0.05) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในกระดาษเยื่อตะไคร้ มีโครงสร้างเยื่อใยที่ให้สารสกัดกระจายได้มากกว่า เมื่อนำไปใช้ควบคุมเชื้อรา ทำให้สารสำคัญในสารสกัดสามารถออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ดีกว่า

กรมวิชาการเกษตร

Table 4 Growth inhibition zone of *A. flavus* and *A. niger* on the PDA medium resulting from use of bleached lemongrass (BL) paper coated with galangal extract in various concentrations and amounts after 3 days of incubation

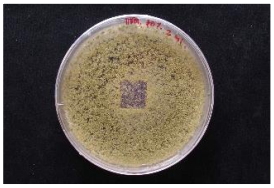
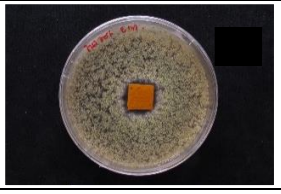
BL paper: coating conditions	Appearance of *A. flavus* at day 3	Inhibition zone (mm)	Appearance of *A. niger* at day 3	Inhibition zone (mm)
Coated with sterile distilled water 2.0 ml		0.00		0.00
Coated with 100% ethanol 2.0 ml		0.00		0.00
Coated with galangal extract 50% conc., 1.0 ml		4.052±0.188		5.000±0.091
Coated with galangal extract 50% conc., 1.5 ml		3.825±0.213		5.254±0.215
Coated with galangal extract 50% conc., 2.0 ml		4.250±0.292		5.650±0.227
Coated with galangal extract 60% conc., 1.0 ml		10.583±0.38		9.333±0.381
Coated with galangal extract 60% conc., 1.5 ml		11.333±0.52		9.417±1.010
Coated with galangal extract 60% conc., 2.0 ml		12.250±0.87		9.250±0.433
Coated with galangal extract 70% conc., 1.0 ml		11.917±0.58		9.833±0.288

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Coated with galangal extract 70% conc., 1.5 ml		11.783±0.14		9.581±0.382
Coated with galangal extract 70% conc., 2.0 ml		12.983±0.38		9.666±0.288
	$DMRT_{0.05}$	1.2811		1.1950

สำหรับสารสกัดกระชายดำและสารสกัดไพลที่สามารถควบคุมเชื้อรา *A. flavus* และ *A. niger* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่ความเข้มข้น 9,000 ppm (0.9%) แต่เมื่อนำสารสกัดกระชายดำและสารสกัดไพลความเข้มข้น 60-70% เคลือบกระดาษเยื่อข่าและกระดาษเยื่อตะไคร้ และนำไปควบคุมเชื้อราในจานอาหารเลี้ยงเชื้อทั้งสองชนิด พบว่ากระดาษเคลือบสารสกัดกระชายดำและสารสกัดไพล ไม่สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อราได้อย่างมีประสิทธิภาพ อาหารเลี้ยงเชื้อในกรรมวิธีกระดาษเยื่อข่าเคลือบสารสกัดกระชายดำ 70% ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ไม่ปรากฏส่วนใสหรือส่วนที่เชื้อราไม่สามารถเจริญเติบโตได้ สำหรับกระดาษเคลือบสารสกัดไพล เข้มข้น 70% 2.0 มิลลิลิตร ถึงแม้ปรากฏส่วนใส แต่มีขนาดเพียง 0.5 มิลลิเมตร (Table 5) อย่างไรก็ตามสารสกัดข่าซึมลงสู่กระดาษเยื่อตะไคร้ฟอกขาวได้ดี ผิวกระดาษที่เคลือบสารสกัดไม่แฉะ แห้งกว่ากระดาษชนิดอื่นที่เคลือบสารสกัด ดังนั้นจึงคัดเลือกกระดาษเยื่อตะไคร้ฟอกขาวเคลือบด้วยสารสกัดข่า เพื่อใช้ทดสอบควบคุมเชื้อราในผลิตผลทางการเกษตรต่อไป

Table 5 Growth inhibition zone of *A. flavus* on the PDA medium resulting from use of bleached galangal (BG) paper coated with Kra chai dum and Plai extracts at concentration of 70% with 2.0 ml after 3 days of incubation

BG paper/ coating condition	Appearance of *A. flavus* at day 3	Inhibition zone (mm)
BG paper/ Kra chai dum extract: 70% conc. 2.0 ml		0.000
BG paper/ Plai extract: 70% conc. 2.0 ml		0.500

5. การควบคุมเชื้อราในผลิตผลเกษตร ได้แก่ พริกขี้หนูผลสด และผลิตภัณฑ์ ได้แก่ พริกขี้หนูแห้ง

การใช้กระดาษเยื่อตะไคร้ (ฟอกขาว) เคลือบสารสกัดข่าที่ความเข้มข้น 60 และ 70% ปริมาตร 1.0-2.0 มิลลิลิตร ไม่มีผลต่อการควบคุมเชื้อราในพริกขี้หนูผลสด ไม่พบเชื้อรากลุ่ม *Aspergillus* spp. และสีของพริกขี้หนู

กรมวิชาการเกษตร

ที่ห่อหุ้มด้วยกระดาษหลังจากเก็บรักษา 1 สัปดาห์ที่ 13°C ไม่แตกต่างจากพริกขี้หนูที่ไม่ห่อหุ้มด้วยกระดาษ และไม่พบสารอะฟลาทอกซินปนเปื้อนในพริกขี้หนูสดในการทดสอบครั้งนี้

สำหรับพริกขี้หนูแห้งที่ห่อหุ้มกระดาษเยื่อตะไคร้ (ฟอกขาว) เคลือบสารสกัดข่าที่ความเข้มข้น 60 และ 70% ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร (Figure 4) บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ปิดผนึก ถุงละ 40 กรัม (Figure 5) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 33±1°C) เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา (ก่อนใส่ถุง) ไม่มีการปนเปื้อนเชื้อรา แต่พบปริมาณสารอะฟลาทอกซิน (ที่เชื้อรากลุ่ม Aspergillus ผลิต) 7.14 ไมโครกรัม/กิโลกรัม (ppb) เมื่อเก็บรักษาครบ 4 สัปดาห์ ไม่พบการปนเปื้อนของเชื้อรากลุ่ม Aspergillus ขณะที่สารอะฟลาทอกซินมีปริมาณลดลงเหลือ 5.10 ppb สำหรับผลของการห่อหุ้มด้วยกระดาษเคลือบสารสกัดพืชต่อการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของพริกขี้หนูแห้ง พบว่าในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาพริกขี้หนูแห้ง ค่าสีเปลือก (hue angle: h°) เฉลี่ยเท่ากับ 8.34 (Figure 6) หลังจาก 4 สัปดาห์ พริกที่เก็บในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่ไม่มีกระดาษห่อหุ้ม (เส้น d) ให้ค่า h° เฉลี่ย 356.95 แสดงให้เห็นว่าพริกแห้งมีสีแดงคล้ำเพิ่มมากขึ้นจากวันที่ 0 (h° ลดลง 11.39) ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติจากสีพริกในกรรมวิธีอื่นๆ การห่อหุ้มพริกขี้หนูแห้งด้วยกระดาษเยื่อตะไคร้ที่ไม่เคลือบสารสกัด (เส้น c) เคลือบสารสกัดข่าเข้มข้น 60% (เส้น a) และเคลือบสารสกัดข่าเข้มข้น 70% (เส้น b) มีผลต่อสีพริกไม่แตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ย h° หลังจากเก็บรักษา 4 สัปดาห์เท่ากับ 3.16 4.58 และ 5.87 ตามลำดับ สำหรับค่าเฉลี่ยความสว่าง (Lightness: L*) ของพริกแห้งในวันที่ 0 คือ 30.50 หลังจากการทดลอง 4 สัปดาห์ พบว่า L* ของพริกที่ไม่ห่อหุ้มกระดาษและที่ห่อหุ้มกระดาษที่ไม่เคลือบสารสกัดลดลงเหลือ 27.90 และ 29.68 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากพริกกรรมวิธีห่อหุ้มด้วยกระดาษเคลือบสารสกัดข่า 60% และกระดาษเคลือบสารสกัดข่า 70% ที่ให้ค่า L* ในสัปดาห์ที่ 4 เท่ากับ 30.86 และ 30.20 ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการห่อหุ้มพริกด้วยกระดาษเคลือบสารสกัดข่านอกจากช่วยลดการปนเปื้อนของเชื้อราและสารพิษจากเชื้อราแล้วยังสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของพริกขี้หนูแห้งได้ เมื่อนำพริกแห้งจากบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวมาทดสอบกลิ่นและรสชาติ พบว่าเมื่อเปิดถุงจะได้กลิ่นข่าเล็กน้อย กลิ่นข่าจะหายไปเมื่อเปิดถุงไประยะหนึ่ง สารสกัดข่าที่เคลือบกระดาษไม่มีผลต่อกลิ่นและรสชาติของพริกแห้ง

Bleached lemongrass paper coated with galangal extract at 60% concentration

Bleached lemongrass paper coated with galangal extract at 70% concentration

Figure 4 Bleached lemongrass paper coated with 2 ml of 60 and 70% galangal extract

Figure 5 Dry chilli wrapped with paper either coated or uncoated with galangal extract before being packed in aluminium foil bags and stored at ambient air for 4 weeks

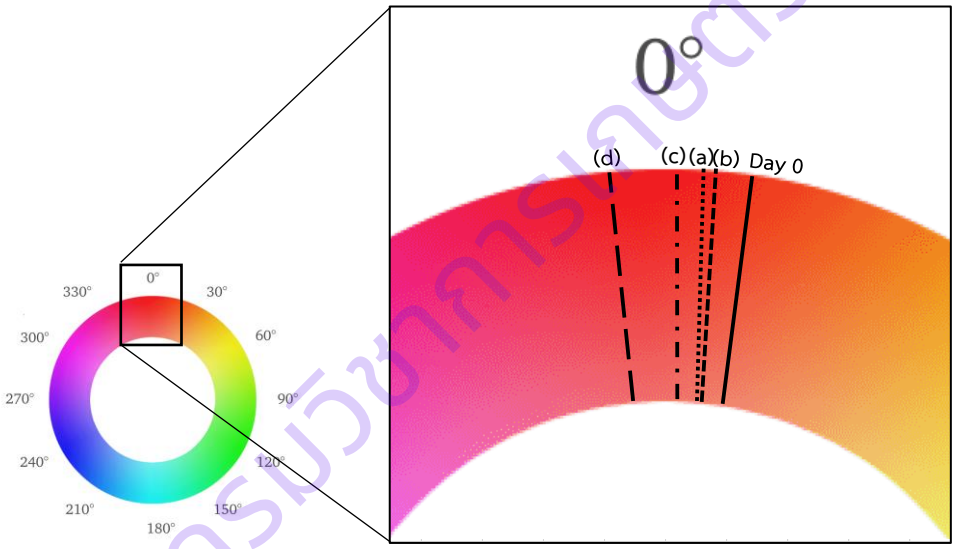


Figure 6 Chilli colour (hue angle) wrapped with (a) lemongrass paper coated with 2 ml of 60% galangal extract, (b) lemongrass paper coated with 2 ml of 70% galangal extract, (c) lemongrass paper without coating compared to (d) dry chilli without paper wrapping. Every treatments were packed in aluminum foil bags for 4 weeks

6. ต้นทุนการผลิตกระดาษเยื่อตะไคร้ฟอกขาวเคลือบสารสกัดหยาบข่า

จากผลการศึกษาพบว่ากระดาษจากเยื่อตะไคร้ฟอกขาวเคลือบด้วยสารสกัดหยาบข่าอย่างต่ำ 60% มีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อราและสารพิษจากเชื้อราทั้งในอาหารเลี้ยงเชื้อและในพริกขี้หนูแห้ง เมื่อคำนวณต้นทุนการผลิตกระดาษดังกล่าว มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 11.501 บาท/กระดาษเคลือบ 1 แผ่น มีรายละเอียดดังนี้

กรมวิชาการเกษตร

6.1 การเคลือบสารสกัดข่า 60% บนกระดาษ 1 แผ่น ใช้สารสกัดหยาบข่า 1.5 กรัม การเตรียมสารสกัดหยาบข่า 1 ครั้ง ให้สารสกัดเฉลี่ย 15 กรัม มีต้นทุนรวม 130.9632 บาท หรือ 8.730 บาท/กรัม ดังนั้นกระดาษ 1 แผ่น มีต้นทุนจากสารสกัดข่า 13.181 บาท โดยคำนวณจาก

-ข่าแห้ง 300 กรัม (ได้จากข่าสด 1 กิโลกรัม ราคาเฉลี่ยกิโลกรัมละ 24.00 บาท)

-เอทานอล 1.5 ลิตร ราคา 105.00 บาท (หลังจากกลั่นระเหยสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้)

-ค่าน้ำประปาเฉลี่ย 10 ลิตร ราคาลิตรละ 0.0095 บาท รวม 0.095 บาท (อ้างอิงราคาจากการประปานครหลวง https://web.mwa.co.th/ewt_news.php?nid=303)

-ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 1 หน่วย ราคาหน่วยละ 1.8632 บาท รวม 1.8632 บาท (อ้างอิงราคาจากการไฟฟ้านครหลวง https://ienergyguru.com/iknow)

6.2 การผลิตกระดาษจากเยื่อตะไคร้ฟอกขาว 60 แกรม 1 ครั้ง ได้กระดาษ 6 แผ่น มีต้นทุนรวม 16.626 บาท หรือคิดเป็น 2.771 บาท/กระดาษ 1 แผ่น (พื้นที่ 188.60 ตารางเซนติเมตร) โดยคำนวณจาก

-ตะไคร้แห้ง 100 กรัม (ได้จากตะไคร้สด 0.5 กิโลกรัม ราคาเฉลี่ย 18 บาท/1 กิโลกรัม) รวม 9.0 บาท

-สารเคมี ต้นทุนรวม 6.6 บาท ได้แก่

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 กรัม ราคา 1.8 บาท

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30 มิลลิลิตร ราคา 3.0 บาท

โซเดียมซิลิเกต 2 กรัม ราคา 1.76 บาท

แมกนีเซียมซัลเฟต 0.05 กรัม ราคา 0.04 บาท

-ค่าน้ำประปา 10 ลิตร ราคา 0.095 บาท

-ค่าไฟฟ้า 0.5 หน่วย ราคา 0.9316 บาท

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ :

กากพืชที่ผ่านกระบวนการสกัดสารสำคัญออกไปแล้ว ได้แก่ กากเหง้าข่า กระชายดำ ไพล และตะไคร้ เมื่อผ่านกระบวนการแยกเยื่อแล้วกากเหง้าข่าและตะไคร้ให้ปริมาณเยื่อสูงถึง 24 และ 11% (ตามลำดับ) ขณะที่เยื่อกระชายดำและไพลมีปริมาณต่ำกว่า 5% จึงนำเยื่อเหง้าข่าและตะไคร้ไปพัฒนาผลิตกระดาษ โดยนำเยื่อทั้งสองชนิดทั้งแบบฟอกขาวและไม่ฟอกขาวมาผลิตกระดาษ พบว่าสมบัติของกระดาษจากเยื่อทั้งสองชนิดที่ฟอกขาวมีค่าความต้านแรงดึงขาดและค่าโมดุลัสของสภาพยืดหยุ่น สูงกว่ากระดาษที่ไม่ฟอก แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของกากพืช พบว่า กระดาษเยื่อตะไคร้มีความแข็งแรงกว่า ทนต่อแรงดึงได้ดี มีความยืดหยุ่นสูงกว่า เมื่อนำกระดาษทั้งสองชนิดมาเคลือบสารสกัดพืช พบว่ากระดาษเยื่อข่าและกระดาษเยื่อตะไคร้ที่เคลือบสารสกัดข่าเข้มข้น 60% ปริมาตร 1-2 มิลลิลิตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *A. flavus* และ *A. niger* ในอาหารเลี้ยงเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถควบคุมการเจริญของเชื้อราได้โดยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีกระดาษเคลือบสารสกัด 70% แต่สารสกัดข่าสามารถซึมลงในกระดาษเยื่อตะไคร้ได้เร็วกว่าในกระดาษเยื่อข่า ทำให้กระดาษพื้นผิวไม่เฉอะแฉะ จึงนำกระดาษตะไคร้ฟอกขาวไปทดสอบเคลือบสาร

กรมวิชาการเกษตร

สกัดข่าความเข้มข้น 60 และ 70% ห่อหุ้มพริกขี้หนูผลสดและพริกขี้หนูแห้ง โดยห่อหุ้มพริกขี้หนูผลสดก่อนบรรจุในถุงพลาสติกและเก็บรักษาที่ 13°C เป็นเวลา 1 สัปดาห์ และห่อหุ้มพริกขี้หนูแห้งก่อนบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่ากระดาษตะไคร้ฟอกขาวเคลือบด้วยสารสกัดข่าไม่มีผลต่อการเจริญของเชื้อราและสีของพริกขี้หนูผลสด ขณะที่สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนสีของพริกแห้ง และลดปริมาณสารอะฟลาทอกซิน บี1 ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของกระดาษเยื่อตะไคร้ที่เคลือบสารสกัดข่าทั้งสองความเข้มข้นในการควบคุมเชื้อรา สารอะฟลาทอกซิน บี1 และการเปลี่ยนแปลงสีของพริกแห้ง ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นการนำกระดาษจากเยื่อตะไคร้เคลือบด้วยสารสกัดพืชข่า 60-70% มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมเชื้อรากลุ่ม Aspergillus สามารถนำไปต่อยอดใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเกษตรที่ต้องการหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีในการควบคุมเชื้อรา เช่น การผลิตกระดาษรังผึ้ง (Cooling pad) สำหรับโรงเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น ถึงแม้ต้นทุนการผลิตกระดาษเยื่อตะไคร้ฟอกขาวเคลือบสารสกัดหยาบนี้มีต้นทุน 11.501 บาท/แผ่น แต่หากมีการพัฒนาในระดับที่ใหญ่กว่าห้องปฏิบัติการ เชื่อว่าต้นทุนจะลดลงอย่างมาก

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ :

จากผลการศึกษานี้สามารถนำไปต่อยอดการผลิตกระดาษสำหรับอุตสาหกรรมที่ต้องการกระดาษที่ทนทาน สารเคลือบผิวทนทานต่อความชื้น และยับยั้งการเกิดเชื้อราได้ เช่น การผลิตกระดาษรังผึ้ง (Cooling pad) สำหรับโรงเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น

11. คำขอบคุณ (ถ้ามี) :

ขอขอบคุณคุณศิริพร เต็งรัง คุณนภัสสร เลียบวัน คุณสุมิตรา ศรีเอี่ยม คุณอุรชา ชุ่มชื่น รวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสารพิษจากเชื้อรา และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการบรรจุภัณฑ์ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร สำหรับความช่วยเหลือตลอดการทำวิจัย

12. เอกสารอ้างอิง :

กนกพร พูลผล. 2555. การยับยั้งการเติบโตและการผลิตอะฟลาทอกซินของเชื้อราในถั่วลิสงด้วยสารสกัดสมุนไพร. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตเทคโนโลยีชีวภาพ สขาเทคโนโลยีชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 111 หน้า.

ชญานิน วังตาล และรักชนก อินจันทร์. 2560. การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษจากชานอ้อยของชุมชนบ้านป่าก่อพัฒนา ตำบลดงมะดะ อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย. *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการนเรศวรวิจัย ครั้งที่ 13: วิจัยและนวัตกรรม ขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคม.* พิษณุโลก. หน้า 916-925.

ธัญญ์วาริน ชูวัฒน์วรกูล สมจินตนา ทวีพานิชย์ พิชญาภรณ์ สุวรรณกูฏ และ สายสมร ลำลอง. 2560. ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากพืชสมุนไพรในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Penicillium citrinum Aspergillus flavus* var. flavus และ *Aspergillus tamarii* ที่แยกได้จากยางพาราแผ่น. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.* 45(2): 276-286.

กรมวิชาการเกษตร

เนตรา สมบูรณ์แก้ว สุพี วนศิรากุล และ ศุภรา อัคคะสาระกุล. 2558. การศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดพืชในการควบคุมการเจริญของเชื้อ *Aspergillus flavus* และลดปริมาณสารแอฟลาทอกซิน. *รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม ปี 2558 (เล่ม 1) กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร*. กรุงเทพฯ. หน้า 185-199.

บุษรา สร้อยระย้า ชมภูนุช เผื่อนพิภพ ดวงกมล ตั้งสถิตพร อัชชา ศิริพันธุ์ และ ประพาฬภรณ์ ธีรมงคล. 2554. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมจากเส้นใยกล้วยสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูป. คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร: กรุงเทพฯ.

วิขัณฑ์ อรรณพานุรักษ์ และประเทือง พุฒซ้อน. 2550. การผลิตเยื่อกระดาษฟอกขาวจากเปลือกในปอสาด้วยกรรมวิธีด่างกับออกซิเจน. *เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45: สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม*. กรุงเทพฯ. หน้า 795-802.

วุฒินันท์ คงทัด รังสิมา ชลคุป และ สุธีรา วิทยากาญจน์. 2561. การผลิตเยื่อจากทะลายปาล์มน้ำมันโดยวิธีฟอกขาวเพื่อทำกระดาษหัตถกรรม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. [ออนไลน์] สืบค้นจาก: https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=50315 (18 มิถุนายน 2563).

วุฒิพงษ์ โรจน์เขษมศรี. 2561. การพัฒนาเศษวัสดุหญ้านวลน้อยเพื่อการออกแบบผนังประดับสำหรับตกแต่งภายในอาคาร. *วารสารวิชาการแพรวากาฬสินธุ์ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*. 5(3): 513-528.

ศิริพร เต็งรัง สุปรียา ศุขเกษม กนกศักดิ์ ลอยเลิศ และ ประยูร เอ็นมาก. 2556. วิจัยและพัฒนาแผ่นใยอัดจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร. *รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำปี 2556 สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร*. กรมวิชาการเกษตร. หน้า 295-311.

ศิริพร เต็งรัง ประยูร เอ็นมาก นภัสสร เลียบวัน กนกศักดิ์ ลอยเลิศ สุปรียา ศุขเกษม วิมลวรรณ วัฒนาวิจิตร โกเมศ สัตยาวุธ ศุภมาศ กลิ่นขจร จารุวรรณ์ รัตนสกุลธรรม และ สำเริง ช่างประเสริฐ. 2558. รายงานโครงการวิจัยเรื่องวิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ (กิจกรรมที่ 1). กรมวิชาการเกษตร. สืบค้นจาก: https://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2229 [25 ธันวาคม 2563].

Shohei Sakuda, Makoto Ono, Kazuo Furihata, Jiro Nakayama, Akinori Suzuki, and Akira Isogai. 1996. Aflastatin A, a Novel Inhibitor of Aflatoxin Production of *Aspergillus parasiticus*, from Streptomyces. *Journal of the American Chemical Society*. 118 (33): 7855-7856. DOI: 10.1021/ja960899d.

ศรีวิชาการเกษตร