พฤกษเคมีและฤทธิ์ยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum capsici* ของน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุด

Phytochemicals Screening and Antifungal Activity Against *Colletotrichum capsici* of Wood Vinegar from *Garcinia mangostana* Fruit

สุนิษา สุวรรณเจริญ[1] ธีรพิชญ์ เกษมสุข[1] สุวรรณา มิ่งจงเจริญ[1] วันวิภา ทำประโยชน์[1] วิไลวรรณ แจ้งชัด[1] ธิดารัตน์ ชุ่มมาตร์[1] และอาภาพร บุญมี[1*]

Sunisa Suwancharoen[1] Teerapich Kasemsuk[1] Suwanna Mingjongjaroen[1] Wanwipa Tamprayort[1] Wilaiwan Jangchud[1] Thidarat Chummat[1] and Apaporn Boonmee[1]

Received: June 24, 2019; Revised: October 17, 2019; Accepted: October 24, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาผลมังคุดด้อยคุณภาพต่อสมบัติทางกายภาพ พฤกษเคมี และฤทธิ์ยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum capsici* โดยน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดที่ศึกษาแบ่งเป็น 2 ชนิดตามขั้นตอนการผลิต คือ น้ำส้มควันไม้ช่วงไล่ความชื้น (ช่วงที่ 1) และน้ำส้มควันไม้ช่วงไม้กลายเป็นถ่าน (ช่วงที่ 2) ผลการวิจัยพบว่าน้ำส้มควันไม้ทั้งสองช่วงมีสมบัติทางกายภาพที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่า pH จุดเดือดและความหนาแน่นเท่ากับ 4.98 – 5.10 105 – 113 องศาเซลเซียส และ 0.9738 – 1.0071 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ และพฤกษเคมีที่เป็นองค์ประกอบในน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากน้ำส้มควันไม้ทั้งสองช่วงมีองค์ประกอบที่เหมือนกันคือ อัลคาลอยด์ สารประกอบฟีนอลิก และเทอร์พีนอยด์ โดยระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำส้มควันไม้จากการผลิตทั้งสองขั้นตอนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 3 4 และ 6 เดือน มีผลต่อสมบัติทางกายภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อชนิดของพฤกษเคมี เมื่อศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อรา *C. capsici* ของน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดด้อยคุณภาพ พบว่า น้ำส้มควันไม้ช่วงที่ 2 ที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อรา *C. capsici* ได้ดีที่สุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 7.67 %w/v เมื่อเทียบกับฤทธิ์การยับยั้งเชื้อราของน้ำส้มควันไม้ช่วงที่ 1 (IC_{50} 15.19 %w/v) อย่างไรก็ตามฤทธิ์การยับยั้งเชื้อราของน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดทั้งสองช่วงยังคงต่ำกว่ายาคาร์เบนดาซิม (IC_{50} 0.64 %w/v)

คำสำคัญ : น้ำส้มควันไม้; มังคุด; พฤกษเคมี; ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อรา

[1] *คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี*

[1] *Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi*

[*] *Corresponding Author E - mail Address: apaporn.b@rbru.ac.th*

Abstract

The objective of this research studied the effect of time storage on the physical properties, phytochemical and antifungal activity againts *Colletotrichum capsici* of wood vinegar from poor quality mangosteen fruit. Two types of wood vinegar; collected from the dehydration step (part 1) and the carbonization step (part 2) were used for this study. The results showed that the physical properties; pH, boiling point and density of both vinegar were found in ranges of 4.98 - 5.10, 105 - 113 ^{o}C and 0.9738 - 1.0071 g/cm^{3}, respectively. The chemical constituents screening of these two vinegar also presented the same class of phytochemicals; alkaloids, phenolic compounds and terpenoids. The storage time of two types of wood vinegar for 2, 3, 4 and 6 months at room temperature did significantly effect on the physical properties ($P \leq 0.05$) but effect neither on the group of phytochemicals. For antifungal activity assay, the 4 months storing wood vinegar obtained from carbonization step exhibited the highest antifungal activity against *C. capsici* respect to the IC_{50} of 7.67 %w/v when compared to that obtained from the dehydration step (IC_{50} 15.19 %w/v). However, the antifungal activity of these wood vinegar from mangosteen fruits against *C. capsici* were less than Carbendazim (IC_{50} 0.64 %w/v).

Keywords: Wood Vinegar; Mangosteen; Phytochemical; Antifungal Activity

บทนำ

"ในน้ำมีปลาในนามีข้าว" สำนวนไทยที่บ่งชี้ว่าประเทศไทยเป็นประเทศแห่งเกษตรกรรมซึ่งเป็นอู่ข้าวอู่น้ำของโลกที่พรั่งพร้อมอุดมสมบูรณ์ไปด้วยพืชพันธุ์ธัญญาหาร โดยในแต่ละปีนั้นประเทศไทยมีมูลค่าสินค้าทางการเกษตรส่งออกหลายแสนล้านบาท แต่มูลค่าการส่งออกที่มหาศาลเช่นนี้กลับไม่ได้สะท้อนให้เห็นถึงคุณภาพชีวิตที่ดีของเกษตรกรแต่อย่างใด ทั้งนี้สาเหตุหนึ่งมาจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรที่นอกจากจะเพิ่มต้นทุนการผลิตให้สูงขึ้นแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกรและตกค้างในสิ่งแวดล้อมเป็นระยะเวลานาน ดังนั้นเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการผลิตและลดความเสี่ยงต่อการใช้สารเคมีอันตรายทางหนึ่งที่สามารถดำเนินการได้คือ การค้นหาสารจากธรรมชาติเพื่อใช้ในการเกษตรซึ่งหนึ่งในทางเลือกที่กำลังเป็นที่สนใจในหมู่ของเกษตรกรในปัจจุบันคือ การใช้น้ำส้มที่เกิดจากการเผาถ่านที่ถูกขนานนามว่า "น้ำส้มควันไม้" (Wood Vinegar หรือ Pyroligneous Acid) ได้ถูกนำมาใช้ในเกษตรอินทรีย์เพื่อควบคุมศัตรูพืช เร่งการเจริญเติบโตของพืช [1] ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา ตลอดจนใช้ช่วยในการจับตัวกันของยาง [2] โดยวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำส้มควันไม้มีหลายชนิดและแต่ละชนิดมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่แตกต่างกันเช่น น้ำส้มควันไม้จากสับปะรดมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อรา *Pycnoporuss anguineus* และ *Coriolus versicolor* ได้อย่างมีนัยสำคัญและสามารถยับยั้ง *Aspergillus niger* และ *Botryodiplodia theobromae* ได้ดีมากที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 70 และ 100 โดยปริมาตรในระยะเวลา 7 วัน และ

สามารถฆ่าปลวกสายพันธุ์ *Coptotermescu rvignathus* ได้ร้อยละ 100 เมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ [3] น้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่พบว่าสารประกอบหลักที่มีอยู่คือสารในกลุ่มฟีนอล (Phenol) คีโตน (Ketone) และเฟอร์ฟูแรน (Furfuran) ซึ่งพบว่าเมื่อผสมน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่ลงในอาหารหมูและดูการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในอุจจาระของลูกหมูเปรียบเทียบกับอาหารที่ผสมยาปฏิชีวนะพบว่า น้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่สามารถยับยั้งแบคทีเรียในอุจจาระของลูกหมูได้ใกล้เคียงกับการใช้ยาปฏิชีวนะ [4] น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผากะลามะพร้าวไม้ไผ่และไม้ยูคาลิปตัสสามารถใช้ในการทำให้ยางพาราแข็งตัว และสมบัติบางประการของยางธรรมชาติที่ได้จากการใช้น้ำส้มควันไม้เหมือนกับการใช้กรดอะซิติกแต่ดีกว่าการใช้กรดฟอร์มิก ส่วนการยับยั้งเชื้อราของน้ำส้มควันไม้พบว่า ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราขึ้นอยู่กับสารประกอบฟีนอลิก โดยน้ำส้มควันไม้จากกะลามะพร้าวให้ผลการยับยั้งดีที่สุดและดีกว่ากรดแอซิติกและกรดฟอร์มิก [2] นอกจากนี้ยังมีรายงานวิจัยพบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาไม้อัดซึ่งมีสารยึดติดในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลและยูเรีย (Urea) มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา White Rot (*Trametes versicolor*) และเชื้อรา Brown Rot (*Tyromyces palustris*) สูงกว่าไม้ธรรมชาติที่ไม่มีสารยึดติด [5] อย่างไรก็ตามการศึกษาเกี่ยวกับผลของระยะเวลาต่อการเก็บน้ำส้มควันไม้และประสิทธิภาพของน้ำส้มควันไม้ในช่วงเวลาต่าง ๆ ยังมีอยู่น้อยมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาน้ำส้มควันไม้ต่อสมบัติทางกายภาพ พฤกษเคมีที่เป็นองค์ประกอบ และฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราโรคพืชในสกุล *Colletotrichum*

เชื้อราในสกุล *Colletotrichum* เป็นเชื้อราที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคแอนแทรคโนสซึ่งสร้างความสูญเสียให้กับพืชเศรษฐกิจหลายชนิดทั้งพืชตระกูลถั่ว พริก ไม้ผลต่าง ๆ โดยจะทำให้ผลผลิตเน่าเสียอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้น ไม่สามารถขนส่งระยะไกลได้ และเชื้อรานี้สามารถระบาดได้อย่างรวดเร็วและรุนแรงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ซึ่งในปัจจุบันการควบคุมเชื้อราชนิดนี้มักใช้สารเคมีในการป้องกันโรค โดยเฉพาะสารเคมีประเภทดูดซึม เช่น คาร์เบนดาซิม (Carbendarzime) เบนโนมิล (Benomyl) และไทอาเบนดาโซล (Thiabendazole) นอกจากนี้ยังพบว่ากรดอินทรีย์หลายชนิดสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราสกุลนี้ได้ โดยกรดแอซิติกสามารถยับยั้งได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรดอินทรีย์ชนิดอื่น [6] ดังนั้นน้ำส้มควันไม้ซึ่งมีกรดแอซิติกเป็นองค์ประกอบจึงอาจมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อราในสกุลนี้ได้เช่นเดียวกัน โดยมีรายงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าน้ำส้มควันไม้จากต้นยูคาลิปตัสและสะเดาสามารถยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum* ในมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ [7] อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการนำน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดมาใช้ในการยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum* แต่มีรายงานวิจัยพบว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดสามารถยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum* ได้ [8] ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum* โดยใช้น้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาผลมังคุดด้อยคุณภาพ ซึ่งได้แก่ มังคุดผลอ่อนและมังคุดที่เปลือกมีรอยแตกมีน้ำยางสีเหลืองไหลซึ่งเป็นของเหลือทิ้งในสวนผลไม้ ทั้งนี้เพื่อเป็นการใช้ของเสียทางการเกษตรให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้นและจะนำไปสู่การพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์น้ำส้มควันไม้ที่เกษตรกรสามารถนำไปใช้ในการเกษตรได้อย่างแพร่หลายในลำดับต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. **การเผาและการเก็บน้ำส้มควันไม้**

การเผาและการเก็บน้ำส้มควันไม้ได้รับความอนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่จากศูนย์กสิกรรมโป่งแรด ตำบลพลับพลา อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี โดยมีขั้นตอนการเผาและการเก็บน้ำส้มควันไม้เริ่มต้นจากการบรรจุผลมังคุดด้อยคุณภาพจนเต็มถังถึงด้านบนเตา น้ำหนัก 50 กิโลกรัม ปิดฝาเตาและเตรียมไม้สำหรับจุดไฟหน้าเตาก่อไฟล่อหน้าเตาประมาณ 30 นาที จึงปิดปากเตาให้ความร้อนผ่านตรงช่องปล่องเริ่มเก็บน้ำส้มควันไม้โดยแบ่งการเก็บเป็น 2 ช่วง โดยช่วงที่ 1 ไล่ความชื้นช่วงนี้ควันที่ออกมาจากปากปล่องจะมีสีเทา - ดำ และช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่ไม้กลายเป็นถ่านในช่วงนี้ควันที่ออกมาจากปากปล่องจะพุ่งแรงและมีสีเหลืองปนเทาหนา เริ่มหยุดเก็บน้ำส้มควันไม้เมื่อควันบริเวณปากปล่องมีสีขาวเทาออกน้ำเงินอุณหภูมิปากปล่องประมาณ 80 องศาเซลเซียส และปิดฝาเตาให้สนิทเมื่อน้ำส้มควันไม้หยุดไหล น้ำส้มควันไม้ที่เก็บได้จะถูกบรรจุขวดแก้วและนำไปเก็บไว้ในตู้ทึบแสงที่อุณหภูมิห้องสำหรับการศึกษาต่อไป

เมื่อเก็บน้ำส้มควันไม้ไว้ครบ 2 3 4 และ 6 เดือน แล้วนำไปทดสอบหาค่า pH โดยใช้ pH meter หาจุดเดือดด้วยวิธีเซมิโคร และหาความหนาแน่นโดยใช้พิคโนมิเตอร์ โดยทำการทดสอบ 3 ครั้ง แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และนำผลการวิเคราะห์ของแต่ละช่วงเวลามาวิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของข้อมูล โดยใช้ One-Way Anova (Single Factor)

2. **การตรวจสอบพฤกษเคมีเบื้องต้น**

การตรวจสอบพฤกษเคมีเบื้องต้นในน้ำส้มควันไม้ทำโดยปรับปรุงจากวิธีการของ Farnsworth, N. R. และ Ayoola, G. A. et al. [9] - [10] โดยกลุ่มสารเบื้องต้นที่ทำการตรวจสอบ ได้แก่ อัลคาลอยด์ (Alkaloids) แทนนิน (Tannins) สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic Compounds) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ซาโปนิน (Saponins) เทอร์พีนอยด์ (Terpenoids) และแอนทราควิโนน (Anthraquinones) โดยวิธีการตรวจสอบเป็นดังนี้

อัลคาลอยด์ นำสารตัวอย่าง 0.5 กรัม เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปอุ่นเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปกรองนำส่วนสารละลายมาทดสอบกับสารละลาย Wagner หากปรากฏตะกอนสีน้ำตาลแสดงว่าพบอัลคาลอยด์

แทนนิน นำสารตัวอย่าง 0.5 กรัม ละลายในน้ำปริมาตร 5 มิลลิลิตร อุ่น 15 นาที ถ้าขุ่นให้หยดโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร 4 - 5 หยด จากนั้นนำไปกรองนำสารละลายที่ได้จากการกรองมาทดสอบกับเจลาตินเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร หากปรากฏตะกอนสีขาวขุ่นแสดงว่าพบแทนนิน

สารประกอบฟีนอลิก นำสารตัวอย่าง 0.5 กรัม ละลายในน้ำปริมาตร 5 มิลลิลิตร อุ่น 15 นาที ถ้าขุ่นให้หยดโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร 4 - 5 หยด จากนั้นนำไปกรองนำสารละลายที่ได้จากการกรองมาทดสอบกับเฟอร์ริคคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร หากปรากฏสีเขียวแกมน้ำตาลขุ่นแสดงว่าพบสารประกอบฟีนอลิก

ฟลาโวนอยด์ นำสารตัวอย่าง 0.5 กรัม ละลายในปิโตรเลียมอีเทอร์ 4 มิลลิลิตร นำไปกรองแล้วนำส่วนที่ไม่ละลายไปละลายในเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 โดยปริมาตร 8 มิลลิลิตร นำมาทดสอบ Cyadinin Test โดยนำลวดแมกนีเซียมมาใส่ในหลอดทดลอง 3 - 4 ชิ้น แล้วค่อยหยดกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 หยด สังเกตฟองที่เกิดทิ้งไว้ให้ละลายจนหมดจากนั้นเติมน้ำ 1 มิลลิลิตร และนอร์มอลบิวทานอล 1 มิลลิลิตร สังเกตสีในชั้นของนอร์มอลบิวทานอลหากปรากฏสีแดงส้มเลือดหมูม่วงหรือสีน้ำเงินแสดงว่าพบฟลาโวนอยด์

ซาโปนิน ใช้การทดสอบฟองโดยนำสารตัวอย่าง 0.5 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปต้มให้เดือดจากนั้นนำไปกรองและนำผลกรองซึ่งเป็นของเหลว (Filtrate) มาเติมน้ำกลั่นปริมาตร 2 - 3 มิลลิลิตร เขย่าอย่างแรงหากมีฟองเกิดขึ้นแสดงว่าพบซาโปนิน

เทอร์พีนอยด์ ใช้การทดสอบซาลโควสกี (Salkowski Test) ชั่งสารตัวอย่าง 0.5 กรัม สกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ครั้งละ 3 - 5 มิลลิลิตร 2 ครั้ง เติมคลอโรฟอร์มปริมาตร 2 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าและค่อย ๆ เติมกรดซัลฟิวริกหากเกิดสีน้ำตาลแดงระหว่างรอยต่อของสารละลายแสดงว่าพบเทอร์พีนอยด์

แอนทราควิโนน นำสารตัวอย่าง 0.5 กรัม เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปอุ่น 5 นาที กรองแล้วปล่อยให้สารละลายเย็นลงที่อุณหภูมิห้องสกัดด้วยคลอโรฟอร์มเติมสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร 2 - 3 หยด สังเกตสีชมพูแดงที่เกิดขึ้นแสดงว่าพบแอนทราควิโนน

3. **การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum capsici***

ทดสอบการยับยั้งเชื้อ *Colletotrichum capsici* ของน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดช่วงที่ 1 และ 2 ที่เก็บเป็นระยะเวลา 2 3 4 และ 6 เดือน ตามลำดับ เปรียบเทียบกับยาคาร์เบนดาซิม (Carbendazim) โดยใช้วิธี Poisoned Food Technique [11] - [12] โดยเชื้อ *C. capsici* ได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อชนิด Potato Dextrose Agar (PDA) โดยเมื่อเตรียมอาหาร PDA แล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยเครื่องนึ่งอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดด้อยคุณภาพผสมลงในอาหาร PDA โดยเตรียมให้น้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดช่วงที่ 1 และ 2 ได้ความเข้มข้นสุดท้ายอยู่ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 6 - 18 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นนำอาหารที่ได้มาเทใส่จานเลี้ยงเชื้อจานละ 20 มิลลิลิตร สำหรับชุดควบคุมบวกใช้ยาคาร์เบนดาซิมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 - 1.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผสมลงในอาหาร PDA และชุดควบคุมลบมีเฉพาะอาหาร PDA เมื่อผิวหน้าอาหารที่เตรียมไว้ทั้ง 3 ชุดแห้งสนิทแล้วนำเชื้อ *C. capsici* มาเลี้ยงในอาหาร PDA เพื่อทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *C. capsici* โดยนำวุ้นที่มีเส้นใยโคโลนีเชื้อราที่มีอายุไม่เกิน 10 วัน วางบนผิวหน้าอาหารที่เตรียมไว้บริเวณกึ่งกลางจานเลี้ยงเชื้อแล้วนำเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิห้องทำการทดลอง 5 ซ้ำ วัดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีและคำนวณร้อยละการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา (Percent Inhibition of Radial Growth; *PIRG*) เปรียบเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีของเชื้อราในจานอาหารที่มีเพียงอาหาร PDA ดังสมการที่ (1)

$$PIRG = \frac{R1 - R2}{R1} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ

$R1$ = ความยาวรัศมีของโคโลนีเชื้อในจานควบคุม (PDA)

$R2$ = ความยาวรัศมีของโคโลนีเชื้อในจานทดสอบ

นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตัวอย่างเทียบกับค่าเฉลี่ยร้อยละการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา กราฟที่สร้างนี้นำมาวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ร้อยละ 50 (IC_{50}) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราในแต่ละช่วงเวลาที่เก็บรักษาน้ำส้มควันไม้ต่อไป

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำส้มควันไม้

น้ำส้มควันไม้เป็นผลผลิตที่ได้จากการควบแน่นควันที่เกิดจากการผลิตถ่านไม้โดยทั่วไป จะมีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาล มีกลิ่นควันไฟ โดยวัสดุที่นำมาผลิตน้ำส้มควันไม้นั้นมีหลากหลายชนิด ทำให้น้ำส้มควันไม้มีคุณลักษณะและสมบัติที่แตกต่างกันไปตามชนิดของวัสดุที่นำมาเผาสำหรับงานวิจัยนี้ เมื่อนำผลมังคุดด้อยคุณภาพมาเผาจนได้น้ำส้มควันไม้แล้ว ผู้วิจัยได้ศึกษาสมบัติของน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดด้อยคุณภาพช่วงที่ 1 คือช่วงไล่ความชื้น และช่วงที่ 2 คือช่วงไม้กลายเป็นถ่านที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 2 3 4 และ 6 เดือน ผลการศึกษาพบว่าน้ำส้มควันไม้ที่เก็บได้มีกลิ่นฉุนโดยน้ำส้มควันไม้ที่เก็บในช่วงที่ 1 มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลแดง มีผลผลิตเท่ากับ 112 มิลลิลิตร ต่อผลมังคุด 1 กิโลกรัม ส่วนน้ำส้มควันไม้ที่เก็บในช่วงที่ 2 มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้ม มีผลผลิตเท่ากับ 176 มิลลิลิตร ต่อผลมังคุด 1 กิโลกรัม เมื่อนำมาตรวจสอบสมบัติทางเคมีคือค่า pH และสมบัติทางกายภาพคือจุดเดือดและความหนาแน่นพบว่าค่า pH จุดเดือดและความหนาแน่นเป็นดังตารางที่ 1 โดยค่า pH ของน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดอยู่ในช่วง 4.98 - 5.10 และจากการหาจุดเดือดด้วยวิธีเซมิไมโครพบว่าจุดเดือดของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากผลมังคุดมีค่าอยู่ในช่วง 105 - 113 องศาเซลเซียส สำหรับการศึกษาความหนาแน่นของน้ำส้มควันไม้โดยใช้พิคโนมิเตอร์พบว่าความแน่นของน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดมีค่าอยู่ในช่วง 0.9738 - 1.0071 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่าค่า pH จุดเดือด และความหนาแน่น ของน้ำส้มควันไม้ที่เก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบน้ำส้มควันไม้จากผลของมังคุดจากงานวิจัยนี้กับน้ำส้มควันไม้จากเปลือกและผลของมังคุดที่ได้มีการรายงานไว้ก่อนหน้านี้ดังแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นว่าแม้จะใช้วัสดุชนิดเดียวกัน คือ เปลือกมังคุดหรือผลของมังคุดแต่หากเป็นมังคุดในพื้นที่ที่แตกต่างกันหรือกระบวนการในการผลิตต่างกันก็อาจส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำส้มควันไม้ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า pH และความหนาแน่นของน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดในงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของ Hiranrat, A. et al. [13] พบว่าน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดในงานวิจัยนี้มีค่า pH ที่สูงกว่าแต่ค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกันอย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับค่า pH และความหนาแน่นของน้ำส้มควันไม้ดิบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช., Thai community product standards 659/2553) [14] พบว่าน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากเปลือกและผลของมังคุดจากรายงานวิจัยโดยส่วนใหญ่รวมถึงงานวิจัยนี้มีค่า pH สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนดไว้ (pH 2.0 - 3.0) ทั้งนี้การที่น้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดมีค่า pH ที่สูงกว่ามาตรฐานอาจเนื่องมาจากผลมังคุดมีปริมาณของน้ำในเนื้อมังคุดมากกว่าเนื้อไม้ซึ่งการใช้ผลมังคุดที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบมากกว่าเนื้อไม้ทั่วไปในการผลิตน้ำส้มควันไม้อาจส่งผลให้น้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดมีองค์ประกอบของน้ำมากและทำให้ pH มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดด้อยคุณภาพที่จัดเก็บไว้เป็นระยะเวลา 2 3 4 และ 6 เดือน

น้ำส้มควันไม้	ระยะเวลา (เดือน)	pH	จุดเดือด (^oC)	ความหนาแน่น (g/cm^3)
ช่วงที่ 1	2	5.02 ± 0.01^a	108 ± 1.73^a	0.9747 ± 0.0005^a
	3	5.05 ± 0.01^b	109 ± 1.15^a	1.0052 ± 0.0024^b
	4	4.98 ± 0.01^c	105 ± 0.58^b	0.9738 ± 0.0005^a
	6	5.03 ± 0.02^{ab}	110 ± 0.58^{ac}	1.0051 ± 0.0000^b
ช่วงที่ 2	2	5.08 ± 0.01^a	108 ± 1.15^a	0.9774 ± 0.0004^a
	3	5.10 ± 0.01^{ab}	113 ± 3.46^a	1.0059 ± 0.0005^b
	4	5.10 ± 0.01^b	107 ± 1.73^a	0.9756 ± 0.0006^c
	6	5.07 ± 0.01^c	109 ± 0.58^a	1.0071 ± 0.0000^b

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละเดือน ($P \leqslant 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบน้ำส้มควันไม้ในช่วงเดียวกันในแต่ละคอลัมน์

ตารางที่ 2 ค่า pH และความหนาแน่นของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากเปลือกมังคุดและผลของมังคุด

ชนิดของน้ำส้มควันไม้	pH	ความหนาแน่น (g/cm^3)	References
เปลือกมังคุด	4.56	1.020	[15]
เปลือกมังคุด	3.89	-	[16]
ผลมังคุด	4.08 - 4.40	0.98 - 1.01	[13]
ผลมังคุด	4.98 - 5.10	0.9747 - 1.0059	งานวิจัยนี้
น้ำส้มควันไม้ดิบตามมาตรฐาน มผช.	2.0-3.0	1.010 - 1.025	[14]

2. การตรวจสอบพฤกษเคมีเบื้องต้นของน้ำส้มควันไม้ผลมังคุด

ผลมังคุดมีพฤกษเคมีหลายชนิดเป็นองค์ประกอบโดยสารที่พบปริมาณมากในมังคุด คือ สารในกลุ่มแซนโทน [17] - [18] และสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ [19] ซึ่งสารทั้งสองกลุ่มนี้จัดเป็นพฤกษเคมีในกลุ่มสารประกอบพอลิฟีนอลที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลาย [20] ทำให้ผู้วิจัยสนใจศึกษาพฤกษเคมีที่อาจตรวจพบในน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษาพฤกษเคมีของน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดทั้งสองช่วงที่ระยะเวลา 2 3 4 และ 6 เดือน ของการทดลอง โดยนำมาตรวจหากลุ่มสารในเบื้องต้นทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ อัลคาลอยด์ แทนนิน สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ ซาโปนิน เทอร์พีนอยด์ และแอนทราควิโนน ด้วยวิธีการเกิดสีหรือตะกอนได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบพฤกษเคมีเบื้องต้นของน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดด้อยคุณภาพ

น้ำส้มควันไม้	ระยะเวลา (เดือน)	อัลคาลอยด์	สารประกอบฟีนอลิก	แทนนิน	ฟลาโวนอยด์	ซาโปนิน	เทอร์พีนอยด์	สเตรอยด์
ช่วงที่ 1	2	+	+	-	-	-	+	-
	3	+	+	-	-	-	+	-
	4	+	+	-	-	-	+	-
	6	+	+	-	-	-	+	-
ช่วงที่ 2	2	+	+	-	-	-	+	-
	3	+	+	-	-	-	+	-
	4	+	+	-	-	-	+	-
	6	+	+	-	-	-	+	-

หมายเหตุ + = ตรวจพบพฤกษเคมี
- = ตรวจไม่พบพฤกษเคมี

ผลการทดสอบพบว่าน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดทั้งสองช่วงที่เก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลา 2 - 6 เดือน มีกลุ่มสารพฤกษเคมีชนิดเดียวกันเป็นองค์ประกอบคือ อัลคาลอยด์ สารประกอบฟีนอลิก และเทอร์พีนอยด์ โดยไม่พบความแตกต่างของชนิดพฤกษเคมี คณะผู้วิจัยจึงได้นำน้ำส้มควันไม้ทั้งสองช่วงมาศึกษาองค์ประกอบทางเคมีเพิ่มเติมในเบื้องต้นโดยนำน้ำส้มควันไม้ทั้งสองช่วงที่เก็บไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ มาสกัดด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนและนำมาตรวจสอบองค์ประกอบของน้ำส้มควันไม้ในเบื้องต้นด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทรกราฟี (TLC) โดยใช้ซิลิกาเป็นเฟสคงที่และ Hexane:Ethylacetate (70:3) เป็นเฟสเคลื่อนที่ โดยตรวจสอบจุดสารภายใต้แสงยูวี และสารละลายวานิลลินได้ผลดังรูปที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่าสารสกัดไดคลอโรมีเทนของน้ำส้มควันไม้ทั้งสองช่วงมีรูปแบบขององค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบน้ำส้มควันไม้ที่เก็บไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ จะเห็นว่า ความเข้มสีของจุดสารมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับระยะเวลาที่เก็บรักษาน้ำส้มควันไม้ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าแม้ชนิดของพฤกษเคมีในน้ำส้มควันไม้ทั้งสองช่วงและในแต่ละช่วงเวลาที่เก็บรักษาจะเหมือนกัน แต่มีความแตกต่างกันในองค์ประกอบทางเคมีซึ่งอาจส่งผลต่อฤทธิ์การยับยั้งเชื้อราก่อโรคพืชได้แตกต่างกันด้วย อย่างไรก็ตามควรมีการวิเคราะห์เชิงปริมาณของพฤกษเคมีแต่ละชนิดเพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพฤกษเคมีแต่ละชนิดที่อาจส่งผลต่อฤทธิ์การยับยั้งเชื้อราก่อโรคพืชต่อไป

(ก) สารสกัดน้ำส้มควันไม้ช่วงที่ 1 (ข) สารสกัดน้ำส้มควันไม้ช่วงที่ 2

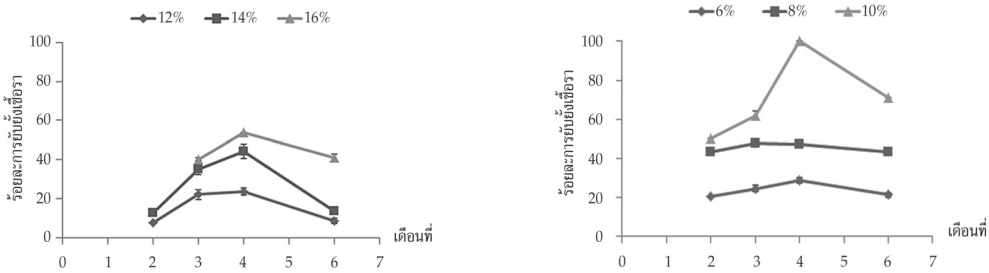
รูปที่ 1 TLC ของสารสกัดหยาบน้ำส้มควันไม้ที่สกัดด้วยไดคลอโรมีเทนทดสอบโดยใช้สารละลายวานิลีนและภายใต้แสงยูวี (รอยวงด้วยดินสอ) (1) : เก็บรักษาไว้ 2 เดือน (2) : เก็บรักษาไว้ 3 เดือน (3) : เก็บรักษาไว้ 4 เดือน

ชนิดของพฤกษเคมีที่พบในน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดของงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hiranrat, A. et al. [13] ที่พบว่าน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดมีสารประกอบฟีนอลิกในปริมาณมากและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบพฤกษเคมีของน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดและพฤกษเคมีของผลมังคุดที่ผ่านการสกัดด้วยวิธีสกัดด้วย ตัวทำละลายคลอโรฟอร์มและเฮกเซนจากงานวิจัยของ Manimekalai, I., et al. [19] พบว่าสารสกัดคลอโรฟอร์มและเฮกเซนของผลมังคุดมีสารประกอบในกลุ่มฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และเทอร์พีนอยด์ ในขณะที่น้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดในงานวิจัยนี้ตรวจไม่พบสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ด้วยวิธีการวิเคราะห์เบื้องต้น ซึ่งสารประกอบฟลาโวนอยด์เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีโครงสร้างเฉพาะที่แตกต่างจากสารประกอบฟีนอลิกชนิดอื่นตรงที่มีโครงสร้างหลักเป็นฟลาโวน (วงไพแรนหรือไพโรน) สารนี้ไม่เสถียรต่อความร้อนเนื่องจากวงฟลาโวนสามารถเกิดการแตกสลายทำให้สารประกอบฟลาโวนอย์กลายเป็นสารกลุ่มฟีนอลอื่น ๆ ได้ง่าย [21] ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าสารฟลาโวนอยด์ในผลมังคุดได้สลายตัวไปเป็นสารประกอบฟีนอลิกชนิดอื่นที่ไม่มีวงฟลาโวนเป็นองค์ประกอบระหว่างกระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้ที่มีการใช้ความร้อนสูง

3. **ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *Colletotrichum capsici* ของน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดด้อยคุณภาพ**

ในการใช้ประโยชน์จากน้ำส้มควันไม้นั้น น้ำส้มควันไม้ที่เก็บได้จากเตาผลิตถ่าน ยังไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในทันทีทั้งนี้เนื่องจากมีน้ำมันดิน (Tar) ซึ่งเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำและสามารถปิดปากใบของพืช และเกาะติดรากพืชได้ ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ช้าลง ดังนั้นจึงต้องมีการทำน้ำส้มควันไม้ให้บริสุทธิ์ก่อนนำไปใช้ประโยชน์ โดยหนึ่งในวิธีการที่เป็นภูมิปัญญาชาวบ้านคือการตั้งน้ำส้มควันไม้ทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 3 เดือน เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของน้ำมันดินก่อนการนำมาใช้งาน [22] อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานวิจัยที่ติดตามประสิทธิภาพของน้ำส้มควันไม้ในช่วงเวลาต่าง ๆ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเชื้อรา *C. capsici* ของน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดด้อยคุณภาพช่วงที่ 1 และ 2 ที่เก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลา 2 3 4 และ 6 เดือน โดยใช้วิธี Poisoned Food Technique และใช้ยาคาร์เบนดาซิมเป็นสารควบคุมบวก

(Positive Control) ได้ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแสดงดังรูปที่ 2 และตารางที่ 4 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดช่วงที่ 1 ที่ความเข้มข้นเดียวกันที่ระยะเวลา 2 3 4 และ 6 เดือน ดังรูปที่ 2(ก) พบว่าร้อยละการยับยั้งเชื้อรา *C. capsici* ของน้ำส้มควันไม้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บไว้นานขึ้นและมีร้อยละการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราสูงที่สุดเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 4 เดือน แต่หลังจาก 4 เดือน พบว่าฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อรา *C. capsici* ลดลงโดยมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดในช่วงที่ 2 ดังรูปที่ 2(ข) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีในน้ำส้มควันไม้ซึ่งสังเกตได้จากผลการวิเคราะห์สารสกัดไดคลอโรมีเทนของน้ำส้มควันไม้ด้วยเทคนิค TLC ดังรูปที่ 1 โดยพบว่าความเข้มของจุดที่ปรากฏในแต่ละช่วงเวลามีความแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีมีผลต่อฤทธิ์การยับยั้งเชื้อรา *C. capsici* โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อราของน้ำส้มควันไม้ทั้งสองช่วงเดือนที่ 4 ซึ่งมีฤทธิ์การยับยั้งเชื้อราดีที่สุดพบว่าน้ำส้มควันไม้ช่วงที่ 2 (IC_{50} 7.67 %w/v) มีฤทธิ์การยับยั้งเชื้อราที่สูงกว่าน้ำส้มควันไม้ในช่วงที่ 1 (IC_{50} 15.19 %w/v) ประมาณ 2 เท่า แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อราของน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดด้อยคุณภาพทั้งสองช่วงกับยาคาร์เบนดาซิมพบว่ายาคาร์เบนดาซิม (IC_{50} 0.64 %w/v) ให้ผลในการยับยั้งเชื้อ *C. capsici* ที่ดีกว่าน้ำส้มควันไม้ทั้งสองช่วง (ตารางที่ 4)



(ก) ช่วงที่ 1 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 12 14 และ 16 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

(ข) ช่วงที่ 2 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 8 และ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

รูปที่ 2 ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *C. capsici* ของน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดเมื่อเก็บไว้ที่ระยะเวลา 2 3 4 และ 6 เดือน

เมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อราของน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดด้อยคุณภาพกับน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาไม้ชนิดอื่นที่ได้มีงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า น้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดด้อยคุณภาพต้องใช้ความเข้มข้นสูงกว่าน้ำส้มควันไม้จากสะเดาและยูคาลิปตัสซึ่งมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* [7] และน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่และยางพาราซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Penicillium* sp. [23] โดยพบว่าเมื่อใช้น้ำส้มควันไม้ความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 2 ขึ้นไปสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราทั้งสองชนิดนี้ได้ร้อยละ 100

ตารางที่ 4 ค่า IC_{50} ของน้ำส้มควันไม้ช่วงที่ 1 และ 2 ที่เก็บเป็นระยะเวลา 2 3 4 และ 6 เดือน ในการยับยั้งเชื้อ *Colletotrichum capsici*

น้ำส้มควันไม้	ระยะเวลา (เดือน)	IC_{50} (%w/v)
ช่วงที่ 1	2	> 14
	3	> 16
	4	15.19
	6	16.82
ช่วงที่ 2	2	10.00
	3	8.33
	4	7.67
	6	9.10
ยาคาร์เบนดาซิม	-	0.64

บทสรุป

ผลมังคุดด้อยคุณภาพที่เป็นของเหลือทิ้งในสวนผลไม้ได้ถูกนำมาผลิตเป็นน้ำส้มควันไม้ได้เป็นน้ำส้มควันไม้ช่วงที่ 1 คือ ช่วงไล่ความชื้นและน้ำส้มควันไม้ ช่วงที่ 2 ช่วงไม้กลายเป็นถ่านซึ่งเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 2 3 4 และ 6 เดือนพบว่าค่า pH จุดเดือด ความหนาแน่น มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ชนิดของพฤกษเคมีไม่แตกต่างกัน สำหรับฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Colletotrichum capsici* จะเปลี่ยนไปตามระยะเวลาที่เก็บรักษาโดยฤทธิ์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนมีฤทธิ์สูงสุดในเดือนที่ 4 โดยน้ำส้มควันไม้ในช่วงที่ 2 มีฤทธิ์การยับยั้งเชื้อรา *C. capsici* ได้สูงกว่าน้ำส้มควันไม้ช่วงที่ 1 แต่ต่ำกว่ายาคาร์เบนดาซิม โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 7.67 15.19 และ 0.64 %w/v ตามลำดับ และฤทธิ์การยับยั้งเชื้อรา *C. capsici* จะลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป 6 เดือน โดยน้ำส้มควันไม้จากผลมังคุดทั้งสองช่วงนี้มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขต 6 จังหวัดจันทบุรี ศูนย์กสิกรรมธรรมชาติโป่งแรด สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร ภาควิชาเคมี ภาควิชาสถิติ และภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำ ตลอดจนเอื้อเฟื้อวัสดุอุปกรณ์และพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างและดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีที่สนับสนุนงบประมาณประจำปีงบประมาณ 2558 เพื่อเป็นทุนสำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

References

[1] Payamara, J. (2011). Usage of Wood Vinegar as New Organic Substance. **International Journal of ChemTech Research CODEN (USA): IJCRGG**. Vol. 3, No. 3, pp. 1658-1662

[2] Baimark, Y. andNiamsa, N. (2009). Study on Wood Vinegars for Use as Coagulatingand Antifungal Agents on the Production of Natural Rubber Sheets. **Biomass and Bioenergy**. Vol. 33, No. 6/7, pp. 994-998. DOI: 10.1016/j.biombioe.2009.04.001

[3] Yahayu, M., Mahmuda, K. N., Mahamada, M. N., Ngadirana, S., Lipehb, S., Ujangb, S. and Zakariaa, Z. A. (2017). Efficacy of Pyroligeneous Acid from Pineapple Waste Biomass as Wood Preserving Agent. **Journal Teknologi (Sciences & Engineering)**. Vol. 79, No. 4, pp. 1-8

[4] Wang, H. F., Wang, J. L., Wang, C., Zhang, W. M., Liu, J. X., and Dai, B. (2012). Effect of Bamboo Vinegar as An Antibiotic Alternative on Growth Performance and Fecal Bacterial Communities of Weaned Piglets. **Livestock Science**. Vol. 144, Issue 1-2, pp. 173-180. DOI: 10.1016/j.livsci. 2011.11.015

[5] Nakai, T., Kartal, N., Hata, T., and Imamura, Y. (2007). Chemical Characterization of Pyrolysis Liquids of Wood-Based Composites and Evaluation of Their Bio-efficiency. **Building and Environment**. Vol. 42, Issue 3, pp. 1236-1241. DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.11.022

[6] Kang, H. C., Park, Y. H., and Go, S. J. (2003). Growth Inhibition of A Phytopathogenic Fungus, *Colletotrichum* Species by Acetic Acid. **Microbiological Research**. Vol. 158, Issue 4, pp. 321-326. DOI: 10.1078/0944-5013-00211

[7] Sangnak, V. and Nalumpang, S. (2010). Efficiency of Wood Vinegar Extracts from Eucalyptus and Neem Trees for Controlling *Collectotrichum gloeosporioides*. **Journal of Agriculture**. Vol. 26, No. 3, pp. 213-222 (in Thai)

[8] Prasothong, N., Plainsirichai, M., Bussaman, P., Luckantinvong, V., and Wongsawas, M. (2011). Effect of Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) Peel Extract on Anthracnose Disease (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) of Mango Fruit cv. In **Proceeding of the 7th Agricultural Systematic National Conference**. Maha Sarakham, Thailand. pp. 520-525 (in Thai)

[9] Farnsworth, N. R. (1996). Biological and Phytochemical Screening of Plants. **Journal of Pharmaceutical Sciences**. Vol. 55, Issue 3, pp. 225-276. DOI: 10.1002/jps.2600550302

[10] Ayoola, G. A., Coker, H. A. B., Adesegun, S. A., Adepoju-Bello, A. A., Obaweya, K., Ezennia, E. C., and Atangbayila, T. O. (2008). Phytochemical Screening and Antioxidant Activities of Some Selected Medicinal Plants Used for Malaria Therapy in Southwestern Nigeria. **Tropical Journal of Pharmaceutical Research**. Vol. 7, No. 3, pp. 1019-1024. DOI: 10.4314/tjpr.v7i3.14686

[11] Bussaman, P., Namsena, P., Rattanasena, P. and Chandrapatya. A. (2012). Effect of Crude Leaf Extract on *Colletotrichum gleosporioides* (Penz.) Sacc. **Psyche: A Journal of Entomology**. Vol. 2012, pp. 1-6. DOI: 10.1155/2012/309046

[12] Chaichompoo, W. and Phichai, K. (2010). Effect of Plant Extract on Growth Inhibition of Colletotrichumsp. **Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal**. Vol. 3, No. 2, pp. 18-25 (in Thai)

[13] Hiranrat, A., Wongsawat, P., Hiranrat, W., and Sumanatrakul, P. (2013). Investigation of Antioxidation Properties from the Wood Vinegar of Mangosteen Fruits. **Thaksin University Journal**. Vol. 16, No. 3, pp. 120-130 (in Thai)

[14] Thai Community Product Standards. (2010). **Wood Charcoal Vinegar 659/2553**. Thai Industrial Standards Institute, Ratchathewi, Bangkok. pp. 1-3 (in Thai)

[15] Luenam, L. (2013). Research of Charcoal Stove and Wood Vinegar Production from Mangoteen Peel. In **The 14th TSAE National Conference and the 6th TSAE International Conference: TSAE 2013**. Hua Hin, Thailand, pp. 428-431 (in Thai)

[16] Onthong, U., Thongnueakhaeng, W., and Mekjinda, N. (2015). The Efficiency of Wood Vinegar from The Mangoteen Peel for The Rubber Sheets Production. **Thaksin University Journal**. Vol. 18, No. 3, pp. 154-160 (in Thai)

[17] Jung, H. A., Su, B. N., Keller, W. J., Mehta, R. G., and Kinghorn, A. D. (2006). Antioxidant Xanthones from The Pericarp of *Garcinia mangostana* (Mangosteen). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. Vol. 54, No. 6, pp. 2077-2082. DOI: 10.1021/jf052649z

[18] Peres, V., Nagem, T. J., and Olivera, F. F. (2000). Tetraoxygenated Naturally Occurring Xanthones. **Phytochemistry**. Vol. 55, Issue 7, pp. 683-710. DOI: 10.1016/s0031-9422(00)00303-4

[19] Manimekalai, I., Sivakumari, K., Ashok, K., and Rajesh, S. (2016). Phytochemical Profiling of Mangoteen Fruit, *Garcinia mangostana*. **World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**. Vol. 5, Issue 2, pp. 221-252

[20] Obolskiy, D., Pischel, I., Siriwatanametanon, N., and Heinrich, M. (2009). *Garcinia mangostana* L.: A Phytochemical and Pharmacological Review. **Phytotherapy Research**. Vol. 23, Issue 8, pp. 1047-1065. DOI: 10.1002/ptr.2730

[21] Chaaban, H., Ioannou, I., Chebil, L., Slimane, M., Gérardin, C., Paris, C., and Ghoul, M. (2017). Effect of Heat Processing on Thermal Stability and Antioxidant Activity of Six Flavonoids. **Journal of Food Processing and Preservation**. Vol. 41, Issue 5, pp. 1-12. DOI: 10.1111/jfpp.13203

[22] Theapparat, Y., Chandumpai, A., and Faroongsarng, D. (2017). Physicochemistry and Utilization of Wood Vinegar from Carbonization of Tropical Biomass Waste. **Tropical Forests-New Edition**. Intech Open, pp. 163-183. DOI:10.5772/intechopen.77380

[23] Wisittawong, N. and Nalumpang, S. (2017). Controlling Penicillium Fruit Rot of Citrus Using Wood Vinegar and Some Medicinal Plant Extracts. **Thai Agricultural Research Journal**. Vol. 35, No. 1, pp. 100-109 (in Thai)