การประชุมสวนสุนันทาวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 9
เรื่อง “การยกระดับงานวิจัยสู่นวัตกรรม”

# คุณสมบัติของน้ำควันที่มีผลทางชีวภาพต่อเมล็ดมะเขือเทศ

**ธนธรณ์ จิระจิตต์มีชัย[1], พิจิตรา แก้วสอน[2], และจุติภรณ์ ทัสสกุลพนิช[3]**

[1,2,3]ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
email: jutiporn.thu@ku.th

**บทคัดย่อ**

น้ำควันถูกผลิตขึ้นเพื่อเป็นแหล่งของ karrikinolide ($KAR_1$) ซึ่งเป็นสารที่ออกฤทธิ์ดีที่สุดในกลุ่มคาร์ริคินส์ (KARs) คาร์ริคินส์เป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชชนิดหนึ่งที่ได้จากการเผาไหม้ของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำควันที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำควันแต่ละชนิดต่อคุณภาพของเมล็ดมะเขือเทศ น้ำควันถูกผลิตจากฟางข้าว ชานอ้อย และขุยมะพร้าว ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และ D-xylose เป็นหน่วยย่อยของเฮมิเซลลูโลส ในการทดลองที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติน้ำควันพบว่าน้ำควันมีลักษณะเป็นกรดและน้ำควันความเข้มข้น 100% มีค่าการนำไฟฟ้า (EC) สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นอื่น ในการทดลองที่ 2 การทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำควันที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (0%, 0.1%, 1%, 10% และ 100%) และใช้ $KAR_1$ 10 µM เป็นชุดควบคุมเชิงบวก โดยการสังเกตการงอกของเมล็ดและการเกิดโฟโตมอร์โฟเจเนซิส ผลการทดลองพบว่าน้ำควันเกือบทุกชนิดและทุกความเข้มข้นยกเว้นความเข้มข้น 100% จากฟางข้าวมีเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดสูงเท่ากับ $KAR_1$ จากนั้นการเกิดโฟโตมอร์โฟเจเนซิสซึ่งพิจารณาจากการทำให้ส่วนใต้ใบเลี้ยงสั้นลง โดยการใช้น้ำควันความเข้มข้น 10% จากชานอ้อย ขุยมะพร้าวและ D-xylose และความเข้มข้น 1% จากฟางข้าวทำให้มะเขือเทศมีความยาวของส่วนใต้ใบเลี้ยงสั้นใกล้เคียงกับ $KAR_1$ ความเข้มข้นเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในการทดลองต่อไป ในการทดลองที่ 3 ทดสอบคุณภาพของเมล็ดมะเขือเทศโดยใช้วิธีการเพาะเมล็ดบนกระดาษ พบว่าน้ำควันทุกชนิดมีเวลาในการงอกเฉลี่ยใกล้เคียงกับ $KAR_1$ ยิ่งไปกว่านั้นน้ำควันจากชานอ้อย 10% มีจำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอก (days to emergence) น้อยที่สุด (3.17 วัน) ดังนั้นน้ำควันที่ 100% ไม่เหมาะสำหรับการใช้งานที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช แต่ความเข้มข้นอื่นสามารถใช้ในการศึกษาในอนาคตได้

**คำสำคัญ:** น้ำควัน, ส่วนใต้ใบเลี้ยง, การงอก, คุณภาพของเมล็ดพันธุ์, ผัก

# The Properties of Smoke Waters Containing Biological Effects on Tomato Seed

**Tanathorn Jirajitmeechai[1], Pichittra Kaewsorn[2] and Jutiporn Thussagunpanitand[3]**

[1,2,3]Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University
email: jutiporn.thu@ku.th

**Abstract**

Smoke water was produced as a source of karrikinolide ($KAR_1$) which was the most active compound of karrikins (KARs). KARs are the plant growth stimulant derived from the burning of cellulose and hemicellulose. The objectives of this study are to compare the biological activities of smoke water produced from various types of agricultural wastes and to compare the efficiency of different types of smoke water on germination and seed quality of tomato. Smoke water was derived from rice straw, sugarcane bagasse and coconut husk which were an agricultural waste as well as D-xylose as a small unit of hemicellulose. In experiment 1, different types of smoke water were checked for their properties. The result showed that smoke waters had acidic nature and 100% of smoke waters had the highest electrical conductivity (EC) comparing to other concentrations. In experiment 2, biological activity test of smoke water at different concentrations (0%, 0.1%, 1%, 10% and 100%) and 10 µM $KAR_1$ as the positive control were used to study biological activities by observing seed germination and photomorphogenesis in tomato. The results showed that almost all types and concentrations of smoke water excepted 100% smoke water from rice straw had the percentage of seed germination as high as $KAR_1$. Then, the induction of photomorphogenesis was considered by the hypocotyl shortening. Smoke water at 10% from sugarcane bagasse, coconut husk and D-xylose and at 1% from rice straw exhibited hypocotyl length as short as $KAR_1$. So, they were used in the next for further experiment. In experiment 3, tomato seed qualities were tested by top of paper method. The result showed that all types of smoke water had the same mean germination time as $KAR_1$. Moreover, 10% smoke water from sugarcane showed the least days to emergence (3.17 days). Smoke waters at 100% were unsuitable for plant growth-promoting applications but, other concentrations could use in future studies.

**Keywords:** smoke-water, hypocotyl, germination, seed quality, vegetable

**บทนำ**

การเจริญเติบโตของพืชสามารถกระตุ้นได้ด้วยฮอร์โมนพืช (Depuydt & Hardtke, 2011) ด้วยเหตุนี้จึงมีการใช้ฮอร์โมนพืชสังเคราะห์ที่เรียกว่าสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในการเกษตรเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตของพืช ในปัจจุบันมีการรายงานการค้นพบฮอร์โมนพืชแล้วอย่างน้อย 9 กลุ่ม ประกอบด้วย ออกซิน (auxins) จิบเบอเรลลิน (gibberellins) ไซโตไคนิน (cytokinins) เอทิลีน (ethylene) กรดแอบไซซิก (abscisic acid, ABA) บราสสิโนสเตียรอยด์ (brassinosteroids, BRs) กรดจัสโมนิก (jasmonic acid, JA) กรดซาลิไซลิก (salicylic acid, SA) และสตริโกแลคโตน (strigolactones, SLs) (Santner, Calderon-Villalobos, & Estelle, 2009) ในฮอร์โมนพืชทั้ง 9 กลุ่มนี้ สตริโกเลคโตนเป็นกลุ่มสารที่ได้รับการรายงานว่าเป็นฮอร์โมนพืชกลุ่มล่าสุด สตริโกแลคโตนมีฤทธิ์ช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ด และควบคุมการแตกกิ่งข้างของพืช (Al-Babili & Bouwmeester, 2015) โครงสร้างของสตริโกแลคโตนประกอบด้วยหน่วยย่อย methyl-butenolide ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้สตริโกแลคโตนที่ฤทธิ์กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช (Al-Babili & Bouwmeester, 2015) โดยหน่วยย่อย methyl-butenolide นี้ยังมีรายงานการพบในคาร์ริคินส์ (karrikins, KARs) ซึ่งเป็นสารที่เป็นผลพลอยได้จากควันไฟที่เกิดจากการเผาไหม้ของเซลลูโลส (cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (hemi cellulose) เมื่อเกิดไฟป่า (Flematti et al., 2013) คาร์ริคินส์มีรายงานว่ามีฤทธิ์กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชและกลไกการทำงานเช่นเดียวกับสตริโกแลคโตน (Morffy, Faure, & Nelson, 2016)

เนื่องจากคาร์ริคินส์เกิดจากการเผาของเศษวัสดุจากพืชจึงสามารถเตรียมคาร์ริคินส์ได้จากการเผาเศษวัสดุจากพืช เช่น ฟางข้าว แล้วนำควันที่เกิดขึ้นผ่านลงน้ำ น้ำที่เกิดจากการผ่านของควันนี้ เรียกว่า น้ำควัน (smoke-water) (Staden, Brown, Jäger, & Johnson, 2000) จากการตรวจเอกสารพบว่าน้ำควันสามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดและเพิ่มความแข็งแรงของต้นกล้าในพืชหลายชนิด เช่น ผักกาดหอม (Light, Burger, Staerk, Kohout, & Van Staden, 2010) แตงกวา มะเขือเทศ แกลดิโอลัส และดาวเรือง (Elsadek & Yousef, 2019) แม้ว่าตามทฤษฎีเศษวัสดุจากพืชทุกชนิดจะสามารถนำมาผลิตน้ำควันได้ แต่เศษวัสดุจากพืชที่แตกต่างกันจะมีปริมาณคาร์ริคินส์ ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ที่ต้องการนำมาใช้ประโยชน์แตกต่างกัน (Elsadek & Yousef, 2019) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณเซลูโลส เฮมิเซลูโลส และน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในเศษวัสดุจากพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน

นอกจากคาร์ริคินส์สามารถช่วยส่งเสริมการงอกของเมล็ดแล้ว ยังมีรายงานว่าคาร์ริคินส์สามารถช่วยกระตุ้นให้พืชมีการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาเมื่อพืชได้รับแสงหรือกระบวนการโฟโตมอร์โฟเจเนซิส (photomorphogenesis) ส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของใบ กระตุ้นการเจริญเติบโตของราก ควบคุมการแตกกิ่งข้าง เพิ่มปริมาณรงควัตถุในใบ เช่น แอนโธไซยานิน และคลอโรฟิลล์ (Nelson et al., 2010; Thussagunpanit et al., 2017; Waters & Smith, 2013)

น้ำควันที่ใช้ในงานวิจัยนี้เตรียมจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว ชานอ้อย และกาบมะพร้าว โดยเศษวัสดุทางการเกษตรทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่หาได้ง่ายในประเทศไทย จากรายงานในปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ทางการเกษตรเป็นจำนวนมากกว่า 149 ล้านไร่ พื้นที่สำหรับใช้เป็นแปลงนาข้าวหรือพืชไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) หลังฤดูการเก็บเกี่ยวจะพบวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยเกษตรกรส่วนใหญ่จะจัดการพื้นที่ทางการเกษตรของตนเองด้วยการจุดไฟเผา ซึ่งเป็นการทำลายหน้าดิน และก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ เช่น ปัญหา PM2.5 (Pongpiachan, 2015) เป็นต้น ดังนั้นคณะวิจัยจึงเล็งเห็นว่าการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตน้ำควัน เพื่อใช้เป็นแหล่งของคาร์ริคินส์ แล้วจึงนำน้ำควันนี้มาใช้เพิ่มประสิทธิภาพการงอก และคุณภาพของเมล็ดมะเขือเทศ เนื่องจากมะเขือเทศเป็นพืชผักสำคัญของไทย ในปัจจุบันมีการเพิ่มมูลค่ามะเขือเทศโดยการแปรรูปมากขึ้น เช่น น้ำมะเขือเทศ มะเขือเทศอบแห้ง ซอสมะเขือเทศ ซุปครีมมะเขือเทศเข้มข้น และครีม

บำรุงผิวที่มีส่วนผสมมะเขือเทศ เป็นต้น นอกจากนี้ผลมะเขือเทศยังมีไลโคปีน (lycopene) สูง โดยในผลมะเขือเทศสดพบไลโคปีน 2.6 mg/100 gFW (USDA Nutrient Database, 2019) ซึ่งไลโคปีนมีส่วนช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งที่อวัยวะต่าง ๆ (วิมล, 2553)

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาประสิทธิภาพของน้ำควันที่เตรียมจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่หาได้ง่ายในประเทศไทย ได้แก่ ฟางข้าว ชานอ้อย และกาบมะพร้าว เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของน้ำควันในการเพิ่มการเจริญเติบโตและคุณภาพของเมล็ดมะเขือเทศ

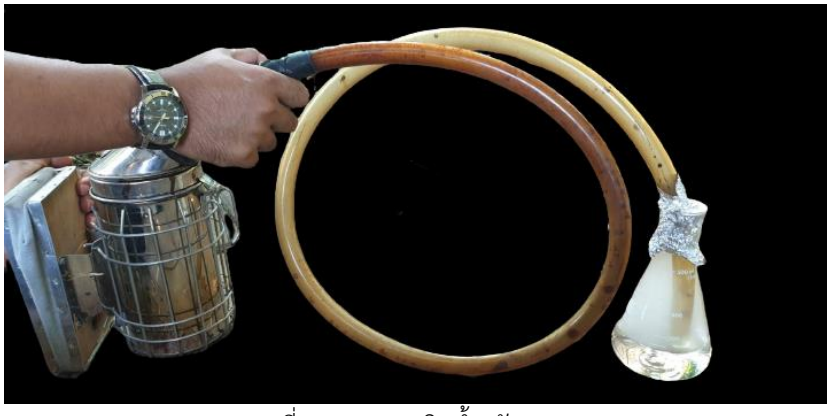
**วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

1. เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำควันที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ
2. เพื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำควันแต่ละชนิดต่อเมล็ดมะเขือเทศ

**ระเบียบวิธีวิจัย**

**1. การผลิตน้ำควัน**

น้ำควันถูกผลิตจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ 1) ฟางข้าว (*Oryza sativa*) 2) ชานอ้อย (*Saccharum officinarum*) และ 3) กาบมะพร้าว (*Cocos nucifera*) ทำการเผาแยกเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 80 กรัม ตามคำอธิบายของ Elsadek, & Yousef (2019) ด้วยเครื่อง bee smoker (Model 15239, Glory Bee Foods, Oregon, USA) จุดไฟเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นเวลา 30 ถึง 60 วินาทีก่อนปิดฝา จากนั้นปล่อยควันที่เกิดขึ้นผ่านท่อทนความร้อนที่ต่อไปยังขวดรูปชมพู่ที่ภายในบรรจุน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการเผาประมาณ 1 ชั่วโมงหรือจนกว่าเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจะไหม้จนหมด น้ำควันที่ได้คือน้ำควันความเข้มข้น 100% v/v ภาพการผลิตน้ำควันแสดงในภาพที่ 1 นอกจากนี้ D-xylose จะถูกใช้เป็นชุดควบคุมในการผลิตเนื่องจากเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของเฮมิเซลลูโลส (Keeley & Pizzorno, 1986) ทำการเผา D-xylose ผสมกับ L-glycine ตามวิธีของ Flematti, Scaffidi, Dixon, Smith, and Ghisalberti (2011) โดยเผาใน bee smoker ด้วยวิธีการเดียวกันกับการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร กรองน้ำควันความเข้มข้น 100% v/v ด้วยกระดาษกรอง Whatman® หมายเลข 1 และเก็บไว้ในช่องแช่แข็ง



ภาพที่ 1 ภาพการผลิตน้ำควัน
ที่มา : ภาพถ่ายโดย ธนธรณ์ จิระจิตต์มีชัย เมื่อวันที่ 11 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563

**2. การทดสอบคุณสมบัติน้ำควัน**

ศึกษาคุณสมบัติน้ำควัน โดยนำน้ำควันความเข้มข้น 100% v/v ชนิดต่าง ๆ มาเจือจางเป็นน้ำควันความเข้มข้น 0.1% 1% และ 10% v/v ตามลำดับ เพื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติน้ำควัน ดังนี้

2.1. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH Meter (รุ่น LAQUAtwin-pH-33, บริษัท Horiba, ญี่ปุ่น)

2.2. ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) ด้วยเครื่อง EC METER (รุ่น LAQUAtwin EC 22, บริษัท Horiba, ญี่ปุ่น)

**3. การทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำควัน**

น้ำควันชนิดต่าง ๆ จะถูกตรวจสอบฤทธิ์ทางชีวภาพโดยเปรียบเทียบกับ $KAR_1$ ซึ่งเป็นสารในกลุ่มคาร์ริคินส์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพดีที่สุด ทำการทดสอบ 2 วิธี คือ การงอกของเมล็ด และการชักนำให้เกิดกระบวนการเกิดโฟโตมอร์โฟเจเนซิส (photomorphogenesis) (Flematti, Dixon, & Smith, 2015) พืชที่ใช้ในการทดสอบคือ มะเขือเทศเชอรี่ *(Solanum lycopersicum* L.) พันธุ์ CH154 จากศูนย์วิจัยพืชเขตร้อน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม ทรีตเมนต์ประกอบด้วย น้ำกลั่น $KAR_1$ 10 µM น้ำควันจากฟางข้าว น้ำควันจากชานอ้อย น้ำควันจากกาบมะพร้าว และน้ำควันจาก D-xylose โดยน้ำควันแต่ละชนิดมีความเข้มข้นที่ 0.1% 1% 10% และ 100% v/v

3.1 การทดสอบการงอกของเมล็ด

นำเมล็ดมะเขือเทศเพาะบน Cell Culture plates (24 Well plate) ที่รองด้วยกระดาษเพาะที่แช่ด้วย $KAR_1$ หรือน้ำควันความเข้มข้นต่าง ๆ จนชุ่ม ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ ซ้ำละ 10 เมล็ด วางกล่องเพาะเมล็ดไว้ที่อุณหภูมิ 25 - 30 องศาเซลเซียส โดยทำการนับจำนวนเมล็ดมะเขือเทศที่งอกหลังผ่านไป 24 ชั่วโมง ทุกวันนาน 7 วัน

3.2 การทดสอบการเกิดโฟโตมอร์โฟเจเนซิส

นำเมล็ดมะเขือเทศเพาะบน Cell Culture plates (24 Well plate) ที่รองด้วยกระดาษเพาะที่แช่ด้วย $KAR_1$ หรือน้ำควันความเข้มข้นต่าง ๆ จนชุ่ม ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ 10 เมล็ดต่อซ้ำ วางกล่องเพาะเมล็ดไว้ที่อุณหภูมิ 25 - 30 องศาเซลเซียส หลังจากผ่านไป 3 วัน จัดให้อยู่ในสภาพมีแสงที่ความเข้มแสง 2-10 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ เป็นเวลา 4 วัน จากนั้นบันทึกผลด้วยการวัดความยาวของส่วนใต้ใบเลี้ยง (hypocotyl)

ความเข้มข้นของน้ำควันแต่ละชนิดที่ทำให้มะเขือเทศมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด และเกิดกระบวนการโฟโตมอร์โฟเจเนซิส ซึ่งสังเกตจากความยาวของส่วนใต้ใบเลี้ยงที่สั้นใกล้เคียงกับ $KAR_1$ จะถูกนำมาใช้ในการทดลองต่อไป

**4. การทดสอบการงอกและคุณภาพของเมล็ด**

ทำการคัดเลือกความเข้มข้นของน้ำควันชนิดละ 1 ความเข้มข้น จากข้อมูลในการทดลองในข้อ 2 โดยใช้น้ำกลั่น และ $KAR_1$ 10 µM เป็นชุดควบคุมที่ให้ผลลบและผลบวกตามลำดับ ทำการทดลองโดยนำเมล็ดมะเขือเทษศทดสอบการงอกมาตรฐาน (standard germination test) ในห้องปฏิบัติการ ด้วยวิธีการเพาะบนกระดาษชื้นแบบ top of paper (TP) โดยกระดาษเพาะทำการแช่ด้วย $KAR_1$ และน้ำควันที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จนชุ่ม ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ 50 เมล็ดต่อซ้ำ วางกล่องเพาะเมล็ดไว้ในตู้เพาะเมล็ด (germinator) ที่มีอุณหภูมิ 25 - 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ในสภาพมีแสง และ 16 ชั่วโมง ในสภาพไม่มีแสง ประเมินการงอกตามกฎของสมาคมทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์นานาชาติ (International Seed Testing Association) (ISTA, 2014) นับครั้งแรก (first count) ที่ 5 วันหลังเพาะเมล็ด โดยนับเฉพาะต้นอ่อนปกติ และนับครั้งสุดท้าย (final count) ที่ 14 วันหลังเพาะเมล็ด โดยนับจำนวนต้นอ่อนปกติ (normal seedling) ต้นอ่อนผิดปกติ (abnormal seedling) เมล็ดสดไม่งอก

(fresh ungerminated seed) เมล็ดแข็ง (hard seed) และเมล็ดตาย (dead seed) จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณการงอกของเมล็ดพันธุ์จากสูตร

$$\text{การงอกของเมล็ดพันธุ์ (\%)} = \frac{\text{จำนวนต้นอ่อนปกติ}}{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}} \times 100$$

นอกจากนี้ทำการบันทึกจำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอก (days to emergence; DTE) และเวลาเฉลี่ยในการงอก (mean germination time; MGT) เพาะเมล็ดมะเขือเทศโดยใช้วิธีการเดียวกันกับการทดสอบการงอก นับจำนวนเมล็ดที่มีรากงอกยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร และนับจำนวนต้นอ่อนปกติทุกวัน เป็นเวลา 14 วันหลังเพาะเมล็ด จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณจำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอก และเวลาเฉลี่ยในการงอกจากสูตร

$$\text{DTE (วัน)} = \frac{(N_1 \times D_1)+(N_2 \times D_2)+\ldots+(N_n \times D_n)}{T}$$

โดย $T$ คือ จำนวนเมล็ดทั้งหมดที่มีการแทงราก

$N_{1, 2, \ldots, n}$ คือ จำนวนเมล็ดที่มีรากแทงในวันที่ 1, 2, ..., n (n = 14)

$D_{1, 2, \ldots, n}$ คือ จำนวนวันที่นับหลังจากเพาะเมล็ด 1, 2, ..., n (n = 14)

$$\text{MGT (วัน)} = \frac{(G_1 \times D_1)+(G_2 \times D_2)+\ldots+(G_n \times D_n)}{\text{Total germination}}$$

โดย $G_{1, 2, \ldots, n}$ คือ จำนวนต้นอ่อนปกติที่งอกในวันที่ 1, 2, ..., n (n= 14)

$D_{1, 2, \ldots, n}$ คือ จำนวนวันที่นับหลังจากเพาะเมล็ด 1, 2, ..., n (n= 14)

**5. การวิเคราะห์ทางสถิติ**

ทำการวิเคราะห์ด้วย One-way factorial ANOVA (analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์ด้วยวิธี Duncan’s Multiple RangeTest (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

**ผลการวิจัย**

1. การทดสอบคุณสมบัติน้ำควัน

ผลการทดสอบคุณสมบัติน้ำควัน ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) พบว่า $KAR_1$ มีความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ที่ 9.75 ซึ่งมีความเป็นด่าง แต่น้ำควันจากกาบมะพร้าว ฟางข้าว ชานอ้อย และ D-xylose มีความเป็นกรด เมื่อความเข้มข้นลดลงความเป็นกรดจะลดลงไปด้วย น้ำควันชนิดต่าง ๆ ที่ความเข้มข้น 100% v/v มี pH ระหว่าง 4.06 - 5.26 สำหรับค่าการนำไฟฟ้าพบว่า $KAR_1$ และน้ำควันทุกชนิดที่ความเข้มข้น 0.1% - 10% มี EC ใกล้เคียงกัน คือมีค่าระหว่าง 0.01 - 0.03 mS/cm แต่น้ำควันทุกชนิดที่ความเข้มข้น 100% v/v มี EC สูงที่สุดเมื่อเทียบกับความเข้มข้นอื่น คือ มีค่าระหว่าง 0.09 - 0.21 mS/cm ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

2. การทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพ

จากการทดสอบการงอกของเมล็ดมะเขือเทศเชอรี่ พันธุ์ CH154 พบว่าทุกทรีตเมนต์ยกเว้นน้ำควันจากฟางข้าวที่ความเข้มข้น 100% v/v มีเปอร์เซนต์การงอกสูงระหว่าง 96-100% อย่างไรก็ตามน้ำควันจากฟางข้าวที่ความเข้มข้น 100% v/v มีเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดต่ำที่สุด คือ 92% (ตารางที่ 2) สำหรับการชักนำให้เกิดกระบวนการเกิดโฟโตมอร์โฟเจเนซิสพบว่าน้ำควันต่างละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับ $KAR_1$ และน้ำกลั่น (ภาพที่ 3) โดยความเข้มข้น 100% v/v ของแต่ละน้ำควันมีความยาวส่วนใต้ใบเลี้ยงสั้นที่สุด ซึ่งน้ำควันจากฟางข้าวมีความยาวส่วนใต้ใบเลี้ยง คือ 0.27 cm (ภาพที่ 3ก) น้ำควันจากชานอ้อยมีความยาวส่วนใต้ใบเลี้ยง คือ 1.94 cm (ภาพที่ 3ข) น้ำควันจากกาบมะพร้าวมีความยาวส่วนใต้ใบเลี้ยง คือ 1.58 cm (ภาพที่ 3ค) และน้ำควันจาก D-xylose มีความยาวส่วนใต้ใบเลี้ยง คือ 1.89 cm (ภาพที่ 3ง) เนื่องจากเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดในแต่ละความเข้มข้นของน้ำควันไม่แตกต่างกัน การทดสอบนี้จึงคัดเลือกความเข้มข้นของน้ำควันแต่ละชนิดที่มีความยาวของส่วนใต้ใบเลี้ยงที่สั้นใกล้เคียงกับ $KAR_1$ ที่มีความยาวส่วนใต้ใบเลี้ยง 2.02 cm (ภาพที่ 3) เพื่อใช้ในการทดลองถัดไป ซึ่งก็คือน้ำควันจากฟางข้าวที่ความเข้มข้น 1% v/v มีความยาวส่วนใต้ใบเลี้ยง 2.12 cm (ภาพที่ 3ก) น้ำควันจากชานอ้อยความเข้มข้น 10% v/v มีความยาวส่วนใต้ใบเลี้ยง 2.10 cm (ภาพที่ 3ข) น้ำควันจากกาบมะพร้าวความเข้มข้น 10% v/v มีความยาวส่วนใต้ใบเลี้ยง 2.07 cm (ภาพที่ 3ค) และน้ำควันจาก D-xylose ความเข้มข้น 10% v/v มีความยาวส่วนใต้ใบเลี้ยง 2.00 cm (ภาพที่ 3ง)

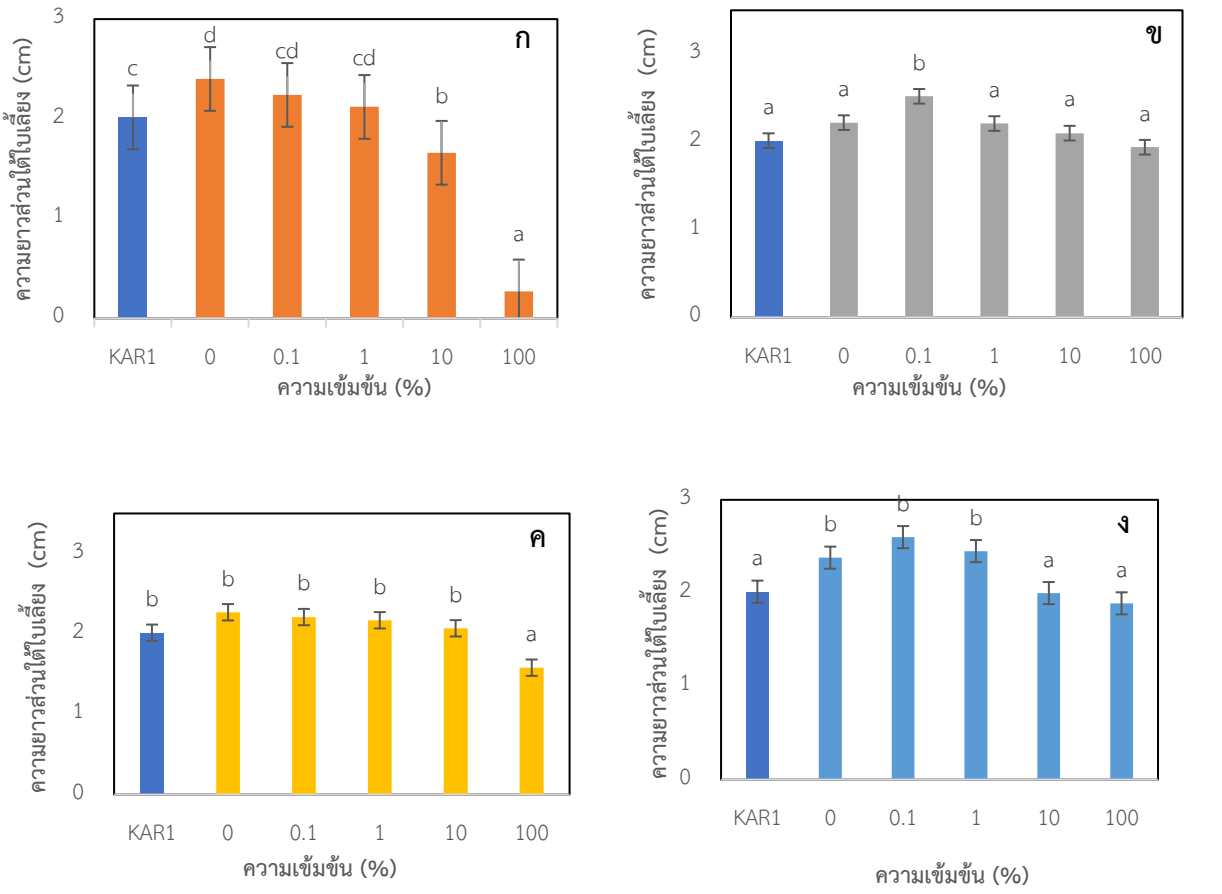
**ตารางที่ 1** ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ใน $KAR_1$ น้ำกลั่น และน้ำควันชนิดต่าง ๆ

| ทรีตเมนต์ | ความเข้มข้น | ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง | ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm) |
|---|---|---|---|
| $KAR_1$ | 10 µM | 9.75 | 0.03 |
| น้ำกลั่น | - | 7.56 | 0.01 |
| น้ำควันจากฟางข้าว | 0.1% v/v | 5.76 | 0.01 |
| | 1% v/v | 5.7 | 0.01 |
| | 10% v/v | 4.67 | 0.03 |
| | 100% v/v | 4.14 | 0.19 |
| น้ำควันจากชานอ้อย | 0.1% v/v | 5.74 | 0.02 |
| | 1% v/v | 5.69 | 0.02 |
| | 10% v/v | 4.75 | 0.02 |
| | 100% v/v | 4.19 | 0.12 |
| น้ำควันจากกาบมะพร้าว | 0.1% v/v | 6.65 | 0.03 |
| | 1% v/v | 6.51 | 0.02 |
| | 10% v/v | 4.96 | 0.01 |
| | 100% v/v | 4.06 | 0.21 |
| น้ำควันจาก D-xylose | 0.1% v/v | 7.46 | 0.02 |
| | 1% v/v | 7.33 | 0.02 |
| | 10% v/v | 6.98 | 0.02 |
| | 100% v/v | 5.26 | 0.09 |

**ตารางที่ 2** ผลของน้ำควันชนิดต่าง ๆ ต่อการงอกของเมล็ดมะเขือเทศพันธุ์ CH154

| ทรีตเมนต์ | ความเข้มข้น | การงอก (%) |
|---|---|---|
| $KAR_1$ | 10 µM | 100±0.00 b |
| น้ำควันจากฟางข้าว | 0 % | 100±0.00 b |
| | 0.1% | 100±0.00 b |
| | 1% | 100±0.00 b |
| | 10% | 100±0.00 b |
| | 100% | 92±4.47 a |
| น้ำควันจากชานอ้อย | 0 % | 98±4.47 b |
| | 0.1% | 100±0.00 b |
| | 1% | 100±0.00 b |
| | 10% | 100±0.00 b |
| | 100% | 100±0.00 b |
| น้ำควันจากกาบมะพร้าว | 0 % | 100±0.00 b |
| | 0.1% | 100±0.00 b |
| | 1% | 100±0.00 b |
| | 10% | 100±0.00 b |
| | 100% | 100±0.00 b |
| น้ำควันจาก D-xylose | 0 % | 98±4.47 b |
| | 0.1% | 100±0.00 b |
| | 1% | 96±8.94 b |
| | 10% | 100±0.00 b |
| | 100% | 100±0.00 b |
| F-test | - | ** |

** ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรเดียวกันหมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) ที่ความเชื่อมั่น 99%




**ภาพที่ 2** ผลของน้ำควันจากฟางข้าว (ก) ชานอ้อย (ข) กาบมะพร้าว (ค) และ D-xylose (ง) ต่อความยาวของส่วนใต้ใบเลี้ยงของเมล็ดมะเขือเทศพันธุ์ CH154 ภายใต้สภาพความเข้มแสงต่ำ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรเดียวกันหมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. การทดสอบการงอกและคุณภาพของเมล็ด

จากผลการทดลองการการทดลองที่ 2 น้ำควันจากฟางข้าวที่ความเข้มข้น 1% v/v และน้ำควันจากชานอ้อย น้ำควันจากกาบมะพร้าว และน้ำควันจาก D-xylose ที่ความเข้มข้น 10% v/v ถูกนำมาใช้ทดสอบการงอกและคุณภาพของเมล็ดมะเขือเทศ โดยเปรียบเทียบกับน้ำกลั่นและ $KAR_1$ ผลการทดสอบพบว่าการงอก (germination) ต้นอ่อนผิดปกติ (abnormal seedling) เมล็ดสดไม่งอก (fresh ungerminated seed) เมล็ดตาย (dead seed) และจำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอก (days to emergence; DTE) ในแต่ละทรีตเมนต์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอกพบว่า น้ำควันจากชานอ้อยมีจำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอกน้อยที่สุด คือ 3.17 วัน รองลงมา คือ น้ำกลั่น 3.23 วัน และน้ำควันจากฟางข้าว 3.27 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 3) สำหรับเวลาเฉลี่ยในการงอกพบว่าน้ำควันแต่ชนิดมีเวลาเฉลี่ยในการงอกที่ใกล้เคียงกับ $KAR_1$ โดย $KAR_1$ มีเวลาเฉลี่ยในการงอกอยู่ที่ 7.75 วัน รองลงมาคือน้ำควันจากฟางข้าว 7.85 วัน และน้ำควันจาก D-xylose 7.86 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

**สรุปและอภิปรายผล**

จากการทดสอบคุณสมบัติน้ำควันพบว่า ทุกความเข้มข้นของน้ำควันสามารถนำไปใช้ในการทดลองได้ แต่น้ำควันที่มีความเข้มข้นสูงหรือที่ความเข้มข้น 100% v/v จะมีความเป็นกรด และมีค่าการนำไฟฟ้าสูงเมื่อเทียบกับความเข้มข้นอื่น ๆ (ตารางที่ 1) ซึ่งงานวิจัยของ Brown and van Staden (1997) กล่าวไว้ว่าประสิทธิภาพของน้ำควันไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดด่าง แต่เมื่อนำน้ำควันมาทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพด้วยการงอกของเมล็ดและการชักนำให้เกิดกระบวนการโฟโตมอร์โฟเจเนซิสพบว่า ผลการชักนำให้เกิดกระบวนการโฟโตมอร์โฟเจเนซิส น้ำควันจากชานอ้อย น้ำควันกาบมะพร้าว และน้ำควันจาก D-xylose ที่ความเข้มข้น 10% v/v และน้ำควันฟางข้าวที่ความเข้มข้น 1% v/v มีความยาวของส่วนใต้ใบเลี้ยงใกล้เคียงกับ $KAR_1$ 10 µM เมื่ออยู่ในสภาพความเข้มข้นแสงต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Flematti et al. (2015) ที่พบว่าเมล็ด *Arabidopsis thaliana* ที่เพาะในสภาพความเข้มข้นแสงต่ำ โดยเพาะในอาหารเพาะเมล็ดชนิด water-agar ที่ไม่มี $KAR_1$ จะมีความยาวของส่วนใต้ใบเลี้ยงที่ยาวกว่า *Arabidopsis thaliana* ที่เพาะในอาหารที่มี $KAR_1$ การที่มะเขือเทศมีความยาวของส่วนใต้ใบเลี้ยงที่สั้นนั้นทำให้ทราบว่าในน้ำควันที่ความเข้มข้นดังกล่าวอาจมีสารในกลุ่มคาร์ริคินส์หรือ $KAR_1$ สำหรับน้ำควันจากฟางข้าวที่ความเข้มข้น 100% v/v ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดมะเขือเทศลดต่ำลงมากที่สุด (ตารางที่ 2) อาจเนื่องมาจากในฟางข้าวมีสารอัลลีโลพาธี (allelopathy) ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของพืช (Tilley, 2021) โดยอัลลีโลพาธีในข้าวสามารถพบได้เกือบทุกส่วนของข้าวไม่ว่าจะเป็นราก ใบ และลำต้น (ธนัชสัณห์, 2018) ดังนั้นน้ำควันจากฟางข้าวจึงอาจมีสารอัลลีโลพาธีเจือปนอยู่ น้ำควันจากฟางข้าวที่ความเข้มข้น 100% v/v จึงมีฤทธิ์ยับยั้งการงอกของมะเขือเทศ และส่งผลให้ความยาวของส่วนใต้ใบเลี้ยงของมะเขือเทศลดลง (ภาพที่ 2ก) นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำควันจากชานอ้อยที่ความเข้มข้น 10% v/v ทำให้เมล็ดมะเขือเทศมีจำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอกน้อยที่สุด แสดงว่าเมล็ดงอกได้เร็วขึ้น (ตารางที่ 3) อย่างไรก็ตามเวลาเฉลี่ยในการงอกของทุกทรีตเมนต์ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 3) อาจเป็นเพราะเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศที่ใช้เป็นเมล็ดใหม่ที่ผลิตมาเพียง 4 เดือนก่อนทำการทดลองจึงทำให้เมล็ดยังคุณภาพสูง เมื่อนำมาทดลองส่งผลให้ไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน

การใช้น้ำควันจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน เพื่อส่งเสริมการงอกและคุณภาพของเมล็ด พบว่า น้ำควันจากชานอ้อย น้ำควันจากกาบมะพร้าว และน้ำควันจาก D-xylose ที่ความเข้มข้น 10% v/v และน้ำควันจากฟางข้าวที่ความเข้มข้น 1% v/v สามารถทำให้ความยาวของส่วนใต้ใบเลี้ยงสั้นลงใกล้เคียงกับ $KAR_1$ 10 µM อย่างไรก็ตามน้ำควันทุกชนิดไม่สามารถเพิ่มคุณภาพเมล็ดมะเขือเทศได้

**ข้อเสนอแนะ**

ขั้นตอนการผลิตน้ำควันเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรควรนำไปอบด้วยเครื่อง hot air oven ก่อน เพื่อทำให้เศษวัสดุเหลือใช้แห้งสนิท การผลิตน้ำควันอาจผลิตน้ำควันด้วยเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรรวมกันหลาย ๆ ชนิดได้ เนื่องจากผลที่ใกล้เคียงกันในทางปฏิบัติ อาจไม่จำเป็นต้องแยกวัสดุก่อนผลิตน้ำควัน และแม้น้ำควันจะไม่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดมะเขือเทศเชอรี่พันธุ์ CH154 แต่อาจมีผลต่อคุณภาพเมล็ดมะเขือเทศพันธุ์อื่น และอาจเพิ่มการเจริญเติบโตของมะเขือเทศได้ ซึ่งได้ทดสอบในการทดลองถัดไป

**ตารางที่ 3** ผลของน้ำควันชนิดต่าง ๆ ต่อการทดสอบคุณภาพเมล็ดของเมล็ดมะเขือเทศ

| ทรีตเมนต์ | การงอก (%) | เมล็ดที่ผิดปกติ (%) | เมล็ดสดไม่งอก (%) | เมล็ดที่ตาย (%) | จำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอก (days) | เวลาเฉลี่ยในการงอก (days) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| น้ำกลั่น | 98.00±1.63 | 2.50±1.91 | 1.50±1.00 | 0.50±1.00 | 3.23±0.15 | 7.15±0.19 a |
| $KAR_1$ 10 µM | 98.50±1.91 | 5.50±1.91 | 0.00±0.00 | 1.50±1.91 | 3.29±0.08 | 7.75±0.25 b |
| น้ำควันจากฟางข้าว 1% v/v | 97.00±1.15 | 6.00±2.83 | 1.50±1.91 | 1.50±1.91 | 3.27±0.19 | 7.85±0.41 b |
| น้ำควันจากชานอ้อย 10% v/v | 98.50±1.00 | 5.50±1.91 | 1.00±1.15 | 0.50±1.00 | 3.17±0.16 | 8.13±0.55 b |
| น้ำควันจากกาบมะพร้าว 10% v/v | 99.00±2.00 | 6.00±1.91 | 0.50±1.00 | 0.50±1.00 | 3.59±0.23 | 8.02±0.26 b |
| น้ำควันจาก D-xylose 10% v/v | 98.50±1.00 | 8.50±4.12 | 1.00±1.15 | 0.50±1.00 | 3.39±0.22 | 7.86±0.29 b |
| F-test | ns | ns | ns | ns | ns | * |

* ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรเดียวกันหมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ns หมายถึงค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

**เอกสารอ้างอิง**

Al-Babili, S., & Bouwmeester, H. J. (2015). **Strigolactones, a novel carotenoid-derived plant hormone**. Annual Review of Plant Biology, 66, 161-186.

Brown, N. A. C., & van Staden, J. (1997). **Smoke as a germination cue: a review**. Plant Growth Regulation, 22, 115-124.

Coons, J., Coutant, N., Lawrence, B., Finn, D., & Finn, S. (2014). **An effective system to produce smoke solutions from dried plant tissue for seed germination studies**. Applications in Plant Sciences, 2(3).

Depuydt, S., & Hardtke, C. S. (2011). **Hormone signalling crosstalk in plant growth regulation**. Current Biology, 21(9), R365-373.

Elsadek, M. A., & Yousef, E. A. A. (2019). **Smoke-Water Enhances Germination and Seedling Growth of Four Horticultural Crops**. Plants (Basel), 8(4).

Flematti, G. R., Dixon, K. W., & Smith, S. M. (2015). **What are karrikins and how were they 'discovered' by plants?** BMC Biology, 13, 108.

Flematti, G. R., Scaffidi, A., Dixon, K. W., Smith, S. M., & Ghisalberti, E. L. (2011). **Production of the seed germination stimulant karrikinolide from combustion of simple carbohydrates**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 59(4), 1195-1198.

Flematti, G. R., Waters, M. T., Scaffidi, A., Merritt, D. J., Ghisalberti, E. L., Dixon, K. W., & Smith, S. M. (2013). **Karrikin and cyanohydrin smoke signals provide clues to new endogenous plant signaling compounds**. Molecular Plant, 6(1), 29-37.

ISTA. (2014). **International Rules for Seed Testing**. Bassersdorf, Switzerland International Seed Testing Association.

Keeley, S. C., & Pizzorno, M. (1986). **Charred Wood Stimulated Germination of Two Fire-Following Herbs of the California Chaparral and the Role of Hemicellulose**. American Journal of Botany, 73(9), 1289-1297.

Light, M. E., Burger, B. V., Staerk, D., Kohout, L., & Van Staden, J. (2010). **Butenolides from plant-derived smoke: natural plant-growth regulators with antagonistic actions on seed germination**. Journal of Natural Products, 73(2), 267-269.

Morffy, N., Faure, L., & Nelson, D. C. (2016). **Smoke and Hormone Mirrors: Action and Evolution of Karrikin and Strigolactone Signaling**. Trends in Genetics, 32(3), 176-188.

Nelson, D. C., Flematti, G. R., Riseborough, J. A., Ghisalberti, E. L., Dixon, K. W., & Smith, S. M. (2010). **Karrikins enhance light responses during germination and seedling development in Arabidopsis thaliana**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107(15), 7095- 7100.

Pongpiachan, S. (2015). **Impacts of agricultural waste burning on the enhancement of PM2.5-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in northern Thailand**. Paper presented at the Air Pollution XXIII.

Santner, A., Calderon-Villalobos, L. I., & Estelle, M. (2009). **Plant hormones are versatile chemical regulators of plant growth**. Nature Chemical Biology, 5(5), 301-307.

Staden, J. V., Brown, N. A., Jäger, A. K., & Johnson, T. A. (2000). **Smoke as a germination cue**. Plant Species Biology, 15(2), 167-178.

Thussagunpanit, J., Nagai, Y., Nagae, M., Mashiguchi, K., Mitsuda, N., Ohme-Takagi, M., . . . Asami, T. (2017). **Involvement of STH7 in light-adapted development in Arabidopsis thaliana promoted by both strigolactone and karrikin**. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 81(2), 292-301.

Tilley, N. (2021). **Allelopathy In Plants: What Plants Suppress Other Plants.** Retrieved 12 May, 2021, from Gardening Know How : https://www.gardeningknowhow.com/garden-how-to/info/allelopathic-plants.htm

USDA Nutrient Database. (2019). **Tomatoes, red, ripe, raw, year-round average**. Retrieved 14 May, 2020, from U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE : https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170457/nutrients

Waters, M. T., & Smith, S. M. (2013). **KAI2- and MAX2-mediated responses to karrikins and strigolactones are largely independent of HY5 in Arabidopsis seedlings**. Molecular Plant, 6(1), 63-75.

ธนัชสัณห์ พูนไพบูลย์พิพัฒน์. (2018). **บทบาทของอัลลีโลพาธีต่อการจัดการวัชพืชในการผลิตข้าว**. Thai Rice Research Journal, 9(2), 100-113.

วิมล ศรีศุข. (2553). **กินมะเขือเทศอย่างไรได้ไลโคปีน (lycopene) สูง.** สืบค้นเมื่อ 14 พฤษภาคม, 2563, จาก มหาวิทยาลัยมหิดล คณะเภสัชศาสตร์ : shorturl.asia/ZhRfl

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2562). **เนื้อที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตร รายจังหวัด ปีพ.ศ. 2562**. สถานที่พิมพ์: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.