

อภิธานการ



สำนักหอสมุด



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

พัฒนาวิธีการ การผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม
สำหรับใช้เป็นวัสดุเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของกล้วยน้ำว้าในหลอดทดลอง

โดย ผศ.ดร. ยุทธพงษ์ อุดแน่น

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 30 ก.ย. 2559
เลขทะเบียน 1704656x
เลขเรียกหนังสือ TP
255
255

255
255
2556
2554

สิงหาคม 2558

สัญญาเลขที่ R2558C086

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

พัฒนาวิธีการการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม
สำหรับใช้เป็นวัสดุเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของกล้วยน้ำว้าในหลอดทดลอง

คณะผู้วิจัย

- | | |
|----------------------------|---|
| 1) ผศ.ดร. ยุทธพงษ์ อุดแน่น | ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ |
| 2) ผศ.ดร. กวี สุจิปูลิ | ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร |
| | คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม |

สนับสนุนโดยกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยนเรศวร

โครงการ การพัฒนาวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม สำหรับใช้เป็นวัสดุ
เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของกล้วยน้ำว้าในหลอดทดลอง

ผู้เขียน ผศ.ดร.ยุทธพงษ์ อุดแน่น

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม โดยศึกษาเปรียบเทียบชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น ได้แก่ H_3PO_4 , KOH และ ZnCl_2 พบว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH และ ZnCl_2 ให้ร้อยละของการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกที่ดีที่สุด แต่เพื่อลดปริมาณการใช้สารเคมีที่เป็นด่างที่มีความเข้มข้นสูงจึงใช้ ZnCl_2 เป็นสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น ความเข้มข้นของสารละลาย ZnCl_2 ที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้นเท่ากับ 0.5 M และอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเผากระตุ้นเท่ากับ 900°C และได้ศึกษาสภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งพบว่า pH, อุณหภูมิและระยะเวลาในการดูดซับมีผลต่อการดูดซับน้อยมาก จากการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์พบว่า การดูดซับเป็นไปตามสมการของ Langmuir ซึ่งแสดงว่าเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียวโดยมีค่าคงที่การดูดซับเท่ากับ 0.043 และมีค่าคงที่การดูดซับสูงสุดเท่ากับ 250 ได้นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นไปประยุกต์ใช้ดูดซับสารประกอบฟีนอลิกในขบวนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้า พบว่าสามารถลดการสะสมสารประกอบฟีนอลิกในเนื้อเยื่อของกล้วยน้ำว้า ได้ดีกว่าในสูตรอาหารที่เติมผงถ่านมาตรฐาน

คำสำคัญ : เมล็ดมะขาม, ถ่านกัมมันต์, การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้า, สารประกอบฟีนอลิก

Project Title Development of method for activated carbon produced from tamarind seed and its Application for shoot regeneration of banana (*Musa spp cv.Kluai Namwa*) *in vitro* culture

Author Yuthapong Udnan

Abstract

In this work, the method for preparation of activated carbon from tamarind seed were studied. The chemicals used for activation such as H_3PO_4 , KOH and ZnCl_2 were compared. It was found that the activated carbons which were activated with KOH and ZnCl_2 gave the best percentage adsorption of phenolic compound. However to avoid using high concentration of base, ZnCl_2 was selected as the best activated reagent. The suitable concentration of ZnCl_2 was 0.5 M and the optimum temperature for activation was 900°C . It was also studied of the optimum conditions for phenolic compounds adsorption and was found that there were no effects from pH, temperature and adsorption time on %adsorption. From the adsorption isotherm study, the graph plotted was fit to Langmuir's isotherm which indicated that the adsorption was monolayer. From Langmuir's equation it was found that the adsorption constant and maximum adsorption constant were 0.043 and 250, respectively. The prepared activated carbon was applied for shoot regeneration of banana (*Musa spp cv.Kluai Namwa*) *in vitro* culture. It was found that it can reduce the accumulation of phenolic compound in banana tissue better than that commercial activated carbon.

Keywords: tamarind seed, activated carbon, shoot regeneration of banana, phenolic compound

Executive Summary

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

- 1) การศึกษาการเผาเมล็ดมะขามในขั้นตอนคาร์บอนเซชันโดยวิธีต่างๆ
- 2) การศึกษาการเผากระตุ้นถ่านจากเมล็ดมะขามโดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ
- 3) การศึกษาโครงสร้างของถ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
- 4) การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface area) ด้วยเทคนิคการดูดซับด้วยไนโตรเจน
- 5) การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน
- 6) การศึกษาความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านที่ได้จากการเผาแบบต่าง ๆ
- 7) การศึกษาผลของความเข้มข้นของ ZnCl_2 ที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์
- 8) การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์
- 9) การศึกษาผลของ pH ที่มีต่อการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์
- 10) การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์
- 11) การศึกษาผลของเวลาที่มีต่อการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์
- 12) การศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดแกลลิกที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์
- 13) การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์
- 14) การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ในขบวนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้า

1) การศึกษาการเผาเมล็ดมะขามในขั้นตอนคาร์บอนเซชันโดยวิธีต่างๆ

ได้ทำการเตรียมถ่านจากเมล็ดมะขามในขั้นตอนคาร์บอนเซชันโดยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การใช้เมล็ดมะขามชนิดที่เอาเปลือกออก และไม่เอาเปลือกออก และเผาในชั้นคาร์บอนเซชันแบบเปิดฝาทาขณะกับไม่เปิดฝาทาขณะที่อุณหภูมิ 600°C พบว่า การเตรียมถ่านในขั้นตอนคาร์บอนเซชัน โดยใช้เมล็ดมะขามแบบเอาเปลือกออกและเผาโดยปิดฝาทาขณะ (CTS-10) จะได้ถ่านที่มีร้อยละของผลผลิตที่สูง มีขี้เถ้าปนมาน้อย และได้ถ่านที่มีเนื้อเหมือนกันทุกส่วน ซึ่งต่างจากถ่านที่ได้จากเมล็ดมะขามที่เผาทั้งเปลือก (CTS-00) และ (CTS-01) จะมีเนื้อถ่านแยกเป็น 2 ส่วนคือ ถ่านที่มาจากส่วนเปลือกมีลักษณะแข็ง ส่วนที่มาจากเนื้อจะอ่อนกว่าและบดง่ายกว่า ดังนั้นถ่านที่เตรียมโดยใช้เมล็ดมะขามแบบเอาเปลือกออกและเผาโดยปิดฝาทาขณะ (CTS-10) จึงเหมาะสมกว่าถ่านที่เตรียมโดยวิธีอื่น ๆ และในขั้นตอนของการกระตุ้นจะเลือกใช้ถ่านจากเมล็ดมะขามที่เอาเปลือกออกและเผาในขั้นตอนคาร์บอนเซชันแบบปิดฝาทาขณะ (CTS-10) เท่านั้น

2) การศึกษาการเผากระตุ้นถ่านจากเมล็ดมะขามโดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ

ได้ทำการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ และเผาที่อุณหภูมิ 900°C พบว่า หลังจากกระตุ้นน้ำหนักของถ่านหายไปบางส่วน เนื่องจากถูกกำจัดออกไปนอกร่างน้ำอาจเกิดการสูญเสียผลผลิตในขั้นตอนการล้างเอาสารเคมีออกเนื่องจากต้องใช้เวลาและใช้น้ำปริมาณมาก ร้อยละของผลผลิต (%Yield) โดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 58%

3) การศึกษาโครงสร้างของถ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ถ่านที่ได้จากการเผาแบบต่าง ๆ ถูกนำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพได้แก่การศึกษาโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,000 เท่าเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน พบว่าถ่านที่เผาในขั้นตอนคาร์บอน (CTS) จะมีขนาดของรูพรุนเล็กกว่าหลังจากที่ผ่านขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมีแล้ว (ATS) ซึ่งรูพรุนจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากทาร์ที่ติดอยู่ตามรูพรุนถูกกำจัดออกไปทำให้ขนาดของรูพรุนขยายออก ส่วนถ่านกัมมันต์มาตรฐาน (AC-std) จะมีลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างออกไป น่าจะเนื่องมาจากวัสดุที่ใช้ทำเป็นคอนเดนซิเตอร์

4) การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface area) ด้วยเทคนิคการดูดซับด้วยไนโตรเจน

ได้นำถ่านที่ได้จากการเผาแบบต่าง ๆ ไปทำการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิคการดูดซับด้วยไนโตรเจน พบว่าถ่านที่ยังไม่ได้กระตุ้นด้วยสารเคมีจะมีขนาดของรูพรุนโดยประมาณอยู่ที่ 2.2 nm (รูปที่ 3.1) ส่วนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากการกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ จะมีขนาดของรูพรุนใหญ่กว่าโดยมีขนาดของรูพรุนประมาณ 22 nm (รูปที่ 3.2) ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างของถ่านที่ศึกษาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และมีขนาดของรูพรุนใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน ปริมาตรของรูพรุนของถ่านที่ยังไม่ได้ผ่านขบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมีจะน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ ประมาณ 43-104 เท่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจะมีปริมาตรของรูพรุนใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน และที่สำคัญพบว่าถ่านที่ยังไม่ได้ผ่านขบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมีจะมี BET surface area ค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.34-184.07 m²/g ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าถ่านที่ผ่านขบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมีสามารถกำจัดทาร์หรือน้ำมันดินซึ่งติดอยู่ในรูพรุนของถ่านได้ดีกว่า ดังนั้นพื้นที่ผิวของรูพรุนจึงมากกว่า

5) การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน

ได้นำถ่านที่ได้จากการเผาแบบต่าง ๆ ไปศึกษาความสามารถในการดูดซับไอโอดีน พบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยมีค่าการดูดซับอยู่ระหว่าง 1567.12 ถึง 1768.31 mg/g โดยที่ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย KOH (ATS-10(K)) จะให้ค่าการดูดซับสูงที่สุดที่ 1767.56 mg/g รองลงมาคือถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย ZnCl₂ (ATS-10(Z)) มีค่าการดูดซับไอโอดีน 1745.74 mg/g ตามด้วยถ่านกัมมันต์มาตรฐาน (AC-std) และถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย H₃PO₄ (ATS-10(P)) 1675.15 และ 1633.06 mg/g ตามลำดับ ถ่านที่ไม่ผ่านการกระตุ้น (CTS) มีค่าการดูดซับไอโอดีนระหว่าง 1629.05-1675.15 mg/g

6) การศึกษาความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านที่ได้จากการเผาแบบต่าง ๆ

ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านที่ได้จากการเผาแบบต่าง ๆ โดยนำไปดูดซับกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 100, 500 และ 1000 mg/L และหาปริมาณของกรดแกลลิกที่เหลือจากการดูดซับโดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu colorimetric method พบว่าที่ความเข้มข้นของกรดแกลลิกเท่ากับ 100 mg/L ถ่านที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมี (CTS) มี %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิก (กรดแกลลิก) ค่อนข้างต่ำ ระหว่าง 15.27-39.71% แต่หลังจากผ่านขบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมีแล้ว (ATS) จะมี %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกมากขึ้น โดยที่ถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลาย KOH และ ZnCl₂ มี %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุดถึง 100% เทียบเท่ากับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน

ส่วนถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย H_3PO_4 จะมี %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกต่ำกว่า โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 88.97% และที่ความเข้มข้นของกรดเกลือเท่ากับ 500 และ 1000 mg/L ก็ยังพบว่า กัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย KOH และ ZnCl_2 มี %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด ดีกว่าถ่านกัมมันต์มาตรฐาน แต่เพื่อหลีกเลี่ยงจากการใช้สารเคมีที่เป็นด่างที่มีความเข้มข้นสูงดังนั้นจะใช้ ZnCl_2 เป็นสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น

7) การศึกษาผลของความเข้มข้นของ ZnCl_2 ที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

ได้ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของ ZnCl_2 ที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ โดยนำถ่านจากเมล็ดมะขามที่เอาเปลือกออกและเผาแบบไม่เปิดฝาทาชนะมาทำการกระตุ้นด้วยสารละลาย ZnCl_2 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 M และทำการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 900°C เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายซึ่งคลอไรด์ โดยใช้สารมาตรฐานกรดเกลือ ความเข้มข้น 300 mg/L ดูดซับบนถ่านกัมมันต์ 0.1000 g และทำการหาปริมาณกรดเกลือที่เหลือโดยวิธี Folin-Ciocalteu พบว่า %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2 ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ ZnCl_2 ที่ใช้ในการกระตุ้น โดย %การดูดซับ จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ ZnCl_2 ที่เพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของ ZnCl_2 ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.50 M ซึ่งจะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มี %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 99.10%

8) การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้กระตุ้นที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้กระตุ้นที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ โดยนำถ่านจากเมล็ดมะขามที่เอาเปลือกออกและเผาแบบภาชนะไม่เปิดฝาทาชนะ (CTS-10) มาทำการกระตุ้นด้วยสารละลาย ZnCl_2 ความเข้มข้น 0.50 M และนำไปเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 600 700 800 และ 900°C เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมการกระตุ้น ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ปริมาณ 0.1000 g จะถูกนำมาดูดซับและสารมาตรฐานกรดเกลือความเข้มข้น 300 mg/L และทำการหาปริมาณกรดเกลือที่เหลือโดยวิธี Folin-Ciocalteu พบว่า %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2 ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผากระตุ้น โดย %การดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผากระตุ้นเหมาะสมเท่ากับ 900°C ซึ่งจะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มี %การดูดซับเท่ากับ 97.03%

9) การศึกษาผลของความเข้มข้นของ pH ที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

ได้ทำการศึกษาผลของ pH ที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ โดยนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลาย 0.50 M ZnCl_2 และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 900°C มา 0.1000 g ทำการดูดซับสารกรดเกลือความเข้มข้น 300 mg/L ที่ปรับ pH ช่วง 1-7 และทำการหาปริมาณกรดเกลือที่เหลือโดยวิธี Folin-Ciocalteu พบว่า %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่ pH ต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกันมากโดย %การดูดซับจะอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันระหว่าง 90-97% จึง

สรุปได้ว่าผลของ pH ไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจะไม่ทำการควบคุม pH ของสารละลาย

10) การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์
ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์โดยนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลาย 0.50 M $ZnCl_2$ และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ $900^{\circ}C$ มา 0.0100 g ทำการดูดซับสารกรดเกลลิคความเข้มข้น 200 mg/L ที่อุณหภูมิต่าง ๆ และทำการหาปริมาณกรดเกลลิคที่เหลือโดยวิธี Folin-Ciocalteu พบว่า %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกันมากโดย %การดูดซับจะอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันระหว่าง 92-95% จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิในการดูดซับไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจะไม่ทำการควบคุมอุณหภูมิของสารละลาย และจะใช้อุณหภูมิห้องในการทำการทดลอง

11) การศึกษาผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

ได้ทำการศึกษาผลของระยะเวลาในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ โดยนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลาย 0.50 M $ZnCl_2$ และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ $900^{\circ}C$ มา 0.0100 g ทำการดูดซับสารกรดเกลลิคความเข้มข้น 200 mg/L ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ และทำการหาปริมาณกรดเกลลิคที่เหลือโดยวิธี Folin-Ciocalteu พบว่าเวลาในการดูดซับมีผลต่อ %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์น้อยมาก โดย %การดูดซับจะมีค่าใกล้เคียงกันระหว่าง 96.50-98.17% ในช่วงเวลาของการดูดซับ 5-60 นาที จึงสรุปได้ว่าเวลาในการดูดซับไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจะใช้เวลาในการดูดซับเพียง 5 นาทีเพื่อเป็นการลดเวลาของการทำการทดลอง

12) การศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดเกลลิคที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์

ได้ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดเกลลิคที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ โดยนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลาย 0.50 M $ZnCl_2$ และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ $900^{\circ}C$ มา 0.0100 g ทำการดูดซับสารกรดเกลลิคความเข้มข้นตั้งแต่ 50 mg/L จนถึง 500 mg/L ตามลำดับ และทำการหาปริมาณกรดเกลลิคที่เหลือโดยวิธี Folin-Ciocalteu จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณหาการดูดซับของถ่านกัมมันต์ พบว่า เมื่อความเข้มข้นของกรดเกลลิคเพิ่มขึ้น %การดูดซับและค่าการดูดซับจะเพิ่มขึ้นจนถึงความเข้มข้น 400 mg/L %การดูดซับและค่าการดูดซับจะลดลงแสดงว่าที่ความเข้มข้น 400 mg/L น่าจะเป็นจุดสมดุลของการดูดซับซึ่งมีค่าการดูดซับที่มากที่สุดคือ 72.39 mg/g

13) การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

ได้นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดเกลลิคที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์มาทำการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์อาศัยทฤษฎีของ Langmuir และ Freundlich โดยการพลอตกราฟ พบว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับสมการ

ของ Langmuir มากกว่าสมการของ Freundlich โดยพิจารณาจากค่า R^2 ของกราฟที่พลอตได้ทั้งสองแบบ (ดูจากค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่า) โดยที่ Adsorption Isotherm ของ Langmuir มีค่า $R^2 = 0.976$ ในขณะที่ Adsorption Isotherm ของ Freundlich มีค่า $R^2 = 0.909$ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้น เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว จากการคำนวณค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ได้จากสมการไอโซเทอมของการดูดซับของ Langmuir พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นมีค่าคงที่การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกสูงสุด (X_m) เท่ากับ 250 และมีค่าคงที่ (K) เท่ากับ 0.043

14) การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ในขบวนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้า

ได้ทำการตรวจสอบสารประกอบฟีนอลิกในเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้า และอาหารวุ้นที่ใช้เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ใส่ถ่านกัมมันต์ลงไป เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผงถ่านกัมมันต์ต่อการดูดซับสารประกอบฟีนอลิก ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้า ทำการทดลองโดยเตรียมอาหารแข็งสำหรับเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วย มี 3 กรรมวิธี คือ กรรมวิธีที่ 1 เติมน้ำ commercial AC 1 g/L, กรรมวิธีที่ 2 เติมน้ำ tamarind AC 1 g/L, และ กรรมวิธีที่ 3 ไม่เติมน้ำ AC จากนั้นนำไปเพาะเลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชที่ควบคุมอุณหภูมิ $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ความเข้มแสง 2000 lux โดยให้แสงแต่ละวันแบบสภาวะวันยาว คือให้แสงนาน 16 ชั่วโมง และไม่ให้แสง 8 ชั่วโมง นาน 6 สัปดาห์ จึงทำการประเมินค่าการสะสมสารประกอบฟีนอลิก ในอาหารวุ้น และในเนื้อเยื่อกล้วย พบว่า ผงถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย ZnCl_2 และถ่านกัมมันต์มาตรฐาน มีประสิทธิภาพของการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกได้ดีกว่าการไม่เติมผงถ่านในอาหารวุ้น (กรรมวิธีควบคุม) โดยอาหารวุ้นที่เติมผงถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย ZnCl_2 (MZ-extract) และถ่านกัมมันต์มาตรฐาน (MStd-extract) สามารถดูดซับสารประกอบฟีนอลิกในอาหารวุ้นได้ดีใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกเหลืออยู่ในค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.96 และ 0.65 mg/L ตามลำดับ โดยค่าที่ได้สูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่เติมผงถ่าน (MC-extract) ซึ่งมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 42.86 mg/L (ตารางที่ 3.12)

นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่เหลืออยู่ในเนื้อเยื่อของกล้วยน้ำว้าที่เลี้ยงบนอาหารทั้ง 3 กรรมวิธี ผลการทดลองพบว่า ผงถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย ZnCl_2 (EZ-extract) สามารถลดการสะสมสารประกอบฟีนอลิกในเนื้อเยื่อของกล้วยน้ำว้า (ค่าเฉลี่ย 140.7 mg/L) ได้ดีกว่าในสูตรอาหารที่เติมผงถ่านมาตรฐาน (EStd-extract) (ค่าเฉลี่ย 194.44 mg/L) และที่ไม่เติมผงถ่าน (EC-extract) (ค่าเฉลี่ย 300.92 mg/L)

ผลการทดลองนี้บ่งชี้ได้ว่า การใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขามโดยวิธีกระตุ้นด้วยสารละลาย ZnCl_2 นั้นอาจมีช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและการพัฒนาของเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้าในหลอดทดลองได้ ทั้งนี้เนื่องจากช่วยลดปริมาณการสะสมของสารประกอบฟีนอลิกในเนื้อเยื่อพืช (ทำให้เนื้อเยื่อสามารถพัฒนาและเจริญเติบโตเป็นต้นใหม่ได้ง่าย) โดยดูดซับสารดังกล่าวมาสะสมไว้ที่อาหาร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
Excusive summary	ค
สารบัญ	๗
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 มะขาม	2
1.3) ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)	3
1.4) การดูดซับ	12
1.5) สารประกอบฟีนอลิก	16
1.6 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	18
บทที่ 2 การทดลอง	19
2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	19
2.2 สารเคมี	19
2.3 การเตรียมสารละลาย	20
2.3.1 สารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 70% โดยปริมาตร	20
2.3.2 สารละลายซิงค์คลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์	20
2.3.3 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 75% โดยปริมาตร	20
2.3.4) สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5% (w/v)	20
2.3.5) สารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 0.0500 N	20
2.3.6) สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.0500 N	20
2.3.7) สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตความเข้มข้น 0.0500 N	20
2.3.8) สารละลายน้ำแป้ง	20
2.3.9) สารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 1000 mg/L	21
2.3.10) สารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 mg/L	21
2.3.10) สารละลายฟอสฟอรัสด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:10	21
2.3.12) สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 7.5% โดยน้ำหนัก	21
2.4 วิธีการทดลอง	21
2.4.1) การศึกษาการเผาไหม้มะขามในขั้นตอนคาร์บอนเซชันโดยวิธีต่างๆ	21
2.4.2) การศึกษาการเผาไหม้มะขามจากเมล็ดมะขามโดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ	21
2.4.3) การศึกษาโครงสร้างของถ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	22
2.4.4) การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface area) ด้วยเทคนิคการดูดซับด้วยไนโตรเจน	22

2.4.5) การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน	22
2.4.6) การศึกษาความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านที่ได้จากการเผาแบบต่าง ๆ	22
2.4.7) การศึกษาผลของความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ ที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์	23
2.4.8) การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์	24
2.4.9) การศึกษาผลของ pH ที่มีต่อการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์	24
2.4.10) การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์	24
2.4.11) การศึกษาผลของเวลาที่มีต่อการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์	25
2.4.12) การศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดเกลือที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์	25
2.4.13) การฟอกฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ผิวเนื้อเยื่อกล้วย	25
2.4.14) การเตรียมสูตรอาหาร	26
2.4.15) การประเมินค่า degree of visual tissue browning ในเนื้อเยื่อพืช	26
2.4.16) การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเนื้อเยื่อพืช	26
2.4.17) การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในอาหารวุ้น	27
2.4.18) แผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	27
บทที่ 3 ผลการทดลอง	28
3.1) การศึกษาการเผาเมล็ดมะขามในขั้นตอนคาร์บอไนเซชันโดยวิธีต่างๆ	28
3.2) การศึกษาการเผากระตุ้นถ่านจากเมล็ดมะขามโดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ	28
3.3) การศึกษาโครงสร้างของถ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	30
3.4) การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface area) ด้วยเทคนิคการดูดซับด้วยไนโตรเจน	30
3.5) การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน	32
3.6) การศึกษาความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านที่ได้จากการเผาแบบต่าง ๆ	33
3.7) การศึกษาผลของความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ ที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์	37
3.8) การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้กระตุ้นที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์	38
3.9) การศึกษาผลของ pH ที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์	39
3.10) การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์	40
3.11) การศึกษาผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิก	41

ของถ่านกัมมันต์	
3.12) การศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดแก๊สที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์	42
3.13) การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์	44
3.14) การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ในขบวนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้า	47
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	53
บรรณานุกรม	55
ภาคผนวก ก	58
ภาคผนวก ข	61
Out put ที่ได้จากโครงการ	64



บทที่ 1

บทนำ

1.1) ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

มะขามเป็นต้นไม้ผลยืนต้นที่นิยมปลูกในทวีปเอเชียหลายประเทศ เช่น อินเดีย จีน มาเลเซีย ฟิลิปปินส์และอินโดนีเซีย (Munusamy et al., 2011) รวมทั้งประเทศไทยมะขามเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ โดยเฉพาะในจังหวัดเพชรบูรณ์มีพื้นที่ได้ปลูกมะขามจำนวนมาก (50,524 ไร่) และทำรายได้มหาศาล (32,795,567 บาท) ให้เกษตรกรผู้ปลูก (รายงานข้อมูลสถานะการผลิตพืชจังหวัดเพชรบูรณ์, 2555) โดยทั่วไปผลผลิต (ฝัก) เฉลี่ยประมาณ 150-225 กิโลกรัมต่อต้น ฝักประกอบด้วยเนื้อมะขาม (ประมาณ 30-55% ของฝัก) ถูกนำไปใช้ทำมะขามเปียก (พันธุ์มะขามเปรี้ยว) และใช้บริโภคสด (พันธุ์มะขามหวาน) นอกจากนี้ยังถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร (เช่น มะขามกวน มะขามผง มะขามสามรส และมะขามแช่อิ่ม เป็นต้น) เพื่อจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศ สำหรับเมล็ดมะขามที่มีจำนวนมาก (ประมาณ 33-40% ของฝัก) นั้นเป็นส่วนเหลือทิ้งทางการเกษตร (agricultural waste) ซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่ไม่นำไปเผาถ่านหรือทิ้ง อันอาจทำให้เกิดปัญหาขยะและสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต ดังนั้นหากมีการนำเมล็ดมะขามมาใช้ประโยชน์โดยแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ อาจเป็นการลดปัญหาดังกล่าวและเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้ด้วย แนวทางหนึ่งที่ใช้คือการนำสารสกัดจากเมล็ดมะขามเพื่อพัฒนาตัวรับผลิตภัณฑ์อาหารเสริม เนื่องจากในเมล็ดมะขามประกอบด้วยแป้งกลุ่มสารโพลีเมอร์ชีวภาพ (วีมัล และคณะ, 2555; Foo et al., 2013; Bansal et al., 2013) และอีกแนวทางหนึ่งคือการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม (activated carbon produced from tamarind seeds; AC-TS) เนื่องจากเนื้อในเมล็ดมะขามประกอบด้วยสารอินทรีย์ซึ่งมีคาร์บอน (carbon) ไฮโดรเจน (hydrogen; H) ออกซิเจน (oxygen; O) สูง

ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (activated carbon; AC) ปัจจัยที่ต้องจำแนกมี 2 ปัจจัย คือ (1) ชนิดของวัตถุดิบธรรมชาติที่เหลือใช้ทางการเกษตร ความมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักได้แก่ กะลามะพร้าว, แกลบ, กะลาตาลโตนด (บุญชัยตระกูลมหชัย, 2536), เมล็ดอินทผลัม, เมล็ดลำไย, และเมล็ดมะขาม (รัตน และคณะ, 2550; Munusamy et al., 2011) เป็นต้น และ (2) กรรมวิธีในการผลิตถ่านกัมมันต์มี 2 ขั้นตอน คือขั้นตอน carbonization เพื่อผลิตถ่านชาร์ (char) และขั้นตอน activation กระตุ้นถ่านชาร์ให้มีรูพรุนขนาดเล็ก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ โดยทั่วไปการ activation ซึ่งทำได้ 2 วิธีคือ การกระตุ้นทางกายภาพ (physical activation) เช่นก๊าซ (คาร์บอนไดออกไซด์; CO_2 , หรือ ออกซิเจน; O_2) ร่วมกับอุณหภูมิสูง และการกระตุ้นทางเคมี (chemical activation) โดยใช้กรด เช่น phosphoric acid, sulphuric acid, phosphoric acid ใช้ด่าง เช่น potassium hydroxide, sodium hydroxide และใช้เกลือ เช่น zinc chloride, sodium chloride จากนั้นนำมาผ่านขั้นตอนการเผาที่อุณหภูมิสูง $400\text{--}500^\circ\text{C}$ อย่างไรก็ตามมีรายงานว่า การใช้ การใช้สารกระตุ้น ZnCl_2 มีผลทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ ถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับ Hg_0 และ methylene blue ได้สูงกว่าที่เตรียมจาก KOH และ H_3PO_4 (Alau et al., 2010)

ถึงแม้ว่ามีรายงานจำนวนมากได้วิจัยถึงกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้านดังกล่าวแล้วข้างต้น แต่ยังมีรายงานน้อยมากในเรื่องการพัฒนาวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม (AC-TS) และยังไม่มีรายงานถึงการนำผลิตภัณฑ์ AC-TS ไป

ใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ดังนั้นการทดลองครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อพัฒนากรรมวิธีการผลิต AC-TS โดยใช้ $ZnCl_2$ ร่วมกับอุณหภูมิสูงและเพื่อนำผลิตภัณฑ์ AC-TS ไปประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วย ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองครั้งนี้อาจเป็นประโยชน์สำหรับการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ทางเกษตร ลดการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศ และลดปัญหาขยะของประเทศไทย

1.2 มะขาม

1.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

มะขาม (*Tamarindus indicac* L. อยู่ในตระกูล Leguminosae) และตระกูลย่อย caesalpinaceae มีถิ่นกำเนิดในประเทศชูดาน นิยมปลูกมากในทวีปเอเชีย โดยแหล่งปลูกใหญ่ที่สุดคือประเทศไทย (Munusamy et al., 2011) มะขาม เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงใหญ่มีความสูงประมาณ 12-18 เมตร เปลือกลำต้นขรุขระ มีใบประกอบแบบขนนก (pinnately compound leaves) โดยใบย่อยแต่ละใบแยกออกจากกัน 2 ข้างของแกนกลาง คล้ายขนนก ดอกออกตามปลายกิ่ง เป็นดอกช่อแบบ racemic inflorescences โดยประกอบด้วยดอกย่อยมีสีเหลืองและมีจุดสีม่วงแดงอยู่ตรงกลางดอก ผลมีลักษณะเป็นฝักยาว โดยฝักอ่อนมีเปลือกสีเขียวอมเทา เนื้อในติดกับเปลือก เมื่อแก่ฝักเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล รูปร่างยาวหรือโค้ง ยาว 7.5-20 เซนติเมตร กว้าง 1-1.5 เซนติเมตร เปลือกของฝักแข็งกรอบและหักง่าย ส่วนเมล็ดแก่สีน้ำตาลเข้มหรือดำเป็นเงา (Edward et al., 1994)

1.2.2 พื้นที่ปลูกและความสำคัญ

มะขามเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ โดยเฉพาะในจังหวัดเพชรบูรณ์มีพื้นที่ได้ปลูกมะขามจำนวนมาก (มีพื้นที่ปลูก 50524 ไร่) และทำรายได้มหาศาล (32,795,567 บาท) ให้เกษตรกรผู้ปลูก (ตารางที่ 1) (รายงานข้อมูลสภาวะการผลิตพืช จังหวัดเพชรบูรณ์, 2555)

ตารางที่ 1.1 รายงานข้อมูลสภาวะการผลิตพืช กลุ่มมะขาม จังหวัดเพชรบูรณ์ ยอดสะสมของธันวาคม 2555

อำเภอ	จำนวนครัวเรือน	พื้นที่ปลูก (ไร่)	ผลผลิต (ก.ก.)
เมือง เพชรบูรณ์	2,111	13,331	8,975,075
ชนแดน	760	13,923	12,452,150
หล่มสัก	561	3,745	740,000
หล่มเก่า	1,155	13,050	4,920,280
วิเชียรบุรี	39	458	296,040
ศรีเทพ	40	181	126,340
หนองไผ่	395	2,454	1,368,330
บึงสามพัน	22	207	134,580
น้ำหนาว	140	742	243,610
วังโป่ง	466	2,091	2,950,150
เขาค้อ	69	342	589,012
รวมทั้งหมด	5,758	50,524	32,795,567

โดยทั่วไปผลผลิต (ฝัก) เฉลี่ยประมาณ 150-225 กิโลกรัมต่อต้น เนื้อมะขาม (ประมาณ 30-55% ของฝัก) ถูกนำไปใช้ทำมะขามเปียก (พันธุ์มะขามเปรี้ยว) และใช้บริโภคสด (พันธุ์มะขามหวาน) นอกจากนี้ยังถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร (เช่น มะขามกวน มะขามผง มะขามสามรส และมะขามแช่อิ่ม เป็นต้น) เพื่อจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศ สำหรับเมล็ดมะขามที่มีจำนวนมาก (ประมาณ 33-40% ของฝัก) เป็นส่วนเหลือทิ้งทางการเกษตร (agricultural waste) ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาขยะและสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรนำเมล็ดมะขามมาใช้ประโยชน์โดยแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร อย่างไรก็ตามก่อนเริ่มดำเนินการควรมีการศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีและชีวเคมีภายในเมล็ดมะขาม

1.2.3 สารประกอบในเมล็ดมะขาม

เมล็ดมะขามประกอบ เปลือก และเนื้อของเมล็ดประมาณ 30-35% และ 60-65% ตามลำดับ มีรายงานการวิจัยพบว่าในเมล็ดมะขามประกอบด้วยแป้งกลุ่มสารโพลีเมอร์ชีวภาพซึ่งเหมาะสมต่อการพัฒนาระบบนำส่งยาไปสู่ตำแหน่งที่ต้องการของร่างกาย (Kader et al., 2011; Bansal et al., 2013) เปลือกหุ้มเมล็ดประกอบด้วยฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและสารประกอบฟีนอลิกที่สูง ซึ่งสารดังกล่าวยังสามารถเหลือฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ 70% ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง (Maisuthisakul et al., 2008) ดังนั้นสารสกัดจากเปลือกมะขามจึงอาจเหมาะสำหรับการพัฒนาตำรับผลิตภัณฑ์อาหารเสริมต่อไป (นันทิดา หมวกเหล็ก และคณะ, 2555)

สำหรับเนื้อในเมล็ดมะขามประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharides) ปริมาณสูงถึง 60-65% (เป็นองค์ประกอบของ β -1,4 glucose เชื่อมต่อกับ α -1,6 xylose และ β -1,2galactose (Raimondi et al., 2003) ประกอบด้วย protein (13-15 %) (Raimondi et al., 2003) ลิพิด 7.1% ชีวเถ้า 4.2% และคาร์โบไฮเดรต 61.7% (Watt et al., 1962) นอกจากนี้มีรายงานว่า ประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์จำพวกไซโลกลูแคน (ภักดีสิริ สีนไชยกิจ และคณะ, 2011) และมีสารอินทรีย์ซึ่งมีคาร์บอน (carbon), ไฮโดรเจน (hydrogen; H), ออกซิเจน (oxygen; O), ซัลเฟอร์ (sulfur; S), และไนโตรเจน (nitrogen; N) เท่ากับ 45.76, 9.59, 44.39, 0.04 และ 0.22% ตามลำดับ (Kader et al., 2011) รายงานดังกล่าวนี้บ่งชี้ว่าเมล็ดมะขามประกอบด้วยสารอินทรีย์ (C, H, และ O) ค่อนข้างสูง ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากเมล็ดมะขามคือการผลิตถ่านกัมมันต์ (activated carbon prepared from tamarind seeds; TSC) ซึ่งปัจจุบันการผลิตถ่านกัมมันต์นิยมทำกันอย่างแพร่หลายจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าและก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.3) ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) (รุจิรา ปิ่นแก้ว, 2556 และ วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี, ถ่านกัมมันต์, 2556. เว็บไซต์)

ถ่านกัมมันต์คือวัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายในและมีความพรุนสูงเป็นการนำเอาวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์ซึ่งทำให้วัตถุดิบนั้นมีโครงสร้างรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในสูงซึ่งหากดูที่พื้นที่หน้าตัดของถ่านกัมมันต์จะมีลักษณะคล้ายรังผึ้งโดยถ่านกัมมันต์จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก 87-90% และมีธาตุอื่นที่เป็นองค์ประกอบคือไฮโดรเจนออกซิเจนซัลเฟอร์ และไนโตรเจน โดยจะมีปริมาณมากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณที่มีในวัตถุดิบและอาจเกิดขึ้นได้อีกในขั้นตอนการผลิต ดังนั้นจึงมีความสามารถในการดูดซับสารเคมีจากก๊าซและของเหลวได้ในปริมาณสูง ซึ่งถ่านกัมมันต์นั้น

สามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้านโดยอาจใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์ หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนั้นถ่านกัมมันต์สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หรือตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ด้วยจากคุณสมบัติที่เหมาะสมและมีราคาไม่แพงของถ่านกัมมันต์ ทำให้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้กันมาก ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) แต่ถูกทำขึ้นมาเป็นพิเศษโดยกระบวนการก่อกัมมันต์ (activation) ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวใน (internal surface area) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจำนวนมาก แต่ถ้าหากศึกษาโดยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชัน (x-ray diffraction) หรือศึกษาโครงสร้างจากการสะท้อนและการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซเรย์เมื่อตกกระทบวัตถุ โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะมีความเป็นผลึกอยู่บ้างแต่ไม่สมบูรณ์เหมือนกับแกรไฟต์ จากคุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้ถ่านกัมมันต์แตกต่างกว่าถ่านชนิดอื่นๆ เช่น ถ่านลิกไนต์ ถ่านโค้ก ถ่านไม้ หรือถ่านแกรไฟต์ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสูงอันเนื่องมาจากพื้นที่ผิวมาก มีความจุในการดูดซับสูง ผิว โครงสร้างเป็นแบบรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก และมีความสามารถในการดูดซับสูง (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, ถ่านกัมมันต์, 2556. เว็บไซต์)

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่เตรียมขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งทำได้โดยการทำให้เป็นรูพรุนหรือโครงสร้างภายในเนื้อคาร์บอนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ รูพรุนนี้มีขนาดตั้งแต่ 20 อังสตรอมถึง 20,000 อังสตรอม ดังนั้นพื้นที่ผิวจึงสูงและมีความสามารถในการดูดซับสูงด้วยเช่นกัน การวัดพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์กระทำได้โดยการหาปริมาณไนโตรเจนที่ถูกถ่านกัมมันต์ดูดซับไว้ การวัดสมรรถนะของถ่านกัมมันต์อาจทำได้โดยการวิเคราะห์ ค่าการดูดซับไอโอดีน ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับได้แก่ ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (size and surface area) ลักษณะของตัวดูดซับ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และเวลาในการสัมผัส

1.3.1) วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้นจะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบโดยวัตถุดิบนั้นอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรมคือ ถ่านฟิต ถ่านหิน ถ่านลิกไนต์ และไม้ โดยทั่วไปวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

- มีปริมาณสารระเหยต่ำ
- มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง
- มีราคาถูกและหาได้ง่าย
- มีคุณสมบัติคงที่

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในรูปถ่านมักเป็นถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์อินทรีย์วัตถุหรือเรียกว่าถ่านสังเคราะห์ (Artificial char) หรืออาจเป็นถ่านที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural char) เช่น ถ่านหินก็ได้ ถ่านสังเคราะห์แบ่งตามอินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็น 2 ประเภท

1. ถ่านสังเคราะห์เนื้อแข็ง เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ถ่านไม้ ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ขึ้นที่ความดันสูง
2. ถ่านสังเคราะห์เนื้ออ่อน เช่น ถ่านไม้ ถ่านขานอ้อย ถ่านเกลบ ถ่านกากน้ำตาล

โดยทฤษฎีแล้วอินทรีย์วัตถุทุกชนิดสามารถนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ได้ ปัจจุบันจึงได้มีการนำของเสียเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมาก ดังตารางที่ 1.1 เนื่องจากหาได้ง่ายและมีราคาถูกแต่อย่างไรก็ตามปัญหาในการนำของเสียเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตถ่านกัมมันต์คือ วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติไม่คงที่ แม้ว่าจะเป็นวัตถุดิบชนิดเดียวกันทำให้ยากในการควบคุมขั้นตอนในการผลิต

ตารางที่ 1.1 วัตถุดิบที่มีการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, ถ่านกัมมันต์, 2556. เว็บไซต์)

อินทรีย์วัตถุ			อนินทรีย์วัตถุ
วัตถุดิบที่มาจากพืช	ถ่านหิน	วัตถุดิบที่มาจากสัตว์	
1. ชานอ้อย	1. ถ่านหิน	1. เลือด	1. ฝุ่นจากปล่องไฟ
2. กากน้ำตาล	2. แกรไฟต์	2. กระดูก	2. เขม่า
3. เมล็ดพืช	3. ถ่านลิกไนต์	3. ปลา	3. กากโปแตสเชียมเฟอโรไซยาไนด์
4. กะลามะพร้าว	4. หินน้ำมัน	4. กากหนัง	4. เศษยาง
5. เปลือกถั่ว	5. ถ่านพีท		5. กากกรดปิโตรเลียม
6. กากกาแฟ	6. ถ่านหินน้ำมัน		6. ของเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษ
7. ชังข้าวโพด			7. ของเสียจากโรงงานกลั่นสุรา

1.3.2) ชนิดของถ่านกัมมันต์

1. ถ่านกัมมันต์แบบผง (Powder Activated Carbon, PAC) (รูปที่ 1.1a) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ถูกนำมาบดจนสามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 เมชไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนักมีลักษณะเป็นผง โดยทั่วไปจะมีขนาด 0.15 – 0.25 มิลลิเมตรเมตรนิยมใช้ในการดูดซับสารในสถานะของเหลวเช่นการฟอกสีและดูดกลิ่นใน

2. ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดหรือเม็ด (Granular Activated Carbon, GAC) (รูปที่ 1.1b) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ทำจากวัตถุดิบที่เป็นเม็ดหรือเป็นถ่านกัมมันต์แบบผงแล้วมาเติมตัวประสานทำให้เป็นเม็ดสามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 20 เมช ได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 85 และสามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 40 เมชได้ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนักถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดที่ใช้งานมานานจนประสิทธิภาพลดลงแล้วสามารถนำไปทำการฟื้นฟูสภาพเพื่อให้อำนาจการดูดซับที่ผิวมากขึ้นและนำกลับมาใช้งานใหม่ได้อีก

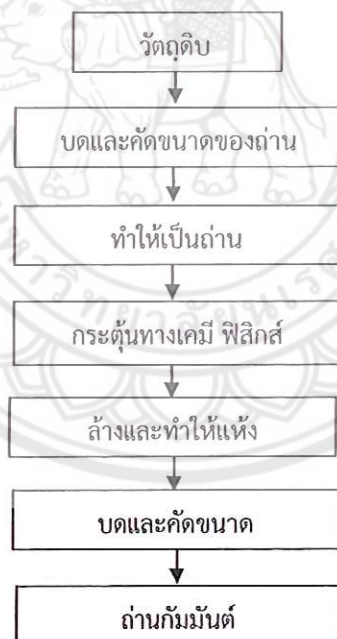
3. ถ่านกัมมันต์แบบเป็นแท่ง (Extruded) (ภาพที่ 1.1c) ใช้ในเบตนิ่งเพื่อการดูดซับสารปนเปื้อนที่ต้องการอัตราการดูดซับสูง ๆ ถ่านกัมมันต์ชนิดเกร็ดและแบบขึ้นรูปเป็นแท่งมีการใช้งานมากกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงเนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (ที่มา : <http://www.neutron.rmutphysics.com>)



รูปที่ 1.1 ประเภทของถ่านกัมมันต์ (<http://www.neutron.rmutphysics.com>.)

1.3.3) การผลิตถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ในปัจจุบันกรรมวิธีผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ลักษณะและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการแต่โดยทั่วไปกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ประกอบด้วย ขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอนคือขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนการเผาให้เป็นถ่านคาร์บอนหรือการคาร์บอนไนซ์เซชันและขั้นตอนการกระตุ้นดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

1. ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

ถ่านกัมมันต์สามารถผลิตจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบซึ่งการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรงหรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ขึ้นอยู่กับการผลิตแต่โดยทั่วไปมักนำวัตถุดิบมาบดและคัดขนาดก่อนที่จะนำไปทำให้เป็นถ่านเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหลังจากนั้นทำการอบหรือตากวัตถุดิบให้แห้ง

2. ขั้นตอนการทำให้เป็นถ่านหรือการคาร์บอนไนเซชัน

กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน เป็นการไพโรไลซิสซึ่งเกิดขึ้นในที่อับอากาศเพื่อเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์ขณะเดียวกันก็ได้ผลิตภัณฑ์อื่นที่เป็นของเหลวและก๊าซออกมาด้วยโดยโครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกหลักที่เหลือ กลายเป็นโครงสร้างของถ่านคาร์บอนส่วนกลุ่มโครงสร้างกลุ่มโมเลกุลหรือหมู่ที่มีขนาดเล็กกว่าจะกลั่นสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ น้ำ แอมโมเนีย น้ำมันทาร์ และก๊าซต่าง ๆ ขั้นตอนคาร์บอนไนเซชันจัดว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมากที่สุดในการผลิตถ่านกัมมันต์ เนื่องจากในการคาร์บอนไนเซชันจะมีการเริ่มสร้างของโครงสร้างรูพรุนโดยในระหว่างการคาร์บอนไนเซชัน ธาตุและองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมถึงสารระเหยต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และน้ำ จะถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของก๊าซและน้ำมันทาร์ จากนั้นจะได้ถ่านคาร์บอนซึ่งมีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกที่ไม่เป็นระเบียบซึ่งจะมีช่องว่างหรือรูพรุนระหว่างผลึกโดยจะมีสารอินทรีย์ที่เป็นทาร์อุดช่องว่างเหล่านั้น ในส่วนประกอบของถ่านคาร์บอนที่ได้จะมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจนและคาร์บอนต่อออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นจากวัตถุดิบในตอนแรกด้วย ขั้นตอนของกระบวนการคาร์บอนไนเซชันแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนสำคัญได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 การสูญเสียไอน้ำออกจากโครงสร้างวัตถุดิบในช่วงอุณหภูมิ 27-197°C

ขั้นตอนที่ 2 การไพโรไลซิสโดยเกิดก๊าซและน้ำมันทาร์ในโครงสร้างในช่วงอุณหภูมิ 197-497°C

ขั้นตอนที่ 3 การเกาะตัวกันของโครงสร้างถ่านคาร์บอนโดยในช่วงนี้น้ำหนักของวัตถุดิบจะลดลงไปมากในช่วงอุณหภูมิ 497-847°C จุดมุ่งหมายหลักของกระบวนการคาร์บอนไนเซชันก็เพื่อผลิตให้ได้ถ่านที่มีรูพรุนและการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมให้เป็นระเบียบมากกว่าวัตถุดิบตัวแปรสำคัญในการคาร์บอนไนเซชัน

- อุณหภูมิ อุณหภูมิจะมีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์มากที่สุดคือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณการเกิดถ่านคาร์บอนจะลดลงส่วนน้ำมันทาร์และก๊าซที่ได้เพิ่มมากขึ้นและคุณสมบัติของน้ำมันทาร์จะมีกลุ่มโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปด้วยเพราะการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลายพันธะภายในโครงสร้างของวัตถุดิบการจัดเรียงตัวของคาร์บอนจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่เผา

- อัตราการให้ความร้อนอัตราการให้ความร้อนจะมีผลต่อคุณสมบัติและปริมาณของน้ำมันทาร์และสารระเหยการเพิ่มอัตราความร้อนอย่างรวดเร็วจะมีผลทำให้ปริมาณสารระเหยถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็วทำให้ถ่านคาร์บอนที่ได้มีรูพรุนขนาดใหญ่ความว่างในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่านที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่าเพราะถ่านคาร์บอนที่ได้จากการคาร์บอนไนเซชันด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูงคาร์บอนจะเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่าทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่เมื่อทำการกระตุ้นสารกระตุ้นจะเข้าทำปฏิกิริยาได้ง่าย

- ตัวกลางของปฏิกิริยาจะมีผลกระทบตอปฏิกิริยาถ้าก๊าซและไอที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการคาร์บอนไนเซชันถูกพาออกไปอย่างรวดเร็วโดยก๊าซที่เป็นตัวกลางเช่นก๊าซไนโตรเจน (เฉื่อยต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ของคาร์บอน) และก๊าซจากการเผาไหม้เป็นต้นถ้าตัวกลางเป็นก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ปริมาณถ่านที่ได้จะน้อย

- ธรรมชาติของวัตถุดิบ วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีสถานะในการคาร์บอนไนเซชันที่เหมาะสมแตกต่างกันโดยถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบที่ต่างกันอาจใช้วิธีกระตุ้นที่ต่างกันเพื่อที่จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดีที่สุดซึ่งจะเหมาะกับการนำไปใช้ในระบบที่เหมาะสมต่อไปถ่านคาร์บอนที่ได้จากการคาร์บอนไนเซชันควรมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. มีสีดำตลอด
2. เมื่อหักดูส่วนที่หักจะมีผิวที่เป็นมันเงา
3. ปลายที่หักจะแหลมคม
4. ปราศจากผงฝุ่นและขี้เถ้า

ถ่านคาร์บอนที่ได้จากขั้นตอนการคาร์บอนไนเซชันนี้มีความสามารถในการดูดซับต่ำมากเพราะยังคงมีน้ำมัน ทาร์ตกค้างอยู่ภายในช่องว่าง หรือเกาะอยู่ตามผิวจึงจำเป็นต้องนำถ่านคาร์บอนไปผ่านกระบวนการกระตุ้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับ

3. ขั้นตอนการกระตุ้น

การกระตุ้นคือการทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้นทั้งนี้ เนื่องมาจากการ เพิ่มพื้นที่ผิวและการทำให้ผิวที่มีความว่องไวมากขึ้นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการกระตุ้นไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด สาเหตุหนึ่งมาจากวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธีและประสิทธิภาพในการกระตุ้นยังขึ้นอยู่กับลักษณะ และชนิดของวัตถุดิบรวมถึงวิธีการอื่น ๆ ก่อนการกระตุ้นด้วย วัตถุประสงค์ของการกระตุ้น

- เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (Active surface area) โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้ โมเลกุล บางกลุ่มหลุดออกไปและเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดซับขึ้นมาแทน
- เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นผิวที่มีอยู่แล้วซึ่งหมายถึงทำให้อะตอมของ คาร์บอนมี พลังงานศักย์สูงขึ้นโดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ให้มีความว่องไวในการดูดซับสูงขึ้น
- เป็นการกำจัดอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำ หน้าที่ดูดซับ

1.3.4) การกระตุ้นถ่านกัมมันต์

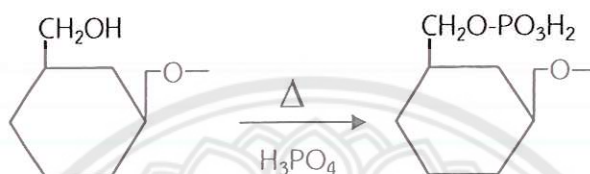
แบ่งตามกลไกที่เกิดขึ้นได้ 2 ประเภทคือ

1) วิธีการกระตุ้นทางเคมี

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยากับสารเคมีกับผิวคาร์บอนโดยมีความร้อน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมีนั้นแสดงดังรูปที่ 1.4 และข้อดีของวิธีนี้คือใช้อุณหภูมิ ไม่สูงมาก 400-600°C แต่มีข้อเสียคือมีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการ ล้างสารเคมีดังกล่าวเพิ่มขึ้นรวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ เพราะสารเคมีเหล่านี้เป็นสารกัดกร่อน ตัวอย่างของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นส่วนใหญ่เป็นสารด่างได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) กว่าตัวกลางที่เป็นก๊าซ ไนโตรเจนแต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นที่สูงกว่า ตัวอย่างการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่

ก) การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) การใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นเป็นวิธีที่ นิยมมากที่สุดวิธีหนึ่งในการผลิตถ่านกัมมันต์ทางอุตสาหกรรมโดยแช่วัตถุดิบในสารละลายซิงค์คลอไรด์ ประมาณ 0.5-4.0 ส่วนต่อน้ำหนักของวัตถุดิบแห้ง 1 ส่วนอาจเติมกรดเกลือหรือกรดฟอสฟอริกลงไป เล็กน้อยแล้วนำไปทำการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 600-800°C จากนั้นล้างถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยน้ำหรือ กรดไฮโดรคลอริกเจือจางเพื่อกำจัดซิงค์คลอไรด์ที่เหลือและสารประกอบของซิงค์คลอไรด์ที่เกิดขึ้นออกไป ในทางอุตสาหกรรมสารละลายซิงค์คลอไรด์ ที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกแต่ด้วยปัญหาการกัด กร่อนเครื่องปฏิกรณ์ทำให้ระยะหลังการใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นลดลงมาก

ข) การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) การใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้นจะใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นต่ำกว่าการใช้ ซิงค์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นคือประมาณ $400-600^\circ\text{C}$ ตัวอย่างของการผลิตถ่านกัมมันต์โดยวิธีนี้ได้แก่การใช้ดินพรุหรือซีเลื่อยโดยการผสมกับสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 25-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แล้วนำไปเผา กระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีนี้จะเกิดจากการดูดน้ำของกรดฟอสฟอริกซึ่งคล้ายกับการกระตุ้นโดยใช้ซิงค์คลอไรด์ โดยกรดฟอสฟอริกกลายเป็นฟอสฟอรัสและไฮโดรต สารที่ระเหยได้จะถูกออกซิไดซ์กลับมาเป็นกรดฟอสฟอริกสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ กรดฟอสฟอริกเป็นสารที่มีความสามารถในการทำลายสูง ทำให้สามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างของวัตถุดิบได้อย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 1.3 แสดงปฏิกิริยาระหว่างเซลลูโลสกับฟอสฟอริก (ณัฐยา พูนสุวรรณ (2545))

ค) การกระตุ้นด้วยสารประกอบของโปแตสเซียมหรือโซเดียม เป็นการกระตุ้นโดยใช้สารละลายที่มีไอออนของโปแตสเซียมหรือโซเดียม กับวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบแล้วให้ความร้อน ไอออนของโลหะเหล่านี้จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างชั้นของผลึกของถ่านกัมมันต์ เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 700°C โมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และออกซิเจน จะหลุดออกไป ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ตามต้องการ

2) วิธีการกระตุ้นทางกายภาพ

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยที่ผิวคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การจัดเรียงตัวใหม่ ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านให้สูงขึ้น นิยมใช้ก๊าซออกซิไดซ์ต่าง ๆ เช่น ไอน้ำ ออมิควายิ่งยวด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน เป็นต้น ร่วมกับการใช้ความร้อน หรืออาจใช้การกระตุ้นโดยใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียวก็ได้แต่ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมากถึง $1,200^\circ\text{C}$ ซึ่งพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยการกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดซ์ ปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นด้วยวิธีนี้คือ

- ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบ
- คุณสมบัติทางเคมีและอัตราส่วนของก๊าซที่ใช้
- อุณหภูมิของปฏิกิริยา
- ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา

จากการวิจัยพบว่า การกระตุ้นด้วยไอน้ำให้ผลดีกว่าการกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดีกว่าการกระตุ้นด้วยอากาศ การกระตุ้นด้วยไอน้ำจะต้องใช้อุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้เกิดการออกซิไดซ์อย่างรวดเร็ว ในกระบวนการกระตุ้น คาร์บอนจะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ออกจากผิวคาร์บอนเกิดก๊าซซิฟิเคชันในบางส่วนของเม็ดถ่านเกิดเป็นรูพรุนขึ้นในโครงสร้างของถ่าน ถ่านกัมมันต์ที่ได้ประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากเกิดช่องว่างระหว่างผลึก ในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมรูพรุนนี้มักจะถูกบรรจุไว้ด้วยทาร์ที่เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนและถูกขวางโดยคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon)

1.3.5) โครงสร้างและคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

1. ลักษณะโครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างใกล้เคียงกับแกรไฟต์แต่มีการจัดเรียงตัวแบบเป็นระเบียบน้อยกว่า ผลึกแกรไฟต์ ประกอบด้วยชั้นคาร์บอนอะตอมในรูปของวงเบนซีนหรือกลุ่มของคาร์บอนอะตอมที่มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม นั่นคือแต่ละอะตอมก็มีพันธะเดี่ยวอีก 3 อะตอมในลักษณะสมมาตรกัน อิเล็กตรอนในการเกิดพันธะนี้เป็นแบบซิกมาอิเล็กตรอน (Sigma electron) อิเล็กตรอนที่เหลืออีกหนึ่งเป็นไพอิเล็กตรอน (pair electron) เพื่อให้โครงสร้างเสถียรยิ่งขึ้น

2. รูพรุนของถ่านกัมมันต์

ในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านที่ได้มีความพรุนมากขึ้นเนื่องจากการสูญเสียองค์ประกอบคาร์บอนระหว่างช่องของผลึกคาร์บอน รูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสมคือการทำให้ความพรุนไม่ใช่ขนาดของรู เมื่อพิจารณาลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์จะพบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมากมีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกันรูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบและมีความลึกไม่สม่ำเสมอลักษณะรูปร่างของรูพรุนนั้นไม่สามารถบอกได้แน่นอน บางรูมีลักษณะเปิดข้างหนึ่งปิดข้างหนึ่ง รูพรุนของถ่านกัมมันต์นั้นสามารถจำแนกตามได้ขนาดรัศมีของรูพรุนดังนี้

- มาโครพอร์ (Macropores) รัศมีของรูพรุนมากกว่าหรือเท่ากับ 100-200 nm ปริมาตรอยู่ระหว่าง $0.2-0.8 \text{ cm}^3/\text{g}$ พื้นที่ผิวไม่เกิน $0.5 \text{ cm}^2/\text{g}$ ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับรูพรุนประเภทอื่นดังนั้นมาโครพอร์จึงไม่ค่อยมีความสำคัญในการดูดซับเป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคเข้าไปในรูพรุนที่เล็กกว่า

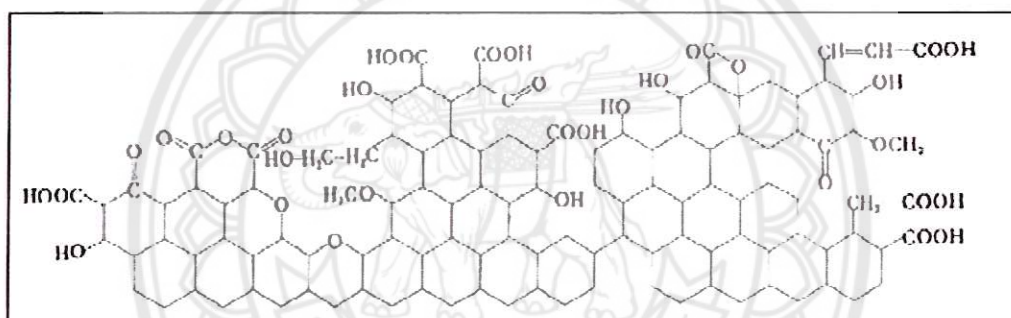
- เมโซพอร์ (Mesopores) หรือ Transitionalpores ขนาดรัศมีอยู่ระหว่าง 1.5-100 nm ปริมาตรอยู่ระหว่าง $0.1-0.5 \text{ cm}^3/\text{g}$ พื้นที่ผิว 20-100 cm^2/g ตัวอย่างสารดูดซับที่มีขนาดของรูพรุนเป็นเมโซพอร์ได้แก่ ซิลิกาเจลอะลูมินาเจลตัวเร่งปฏิกิริยาอะมิโนซิลิเกต

- ไมโครพอร์ (Micropores) ขนาดรัศมีรูพรุนน้อยกว่า 1.5 nm ปริมาตร $0.2-0.6 \text{ cm}^3/\text{g}$ พื้นที่ผิวจำเพาะเป็นจำนวนมากหลายร้อย cm^2/g บางครั้งถึง $1,500 \text{ cm}^2/\text{g}$ ไมโครพอร์มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับเนื่องจากมีพื้นที่การดูดซับและพลังงานดูดซับมากที่สุดทำให้การดูดซับเพิ่มมากขึ้นที่ความดันต่ำ ๆ รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งเชื่อมั่นว่าปริมาณของรูพรุนแต่ละขนาดหรือที่เรียกกันว่า “การกระจายตัวของรูพรุน (Pore Size Distribution)” จะขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้และวิธีการกระตุ้น ตัวอย่างของตัวดูดซับที่มีขนาดของรูเป็นไมโครพอร์คือซีโอไลต์

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ส่วนมากประกอบด้วยรูพรุนกระจาย โดยโครงสร้างทั้งแบบมาโครพอร์ เมโซพอร์ และไมโครพอร์ เรียกว่า “โครงสร้างผสม (Mixed StructureType)” พบว่ามาโครพอร์เป็นเพียงทางเปิดสู่ผิวภายนอกอนุภาคโดยมีเมโซพอร์เป็นกิ่งออกมาจากไมโครพอร์อีกทีหนึ่ง โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจะมีรูพรุนขนาดกลางประมาณ $200-300 \text{ cm}^2/\text{g}$ สำหรับรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีผลต่อความจุในการดูดซับจะมีประมาณร้อยละ 90-95 ของพื้นที่ผิวทั้งหมดนอกจากนี้ยังพบว่าความจุในการดูดซับยังขึ้นกับลักษณะและธรรมชาติของผิวด้วยกล่าวคือถ้าบริเวณผิวของถ่านกัมมันต์เป็นเพียงระนาบพื้นฐาน (Basal Planes) ซึ่งไม่มีหมู่ฟังก์ชันนอกอื่น ๆ การดูดซับจะเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์หรืออาจเกิดจากไพอิเล็กตรอนแรงยึดเหนี่ยวทั้งสองเป็นแรงที่ค่อนข้างอ่อน แม้ว่าจะดูดซับได้แต่มีโอกาสที่จะหลุดออกได้ง่าย แต่ถ้าเป็นผิวบริเวณที่มีหมู่ฟังก์ชันการดูดซับจะเกิดจากแรงที่แข็งแกร่งกว่าโอกาสที่ไม่เลกุลของสารถูกดูดซับจะหลุดออกจึงมีน้อยกว่ารูพรุนคือ

3. โครงสร้างทางเคมีของผิวหนังกัมมันต์

พื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะมีอะตอมที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับอะตอมอื่น ๆ ได้เช่นอะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจนในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ทั้งในกระบวนการคาร์บอนไนเซชันและการกระตุ้นจะทำให้ธาตุเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไปการที่มีอะตอมของออกซิเจนและไฮโดรเจนนี้ส่งผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์เนื่องจากอะตอมเหล่านี้เมื่อรวมตัวกับอะตอมของคาร์บอนโดยเกิดพันธะเคมีจะเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันนอล (Functional Groups) หมู่ฟังก์ชันนอลที่พบบนผิวถ่านกัมมันต์บ่อยๆได้แก่หมู่ฟังก์ชันนอลที่เป็นกรดเช่นหมู่ Carboxyl, Phenolic Hydroxyl, Quinonoid, Normal Lactone, Fluorescein-Type Lactone และ Carboxylic Acid Anhydride นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมถ่านกัมมันต์ลงไปในสารละลายจะทำให้ค่าความเป็นกรดเบสของสารละลายเปลี่ยนแปลง คือสามารถแสดงความเป็นกรดหรือเบสได้ถ่านกัมมันต์ที่มีอะตอมของออกซิเจนบนพื้นผิวมากก็จะแสดงความเป็นกรดซึ่งพื้นผิวที่มีความเป็นกรดนี้ก็จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกส่วนถ่านกัมมันต์ที่มีอะตอมของออกซิเจนน้อยก็จะแสดงความเป็นเบสซึ่งจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุลบ



รูปที่ 1.4 โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์ (Jankowska et al, 1991.)

จากกระบวนการคาร์บอนไนเซชันอะตอมต่างๆที่ไม่ใช่คาร์บอนเช่นออกซิเจนไฮโดรเจนและไนโตรเจนจะถูกกำจัดออกในรูปของก๊าซอะตอมคาร์บอนที่เหลือจะจัดเรียงตัวเป็นชั้นๆแต่ละชั้นประกอบด้วยวงหกเหลี่ยมเชื่อมโยกันอย่างไม่เป็นระเบียบและเกิดช่องว่างหรือโพรงได้ซึ่งจะเป็นที่อยู่ของพวกทาร์และสารอื่นที่ได้จากการเผาผลาญช่องว่างเหล่านี้จะกลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับด้วยกระบวนการที่เรียกว่าการกระตุ้น โดยการล้างพวกทาร์และสารต่างๆที่ได้จากการเผาผลาญออกจากช่องว่างหรือโพรงที่จะสร้างหมู่ฟังก์ชันขึ้นมาแทน ความสามารถในการดูดซับถ่านกัมมันต์จึงเป็นผลสืบเนื่องมาจากโครงสร้างทางเคมีด้วย

1.3.6) ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

การใช้ถ่านกัมมันต์ในอุตสาหกรรม

มีรายงานการนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งจากทางการเกษตรประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังนี้ ใช้ดูดซับสารไม่มีขั้วหรือโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีขั้วอ่อน (เช่น ยาและสารเคมี) ใช้กำจัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม การดูดซับสาร organic compounds (tannins, benzene, toluene, formaldehyde, phenol) และฟีนอล ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่เกิดจากกระบวนการเติมสารคลอรีนในน้ำเพื่อฆ่าเชื้อโรค ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำดื่ม (Awoyale et al., 2012) ใช้ฟอกสีและทำให้ของเหลวบริสุทธิ์ (ฟอกสีใน

อุตสาหกรรมน้ำตาล, แยกสบู่และเปอร็อกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันอุตสาหกรรมและแยกเอสเทอร์ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ (Shi et al., 2010) นอกจากนี้ยังใช้กรองและการบำบัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น โลหะหนัก (cadmium, zinc, mercury, cyanide, copper) (Khuysangaim et al., 2001; Punsuwan et al., 2006; Li et al., 2012) ใช้กำจัดกลิ่น แก๊สพิษ และไอของสารอินทรีย์ (แก๊สโซลีน หรือเบนซีน) ใช้กำจัดสารพิษ แยกแก๊ส และตัวเร่งปฏิกิริยา กำจัดฟลูออไรด์ (defluoridation) ในน้ำได้ (Harikumar et al., 2011)

1.3.7 การใช้ถ่านกัมมันต์ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

นอกจากนี้ยังมีการนำถ่านกัมมันต์มาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในงานวิจัยด้านเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช (Fridborg et al., 1978; Thomas et al., 2008; Ahmadian et al., 2013) เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับ และลดการสะสมของ phenolic compound ซึ่งปลดปล่อยออกมาจากบริเวณบาดแผลของเนื้อเยื่อพืช (North et al., 2012) โดยสารฟีนอลมีบทบาทสำคัญในการยับยั้งการพัฒนาศาสตร์และการเจริญเติบโตของเซลล์ และทำให้เซลล์พืชตาย (Nisyawati et al., 2013) ดังมีรายงานความสำเร็จของการใช้ถ่านกัมมันต์ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของพืชหลายชนิด เช่น กล้วย (*Musa spp*) (Ahmadian et al., 2013), กล้วยป่า (*Ensete ventricosum*) (Birmeta et al., 2004), กล้วยไม้ดิน (*Geodorum densiflorum*) (Sheelavantmath., 2005), ฝ้าย (*Gossypium hirsutum*) (Zhang et al., 2000), อินทผลัม (*Phoenix dactylifera*) (Fki et al., 2003), ถั่วปากอ้า (*Vicia faba*) (Abdelwahd et al., 2008), ปักขาสวรรค์ (*Strelitzia reginae*) (North et al., 2012) อย่างไรก็ตามถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชนั้นถูกนำเข้ามาจากต่างประเทศทำให้มีราคาแพง เช่น ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 500 กรัมจากบริษัท sigma-aldrich ราคาประมาณ 7000 บาท

จากเหตุผลหลายประเด็นดังกล่าวข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยเกิดแนวความคิดว่า หากมีการนำเมล็ดมะขามซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้สำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดี อาจนำมาใช้ประโยชน์สำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ด้านการเพิ่มมูลค่าจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และลดต้นทุนในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วย ได้ในอนาคต

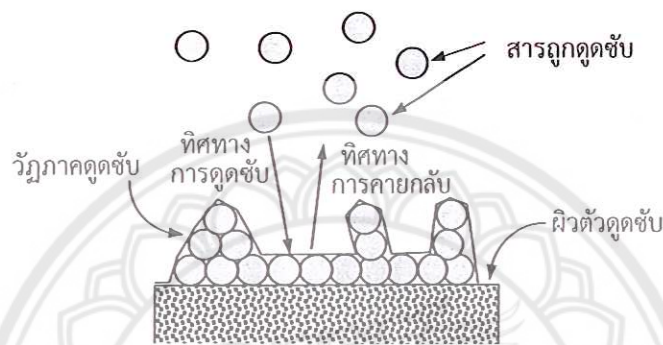
1.4) การดูดซับ

1.4.1) ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับเป็นการเคลื่อนย้ายมวลสารมาสะสมที่ ผิวหน้าหรือระหว่างผิวโดยให้สารละลายที่มีตัวถูกละลาย (Adsorbate) ไหลสัมผัสกับของแข็งที่เป็นตัวดูดซับ (Adsorbent) องค์ประกอบแต่ละชนิดของสารละลายจะมีความสามารถในการกระจายที่ผิวและเกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซับได้ต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิวและรูพรุนของตัวดูดซับประกอบกับความสามารถในการละลายของตัวถูกละลาย และความชอบของตัวถูกละลายที่มีต่อตัวดูดซับ แต่การดูดซับไม่รวมถึงขบวนการตกตะกอนที่พื้นผิว หรือขบวนการโพลิเมอร์ไรเซชัน ซึ่งหากไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่ากลไกที่ทำให้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายเกิดจากการดูดซับหรือการตกตะกอนที่พื้นผิวหรือขบวนการโพลิเมอร์ไรเซชันหรือขบวนการอื่นๆที่เกิดขึ้นที่ผิวแล้วโดยทั่วไปจะใช้คำว่า sorption [Danald, 1995]

1.4.2) กลไกของกระบวนการดูดซับผิว (Adsorption Mechanism)

เป็นการกักพวงสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กที่อยู่ในของเหลวให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กจะถูกดูดซับการดูดซับที่ผิวนี้นี้จะเป็นการดูดซับแบบระหว่างสถานะ (Phase) ต่าง ๆ ทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว ก๊าซ และ ของแข็ง โดยมีได้ทั้งแบบก๊าซ-ของแข็ง และของเหลว-ของแข็ง ในการดูดซับที่ผิวโมเลกุลของสารละลายหรือ สารแขวนลอยสามารถกำจัดออกจากตัวทำละลายและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสาร ส่วนใหญ่จะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ติดอยู่ที่ผิวภายนอก



รูปที่ 1.5 แบบจำลองวัฏภาคดูดซับ (adsorbed phase)

(http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/design_absorbtion.htm)

จากภาพแบบจำลองวัฏภาคดูดซับ (adsorbed phase) ที่เกิดขึ้นบนผิวตัวดูดซับเท่านั้นเมื่อดูดซับสารถูกดูดซับเป็นไอหรือก๊าซการถ่ายเทโมเลกุลจากสารละลายไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ.จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในสารละลายเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับโดยในการเกาะติดจะมีอยู่ 2 ชนิด คือการดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมีปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นการดูดซับทางกายภาพ แต่ถ้าเป็นแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดจากพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ เป็นการดูดซับทางเคมีอธิบาย

1.4.3) ขั้นตอนการดูดซับของถ่านกัมมันต์ [McKay, 1983] [Sanuel,1987]

(1) ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารละลายเข้าหาถ่านกัมมันต์ ตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่เป็นสารละลายไปสู่บริเวณที่ใกล้กับอนุภาคของตัวดูดซับ การเคลื่อนที่นี้จะเกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการแพร่ โดยทั่วไปขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นได้เร็ว

(2) ขั้นตอนการแพร่ผ่านฟิล์มบางที่ผิวของตัวดูดซับ ในขั้นตอนนี้ตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นฟิล์มบาง ๆ ของสารละลายที่อยู่รอบๆ อนุภาคของตัวดูดซับโดยใช้วิธีการแพร่ของโมเลกุล ระยะทางและเวลาในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของสารละลายที่ผ่านอนุภาคของตัวดูดซับ หรือการปั่นป่วนของสารละลายโดยที่ความหนาของชั้นฟิล์มบางๆจะลดลงเมื่ออัตราการไหลปั่นป่วนเพิ่มขึ้น

(3) ขั้นตอนการแพร่ของโมเลกุลผ่านช่องว่างในตัวดูดซับภายหลังโมเลกุลเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มบางๆรอบอนุภาคของตัวดูดซับโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับการเคลื่อนที่

ของโมเลกุลภายในอนุภาคนี้อาจจะเกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการแพร่ของโมเลกุลผ่านสารละลายในรูปพูนในตัวดูดซับหรือโดยกระบวนการแพร่ผ่านไปตามพื้นผิวของตัวดูดซับ

(4) ขั้นตอนการดูดซับ เมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงบริเวณที่เป็นผิวของตัวดูดซับ การสร้างพันธะของกระบวนการดูดซับระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับจะเกิดขึ้นขั้นตอนกระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วสำหรับกระบวนการดูดซับแบบกายภาพ ด้วยเหตุนี้ขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้จะทำหน้าที่เป็นขั้นตอนที่ควบคุมปฏิกิริยาในการกำจัดโมเลกุลต่าง ๆ ออกจากสารละลายแต่เมื่อใดก็ตามที่ขั้นตอนการดูดซับเป็นการดูดซับแบบเคมี ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางธรรมชาติของโมเลกุลที่ถูกดูดซับเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจะช้าซึ่งอาจจะช้ากว่าขั้นตอนต่าง ๆ ที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ ดังนั้นขั้นตอนการดูดซับนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดอัตราในการดูดซับโมเลกุลต่างๆออกจากสารละลาย

1.4.4) ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1. ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ
2. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง
3. อุณหภูมิ
4. ความสามารถในการละลายนำของสารที่ถูกดูดซับต่อการดูดซับ
5. ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของสารดูดซับ
6. ความปั่นป่วน (Turbulence)

1.4.5) แรงที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ (Adsorption Force)

1) แรงวานเดอร์วาลส์

อะตอมที่อยู่อย่างอิสระหรือโมเลกุลที่ไม่มีสภาพขั้วสามารถเกิดแรงดึงดูดอ่อน ๆ ได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบในอะตอมหรือโมเลกุลนั้นทำให้เกิดความหนาแน่นของกลุ่มอิเล็กตรอนในแต่ละบริเวณภายในอะตอมหรือโมเลกุลไม่เท่ากันมีผลทำให้เกิดสภาพขั้วขึ้นและสามารถถูกดูดซับด้วยสารดูดซับได้ การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานในการดูดซับต่ำจึงเป็นการเกาะจับกันด้วยแรงอ่อน ๆ ดังนั้นการคายการดูดซับ (Desorption) จะกระทำได้ง่ายซึ่งถือเป็นข้อดีเพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของสารดูดซับได้ง่าย

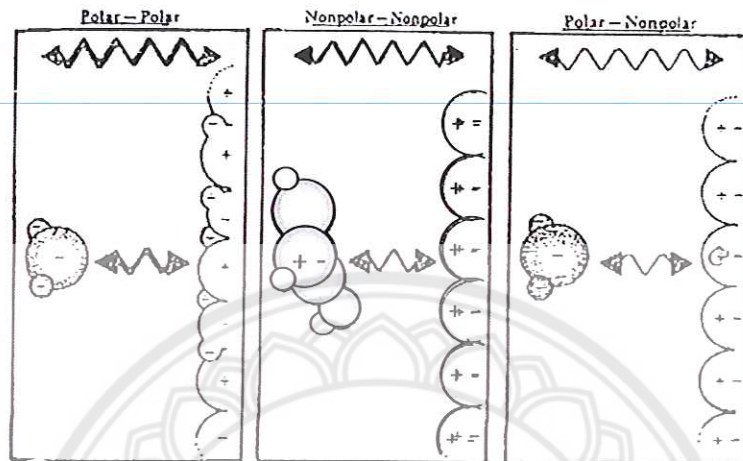
2) แรงไฟฟ้าสถิตย (Electrostatic Force)

แรงทางไฟฟ้าสถิตขึ้นอยู่กับปัจจัยซึ่งเกิด 3 อย่างที่สำคัญ ได้แก่ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลการแพร่และการเหนี่ยวนำไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 1.6

แรงดึงดูดที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุล (การดูดซับระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว) เกิดจากการจัดเรียงโมเลกุลที่มีขั้ว 2 โมเลกุลคือขั้วลบของโมเลกุลหนึ่งกับขั้วบวกของอีกโมเลกุลหนึ่งทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม

การกระจายตัวของอิเล็กตรอนอย่างสม่ำเสมอ (การดูดซับระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว) เกิดจากผลของการกระจายตัวซึ่งเป็นผลจากการที่โมเลกุลไม่มีขั้วสามารถเปลี่ยนเป็นไดโพลโมเลกุลได้เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมากและเมื่อมีโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะเช่นเดียวกันเข้ามาใกล้ก็จะเกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกันและมักเป็นแรงที่อ่อนเช่นอินทรีย์สารและถ่านกัมมันต์ทั้งนี้ เนื่องจากอินทรีย์สารส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว

แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ (การดูดซับระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วและไม่มีขั้ว) เป็นผลเนื่องมาจากการเหนี่ยวนำ โดยโมเลกุลที่มีขั้วเข้ามาอยู่ใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้วแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดประจุตรงกันข้ามซึ่งจะทำให้เกิดการดึงดูดกันและกัน



รูปที่ 1.6 การดูดซับของสารดูดซับด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิต
(http://weerajit14.blogspot.com/p/blog-page_21.html)

3) แรงกระทำทางเคมี

แรงทางเคมีเป็นการยึดเหนี่ยวกันระหว่างไอออนกับสารดูดซับอาจเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนการที่โลหะหนักสามารถดูดซับไว้ที่ผิวของสารดูดซับต่าง ๆ เช่น คอลลอยด์เนื่องจากโลหะหนักเป็นธาตุทรานซิชันที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับหมู่ฟังก์ชันที่ผิวของสารดูดซับได้

1.4.6) คุณสมบัติในการดูดซับ

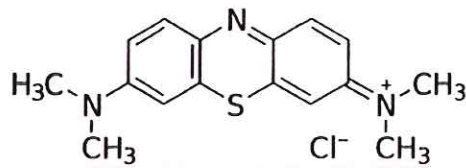
คุณสมบัติในการดูดซับของถ่านกัมมันต์หาได้จากไอโซเทอมการดูดซับของของเหลวบนถ่านกัมมันต์เมื่อนำไปดูดซับของเหลว ตัวอย่างของคุณสมบัติในการดูดซับคือ

- การดูดซับไอโอดีน

การศึกษาการดูดซับไอโอดีนเป็นวิธีที่ง่ายในการหาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์โดยเป็นการหาจำนวน mg ของสารละลายไอโอดีนที่ถูกดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ 1 g ที่จุดซึ่งความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือเท่ากับ 0.02 N หรือความเข้มข้นที่เหลืออาจมีค่าแตกต่างจาก 0.02 N ได้โดยให้อยู่ในช่วง 0.007-0.03 N โมเลกุลของไอโอดีนมีขนาดเท่ากับ 0.54 nm

- การดูดซับเมทิลีนบลู

ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูจะสามารถบอกค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ได้สำหรับโมเลกุลที่ถูกดูดซับมีขนาดใกล้เคียงกับโมเลกุลของเมทิลีนบลูซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วงของรูพรุนแบบเมโซพอร์คือจะมีขนาดใหญ่กว่า 1.5 nm เนื่องจากเมทิลีนบลูมีขนาดรัศมีโมเลกุลเท่ากับ 1.6 nm



รูปที่ 1.7 โครงสร้างทางเคมีของเมทิลสีนบลู

1.4.7) คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์

ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้กำหนดค่าสารระเหยที่อยู่ในถ่านหินและโค้กโดยนำมาประยุกต์ใช้กับถ่านกัมมันต์ทำการทดสอบได้โดยนำตัวอย่างมาบดให้มีขนาดเล็กกว่า 0.1 nm จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $950 \pm 25^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลาประมาณ 7 นาทีค่าของปริมาณสารระเหยจะเป็นมวลที่หายไปอันเกิดจากการให้ความร้อนที่สภาวะดังกล่าวแก่ถ่านกัมมันต์

ปริมาณความชื้น (Moisture Content) เป็นการหาปริมาณน้ำที่มีในถ่านกัมมันต์โดยการอบให้แห้งในเตาอบทำการวิเคราะห์โดยบดถ่านกัมมันต์นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 150°C จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ประมาณ 3 ชั่วโมงโดยสามารถคำนวณปริมาณความชื้นได้จากน้ำหนักที่หายไป

ปริมาณเถ้า (Ash) ปริมาณเถ้าในถ่านกัมมันต์อาจมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงและเวลานานปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เถ้าโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วย ออกไซด์ของซิลิกอน นอกจากนี้จะเป็นสารประกอบพวกซิลเฟต คาร์บอนเนต และสารประกอบอื่น ๆ ของเหล็ก อะลูมิเนียม แคลเซียม โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และโลหะอื่น ๆ ซึ่งจะมีสารประกอบเหล่านี้อยู่ในปริมาณเท่าใดนั้นขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ

1.5) สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) หรือสารประกอบฟีนอล เป็นสารที่พบตามธรรมชาติในพืชหลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ถั่วเมล็ดแห้ง เมล็ดธัญพืช ซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต สารประกอบฟีนอล มีโภชนเภสัช ซึ่งสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพคือ มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สามารถละลายได้ในน้ำ

1.5.1 โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอล มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวน ที่เป็นอนุพันธ์ของวงแหวนเบนซีน มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) อย่างน้อยหนึ่งหมู่ต่ออยู่ สารประกอบฟีนอลพื้นฐาน คือ สารฟีนอล (phenol) ในโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่



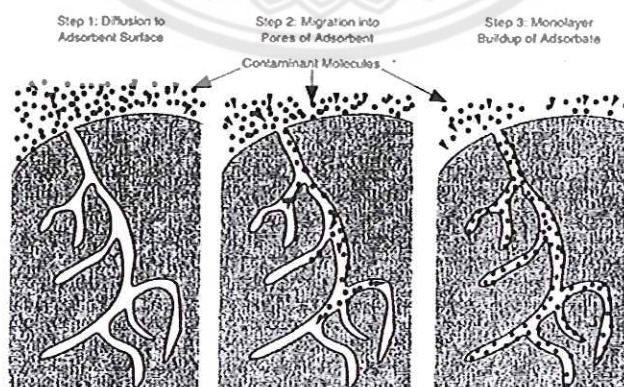
รูปที่ 1.8 โครงสร้างสารประกอบฟีนอลิก

(<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2585/phenolic-compound>)

สารประกอบฟีนอลที่พบในธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด และมีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acids) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ เช่น ลิกนิน (lignin) กลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบคือ สารประกอบฟลาโวนอยด์ (flavonoid) สารประกอบฟีนอลที่พบในพืชมักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดโมเลกุลของสารประกอบฟีนอล คือ น้ำตาลกลูโคส (glucose) และพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ (organic acid) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีน แอลคาลอยด์ (alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) เป็นต้น

แหล่งที่พบสารประกอบฟีนอลพบอยู่ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ (cell vacuole) ในส่วนต่างๆ ของพืช เป็นสารที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิดและ ปัญหาหนึ่งที่ประสบพบในการเลี้ยงเนื้อเยื่อ คือ การเกิดสารฟีนอลิก (phenolics) หรือสารสีน้ำตาล และอาจเป็นพิษทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโตหรือตายได้ นักเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจึงนิยมเติมผงถ่านกัมมันต์ (activated charcoal) เพื่อช่วยลดปัญหาดังกล่าว ซึ่งผงถ่านที่นำเข้าจากต่างประเทศมีราคาแพง ทำให้เพิ่มต้นทุนการผลิตกล้าเนื้อเยื่อสำหรับผงถ่านกัมมันต์มีการใส่เพื่อดูดซับสารที่ทำให้เกิดสารสีน้ำตาล ซึ่งเป็นสาร Polyphenol oxidase ชื่อย่อว่า PPO เป็น enzyme ชนิดหนึ่งที่มีอยู่ในพืชทั่วไปอยู่แล้ว พืชจะหลั่งสารชนิดนี้เมื่อเกิดบาดแผลหรือบอบช้ำ หลังจากหลั่งสารตัวนี้แล้ว phenol ที่อยู่ในสารตัวนี้จะทำปฏิกิริยากับ O_2 ได้สารตัวใหม่ คือสารสีน้ำตาล สารสีน้ำตาลช่วยฆ่าเชื้อได้ แต่ก็มีผลต่อตัวมันเองเช่นกัน ดังนั้น จึงนิยมใส่ผงถ่านกัมมันต์ลงในอาหารสังเคราะห์เพื่อดูดซับ Polyphenol oxidase ไม่ให้สัมผัสกับ O_2 โดยตรง

กระบวนการดูดซับสารปนเปื้อนเกิดขึ้นเมื่อสารปนเปื้อนมีการเคลื่อนที่โดยการแพร่กระจายไปเกาะบนผิวรอบนอกของตัวกลางก่อน ตัวกลางที่ดีจะมีลักษณะเป็นรูพรุน ภายในรูจะมีช่องเป็นโพรงลดเลี้ยวไปมา ซึ่งโมเลกุลของสารปนเปื้อนสามารถเคลื่อนที่สไลด์ไปในช่องโพรง ซึ่งจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสได้มากขึ้นทำให้ดูดซับได้มากขึ้น ดังแสดงในรูป

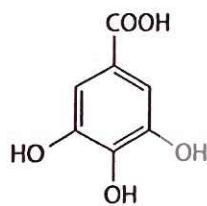


รูปที่ 1.9 แสดงกลไกการดูดซับสารปนเปื้อนของถ่านกัมมันต์

(http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/design_absorbtion.htm)

1.5.2 วิธีหาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด

การหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสามารถหาได้โดยวิธี Folin-Ciocalteu Colorimetric Method ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว และเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด หลักการคือสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด มาทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu reagent ประกอบด้วย phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents สารดังกล่าวจะถูกรีดิวซ์โดยหมู่ไฮดรอกซิลของสารฟีนอลิก ของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเกิดเป็น tungsten และ molybdenum blue ซึ่งให้สีน้ำเงินและดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm โดยในการศึกษาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจะอยู่ในรูปของกรดแกลลิก โดยจะทำการเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานกรดแกลลิกและการได้จากปฏิกิริยานี้



กรดแกลลิก



รูปที่ 1.10 ปฏิกิริยาการหาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

1.6) วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาผลของ ZnCl₂ และอุณหภูมิ ที่มีต่อคุณภาพของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม (AC-TS) ที่ผลิตขึ้น
- 2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ AC-TS ในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิก
- 3) เพื่อศึกษาผลของการใช้ผลิตภัณฑ์ AC-TS (ทดแทน commercial activated carbon) ต่อการพัฒนาเป็นยอดใหม่ของกล้วยน้ำว้า ในหลอดทดลอง

บทที่ 2

การทดลอง

2.1) เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง, HR-200, A&D Company Limited, Japan
- 2) เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง, Mettler Toledo, PB 302, Germany
- 3) UV / VIS Spectrophotometer, UV-1700 SHIMADZU
- 4) ตะแกรงร่อนขนาด 250 μm , Retsch, Germany
- 5) ตะแกรงร่อนขนาด 2 mm, Retsch, Germany
- 6) ตู้อบสาร, Memmert, Germany
- 7) เตาเผา, Fisher Scientific, Isotherm Muffle Furnace, Canada
- 8) เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)
- 9) pH meter, Hanna, Mauritius
- 10) Scanning Electron Microscope (SEM), Leo 1455VP
- 11) Surface area analyzer, Micromeritics TyiStar II Series
- 12) กระดาษกรองเบอร์ 42, Whatman, China
- 13) เตาแก๊สชุดต้มแบบหัวธรรมดา
- 14) เตาแก๊สชุดต้มชนิดปรับแรงดันได้
- 15) ครกหิน
- 16) หม้อดินชนิดมีฝาปิด
- 17) ถ้วยกระเบื้องเคลือบขนาด 250 mL
- 18) ผ้าขาวบาง
- 19) ตะแกรงกรอง

2.2) สารเคมี

- 1) Potassium hydrogen phthalate: $\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$, M.W. = 204.22, Assay 99.5%, A.R. grade, Lobachemie, India
- 2) Phosphoric acid: H_3PO_4 , M.W. = 98.0, Assay 85.5%, A.R. grade, Fisher Scientific, UK
- 3) Potassium hydroxide: KOH, M.W. = 56.106, Assay 85.0%, A.R. grade, Lab-Scan, Thailand
- 4) Zinc chloride: ZnCl_2 , M.W. = 136.28, Assay 98.0%, A.R. grade, Lobachemie, India
- 5) Iodine: I_2 , M.W. = 126.90, Assay 98.0%, A.R. grade, Carerba, Italy
- 6) Sodium thiosulphate: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, M.W. = 158.11, Assay 98.0%, A.R. grade, Merck, Germany
- 7) Sodium carbonate: Na_2CO_3 , M.W. = 105.99, Assay 99.5%, A.R. grade, Lobachemie,

India

- 8) Potassium iodide: KI, M.W. = 166, Assay 99.0%, A.R. grade, Ajax Finechem, New Zealand
- 9) Potassium iodate: KIO₃, M.W. = 214, Assay 99.4%, A.R. grade, Ajax Finechem, New Zealand
- 10) Hydrochloric acid: HCl
- 11) Methanol: CH₃OH, M.W. = 32.05, Assay 99.9%, A.R. grade, Fisher Scientific, UK
- 11) Gallic acid: C₇H₆O₅, M.W. = 188.13, Assay 98.0%, A.R. grade, Sigma aldrich, India
- 12) Folin-Ciocalteu's reagent:
- 13) Silver Nitrate: AgNO₃, M.W. = 169.87, Assay 99.0%, A.R. grade, Sigma aldrich, India
- 14) ถ่านกัมมันต์มาตรฐาน

2.3) การเตรียมสารละลาย

2.3.1) สารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 70% โดยปริมาตร

ตวงน้ำกลั่น 30 mL ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 mL ค่อยรินกรดฟอสฟอริก 70 mL จากกระบอกตวงตามลงไป คนให้ละลายด้วยแท่งคนสาร

2.3.2) สารละลายซิงค์คลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์

ซิงค์คลอไรด์ 6.82 g ละลายด้วยน้ำกลั่นในขวดปริมาตร และปรับปริมาตรเป็น 100 mL

2.3.3) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 75% โดยปริมาตร

ปิเปตโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 75 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรที่มีน้ำกลั่นอยู่ แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 mL

2.3.4) สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5% (w/v)

รินน้ำกลั่นลงในบีกเกอร์ขนาด 500 mL ค่อยรินกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (37.5%) 78.7 mL จากกระบอกตวงตามลงไป ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 500 mL คนให้เข้ากันด้วยแท่งคน

2.3.5) สารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 0.0500 N

ซิงค์ไอโอดีน 6.35 g และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 9.55 g ผสมให้เข้ากันในสภาพที่เป็นของแข็ง เติมน้ำกลั่น 50 mL คนสารละลายตลอดเวลา จนผลึกไอโอดีนละลายหมดแล้วจึงเติมน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1000 mL

2.3.6) สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.0500 N

ซิงค์โซเดียมไฮโอซัลเฟต 12.41 g ละลายในน้ำกลั่น 75 mL เติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.05 g และเติมน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1000 mL

2.3.7) สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตความเข้มข้น 0.0500 N

ละลายโพแทสเซียมไอโอเดต 1.7834 g ด้วยน้ำกลั่นในขวดปริมาตรขนาด 1000 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2.3.8) สารละลายน้ำแป้ง

ซิงค์แป้งมันสำปะหลัง 1 g ละลายในน้ำกลั่น 25 mL คนตลอดเวลา จากนั้นเทสารละลายลงในน้ำกลั่นที่ต้มเดือด แล้วต้มต่อไปอีก 4-5 นาทีหรือจนใส ปรับปริมาตรเป็น 250 mL

2.3.9) สารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 1000 mg/L

ละลายกรดแกลลิก 1.0000 g ด้วยเมทานอล 100 mL ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 1000 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2.3.10) สารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 mg/L

เจือจางจากสารละลายกรดแกลลิกเข้มข้น 1000 mg/L โดยปิเปตมา 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, และ 0.7 mL ตามลำดับใส่ในขวดปริมาตรขนาด 10 mL ปรับปริมาตรสารละลายทั้งหมดด้วยเมทานอล

2.3.10) สารละลายโพลินละลายด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:10

ปิเปตสารละลายโพลินปริมาตร 10 mL ใส่ในขวดปริมาตรขนาด 100 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2.3.12) สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 7.5% โดยน้ำหนัก

ละลายโซเดียมคาร์บอเนต 7.50 g ด้วยน้ำกลั่นใส่ในขวดปริมาตรขนาด 100 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2.4) วิธีการทดลอง

2.4.1) การศึกษาการเผาเมล็ดมะขามในขั้นตอนคาร์บอนเซชันโดยวิธีต่างๆ

1) การเตรียมถ่านด้วยวิธีการเผาแบบภาชนะไม่เปิดฝา

นำเมล็ดมะขามที่กะเทาะและไม่ได้กะเทาะส่วนที่เป็นเปลือกออก มาล้างด้วยน้ำสะอาด และตากแดดให้แห้ง ซึ่ง 300 g ใส่ในหม้อดินที่มีฝาปิด นำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 400-600°C โดยใช้ความร้อนจากเตาแก๊สชุดปรับแรงดันได้เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำถ่านมาบดโดยใช้ครกหินแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2.0 mm จะได้ผงถ่านที่มีขนาด 0.5-2.0 mm แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 150°C ในตู้อบสารเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำไปเก็บไว้ที่โถดูดความชื้น

2) การเตรียมถ่านด้วยวิธีการเผาแบบภาชนะเปิดฝา

นำเมล็ดมะขามที่กะเทาะและไม่ได้กะเทาะส่วนที่เป็นเปลือกออก มาล้างด้วยน้ำสะอาด และตากแดดให้แห้ง ซึ่งน้ำหนัก 300 g ใส่ในหม้อดินที่มีฝาปิด นำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 400-600°C โดยใช้ความร้อนจากเตาแก๊สชุดปรับแรงดันได้ คอยเปิดฝาเป็นระยะ ๆ พร้อมกับคนให้ควันระบายออกเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำถ่านมาบดโดยใช้ครกหินแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2.0 mm จะได้เป็นผงถ่านที่มีขนาด 0.5-2.0 mm แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 150°C ในตู้อบสารเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำไปเก็บไว้ที่โถดูดความชื้น

2.4.2) การศึกษาการเผากระตุ้นถ่านจากเมล็ดมะขามโดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ

ซึ่งถ่านจากเมล็ดมะขามที่เอาเปลือกออกและเผาแบบปิดฝาภาชนะ ที่มีขนาด 0.5-2.0 mm ปริมาณ 50 g ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 mL จำนวน 3 บีกเกอร์ ผสมกับสารละลายกรดฟอสฟอริก (75%) ซิงค์คลอไรด์ (0.5 M) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (75%) 50 mL ตามลำดับ โดยให้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านจากเมล็ดมะขามต่อสารกระตุ้น เท่ากับ 1:1 คนให้ผสมกัน และเทส่วนผสมที่ได้ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบทนไฟชนิดมีฝาปิด นำไปอบที่อุณหภูมิ 300°C และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น แล้วทำการล้างถ่านด้วยน้ำสะอาดจน pH ของน้ำที่ใช้ล้างมีค่าประมาณ 7.0 สำหรับห้รับถ่านที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนถ่านที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ให้

ทดสอบน้ำที่ล้างโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตจนไม่สังเกตเห็นตะกอนขาวขุ่น แล้วทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 150°C ในตู้อบสารเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น

นำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ มาบดโดยใช้ครกหิน แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 μm (60 mesh) แล้วนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น ก่อนนำไปใช้ศึกษาสมบัติต่าง ๆ

2.4.3) การศึกษาโครงสร้างของถ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

นำผงถ่านที่เตรียมได้แต่ละรูปแบบที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 μm (60 mesh) ไปทำการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและรูพรุนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

2.4.4) การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface area) ด้วยเทคนิคการดูดซับด้วยไนโตรเจน

นำผงถ่านที่เตรียมได้แต่ละรูปแบบที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 μm (60 mesh) ไปทำการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิคการดูดซับด้วยไนโตรเจน

2.4.5) การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน

ชั่งน้ำหนักถ่านที่ได้จากการเผาแบบต่าง ๆ 0.1000 g ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 125 mL ที่มีฝาปิด บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนของถ่านตัวอย่าง เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5%(w/v) 5 mL ปิดจุกเขย่าเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นเปิดฝาดมในตู้ดูดควันให้เดือดเป็นเวลา 30 วินาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

ปิเปตสารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 0.0500 N ปริมาตร 20 mL ใส่ลงในขวดรูปกรวยข้างต้น ปิดฝาย่างรวดเร็วแล้วเขย่าแรง ๆ เป็นเวลา 30 วินาที กรองแยกถ่านกัมมันต์จากสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรกจนกระทั่งกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลาย จากนั้นปิเปตสารละลายที่ได้จากการกรอง 5 mL ในขวดรูปกรวย ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.0500 N จนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีขาวอ่อน เติมน้ำแ่ง 2-3 หยด ไทเทรตต่อจนสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี และบันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการทดลองซ้ำโดยเพิ่มน้ำหนักถ่านตัวอย่างเป็น 0.40 และ 0.60 g

ทำการทดลองจนครบทุกตัวอย่างของถ่าน

2.4.6) การศึกษาความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านที่ได้จากการเผาแบบต่าง ๆ

1) การเตรียมสารละลายกรดแกลลิกในการสร้างกราฟมาตรฐาน

ปิเปตสารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 mg/L ใส่ลงในหลอดเซนตริฟิวก์ ความเข้มข้นละ 3 หลอด ๆ ละ 0.50 mL ปิเปตสารละลายฟอลิน 1.50 mL และสารละลาย 7.5% โซเดียมคาร์บอเนต 2.00 mL ใส่ลงในหลอดเซนตริฟิวก์แต่ละหลอดตามลำดับ เขย่าให้สารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และเก็บสารละลายทั้งหมดไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที และนำสารละลายทั้งหมดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดย blank เป็นเมทานอลที่เตรียมไว้ต่าง ๆ เช่นเดียวกัน

2) การศึกษาการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกโดยใช้สารมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid) ความเข้มข้น 100 และ 500 mg/L

ชั่งถ่านตัวอย่าง 0.1000 g ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 125 mL ตามด้วยสารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 100 mg/L 10 mL ทำการเขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นกรองแยกถ่านกัมมันต์จากสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรกจนกระทั่งกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลาย

ปิเปตสารละลายที่ได้จากการกรองใส่ในหลอดเซนตริฟิวก์ จำนวน 3 หลอด ๆ ละ 0.5 mL ตามด้วยสารละลายฟอลิน 1.5 mL และสารละลาย 7.5% โซเดียมคาร์บอเนต 2 mL ตามลำดับ ปิดฝาและเก็บสารละลายทั้งหมดไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที และนำสารละลายทั้งหมดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เทียบกับสารละลายมาตรฐาน

ทำการทดลองการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกโดยใช้สารมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 500 mg/L เช่นเดียวกับการทำการทดลองการดูดซับที่ความเข้มข้น 100 mg/L

3) ศึกษาการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกโดยใช้สารมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 1000 mg/L

ทำการทดลองเช่นเดียวกับความเข้มข้น 100 mg/L แต่ใช้น้ำหนักถ่านตัวอย่างเป็น 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 และ 0.50 g ตามลำดับ

2.4.7) การศึกษาผลของความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ ที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

ชั่งถ่านจากเมล็ดมะขามชนิดเผาแบบปิดฝาภาชนะที่มีขนาด 0.5-2.0 mm ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบทนไฟชนิดมีฝาปิด 5 ใบ ๆ ละ 10 g เติมสารละลายซิงค์คลอไรด์ความเข้มข้น 0.2, 0.3, 0.4, 0.50 และ 0.6 M ลงไปตามลำดับ โดยให้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านจากเมล็ดมะขามต่อสารกระตุ้น เท่ากับ 1:1 นำไปอบที่อุณหภูมิ 300°C และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นแล้วทำการล้างถ่านด้วยน้ำสะอาดทดสอบน้ำที่ล้างโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตจนไม่สังเกตเห็นตะกอนขาวขุ่น นำไปอบที่อุณหภูมิ 120°C ในตู้อบสารเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นนำไปบดโดยใช้ครกหิน แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 μm (60 mesh) และเก็บไว้ในโถดูดความชื้นก่อนใช้งาน

ชั่งถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ความเข้มข้นต่าง ๆ ใส่ในขวดแก้วที่มีฝาปิด 5 ใบ ๆ ละ 0.1000 g ตามด้วยสารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 300 mg/L 10 mL ทำการเขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นกรองแยกถ่านกัมมันต์จากสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรกจนกระทั่งกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลาย

ปิเปตสารละลายที่ได้จากการกรองในแต่ละชุดใส่ในหลอดเซนตริฟิวก์จำนวน 3 หลอด ๆ ละ 0.5 mL ตามด้วยสารละลายฟอลิน 1.5 mL และสารละลาย 7.5% โซเดียมคาร์บอเนต 2 mL ตามลำดับ ปิดฝาและเก็บสารละลายทั้งหมดไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายทั้งหมดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เทียบกับสารละลายมาตรฐาน

2.4.8) การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

ซึ่งถ่านจากเมล็ดมะขามชนิดเผาแบบปิดฝาภาชนะที่มีขนาด 0.5-2.0 mm ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบทนไฟชนิดมีฝาปิด 4 ใบ ๆ ละ 10 g เติมสารละลายซิงค์คลอไรด์ความเข้มข้น 0.50 M ลงไป โดยให้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านจากเมล็ดมะขามต่อสารกระตุ้นเท่ากับ 1:1 นำไปอบที่อุณหภูมิ 300°C และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600, 700, 800 และ 900°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามลำดับทั้งให้เย็นแล้วทำการล้างถ่านด้วยน้ำสะอาดทดสอบน้ำที่ล้างโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตจนไม่สังเกตเห็นตะกอนขาวขุ่นนำไปอบที่อุณหภูมิ 120°C ในตู้อบสารเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทั้งให้เย็นในโถดูดความชื้นนำไปบดโดยใช้ครกหินแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 μm (60 mesh) และเก็บไว้ในโถดูดความชื้นก่อนใช้งาน

ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผากระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่อุณหภูมิต่างๆใส่ในขวดแก้วที่มีฝาปิด 4 ใบ ๆ ละ 0.1000 g ตามด้วยสารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 300 mg/L 10 mL ทำการเขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นกรองแยกถ่านกัมมันต์จากสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรกจนกระทั่งกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลาย

ปิเปตสารละลายที่ได้จากการกรองในแต่ละชุดใส่ในหลอดเซนตริฟิวก์จำนวน 3 หลอดๆละ 0.5 mL ตามด้วยสารละลายฟอลิน 1.5 mL และสารละลาย 7.5% โซเดียมคาร์บอเนต 2 mL ตามลำดับ ปิดฝาและเก็บสารละลายทั้งหมดไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายทั้งหมดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์เทียบกับสารละลายมาตรฐาน

2.4.9) การศึกษาผลของ pH ที่มีต่อการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

ปิเปตสารละลายแกลลิกความเข้มข้น 300 mg/L 4.5 mL ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 mL แล้วปิเปต สารละลายไฮโดรคลอริกให้ pH ต่ำลงและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ pH สูงขึ้นปรับ pH ที่ 1-7 แล้วนำไปวัดค่า pH จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ 25 mL

ซึ่งถ่านตัวอย่าง 0.1000 g ใส่ในขวดแก้วที่มีฝาปิดจำนวน 8 ใบ แล้วปิเปตสารละลายที่ปรับปริมาตรไว้มา 10 mL ทำการเขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นกรองแยกถ่านกัมมันต์จากสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรกจนกระทั่งกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลาย

ปิเปตสารละลายที่ได้จากการกรองใส่ในหลอดเซนตริฟิวก์จำนวน 3 หลอดๆละ 0.5 mL ตามด้วยสารละลายฟอลิน 1.5 mL และสารละลาย 7.5% โซเดียมคาร์บอเนต 2 mL ตามลำดับปิดฝาและเก็บสารละลายทั้งหมดไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายทั้งหมดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์เทียบกับสารละลายมาตรฐาน

2.4.10) การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

ซึ่งถ่านตัวอย่าง 0.0100 g ใส่ในขวดแก้วที่มีฝาปิดจำนวน 7 ใบ ตามด้วยสารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 200 mg/L 10 mL ทำการเขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที ในบีกเกอร์ที่ปรับอุณหภูมิตั้งแต่ 10-60°C และที่อุณหภูมิห้องจากนั้นกรองแยกถ่านกัมมันต์จากสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรกจนกระทั่งกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลาย

ปิเปตสารละลายที่ได้จากการกรองใส่ในหลอดเซนตริฟิวก์จำนวน 3 หลอด ๆ ละ 0.5 mL ตามด้วยสารละลายฟอลิน 1.5 mL และสารละลาย 7.5% โซเดียมคาร์บอเนต 2 mL ตามลำดับปิดฝาและเก็บ



สำนักหอสมุด

สารละลายทั้งหมดไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายทั้งหมดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เทียบกับสารละลายมาตรฐาน

ว. 70
2.45
- 64
9/356
2554

2.4.11) การศึกษาผลของเวลาที่มีต่อการดูดสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

ชั่งถ่านตัวอย่าง 0.0100 g ใส่ในขวดแก้วที่มีฝาปิดจำนวน 7 ใบ ตามด้วยสารละลายกรดเกลลิค ความเข้มข้น 200 mg/L 10 mL ทำการเขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 นาที จากนั้นกรองแยกถ่านกัมมันต์จากสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรกจนกระทั่งกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลาย

ปิเปตสารละลายที่ได้จากการกรองใส่ในหลอดเซนตริฟิวก์จำนวน 3 หลอด ละ 0.5 mL ตามด้วยสารละลายฟอลิน 1.5 mL และสารละลาย 7.5% โซเดียมคาร์บอเนต 2 mL ตามลำดับ ปิดฝาและเก็บสารละลายทั้งหมดไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายทั้งหมดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เทียบกับสารละลายมาตรฐาน

2.4.12) การศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดเกลลิคที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

เตรียมกรดเกลลิคความเข้มข้น 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 mg/L โดยปิเปตมา 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 mL ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 mL แล้วปรับปริมาตรโดยเตรียมจากกรดเกลลิคความเข้มข้น 1000 mg/L

ชั่งถ่านตัวอย่าง 0.0100 g ใส่ในขวดแก้วที่มีฝาปิดจำนวน 10 ใบ ตามด้วยสารละลายกรดเกลลิค ความเข้มข้นต่างๆ 10 mL ทำการเขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นกรองแยกถ่านกัมมันต์จากสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรกจนกระทั่งกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลาย

ปิเปตสารละลายที่ได้จากการกรองใส่ในหลอดเซนตริฟิวก์จำนวน 3 หลอด ละ 0.5 mL ตามด้วยสารละลายฟอลิน 1.5 mL และสารละลาย 7.5% โซเดียมคาร์บอเนต 2 mL ตามลำดับ ปิดฝาและเก็บสารละลายทั้งหมดไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายทั้งหมดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เทียบกับสารละลายมาตรฐาน

2.4.13) การฟอกฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ผิวเนื้อเยื่อกล้วย

ใช้มีดตัดลอกเปลือกของหน่อกล้วยทั้ง แล้วตัดจนมีขนาดประมาณ $10 \times 10 \times 15 \text{ mm}^3$ ทำการฟอกฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ผิวของชิ้นส่วนพืช มี 3 ขั้นตอน คือ (1) นำชิ้นส่วนกล้วยใส่ลงในสารละลายของ fungicide (0.1 g/L) + bactericide (0.1 g/L) + 3 drops of Tween-20 ที่ละลายใน sterilized distilled water นาน 10 นาที แล้วล้างชิ้นส่วนพืชด้วย sterilized distilled water จำนวน 3 ครั้ง (2) ทำความสะอาดชิ้นส่วนพืชด้วย alcohol 70% นาน 1 นาที จากนั้นล้างด้วย sterilized distilled water จำนวน 3 ครั้ง และ (3) นำชิ้นส่วนกล้วยใส่ลงในสารละลายของ 20% NaClO นาน 20 นาที จากนั้นล้างด้วย sterilized distilled water 3 ครั้ง แต่ละครั้งนาน 5 นาที

2.4.14) การเตรียมสูตรอาหาร

เตรียมอาหารแข็งสำหรับเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วย มี 3 สูตร โดยใช้สูตรอาหาร Murashige and Skoog (1962) basal media ที่เติม growth regulator hormone ชนิด BAP 4 mg/L และ IAA 1.6 mg/L แล้วเติม activated charcoal (AC) 3 กรรมวิธี คือ กรรมวิธีที่ 1 ไม่เติม AC, กรรมวิธีที่ 2 เติม tamarind AC 1g/L, และ กรรมวิธีที่ 3 เติม commercial AC 1g/L สุดท้ายเติมผลวุ้นหนัก 7 g/L แล้วปรับ pH ที่ 5.5-6.0

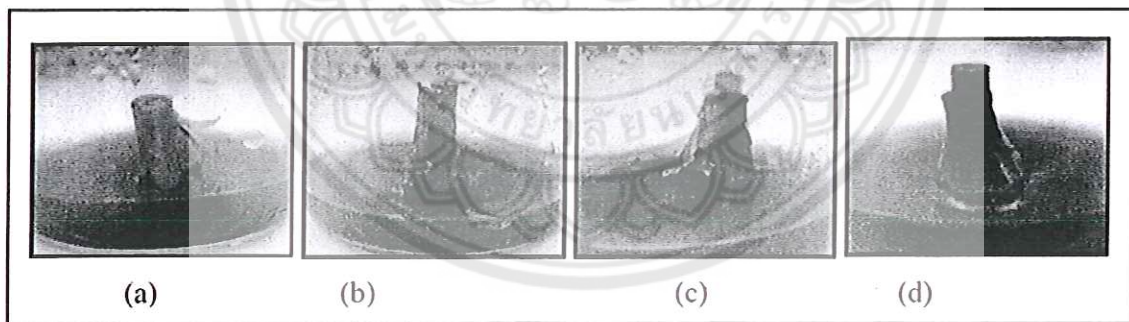
นำอาหารปริมาตร 30 mL บรรจุในขวดขนาด 8 oz จากนั้นนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C ความดัน 15 psi นาน 15-20 นาที นำชิ้นส่วนพืช (จากข้อ 2.5.1) มาผ่าแบ่งเป็น 2 ส่วน (โดยผ่าผ่านจุดเนื้อเยื่อเจริญที่อยู่บริเวณปลายยอด) จากนั้นนำไปวางบนอาหารสูตรต่างๆ ทั้ง 3 สูตร

นำไปเพาะเลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชที่ควบคุมอุณหภูมิ $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ ความเข้มแสง 2000 lux โดยให้แสงแต่ละวันแบบสภาวะวันยาว คือให้แสงนาน 16 ชั่วโมง และไม่ให้แสง 8 ชั่วโมง

หลังจากเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยบนอาหารทั้ง 3 สูตร นาน 4, 8 และ 10 สัปดาห์ บันทึกการเปลี่ยนแปลงของชิ้นส่วนเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว่า

2.4.15) การประเมินค่า degree of visual tissue browning ในเนื้อเยื่อพืช

สามารถทำได้โดยพิจารณาจากระดับของการเกิดสีน้ำตาลบนเนื้อเยื่อพืช (degree of visual-tissue browning) โดยให้ระดับคะแนน ช่วง 0-4 ตามวิธีการของ Nisyawati et al (2013) (ดังรูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 Degree of visual-tissue browning: เมื่อ (a) level 1 = no browning; (b) level 2 = a bit browning; (c) level 3 = much browning; และ (d) level 4 = browning at all explants surface

2.4.16) การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเนื้อเยื่อพืช

ชั่งตัวอย่างสดของเนื้อเยื่อพืชหนัก 2 g ใส่ในหลอดทดลอง 15 mL เติม liquid nitrogen แล้วบดให้ละเอียด เติมสารละลาย extraction solvent (ประกอบด้วย water: methanol: acetone อัตราส่วน 1:1:1) โดยใช้อัตราส่วน 1:10 (ของ tissue : solvent) แล้วนำไปเขย่าให้เข้ากันด้วย vortex ที่อุณหภูมิห้อง นาน 3 ชั่วโมง นำสารละลายผสมไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4000 rpm นาน 5 นาที ดูดสารละลายส่วนใส (supernatant) ใสหลอดใหม่

นำไปหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกพร้อมกับส่วนที่สกัดจากอาหารวุ้น

2.4.17) การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในอาหารวุ้น

ชั่งตัวอย่างอาหารหนัก 30 g ใส่ในหลอดทดลองขนาด 50 mL แล้วบดให้ละเอียด เติม methanol 15 mL นำไปเขย่าให้เข้ากันด้วย vortex ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที นำสารละลายผสมไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4000 rpm ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที ดูดสารละลายส่วนใส ใส่หลอดใหม่

ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ได้จากการสกัดในขบวนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในแต่ละส่วน ใส่ในหลอดเซนตริฟิวก์ ชุดละ 3 หลอด ๆ ละ 0.5 mL ตามด้วยสารละลายฟอลิน 1.5 mL และสารละลาย 7.5% โซเดียมคาร์บอเนต 2 mL ตามลำดับ และเก็บสารละลายทั้งหมดไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที และนำสารละลายทั้งหมดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เทียบกับสารละลายมาตรฐาน

2.4.18) แผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

งานวิจัยนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) มี 10 ซ้ำ (ชุด) ใส่ชิ้นส่วน 1 ชิ้นต่อชุด และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้วิธี Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรีดเมนต์ (หรือกรรมวิธี) โดยใช้วิธี Student's t-Test ที่ระดับ p-value of 0.05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

บทที่ 3

ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่างเมล็ดมะขามที่เอาเปลือกออก และไม่ได้เอาเปลือกออก เปรียบเทียบวิธีการเผาในขั้นตอน carbonization ด้วยการเผาในหม้อดินแบบภาชนะเปิดฝาและไม่เปิดฝา และเปรียบเทียบชนิดของสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนกระตุ้น

เนื่องจากตัวอย่างถ่านที่ได้จากการเผามีหลายรูปแบบดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการแสดงผล จึงใช้รหัสแทนตัวอย่างที่ได้จากการเผาและกระตุ้นในแต่ละรูปแบบดังนี้

CTS-00 = ถ่านจากเมล็ดมะขามที่ไม่เอาเปลือกออก และเผาคาร์บอนในแบบปิดฝา

CTS-01 = ถ่านจากเมล็ดมะขามที่ไม่เอาเปลือกออก และเผาคาร์บอนในแบบเปิดฝา

CTS-10 = ถ่านจากเมล็ดมะขามที่เอาเปลือกออก และเผาคาร์บอนในแบบปิดฝา

CTS-11 = ถ่านจากเมล็ดมะขามที่เอาเปลือกออก และเผาคาร์บอนในแบบเปิดฝา

ATS-10K = ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขามที่เอาเปลือกออก เผาคาร์บอนในแบบปิดฝาและกระตุ้นด้วย KOH

ATS-10P = ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขามที่เอาเปลือกออก เผาคาร์บอนในแบบปิดฝาและกระตุ้นด้วย H_3PO_4

ATS-10Z = ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขามที่เอาเปลือกออก เผาคาร์บอนในแบบปิดฝาและกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$

AC-std = ถ่านกัมมันต์มาตรฐาน

ถ่านจากเมล็ดมะขามที่เผาในรูปแบบต่างๆ จึงถูกนำไปทำการศึกษาวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและรูพรุนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface area) ด้วยเทคนิคการดูดซับด้วยไนโตรเจน วิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน ความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกโดยใช้สารมาตรฐานแกลลิกแอซิดโดยใช้เครื่อง UV/VIS Spectrophotometer ในการวัดเพื่อหาความเข้มข้นที่เหลือหลังการดูดซับที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร จากการศึกษาได้ผลดังต่อไปนี้

3.1) การศึกษาการเผาเมล็ดมะขามในขั้นตอนคาร์บอนเซชันโดยวิธีต่างๆ

ได้ทำการเตรียมถ่านจากเมล็ดมะขามในขั้นตอนคาร์บอนเซชันโดยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การใช้เมล็ดมะขามชนิดที่เอาเปลือกออก และไม่ได้เอาเปลือกออก และเผาในขั้นคาร์บอนเซชันแบบเปิดฝาทะกาศกับไม่เปิดฝาทะกาศที่อุณหภูมิ $600^\circ C$ ได้ผลน้ำหนักหลังการเผาและร้อยละผลผลิต (%Yield) ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 น้ำหนักก่อนเผาและหลังเผาของถ่านจากเมล็ดมะขาม และร้อยละผลผลิต (%Yield) ที่ได้

รูปแบบของถ่าน	น้ำหนักก่อนเผา (g)	น้ำหนักหลังเผา (g)	ร้อยละของผลผลิต (%)	ความเป็นเนื้อเดียวกัน
CTS-00 - ชุดที่ 1	300	92.64	30.88	ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน
- ชุดที่ 2	300	90.20	30.07	
- ชุดที่ 3	300	80.51	26.83	
CTS-01 - ชุดที่ 1	300	72.34	24.1	ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน
- ชุดที่ 2	300	70.18	23.39	
- ชุดที่ 3	300	69.52	23.17	
CTS-10 - ชุดที่ 1	300	79.26	26.42	เป็นเนื้อเดียวกัน
- ชุดที่ 2	300	72.66	24.22	
- ชุดที่ 3	300	63.16	21.05	
CTS-11 - ชุดที่ 1	300	50.74	16.90	เป็นเนื้อเดียวกัน
- ชุดที่ 2	300	58.06	19.40	
- ชุดที่ 3	300	58.41	19.50	

จากผลการทดลองพบว่า การเตรียมถ่านในขั้นตอนคาร์บอนเซชัน โดยใช้เมล็ดมะขามแบบเอาเปลือกออกและเผาโดยปิดฝาภาชนะ (CTS-10) จะได้ถ่านที่มีร้อยละของผลผลิตที่สูง มีชีง์ถ่านมาน้อย และได้ถ่านที่มีเนื้อเหมือนกันทุกส่วน ซึ่งต่างจากถ่านที่ได้จากเมล็ดมะขามที่เผาทั้งเปลือก (CTS-00) และ (CTS-01) จะมีเนื้อถ่านแยกเป็น 2 ส่วนคือ ถ่านที่มาจากส่วนเปลือกมีลักษณะแข็ง ส่วนที่มาจากเนื้อจะอ่อนกว่าและบดง่ายกว่า ดังนั้นถ่านที่เตรียมโดยใช้เมล็ดมะขามแบบเอาเปลือกออกและเผาโดยปิดฝาภาชนะ (CTS-10) จึงเหมาะสมกว่าถ่านที่เตรียมโดยวิธีอื่น ๆ และในขั้นตอนของการกระตุ้นจะเลือกใช้ถ่านจากเมล็ดมะขามที่เอาเปลือกออกและเผาในขั้นตอนคาร์บอนเซชันแบบปิดฝาภาชนะ (CTS-10) เท่านั้น

3.2) การศึกษาการเผากระตุ้นถ่านจากเมล็ดมะขามโดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ

ได้ทำการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ และเผาที่อุณหภูมิ 900°C ได้ผลน้ำหนักหลังการเผาและร้อยละผลผลิต (%Yield) ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 น้ำหนักก่อนเผาและหลังเผากระตุ้น และร้อยละผลผลิต (%Yield) ที่ได้

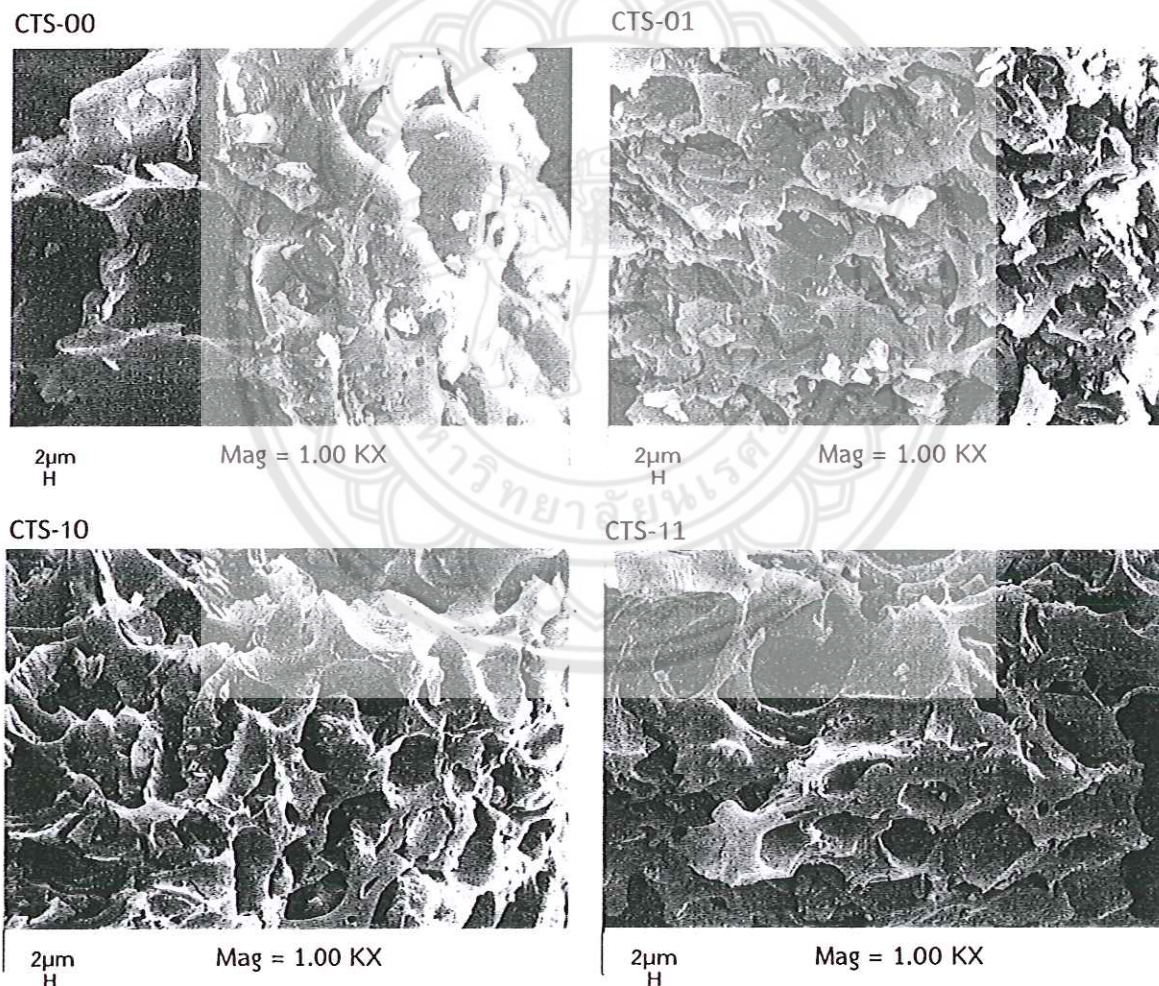
รูปแบบของถ่านกัมมันต์	น้ำหนักก่อนเผา (g)	น้ำหนักหลังเผา (g)	ร้อยละของผลผลิต (%)
ATS-10(K)	50.0	28.98	57.96
ATS-10(P)	50.0	30.12	60.24
ATS-10(Z)	50.0	29.83	59.66

จากผลการทดลองพบว่าหลังจากกระตุ้นน้ำหนักรองถ่านหายไปบางส่วน เนื่องจากถูกกำจัดออกไป นอกจากนี้ยังเกิดการสูญเสียผลผลิตในขั้นตอนการล้างเอาสารเคมีออกเนื่องจากต้องใช้เวลาและใช้น้ำปริมาณมาก ร้อยละของผลผลิต (%Yield) โดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 58%

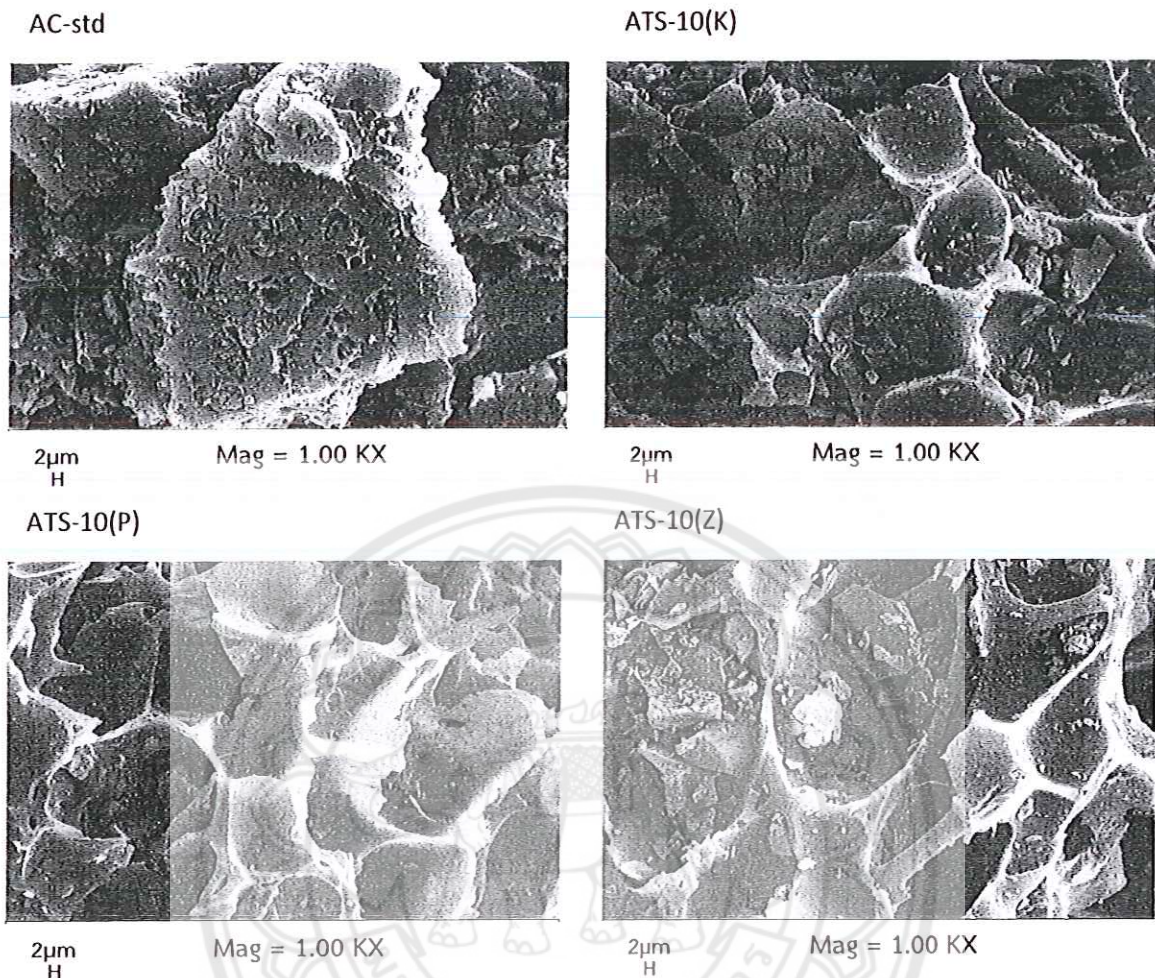
ถ่านที่ได้จากเผาในแต่ละรูปแบบถูกนำไปศึกษาสมบัติทางกายได้แก่ ศึกษาโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface area) ด้วยเทคนิคการดูดซับด้วยไนโตรเจนเทียบกับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน ได้ผลดังต่อไปนี้

3.3) การศึกษาโครงสร้างของถ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ถ่านที่ได้จากการเผาแบบต่าง ๆ ถูกนำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพได้แก่การศึกษาโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน ได้ผลดังรูป 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของถ่านที่เผาในชั้นคาร์บอนสีจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากรูปจะเห็นว่าโครงสร้างของถ่านชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,000 เท่า จะเห็นว่าถ่านที่เผาในขั้นตอนคาร์บอนส์ (CTS) จะมีขนาดของรูพรุนเล็กกว่าหลังจากที่ผ่านขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมีแล้ว (ATS) ซึ่งรูพรุนจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากทาร์ที่อุดอยู่ตามรูพรุนถูกกำจัดออกไปทำให้ขนาดของรูพรุนขยายออก ส่วนถ่านกัมมันต์มาตรฐาน (AC-std) จะมีลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างออกไป น่าจะเนื่องมาจากวัสดุที่ใช้ทำเป็นคนละชนิดกัน

3.4) การวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface area) ด้วยเทคนิคการดูดซับด้วยไนโตรเจน

ได้นำถ่านที่ได้จากการเผาแบบต่าง ๆ ไปทำการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิคการดูดซับด้วยไนโตรเจน ได้ผลดังตาราง 3.3

ตารางที่ 3.3 BET surface area ของถ่านที่ได้จากการเผาแบบต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ผลจากเครื่อง BET surface area			
	BET surface area (m ² /g)	ปริมาตรรูพรุน (cm ³ /g)	ขนาดของรูพรุน (nm)	%micro pore
AC-std	1,033.70	0.4867	18.833	75.73
CTS-00	1.34	0.0014	2.5244	67.58
CTS-01	38.60	0.0213	2.2039	68.58
CTS-10	8.12	0.0051	2.5244	-
CTS-11	184.07	0.0914	1.9870	62.68
ATS-10(P)	448.03	0.220435	19.6804	78.15
ATS-10(K)	952.84	0.530988	22.2907	58.84
ATS-10(Z)	918.53	0.469501	20.4457	58.24

จากผลการทดลองวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านแต่ละรูปแบบด้วยเทคนิคการดูดซับด้วยไนโตรเจนพบว่า ถ่านที่ยังไม่ได้กระตุ้นด้วยสารเคมีจะมีขนาดของรูพรุนโดยประมาณอยู่ที่ 2.2 nm (รูปที่ 3.1) ส่วนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากการกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ จะมีขนาดของรูพรุนใหญ่กว่าโดยมีขนาดของรูพรุนประมาณ 22 nm (รูปที่ 3.2) ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างของถ่านที่ศึกษาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และมีขนาดของรูพรุนใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน ปริมาตรของรูพรุนของถ่านที่ยังไม่ได้ผ่านขบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมีจะน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ ประมาณ 43-104 เท่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจะมีปริมาตรของรูพรุนใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน และที่สำคัญพบว่าถ่านที่ยังไม่ได้ผ่านขบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมีจะมี BET surface area ค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.34-184.07 m²/g ในขณะที่ถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมีแล้วจะมีค่า BET surface area อยู่ประมาณ 448.03-952.84 m²/g ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าถ่านที่ผ่านขบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมีสามารถจำกัดทาร์หรือน้ำมันดินซึ่งอุดอยู่ในรูพรุนของถ่านได้ดีกว่า ดังนั้นพื้นที่ผิวของรูพรุนจึงมากกว่า

ถ่านที่ได้จากการเผารูปแบบต่าง ๆ ถูกนำไปศึกษาสมบัติทางเคมี ได้แก่การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน และสารประกอบฟีนอลิกได้ผลดังนี้

3.5) การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน

ได้นำถ่านที่ได้จากการเผารูปแบบต่าง ๆ ไปศึกษาความสามารถในการดูดซับไอโอดีน ได้ผลดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าการดูดซับไอโอดีน (mg/g) ของถ่านจากเมล็ดมะขามที่ไม่ผ่านการกระตุ้น

ตัวดูดซับ	ค่าการดูดซับ (mg/g)
AC-std	1675.15 ± 849.51
CTS-00	1661.86 ± 829.66
CTS-01	1647.67 ± 879.48
CTS-10	1629.05 ± 919.47
CTS-11	1650.49 ± 921.59
ATS-10(P)1	1682.12 ± 933.32
ATS-10(P)2	1584.00 ± 726.15
ATS-10(K)1	1768.31 ± 993.52
ATS-10(K)2	1766.80 ± 1002.15
ATS-10(Z)1	1735.04 ± 954.84
ATS-10(Z)2	1756.44 ± 993.05

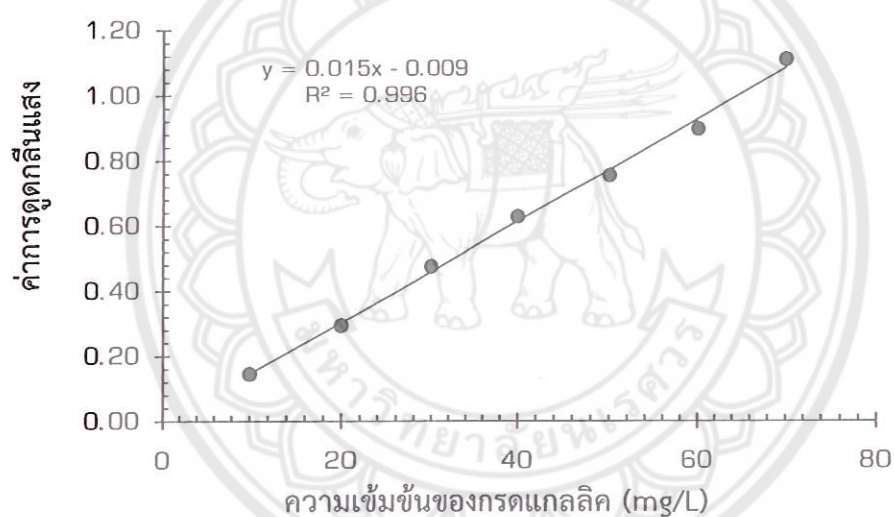
จากผลการศึกษาการดูดซับไอโอดีนของถ่านแต่ละชนิด พบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยมีค่าการดูดซับอยู่ระหว่าง 1567.12 ถึง 1768.31 mg/g โดยที่ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย KOH (ATS-10(K)) จะให้ค่าการดูดซับสูงที่สุดที่ 1767.56 mg/g รองลงมาคือถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย ZnCl_2 (ATS-10(Z)) มีค่าการดูดซับไอโอดีน 1745.74 mg/g ตามด้วยถ่านกัมมันต์มาตรฐาน (AC-std) และถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย H_3PO_4 (ATS-10(P)) 1675.15 และ 1633.06 mg/g ตามลำดับ ถ่านที่ไม่ผ่านการกระตุ้น (CTS) มีค่าการดูดซับไอโอดีนระหว่าง 1629.05-1675.15 mg/g

3.6) การศึกษาความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านที่ได้จากการเผาแบบต่าง ๆ

เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือศึกษาสารที่ใช้ในการกระตุ้นในการผลิตถ่านกัมมันต์สำหรับการดูดซับสารประกอบฟีนอลิก ใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐานตัวแทนของสารประกอบฟีนอลิก โดยนำถ่านที่ได้จากการเผาแบบต่าง ๆ ไปดูดซับกรดแกลลิก และหาปริมาณของกรดแกลลิกที่เหลือจากการดูดซับโดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu colorimetric method ได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.5 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 nm ของสารมาตรฐานกรดแกลลิก

ความเข้มข้นของกรดแกลลิก (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง
10	0.146
20	0.295
30	0.476
40	0.629
50	0.755
60	0.897
70	1.110



รูปที่ 3.3 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก

สำหรับตัวอย่างได้จากการนำถ่านและถ่านกัมมันต์แบบต่าง ๆ เริ่มต้นที่ 0.10 g ไปทำการดูดซับสารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 100, 500 และ 1000 mg/L และนำสารละลายที่ผ่านขบวนการดูดซับแล้วมาทำการหาปริมาณกรดแกลลิกที่เหลืออยู่โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานข้างต้น ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 3.6 ค่าร้อยละการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านชนิดต่าง ๆ โดยใช้สารมาตรฐานกรดกลีโคลิกความเข้มข้น 100 mg/L (คำนวณจากกราฟมาตรฐานที่มีสมการ $y = 0.0116x - 0.0293$)

ตัวดูดซับ	ความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับ (mg/L)	% การดูดซับ (N=3)
AC-std	0.00	100.00±0.00
CTS-10	61.58	34.82±1.15
CTS-11	71.40	28.60±0.00
CTS-00	84.73	15.27±0.00
CTS-01	60.29	39.71±1.39
ATS-10(P)1	10.70*	89.30±0.15
ATS-10(P)2	11.36*	88.64±0.59
ATS-10(K)1	0.00	100±0.00
ATS-10(K)2	0.00	100±0.00
ATS-10(Z)1	0.00	100±0.00
ATS-10(Z)2	0.00	100±0.00

* คำนวณโดยใช้สมการ $y = 0.015x + 0.0029$

** คัดการเจือจาง 10 เท่า

จากผลที่ได้พบว่าถ่านที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมี (CTS) มี %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกค่อนข้างต่ำ ระหว่าง 15.27-39.71% แต่หลังจากผ่านขบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมีแล้ว (ATS) จะมี %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกมากขึ้นโดยที่ถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลาย KOH และ $ZnCl_2$ มี %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุดถึง 100% เทียบเท่ากับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน ส่วนถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย H_3PO_4 จะมี %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกต่ำกว่า โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 88.97% ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจะใช้ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย KOH และ $ZnCl_2$ เท่านั้น

ตารางที่ 3.7 ค่าร้อยละการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารชนิดต่าง ๆ โดยใช้สารมาตรฐานกรดกลีโคลิกความเข้มข้น 500 mg/L (คำนวณโดยใช้สมการ $y = 0.012x + 0.0467$)

ตัวดูดซับ	ความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับ (mg/L)	%การดูดซับ (N=3)
AC-std	9.81	80.39±0.04
ATS-10(K)1	33.41	93.32±0.06
ATS-10(K)2	34.94	93.01±0.00
ATS-10(Z)1	0.00	100.00±0.00
ATS-10(Z)2	0.00	100.00±0.00

จากผลที่ได้พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดแกลลิกเป็น 500 mg/L %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย KOH และถ่านกัมมันต์มาตรฐาน มี %การดูดซับลดลงในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย $ZnCl_2$ ยังคงมี %การดูดซับสูงสุดคือ 100% ดังนั้นจึงจะทำการทดลองเพื่อหาค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดโดยใช้สารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 1000 mg/L และเพิ่มปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับ ได้ผลดังตาราง 3.8

ตารางที่ 3.8 ค่าร้อยละการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารชนิดต่าง ๆ โดยใช้สารมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 1000 mg/L (คำนวณโดยใช้สมการ $y = 0.0144x - 0.0817$)

ตัวดูดซับ	น้ำหนักถ่าน (g)	ความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับ (mg/L)	%การดูดซับ (N=3)	ค่าการดูดซับ (mg/g)
ATS-10(K)	0.10	69.10	93.09±0.00	92.53
	0.20	0.00	100.00±0.00	49.90
	0.30	0.00	100.00±0.00	33.23
	0.40	0.00	100.00±0.00	24.95
	0.50	0.00	100.00±0.00	19.96
ATS-10(Z)	0.10	37.41	96.26±0.00	95.78
	0.20	0.00	100.00±0.00	49.85
	0.30	0.00	100.00±0.00	33.27
	0.40	0.00	100.00±0.00	24.95
	0.50	0.00	100.00±0.00	19.96
AC-std	0.10	191.40	80.86*±0.00	80.46
	0.20	118.07	88.19*±0.00	44.01
	0.30	64.73	93.53*±0.00	31.10
	0.40	58.07	94.19*±0.00	23.52
	0.50	18.07	98.19*±0.00	19.63

* คำนวณโดยใช้สมการ $y = 0.015X + 0.0029$

ตารางที่ 3.9 ค่าการดูดซับสารมาตรฐานแกลลิกแอซิด (mg/g) ที่ความเข้มข้น 1000 mg/L ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารชนิดต่าง ๆ

ตัวดูดซับ	ค่าการดูดซับ (mg/g)
AC-std	39.74
ATS-10(P)	28.58
ATS-10(K)	44.74
ATS-10(Z)	43.58

จากผลการทดลองทั้งหมด จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH และ $ZnCl_2$ มีความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกได้ดีที่สุด แต่เพื่อหลีกเลี่ยงจากการใช้สารเคมีที่เป็นด่างที่มีความเข้มข้นสูง ดังนั้นจะใช้ $ZnCl_2$ เป็นสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น

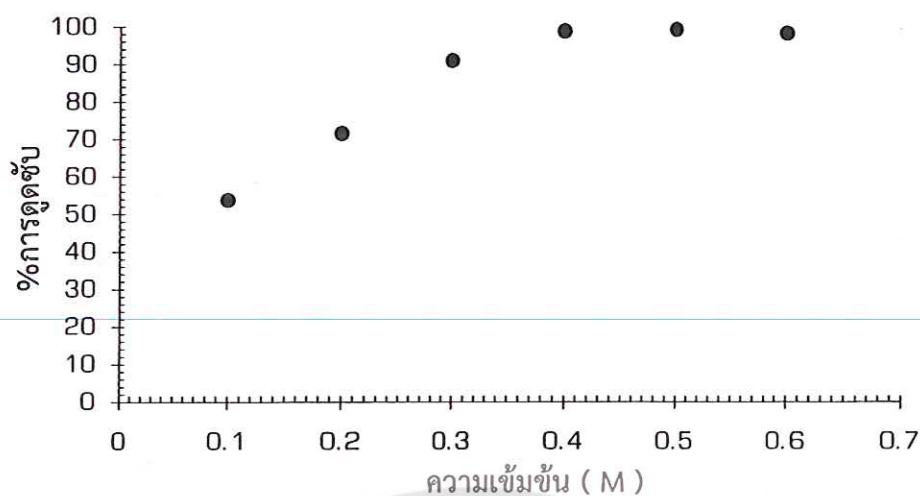
3.7) การศึกษาผลของความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ ที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

ได้ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ ที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ โดยนำถ่านจากเมล็ดมะขามที่เอาเปลือกออกและเผาแบบไม่เปิดฝภาหามาทำการกระตุ้นด้วยสารละลาย $ZnCl_2$ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 M และทำการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ $900^\circ C$ เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายซึ่งคลอไรด์ โดยใช้สารมาตรฐานกรดแกลลิก ความเข้มข้น 300 mg/L ดูดซับบนถ่านกัมมันต์ 0.1000 g และทำการหาปริมาณกรดแกลลิกที่เหลือโดยวิธี Folin-Ciocalteu ได้ผลดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลาย $ZnCl_2$ ความเข้มข้นต่างๆ (คำนวณโดยใช้สมการ $y = 0.016x + 0.027$)

ความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ (M)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ (mg/L)	%การดูดซับ
0.1	0.47*	138.44	161.56	53.85
0.2	0.30*	85.31	214.69	71.56
0.3	0.46	27.27	272.94	90.98
0.4	0.09	4.15	296.06	98.69
0.5	0.07	2.48	297.31	99.10
0.6	0.12	6.02	294.19	98.06

* เจือจาง 5 เท่า



รูปที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ ZnCl_2 กับ %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิก

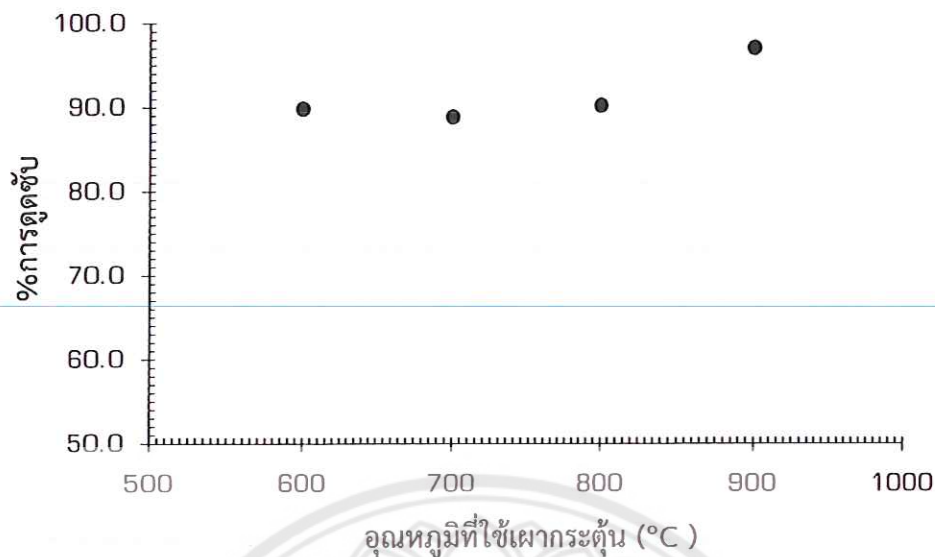
จากผลการทดลองจะพบว่า %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2 ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ ZnCl_2 ที่ใช้ในการกระตุ้น โดย %การดูดซับ จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ ZnCl_2 ที่เพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของ ZnCl_2 ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.50 M ซึ่งจะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มี %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 99.10%

3.8) การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้กระตุ้นที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้กระตุ้นที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ โดยนำถ่านจากเมล็ดมะขามที่เอาเปลือกออกและเผาแบบภาชนะไม่เปิดฝาภาชนะ (CTS-10) มาทำการกระตุ้นด้วยสารละลาย ZnCl_2 ความเข้มข้น 0.50 M และนำไปเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 600 700 800 และ 900°C เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมการกระตุ้น ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ปริมาณ 0.1000 g จะถูกนำมาดูดซับและสารมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 300 mg/L และทำการหาปริมาณกรดแกลลิกที่เหลือโดยวิธี Folin-Ciocalteu ได้ผลดังตาราง 3.11

ตารางที่ 3.11 %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการเผากระตุ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ (คำนวณโดยใช้สมการ $y = 0.020x - 0.050$)

อุณหภูมิ (°C)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ (mg/L)	%การดูดซับ
600	0.560	30.50	269.50	89.83
700	0.617	33.35	266.65	88.88
800	0.537	29.35	270.65	90.22
900	0.128	8.90	291.10	97.03



รูปที่ 3.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้เผากระดูก กับ %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิก

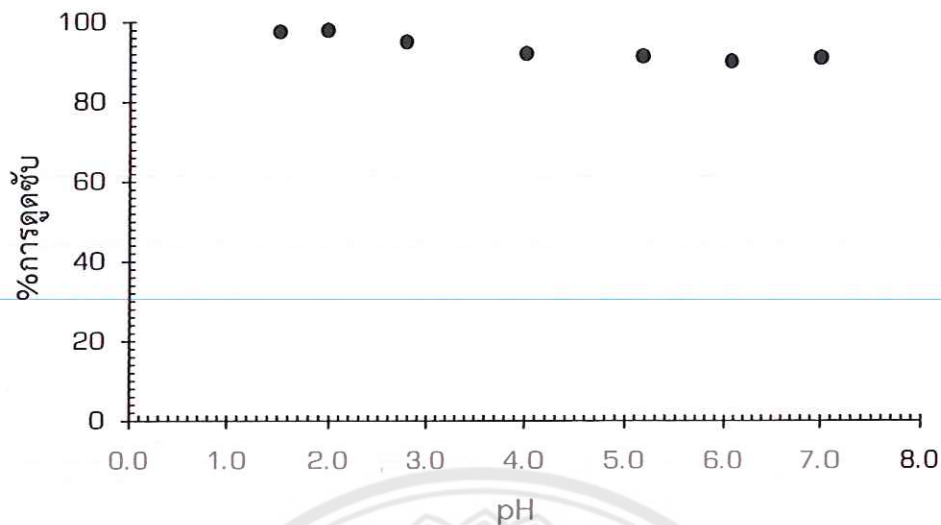
จากผลการทดลองจะพบว่า %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2 ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผากระดูก โดย %การดูดซับ จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผากระดูกเหมาะสมเท่ากับ 900°C ซึ่งจะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มี %การดูดซับเท่ากับ 97.03%

3.9) การศึกษาผลของ pH ที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

ได้ทำการศึกษาผลของ pH ที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ โดยนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลาย 0.50 M ZnCl_2 และเผากระดูกที่อุณหภูมิ 900°C มา 0.1000 g ทำการดูดซับสารกรดแกลลิกความเข้มข้น 300 mg/L ที่ปรับ pH ช่วง 1-7 และทำการหาปริมาณกรดแกลลิกที่เหลือโดยวิธี Folin-Ciocalteu ได้ผลดังตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่ทดสอบด้วยผลความเข้มข้นของ pH (คำนวณโดยใช้สมการ $y = 0.020x - 0.050$)

pH	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ (mg/L)	%การดูดซับ
1.51	0.090	7.00	293.00	97.67
1.98	0.073	6.17	293.83	97.94
2.78	0.247	14.83	285.17	95.06
4.01	0.420	23.50	276.50	92.17
5.17	0.467	25.83	274.17	91.39
6.07	0.543	29.67	270.33	90.11
7.00	0.490	27.00	273.00	91.00



รูปที่ 3.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับ %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิก

จากผลการทดลองจะพบว่า %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่ pH ต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกันมากโดย %การดูดซับจะอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันระหว่าง 90-97% จึงสรุปได้ว่าผลของ pH ไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจะไม่ทำการควบคุม pH ของสารละลาย

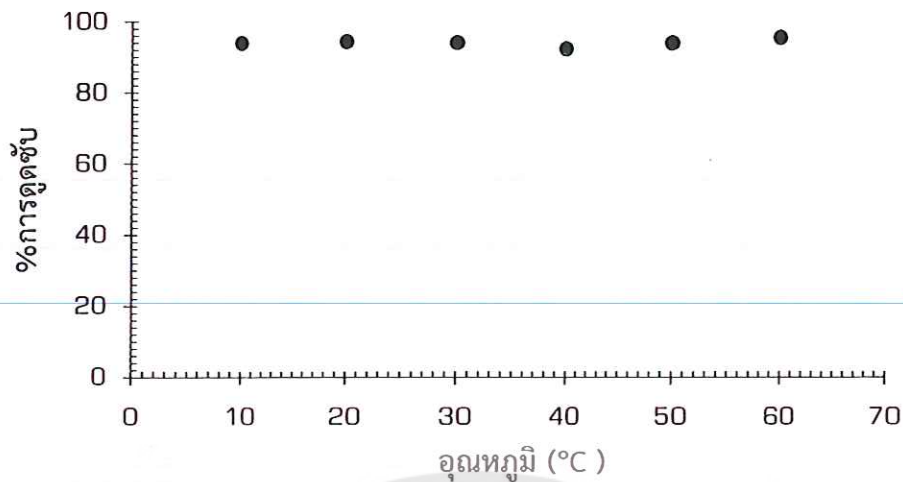
3.10) การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

ได้ทำการศึกษาค่าของอุณหภูมิที่มีต่อความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์โดยนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลาย 0.50 M $ZnCl_2$ และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 900°C มา 0.0100 g ทำการดูดซับสารกรดแกลลิกความเข้มข้น 200 mg/L ที่อุณหภูมิต่าง ๆ และทำการหาปริมาณกรดแกลลิกที่เหลือโดยวิธี Folin-Ciocalteu ได้ผลดังตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

(คำนวณจากสมการ $y = 0.008x - 0.007$)

อุณหภูมิ (°C)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ (mg/L)	%การดูดซับ
10	0.090	12.13	187.87	93.94
20	0.083	11.29	188.71	94.36
30	0.087	11.71	188.29	94.15
40	0.117	15.46	184.54	92.27
50	0.090	12.13	187.87	93.94
60	0.067	9.21	190.79	95.40



รูปที่ 3.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับกับ%การดูดซับสารประกอบฟีนอลิก

จากผลการทดลองพบว่า %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกันมากโดย %การดูดซับจะอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันระหว่าง 92-95% จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิในการดูดซับไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจะไม่ทำการควบคุมอุณหภูมิของสารละลาย และจะใช้อุณหภูมิห้องในการทำการทดลอง

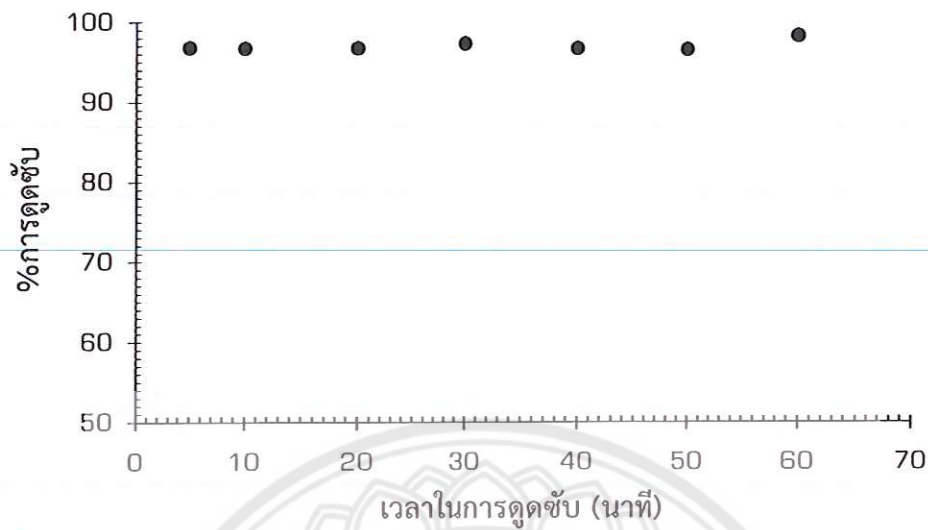
3.11) การศึกษาผลของเวลาในการดูดซับที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

ได้ทำการศึกษาผลของระยะเวลาในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ โดยนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลาย 0.50 M $ZnCl_2$ และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 900°C มา 0.0100 g ทำการดูดซับสารกรดแกลลิกความเข้มข้น 200 mg/L ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ และทำการหาปริมาณกรดแกลลิกที่เหลือโดยวิธี Folin-Ciocalteu ได้ผลดังตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.14 %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่กำหนดเวลาในการดูดซับ

(คำนวณจากสมการ $y = 0.020x - 0.050$)

เวลาในการดูดซับ (นาท)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับ (mg/L)	ความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ (mg/L)	%การดูดซับ
5	0.077	6.33	193.67	96.83
10	0.080	6.50	193.50	96.75
20	0.080	6.50	193.50	96.75
30	0.060	5.50	194.50	97.25
40	0.083	6.67	193.33	96.67
50	0.090	7.00	193.00	96.50
60	0.023	3.67	196.33	98.17

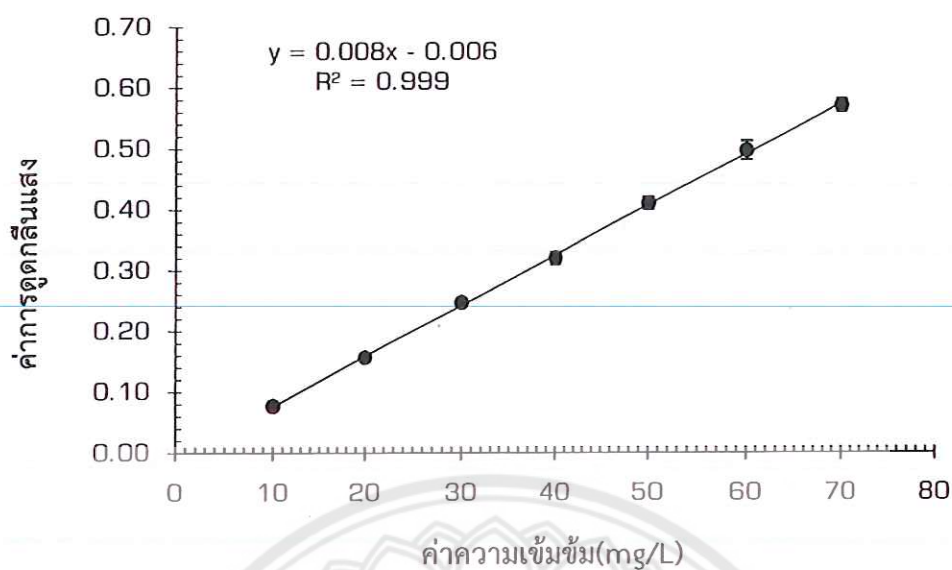


รูปที่ 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดซับกับ %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิก

จากผลการทดลองพบว่าเวลาในการดูดซับมีผลต่อ %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์น้อยมาก โดย %การดูดซับจะมีค่าใกล้เคียงกันระหว่าง 96.50-98.17% ในช่วงเวลาของการดูดซับ 5-60 นาที จึงสรุปได้ว่าเวลาในการดูดซับไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจะใช้เวลาในการดูดซับเพียง 5 นาทีเพื่อเป็นการลดเวลาของการทำการทดลอง

3.12) การศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดเกลือที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์

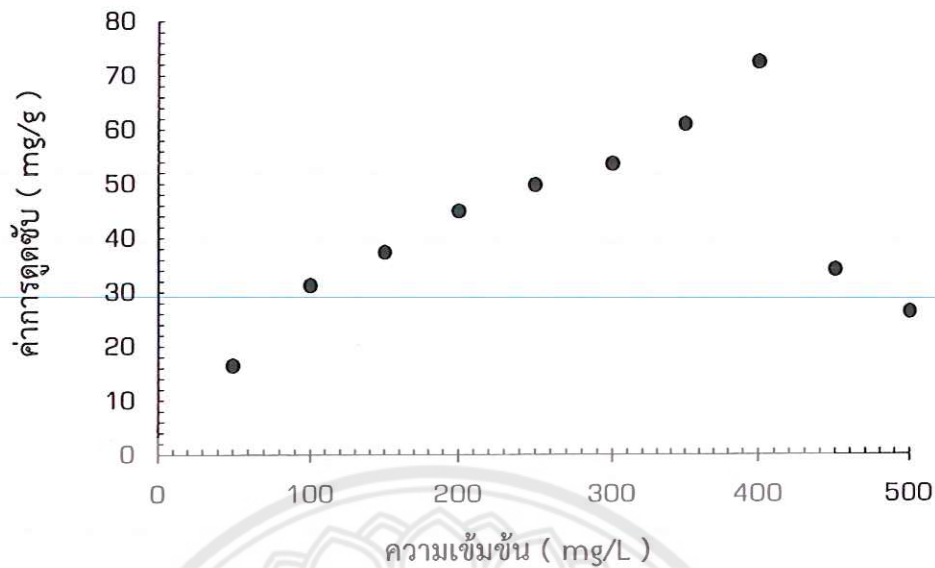
ได้ทำการศึกษาค่าผลของความเข้มข้นของกรดเกลือที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ โดยนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลาย 0.50 M ZnCl_2 และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 900°C มา 0.0100 g ทำการดูดซับสารกรดเกลือความเข้มข้นตั้งแต่ 50 mg/L จนถึง 500 mg/L ตามลำดับ และทำการหาปริมาณกรดเกลือที่เหลือโดยวิธี Folin-Ciocalteu จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ ได้ผลดังตารางที่ 3.15 และรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดกลูคิค

ตารางที่ 3.15 ค่าการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่กำหนดความเข้มข้นของกรดกลูคิค
(คำนวณจากสมการ $y = 0.008x - 0.006$)

ความเข้มข้น กรดกลูคิค (mg/L)	ค่าการดูดกลืน แสง	ความเข้มข้นที่ เหลือจากการ ดูดซับ (mg/L)	%การดูดซับ	ค่าการดูดซับ (mg/g)
50	0.000	0.00	100.00	16.47
100	0.037	5.22	31.59	31.28
150	0.250	30.93	39.69	37.44
200	0.420	51.41	49.53	45.03
250	0.643	78.32	57.23	49.76
300	0.907	110.04	63.32	53.66
350	1.303	157.84	64.05	61.00
400	1.457	176.31	74.56	72.39
450	1.990	240.57	36.48	34.09
500	2.160	261.05	29.65	26.24



รูปที่ 3.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดแกลลิกกับค่าการดูดซับสารประกอบฟีนอลิก

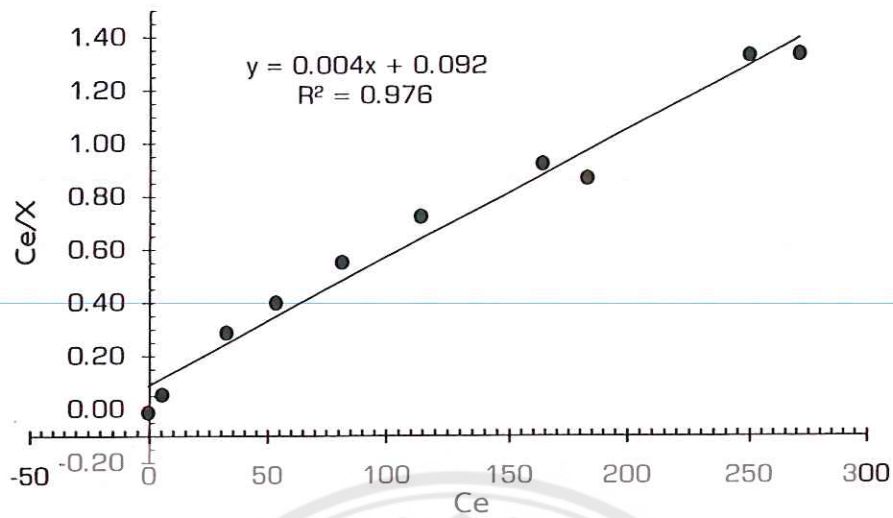
จากผลการทดลองจะพบว่า เมื่อความเข้มข้นของกรดแกลลิกเพิ่มขึ้น %การดูดซับและค่าการดูดซับจะเพิ่มขึ้นจนถึงความเข้มข้น 400 mg/L %การดูดซับและค่าการดูดซับจะลดลงแสดงว่าที่ความเข้มข้น 400 mg/L น่าจะเป็นจุดสมดุลของการดูดซับซึ่งมีค่าการดูดซับที่มากที่สุดคือ 72.39 mg/g

3.13) การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

จากผลการทดลองในข้อ 3.3.7 ได้นำข้อมูลที่ได้มาทำการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์อาศัยทฤษฎีของ Langmuir และ Freundlich โดยการพลอตกราฟได้ผลดังตารางที่ 3.10 และ 3.11 และรูปที่ 3.10 และ 3.11

ตารางที่ 3.10 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างกราฟ Langmuir Adsorption Isotherm ของการดูดซับกรดแกลลิก

ความเข้มข้นเริ่มต้น (mg/L)	C_e (mg/L)	C_e/X (mg/g)
50	-0.5	-0.01
100	5.3	0.06
150	32.0	0.29
200	53.3	0.40
250	81.2	0.55
300	114.1	0.72
350	163.7	0.92
400	182.2	0.87
450	249.5	1.33
500	270.8	1.33

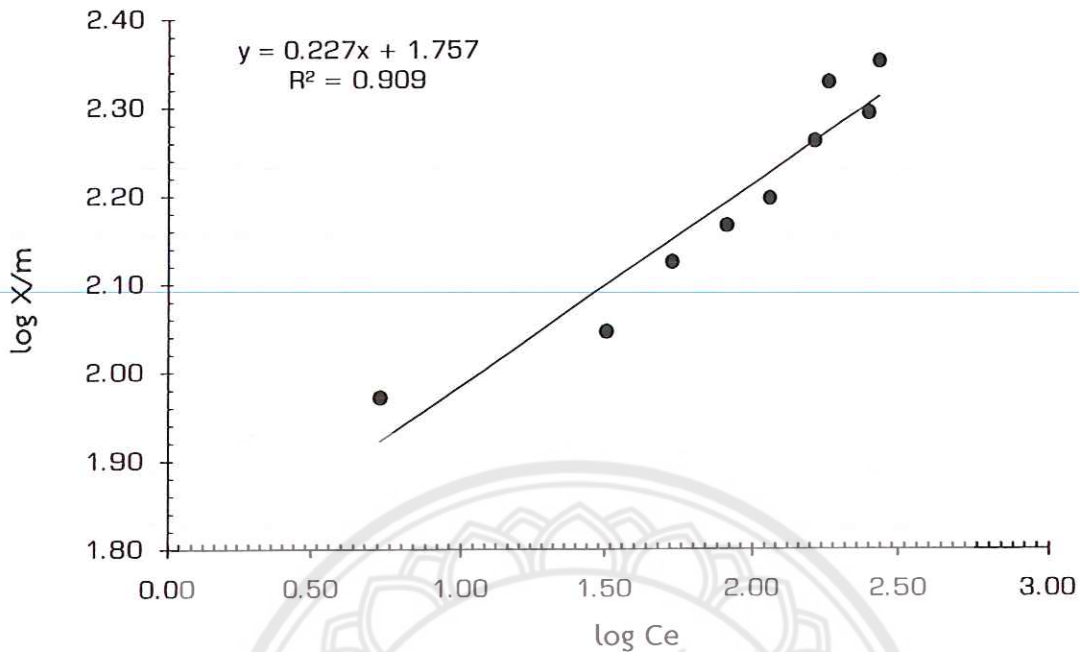


รูปที่ 3.10 Langmuir Adsorption Isotherm ของการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 3.11 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการสร้างกราฟ Freundlich Adsorption Isotherm ของการดูดซับกรดแกลลิก

ความเข้มข้นเริ่มต้น (ppm)	$\log X/m$	$\log C$
50	1.69	
100	1.97	0.73
150	2.05	1.51
200	2.13	1.73
250	2.17	1.91
300	2.20	2.06
350	2.26	2.21
400	2.33	2.26
450	2.29	2.40
500	2.35	2.43

จากตารางเมื่อนำค่า $\log X/m$ มาทำการพลอตกราฟเทียบกับ $\log C$ จะได้ Freundlich Adsorption Isotherm ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 Freundlich Adsorption Isotherm ของการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์

จากกราฟ Adsorption Isotherm ทั้งสองแบบจะเห็นว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง สอดคล้องกับสมการของ Langmuir มากกว่าสมการของ Freundlich โดยพิจารณาจากค่า R^2 ของกราฟที่พลอตได้ทั้งสองแบบ (ดูจากค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่า) โดยที่ Adsorption Isotherm ของ Langmuir มีค่า $R^2 = 0.976$ ในขณะที่ Adsorption Isotherm ของ Freundlich มีค่า $R^2 = 0.909$ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้น เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว และสามารถคำนวณค่าคงที่ต่าง ๆ ได้จากสมการไอโซเทอมของการดูดซับของ Langmuir

$$\frac{C_e}{X} = \frac{C_e}{X_m} + \frac{1}{KX_m}$$

เมื่อ C_e = ความเข้มข้นที่เข้มข้นที่เหลือหลังจากการดูดซับ (mg/L)

X = ปริมาณที่สารถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ (mg/g)

X_m = ค่าคงที่การดูดซับสูงสุด

K = ค่าคงที่การดูดซับ

ความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ = ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ - ความเข้มข้นหลังการดูดซับ

ปริมาณที่ถูกดูดซับ = ความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ (mg/L) $\times$ ปริมาณของสารละลาย (L)

ผลจากการคำนวณพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นมีค่าคงที่การดูดซับสูงสุด (X_m) เท่ากับ 250 และมีค่าคงที่ (K) เท่ากับ 0.043

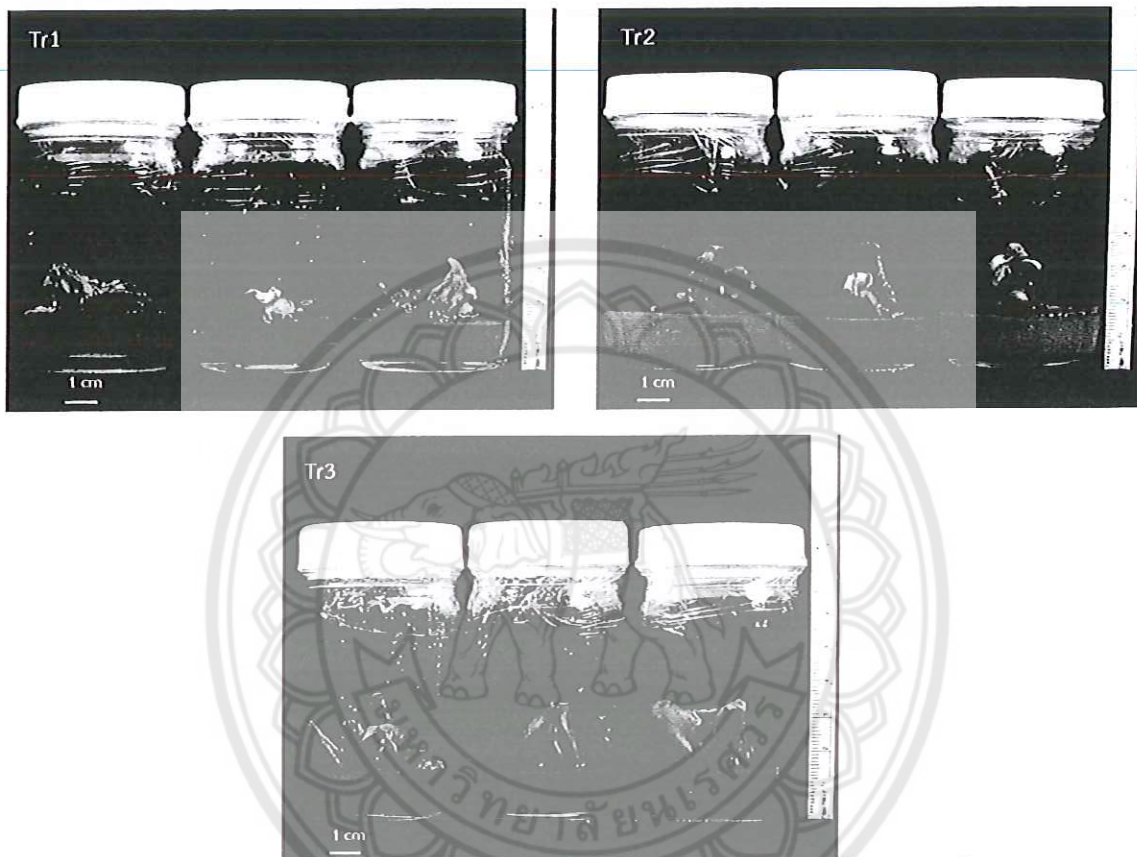
3.14) การศึกษาการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ ในขบวนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้า

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผงถ่านกัมมันต์ต่อการดูดซับสารประกอบฟีนอลิก ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้า ทำการทดลองโดยเตรียมอาหารเชิงสูตร MS (Murashige and Skoog, 1962) แล้วเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตตามวิธีการของ Nisyawati et al (2013) สำหรับใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วย มี 3 กรรมวิธี คือ กรรมวิธีที่ 1 ไม่เติม AC (Tr1), กรรมวิธีที่ 2 เติม tamarind AC 1g/L (Tr2), และ และ กรรมวิธีที่ 3 เติม commercial AC 1g/L (Tr3) จากนั้นนำไปเพาะเลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชที่ควบคุมอุณหภูมิ $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ความเข้มแสง 2000 lux โดยให้แสงแต่ละวันแบบสภาวะวันยาว คือให้แสงนาน 16 ชั่วโมง และไม่ให้แสง 8 ชั่วโมง นาน 4, 8, และ 10 สัปดาห์ ทำการประเมินค่าการสะสมสารประกอบฟีนอลิกในเนื้อเยื่อกล้วย และในอาหารรุ้น ผลการทดลองพบว่า หลังจากเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยบนอาหารทั้งสามสูตร นาน 4 สัปดาห์ พบว่า ในสูตรอาหาร Tr1 ชิ้นส่วนของเนื้อเยื่อกล้วยมีการสะสมของสารฟีนอลิก (สีน้ำตาลเข้ม) สูงกว่าในสูตรอาหาร Tr2 และ Tr3 (รูปที่ 3.12) นอกจากนี้เมื่อทำการสกัดสารฟีนอลิกจากส่วนของเนื้อเยื่อกล้วย และจากอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ผลการทดลองพบว่า สูตร Tr1 มีปริมาณสารฟีนอลิกในสารละลายที่สกัดได้จากส่วนของเนื้อเยื่อกล้วย (รูปที่ 3.13) และส่วนของอาหารรุ้น (รูปที่ 3.14) สูงกว่า (สีน้ำตาลเข้ม) สูตร Tr2 และ Tr3 ซึ่งผลการทดลองบ่งชี้ให้เห็นว่าผงถ่านกัมมันต์สามารถลดการเกิดสารฟีนอลิกในเนื้อเยื่อและอาหารได้

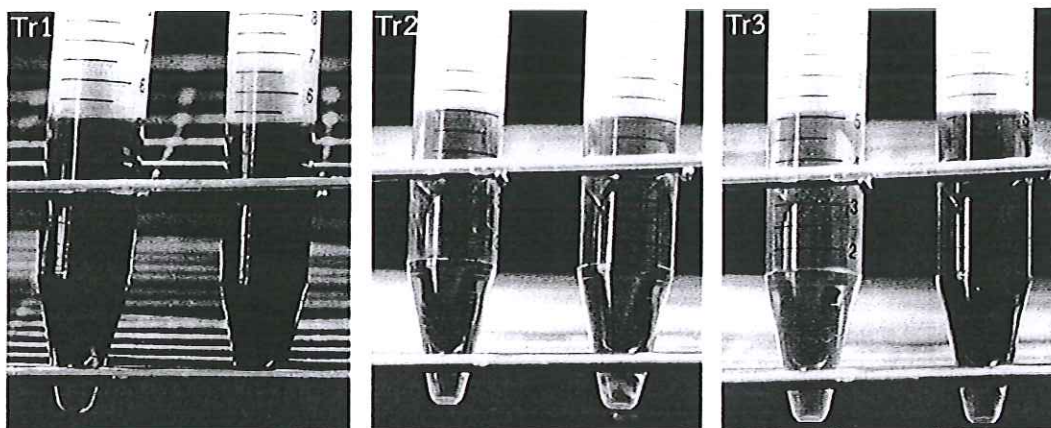
เมื่อเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยบนอาหารทั้งสามสูตร นาน 8 สัปดาห์ ทำการวัดและวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกในส่วนของเนื้อเยื่อและอาหารรุ้น ผลการทดลองพบว่า ชิ้นส่วนของเนื้อเยื่อกล้วยที่เพาะเลี้ยงในสูตร Tr1 มีการสะสมของสารฟีนอลิก (สีน้ำตาลเข้ม) สูงกว่าในสูตร Tr2 และ Tr3 (รูปที่ 3.15) จากนั้นทำการสกัดสารฟีนอลิกจากส่วนของเนื้อเยื่อกล้วย และจากอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ผลการทดลองพบว่า สูตร Tr1 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารละลายที่สกัดได้จากเนื้อเยื่อกล้วย (รูปที่ 3.16) และจากอาหารรุ้น (รูปที่ 3.17) สูงกว่า สูตร Tr2 และ Tr3 โดยมีความเข้มข้นของสีน้ำตาลในสารละลายสูง และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเฉลี่ยเท่ากับ 300.92 และ 19.4 mg/L ในส่วนของเนื้อเยื่อ และอาหารรุ้น ตามลำดับ (ตารางที่ 3.12) ขณะที่ Tr2 และ Tr3 พบว่า สามารถลดปริมาณการสะสมของสารฟีนอลิก ในเนื้อเยื่อกล้วยได้ (รูปที่ 3.15) โดยมีปริมาณฟีนอลิกที่สกัดจากเนื้อเยื่อกล้วย เฉลี่ยเท่ากับ 140.74 และ 194.44 mg/L ตามลำดับ (ตารางที่ 3.12) นอกจากนี้ยังพบอีกว่า สูตร Tr2 และ Tr3 พบว่า สามารถลดปริมาณการสะสมของสารฟีนอลิก ในอาหารรุ้น โดยมีปริมาณฟีนอลิกที่สกัดจากอาหารรุ้น เฉลี่ยเท่ากับ 2.94 และ 0.64 mg/L ตามลำดับ (ตารางที่ 3.13) จากผลการทดลองบ่งชี้ให้เห็นว่าผงถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขามมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารฟีนอลิกได้ใกล้เคียงกับผงถ่านกัมมันต์ที่ขายในท้องตลาด ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดมะขามประกอบด้วยสารอินทรีย์ซึ่งมีคาร์บอน (carbon), ไฮโดรเจน (hydrogen; H), ออกซิเจน (oxygen; O), ซัลเฟอร์ (sulfur; S), และไนโตรเจน (nitrogen; N) เท่ากับ 45.76, 9.59, 44.39, 0.04 และ 0.22% ตามลำดับ (Kader et al., 2011) ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ได้ (Munusamy et al., 2011)

ในสัปดาห์ที่ 10 พบว่าหน่อกล้วยที่เพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติมผงถ่านกัมมันต์สูตร Tr2 และ Tr3 พบว่าเนื้อเยื่อมีการพัฒนาเป็นต้นใหม่ที่สมบูรณ์ (โตใบขนาดหน่อใหญ่และมีสีเขียว) กว่าในสูตร Tr1 (รูปที่ 3.18) ซึ่งผลการทดลองนี้บ่งชี้ได้ว่า การใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขามโดยวิธีกระตุ้นด้วยสารละลาย ZnCl_2 นั้นอาจมีช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและการพัฒนาของเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้าในหลอดทดลองได้ ทั้งนี้

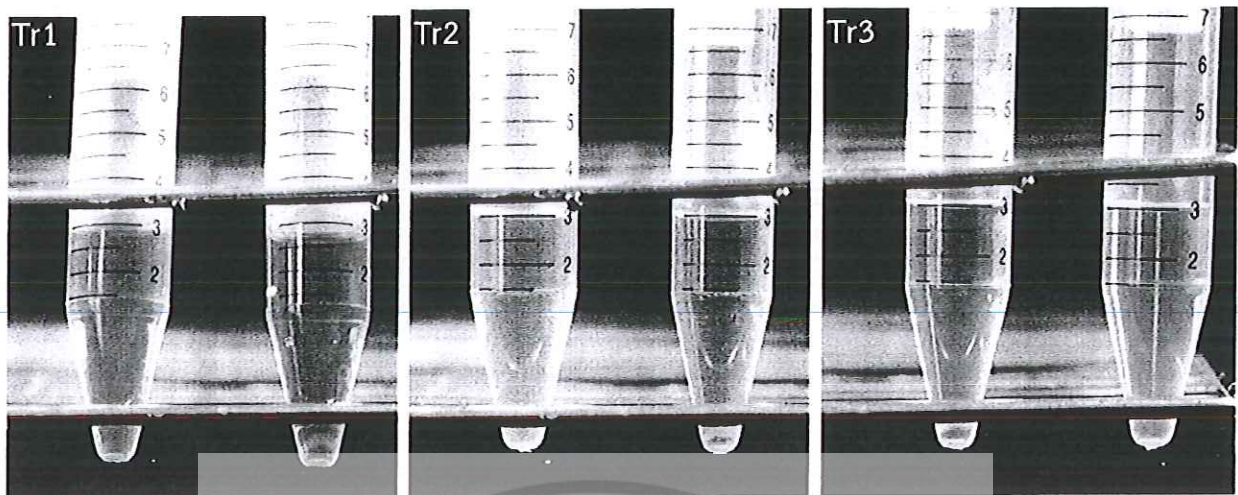
อาจเนื่องจากถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับ และลดการสะสมของสารประกอบฟีนอลิก ที่ปลดปล่อยออกมาจากบริเวณบาดแผลของเนื้อเยื่อพืช (North et al., 2012) ถ้าในเนื้อเยื่อพืชและในอาหารที่เพาะเลี้ยงมีการสะสมสารฟีนอลิกอาจมีบทบาทสำคัญในการยับยั้งการพัฒนา และการเจริญเติบโตของเซลล์ และทำให้เซลล์พืชตาย (Ahmadian et al., 2013; Nisyawati et al., 2013)



รูปที่ 3.12 การสะสมของสารประกอบฟีนอลิกโดยพิจารณาระดับการสะสมสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อกล้วยที่อายุ 4 สัปดาห์



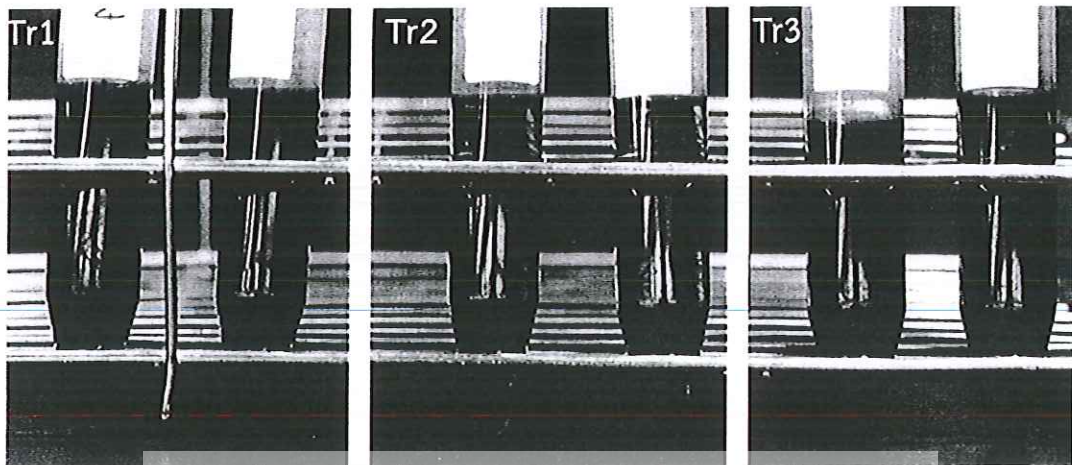
รูปที่ 3.13 สารละลายสีน้ำตาล (บ่งชี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก) ที่สกัดได้จากชิ้นส่วนเนื้อเยื่อกล้วย อายุ 4 สัปดาห์



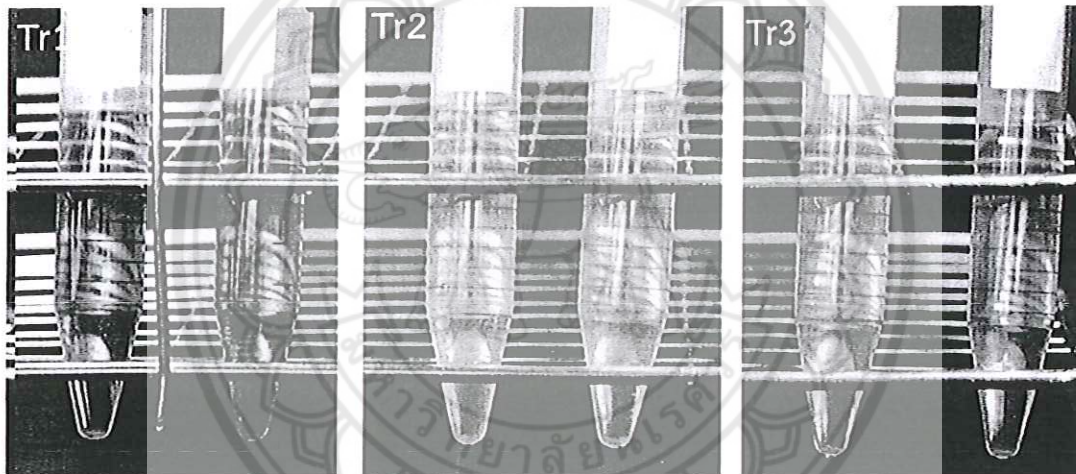
รูปที่ 3.14 สารละลายสีน้ำตาล (บ่งชี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก) ที่สกัดได้จากส่วนของอาหารสูตรต่างๆ หลังเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วย นาน 4 สัปดาห์



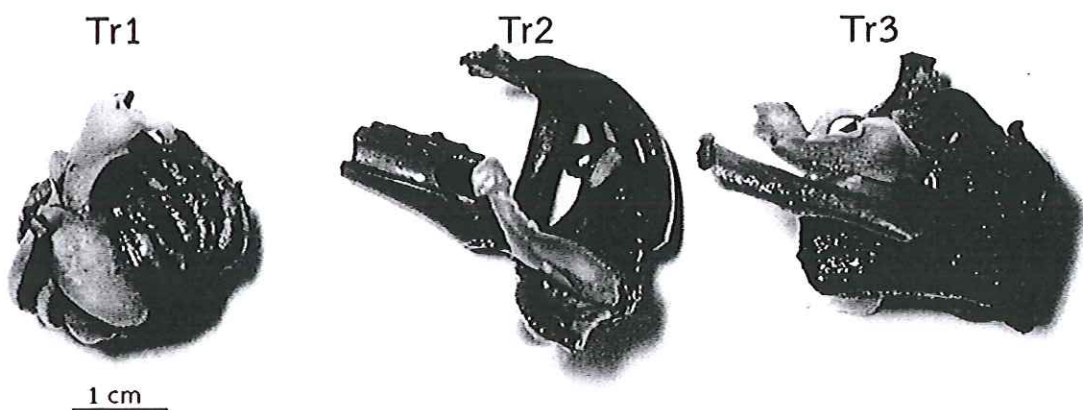
รูปที่ 3.15 การสะสมของสารประกอบฟีนอลิกโดยพิจารณาจากการสะสมสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อกล้วย ที่อายุ 8 สัปดาห์



รูปที่ 3.16 สารละลายสีน้ำตาล (บ่งชี้ปริมาณสารฟีนอลิก) ที่สกัดได้จากชิ้นส่วนเนื้อเยื่อกล้วย อายุ 8 สัปดาห์



รูปที่ 3.17 สารละลายสีน้ำตาล (บ่งชี้ปริมาณสารฟีนอลิก) ที่สกัดได้จากส่วนของอาหารสูตรต่างๆ หลังเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วย นาน 8 สัปดาห์



รูปที่ 3.18 การพัฒนาเป็นต้นใหม่ของกล้วย หลังจากเพาะเลี้ยงในสูตรอาหารทั้งสาม นาน 10 สัปดาห์

ตารางที่ 3.12 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดจากเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้าที่ใช้เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรต่าง ๆ นาน 8 สัปดาห์ (คำนวณโดยใช้สมการ $y = 0.012x - 0.01$)

สูตรอาหาร	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mg/L)	
Tr1 (no AC)	0.330	28.33/283.33*	300.92±18.1 ^a
	0.350	30.00/300.00*	
	0.373	31.94/319.44*	
Tr2 (T-AC)	0.147	13.06/130.56*	140.74±17.6 ^c
	0.147	13.06/130.56*	
	0.183	16.11/161.11*	
Tr3 (AC)	0.200	17.50/175.00*	194.44±19.4 ^b
	0.247	21.39/213.89*	
	0.223	19.44/194.44*	

* คำนวณโดยทำเจือจาง 20 เท่า

ค่าในตารางแสดงถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ $p \text{ value} = 0.05$ คำนวณโดยใช้วิธี student's t -test

ตารางที่ 3.13 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดจากอาหารวุ้น ที่ใช้เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้า นาน 8 สัปดาห์ (คำนวณโดยใช้สมการ $y = 0.012x - 0.01$)

สูตรอาหาร	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mg/L)	
Tr1 (no AC)	0.210	18.33	19.44±4.03 ^a
	0.183	16.08	
	0.277	23.92	
Tr2 (T-AC)	-0.040	0.00	2.94±2.68 ^b
	0.033	3.58	
	0.053	5.25	
Tr3 (AC)	0.013	1.92	0.64±1.11 ^b
	-0.330	0.00	
	-0.040	0.00	

ค่าในตารางแสดงถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน, อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ $p \text{ value} = 0.05$ คำนวณโดยใช้วิธี student's t -test

จากผลการทดลองนี้บ่งชี้ได้ว่า การใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขามโดยวิธีกระตุ้นด้วยสารละลาย ZnCl_2 นั้นมีช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและการพัฒนาของเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อหัวใจในหลอดทดลองได้ ทั้งนี้เนื่องจากช่วยลดปริมาณการสะสมของสารประกอบฟีนอลิกในเนื้อเยื่อพืช (ทำให้เนื้อเยื่อสามารถพัฒนาและเจริญเติบโตเป็นต้นใหม่ได้ง่าย) โดยดูดซับสารดังกล่าวมาสะสมไว้ที่อาหาร



บทที่ 4

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่างเมล็ดมะขามที่เอาเปลือกออกและไม่ได้เอาเปลือกออก เปรียบเทียบวิธีการเผาในขั้นตอน carbonization ด้วยการเผาในหม้อดินแบบภาชนะเปิดฝาและไม่เปิดฝา พบว่าการเตรียมถ่านในขั้นตอนคาร์บอนเซชัน โดยใช้เมล็ดมะขามแบบเอาเปลือกออกและเผาโดยปิดฝาภาชนะ จะได้ถ่านที่เหมาะสมกว่าถ่านที่เตรียมโดยวิธีอื่น ๆ กล่าวคือได้ ร้อยละของผลผลิตที่สูง มีชี้เข้าปนมาน้อย และได้ถ่านที่มีเนื้อเหมือนกันทุกส่วน หลังจากกระตุ้นด้วยสารเคมีพบว่าน้ำหนักของถ่านหายไปบางส่วน ร้อยละของผลผลิต (%Yield) โดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 58% และจากการศึกษาโครงสร้างของถ่านชนิดต่าง ๆ โดยเครื่อง SEM จะเห็นว่าถ่านที่เผาในขั้นตอนคาร์บอนเซชันจะมีขนาดของรูพรุนเล็กกว่าหลังจากที่ผ่านขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมีแล้ว ซึ่งรูพรุนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งอาจเนื่องมาจากทาร์ที่อยู่ตามรูพรุนถูกกำจัดออกไปทำให้ขนาดของรูพรุนขยายออก ซึ่งสอดคล้องกับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านแต่ละรูปแบบที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดซับด้วยไนโตรเจน ซึ่งพบว่าถ่านที่ยังไม่ได้กระตุ้นด้วยสารเคมีจะมีขนาดของรูพรุนโดยประมาณอยู่ที่ 2.2 nm ส่วนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากการกระตุ้นด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ จะมีขนาดของรูพรุนใหญ่กว่า โดยมีขนาดของรูพรุนประมาณ 22 nm และมีขนาดของรูพรุนใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน และถ่านที่ยังไม่ได้ผ่านขบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมีจะมี BET surface area ค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.34-184.07 m²/g ในขณะที่ถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมีแล้วจะมีค่า BET surface area อยู่ประมาณ 448.03-952.84 m²/g จากผลการดูดซับไอโอดีน พบว่าค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยที่ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย KOH จะให้ค่าการดูดซับสูงที่สุดรองลงมาคือถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย ZnCl₂ และถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ใช้สารเคมีในการกระตุ้น มีค่าการดูดซับไอโอดีนต่ำสุด จากนั้นเมื่อทดลองหา %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิก ผลที่ได้คือถ่านที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมี มี %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกค่อนข้างต่ำ แต่หลังจากผ่านขบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมีแล้วจะมี %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกมากขึ้น โดยที่ถ่านที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลาย KOH และ ZnCl₂ มีความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกได้ดีที่สุด แต่เพื่อหลีกเลี่ยงจากการใช้สารเคมีที่เป็นด่างที่มีความเข้มข้นสูงดังนั้นจะใช้ ZnCl₂ เป็นสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น และพบว่า %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl₂ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ ZnCl₂ ที่ใช้ในการกระตุ้น โดย %การดูดซับ จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ ZnCl₂ ที่เพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของ ZnCl₂ ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.50 M นอกจากนี้ %การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl₂ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผากระตุ้น โดย %การดูดซับ จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผากระตุ้นเหมาะสมเท่ากับ 900 °C

ในขั้นตอนของการดูดซับสารประกอบฟีนอลิก ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาผลของ อุณหภูมิ pH และเวลาที่มีต่อความสามารถในการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้น จากผลการทดลองพบว่าตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อการดูดซับน้อยมาก จากการศึกษาคู่สมการการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์พบว่าผลที่ได้สอดคล้องสมการของ Langmuir มากกว่า สมการของ Freundlich โดยพิจารณาจากค่า R² ของกราฟที่พลอตได้ทั้งสองแบบ สรุปได้ว่าการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ที่

เตรียมขึ้น เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว จากการคำนวณค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ได้จากสมการไอโซเทอมของการดูดซับของ Langmuir พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นมีค่าคงที่การดูดซับสารประกอบฟีนอลิกสูงสุด (X_m) เท่ากับ 250 และมีค่าคงที่ (K) เท่ากับ 0.043

เมื่อทำการศึกษาคุณสมบัติการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกของถ่านกัมมันต์ในขบวนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้า พบว่าการใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขามโดยวิธีกระตุ้นด้วยสารละลาย $ZnCl_2$ นั้น ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและการพัฒนาของเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้าในหลอดทดลองได้ ผลการทดลองพบว่า ผงถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยสารละลาย $ZnCl_2$ สามารถลดการสะสมสารประกอบฟีนอลิกในเนื้อเยื่อของกล้วยน้ำว้า ได้ดีกว่าในสูตรอาหารที่เติมผงถ่านมาตรฐาน และที่ไม่เติมผงถ่าน



บรรณานุกรม

- 1) กรมควบคุมมลพิษ. การออกแบบการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์. สืบค้นจาก http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/design_absorbtion.htm, สืบค้นเมื่อ วันที่ 15 พฤษภาคม 2558.
- 2) นันทิดา หมวกเหล็ก, บวร บุตรดีสิงห์, และ ทรงวุฒิ ยศวิมลวัฒน์ (2555) การพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารต้านอนุมูลอิสระชนิดอัดเม็ดจากสารสกัดเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- 3) ณัฐยา พุนสุพรรณ (2545) การเตรียมคุณสมบัติถ่านกัมมันต์จากลิกไนต์และชานอ้อยโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี.
- 4) บุญชัย ตระกูลมหชัย (2536) การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลโตนด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- 5) พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. สารประกอบฟีนอลิก, สืบค้นจาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2585/phenolic-compound>, สืบค้นเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2558.
- 6) เพชรบูรณ์ (2555) รายงานข้อมูลสภาวะการผลิตพืช.
- 7) บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. ถ่านปลุกฤทธิ์. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, สืบค้นจาก: http://www.neutron.rmutphysics.com/news/index.php?option=com_content&task=view&id=1606, สืบค้นเมื่อวันที่ 21 เมษายน 2558.
- 8) ภักสิริ สีนไชยกิจ, ไมตรี สุทธิจิตต์ (2011) คุณสมบัติชีวเคมีและการประยุกต์ใช้ของเมล็ดมะขาม. Naresuan Phayao Journal, 4(2).
- 9) รัตนา สนั่นเมือง, วิภารัตน์ เชื้อขวด ชัยสิทธิ์ และ เอกลักษณ์ คาน (2550) การผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขามและเปลือกหมากโดยเทคนิคการกระตุ้นด้วยสารเคมี และการประยุกต์เพื่อการดูดซับเหล็กในน้ำบาดาลสังเคราะห์. มหาวิทยาลัยนเรศวร
- 10) รุจิรา ปิ่นแก้ว (2556) การผลิตและการเตรียมถ่านกัมมันต์จากขี้ข้าวโพดเพื่อใช้ในการดูดซับมีเทน. สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- 11) วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. ถ่านกัมมันต์. สืบค้นจาก : th.wikipedia.org/wiki/ถ่านกัมมันต์, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม 2558
- 12) วิมล และคณะ (2555) การศึกษาแป้งจากเมล็ดมะขามผลิตโพลีแซคคาไรด์สู่ระบบส่งยา" คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- 13) Ahmadian E, Lolaei A, Mobasheri S, Bemana R (2013) Investigation of Importance parameters of Plant Tissue (review). International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 900-905.
- 14) Alau KK, Gimba CE, Kagbu JA, and Nale BY (2010) Preparation of activated carbon from Neem (*Azadirachta indica*) husk by chemical activation with H_3PO_4 , KOH and $ZnCl_2$. Archives of Applied Science Research, 2(5): 451-455.

- 15) Awoyale AA, Eloka-Eboka AC, and Odubiyi OA (2012) Production and experimental efficiency of activated carbon from local waste bamboo for waste water treatment. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(2): 8-17.
- 16) Bansal J, Kumar N, Malviya R and Sharma PK (2013) Extraction and evaluation of tamarind seed polysaccharide as pharmaceutical *In situ* gel forming system. *American-Eurasian Journal of Scientific Research* 9 (1): 1-5.
- 17) Birmeta G, and Welander M (2004) Efficient micropropagation of *Ensete ventricosum* applying meristem wounding: a three-step protocol. *Plant Cell Rep*, 23: 277-83.
- 18) Edward FG and Watson DG (1994) *Tamarindus indica* Tamarind. Fact Sheet ST-618.
- 19) Fki L, Masmoudi R, Drira N, Rival A (2003) An optimised protocol for plant regeneration from embryogenic suspension cultures of date palm, *Phoenix dactylifera* L., cv. Deglet Nour. *Plant Cell Rep*; 21:517-24.
- 20) Foo KY, Lee LK, Hameed BH (2013) Preparation of tamarind fruit seed activated carbon by microwave heating for the adsorptive treatment of landfill leachate: A laboratory column evaluation. *Bioresource Technology*. 599-605.
- 21) Fridborg G, Pedersén M, Landstörn LE and Erikson T (1978) The Effect of Activated Charcoal on Tissue Cultures: Adsorption of Metabolites Inhibiting Morphogenesis. *Physiologia Plantarum*, 43: 104-106.
- 22) Kader A, Islam MR, Uzzal M, and Joardder H (2011) Fast pyrolysis for better utilization of tamarind seed from renewable energy point of view. *Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering and Renewable Energy 2011*. ICMERE2011-PI-155.
- 23) Khuysangaim S (2001) Lead and mercury removal from textile wastewater by activated carbon from palm shell and coconut shell [Master Thesis]. Bangkok: Chulalongkorn University. (In Thai).
- 24) Li WG, Gong XJ, Li X, Zhang DY, Gong HN (2012) Removal of Cr(VI) from low temperature micro-polluted surface water by tannic acid immobilized powdered activated carbon. *Bioresour. Technol*, 113:106-113.
- 25) Maisuthisakul P, Pasuk S, and Ritthiruangdej P (2007) Relationship between antioxidant properties and chemical composition of some Thai plants. *J Food Comp Anal*, 21, 229-240.
- 26) McKay, G., Blair, H.S. and Gardner, J., 1983, "The Adsorption of Dyes in Chitin Intraparticle Diffusion Process," *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 28, pp.1767-1778.
- 27) Munusamy K, Somani RS, and Bajaj HC (2011) Tamarind seeds carbon: preparation and methane uptake. *BioResources*, 6(1): 537-551.

- 28) North J, Ndakidemi P, and Laubscher C (2012) Effects of Antioxidants, Plant Growth Regulators and Wounding on Phenolic Compound Excretion during Micropropagation of *Strelitzia Reginae*. *International Journal of Physical Sciences*, 7: 638-646.
- 29) Punsuwan N, Tangsathitkulchai C, Tangsathitkulchai M. Chemically activated carbon from bagasse and the removal of chromium from aqueous solution with activated carbon. *Suranaree J. Sci. Technol.* 2006; 13(2): 143-158. (In Thai)
- 30) Raimondi L, Lodovici M, Guglielmi F et al. (2003) The polysaccharides from *Tamarindus indica* protects cultured corneal-derived cells (SIR cells) from ultraviolet rays *J Pharm Pharmacol* 55,3: 333-8
- 31) Sanuel, D.F. and Osman, M.A., 1987, *Adsorption Processes for Water Treatment*, Butterworths Publishers, USA., pp. 14-20.
- 32) Sheelavantmath SS, Murthy HN, Pyati AN, Ashok Kumar HG, and Ravishankar BV (2000) *In vitro* propagation of the endangered orchid, *Geodorum densiflorum* (Lam.) Schltr. Through rhizome section culture. *Plant Cell Tissue Organ Cult*, 60:151-4.
- 33) Shi Q, Zhang J, Zhang C, Li C, Zhang B, Hu W, Xu J, Zhao R. Preparation of activated carbon from cattail and its application for dyes removal. *Journal of Environmental Sciences* 2010;22(1): 91-97.
- 34) Thomas TD (2008) The Role of Activated Charcoal in Plant Tissue Culture. *Biotechnology Advances*, 26; 618-631.
- 35) Watt JM, Breyer-Brandwijk MG (1962) *The Medicinal and Poisonous Plants of Southern and Eastern Africa*. 2nd edition. Edinburgh and London, E&S Livingstone.
- 36) Zhang BH, Liu F, Yao CB. (2000) Plant regeneration via somatic embryogenesis in cotton. *Plant Cell Tissue Organ Cult*, 60:89-94.

ภาคผนวก ก

1) การเตรียมถ่านและถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม



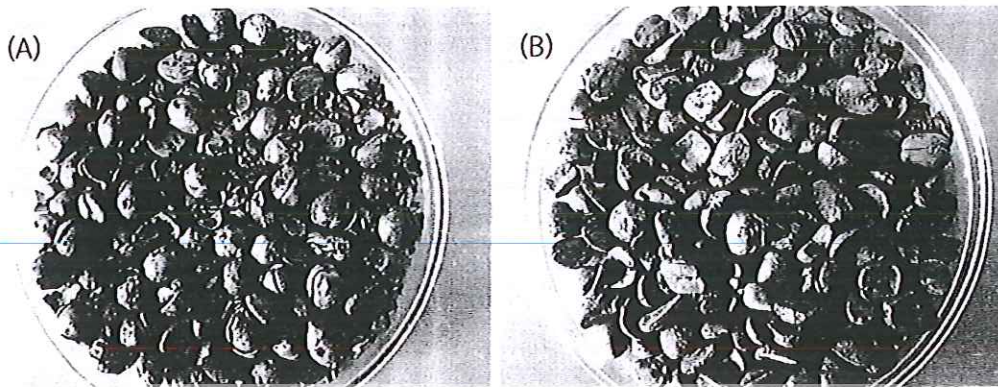
รูปที่ ก1 เมล็ดมะขามที่ไม่ได้แกะเปลือก



รูปที่ ก2 เมล็ดมะขามที่แกะเปลือกแล้ว



รูปที่ ก3 หม้อดินเผาแบบมีฝาปิด (ก) และการเผาเมล็ดมะขามโดยเตาแก๊สปรับแรงดันได้ (ข)



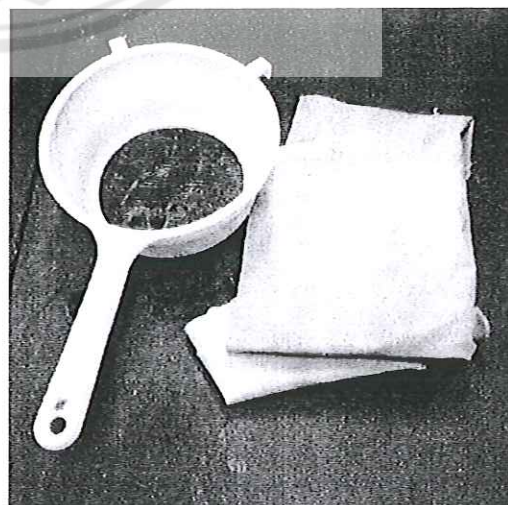
รูปที่ ก4 ถ่านจากเมล็ดมะขามที่ไม่เอาเปลือกออก (A) และถ่านจากเมล็ดมะขามที่เอาเปลือกออก (B)



รูปที่ ก5 ถ่านจากเมล็ดมะขามที่เผาโดยการเปิดฝา (A) และเผาแบบปิดฝา (B)



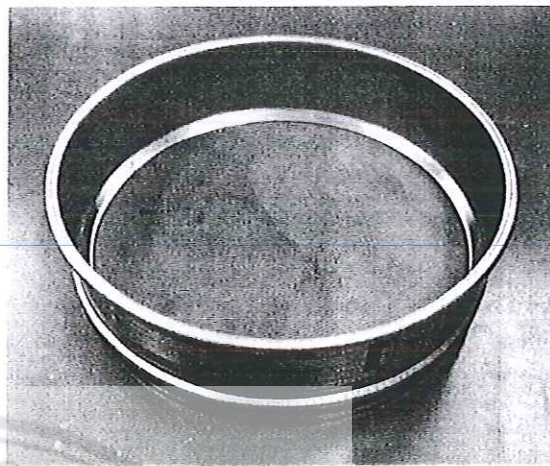
รูปที่ ก6 ครกหิน



รูปที่ ก7 ผ้าขาวบางและตะแกรง



รูปที่ 8 ตะแกรงร่อนขนาด 2 mm



รูปที่ 9ก ตะแกรงร่อนขนาด 250 μm



ภาคผนวก ข

1) วิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ ตามมาตรฐาน ASTM D4607-86 1.1) การเตรียมสารละลาย

1.1.1) สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 % โดยปริมาตร ปริมาตร 500 mL

ปิเปตสารละลาย HCl มา 67.7 mL จาก conc. HCl (ความเข้มข้นประมาณ 37 %) ใส่ในขวด ปริมาตร 67.6 mL ที่มีน้ำกลั่นอยู่ 200 mL แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 500 mL

1.1.2) สารละลายไอโอดีน (I_2) ความเข้มข้น 0.100 N

ชั่งไอโอดีน 12.70 g และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 19.10 g ผสม ให้เข้ากันในสภาพที่เป็นของแข็ง เติมน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อย แล้วคนให้เข้ากัน จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไป คนสารละลายด้วยแท่งแก้วตลอดเวลา เป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าไอโอดีนละลายหมดปรับด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ 1,000 mL แล้วจึงเทสารลงในขวดสีชา

1.1.3) สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.100 N

ชั่งโซเดียมไฮโอซัลเฟต 24.82 g แล้วเติมน้ำกลั่นที่เดือดปริมาตร 75 ± 25 mL คนให้สารละลาย ปรับด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ 1,000 mL แล้วจึงเทสารละลายในขวดสีชา และเก็บไว้อย่างน้อย 4 วัน ก่อนนำมาใช้

1.1.4) สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตความเข้มข้น 0.100 N

อบโพแทสเซียมไอโอเดตประมาณ 4 g ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บไว้ใน โถดูดความชื้น แล้วชั่งโพแทสเซียมไอโอเดต 3.5667 g มาละลายด้วยน้ำกลั่น 100 mL แล้วปรับด้วยน้ำ กลั่นให้ปริมาตรครบ 1,000 mL เก็บสารละลายในขวดสีชา

1.1.5) สารละลายน้ำแป้ง

ชั่งแป้ง 1 g ผสมกับน้ำกลั่น 25 mL คนตลอดเวลา จากนั้นเทสารลงในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดใหม่ ๆ ปริมาตร 1,000 mL ต้มต่อไปอีก 4-5 นาทีหรือจนใส ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเก็บใส่ขวด (น้ำแป้งควรเตรียมใหม่ทุกครั้ง ที่ทำการทดลอง)

2) การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย

2.1) การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต

ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตความเข้มข้น 0.10 N 25 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2.0 g ลงไป เขย่าให้ละลาย เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 mL ลงไปในขวดรูปชมพู่เขย่าให้เข้ากัน เติมน้ำแป้งลงไป 2-3 หยด จากนั้นไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วย สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตโดยไทเทรตจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี ทำการ ไทเทรตซ้ำอีก 2 ครั้ง

2.2) การคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮโอซัลเฟต

สูตรการคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต

$$N_1 = \frac{N_2 V_2}{V_1}$$

- เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (N)
 V_1 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (mL)
 N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (N)
 V_2 = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (mL)

2.3) การหาความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีขาวอ่อน เติมน้ำแบ่ง 2-3 หยด ไทเทรตต่อจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี ทำการไทเทรตซ้ำอีก 2 ครั้ง

2.4) การคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน

สูตรการคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน

$$N_3 = \frac{N_1 V_1}{V_2}$$

- เมื่อ N_3 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (N)
 V_3 = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไทเทรต (mL)
 N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (N)
 V_1 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (mL)

3) การวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน

อบถ่านที่อุณหภูมิ 110 – 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักถ่านตัวอย่าง 0.500 ± 0.050 g บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนของถ่านตัวอย่างให้ละเอียดถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 250 mL ที่มีฝาปิด เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5% โดยปริมาตร 5 mL ปิดจุกขวดให้เข้ากัน เพื่อให้ถ่านกัมมันต์ทุกส่วนชุ่มด้วยสารละลาย เปิดจุกต้มในตู้ดูดควันให้เดือด 30 วินาที เพื่อกำจัดเถ้าและซัลเฟอร์ออกจากผิวถ่านกัมมันต์ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในอุณหภูมิห้อง

ปิเปตสารละลายไอโอดีนที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้วปริมาตร 50 mL ปิดจุกอย่างรวดเร็ว แล้วเขย่าแรง ๆ เป็นเวลา 30 วินาที กรองแยกถ่านกัมมันต์จากสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรก จนกระทั่งกระดาษกรองอิ่มตัวด้วยสารละลาย จากนั้นปิเปตสารละลายมา 20 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้วจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีขาวอ่อน เติมน้ำแบ่ง 2-3 หยด ไทเทรตต่อจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ทำการทดลองซ้ำโดยเพิ่มน้ำหนักถ่านครั้งละ 0.500 g เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีน

สูตรการคำนวณหาความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีนได้จาก (C)

$$C = \frac{N_3 V_1}{50}$$

สูตรการคำนวณปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านตัวอย่างได้จาก X/M

- เมื่อ X/M = ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านตัวอย่าง (mg/g)

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (N)

N_3 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (N)

A = น้ำหนักทั้งหมดของไอโอดีนในสารละลายเริ่มต้น ($N_2 \times 12693.0$)(mg)

B = น้ำหนักของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาสมมูลพอดีกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
1 mL ($N_1 \times 126.39$) (mg)

C = ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีน (N)

W = น้ำหนักของถ่านที่ใช้ (g)

V_1 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (mL)

4) การคำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซับ (% Adsorption)

$$\% \text{Adsorption} = \frac{\text{ความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ} \times 100}{\text{ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ}}$$

$$\text{ความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ} = \text{ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ} - \text{ความเข้มข้นหลังการดูดซับ}$$



Out put ที่ได้จากโครงการ

- 1) ได้วิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์ โดยการกระตุ้นด้วยสารละลาย ZnCl_2
- 2) ได้ถ่านกัมมันต์ที่สามารถนำไปใช้ในขบวนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 3) บทความสำหรับการเผยแพร่

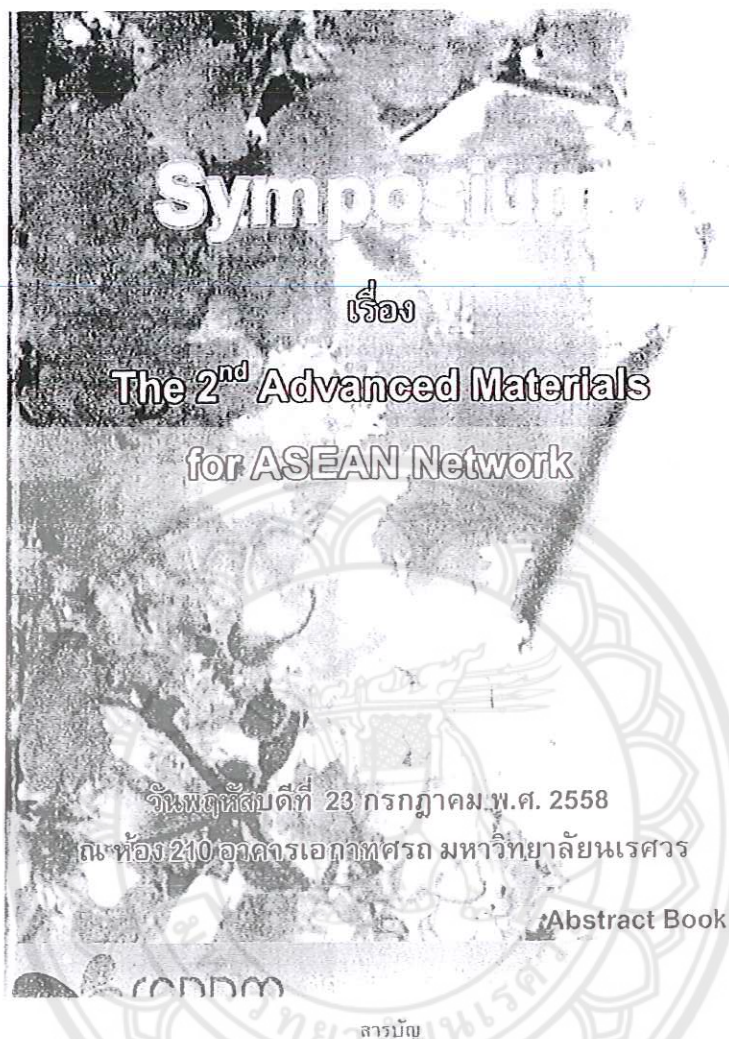
1.1 การตีพิมพ์ในวารสารระดับประเทศ: อยู่ระหว่างการเตรียม

1.2 เผยแพร่ผลงานวิจัยโดยการนำเสนอด้วยโปสเตอร์ในที่ประชุมวิชาการที่มีการตีพิมพ์เฉพาะ

Abstract 1 เรื่อง

- นำเสนอใน “Symposium” ที่ร่วมกับการประชุมวิชาการ “นเรศวรวิจัยครั้งที่ 12”
เรื่อง The 2nd Advanced Materials for ASEAN Network
- หัวข้อที่นำเสนอ “การพัฒนาวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขามสำหรับใช้เป็นวัสดุ
เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของกล้วยน้ำว้าในหลอดทดลอง”





รายชื่อผู้นำเสนอผลงาน	หน้า
Professor Dr. Kailo Takahashi	6
ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว	8
ดร.วิกร ปัญญาอินทร์	10
รองศาสตราจารย์ ดร. ปริญญา มาลสวัสดิ์	11
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภิตรา ประทุมชาติ	13
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวิทย์ กิระวิทยา	15
ดร.อุทัย วิชัย	16
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุทธพงษ์ อุดมแน่น	17
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภารัตน์ เชื้อขาว ชัยสิทธิ์	19
ดร. อเนสรณ์ วรสิงห์	21
รองศาสตราจารย์ ดร. รัตนา สันเมือง	27
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศจี สุวรรณศรี	29
ดร.จุฑาทิพย์ นมะกุล	31
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นายแพทย์ประทีป วรณิสสร	33
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัมพร เวียงมูล	35



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธพงษ์ อุดนันทน์
(Assistant Prof. Yuthapong Udnan, Ph.D)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail address: yuthapong@agru.ac.th
เบอร์โทรศัพท์ 055-963440

การพัฒนาวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม สำหรับใช้เป็นวัสดุเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วย
กล้วยน้ำว้าในหลอดทดลอง
ยุทธพงษ์ อุดนันทน์ และ กวี สุธิพันธุ์**

Development of method for activated carbon produced from tamarind seed and its application
for

shoot regeneration of banana (Musa spp cv.Kluai Namwa) in vitro culture
Yuthapong Udnan* and Kawee Supphit**

*ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดพิษณุโลก

Department of Chemistry, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok 65000

**ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดพิษณุโลก

Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture, Naresuan University, Phitsanulok 65000

*Corresponding Author: E-mail address: yuthapong@agru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม โดยศึกษาปริมาณตัวกระตุ้นและของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น ได้แก่ H_3PO_4 , KOH และ $ZnCl_2$ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย KOH และ $ZnCl_2$ ให้ร้อยละของการดูดซับสารประกอบฟีนอลิกดีที่สุด แต่เพื่อลดปริมาณการใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย มีความเข้มข้นสูงจึงใช้ $ZnCl_2$ เป็นสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น ความเข้มข้นของสารละลาย $ZnCl_2$ ที่เหมาะสมสำหรับการกระตุ้นเท่ากับ 0.5 M และอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเผาถ่านเท่ากับ $900^\circ C$ ได้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมใช้ในกระบวนการใช้เพื่อลดการสะสมฟีนอลิกในเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้าในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้า พบว่า สามารถลดการสะสมสารประกอบฟีนอลิกในเนื้อเยื่อของกล้วยน้ำว้า ได้ดีกว่าในหลอดอาหารที่เลี้ยงบนถ่านมาตรฐาน

คำสำคัญ: เมล็ดมะขาม, ถ่านกัมมันต์, การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยน้ำว้า, สารประกอบฟีนอลิก

Abstract

In this work, the method for preparation of activated carbon from tamarind seed were studied. The chemicals used for activation such as H_3PO_4 , KOH and $ZnCl_2$ were compared. It was found that the activated carbons which were activated with KOH and $ZnCl_2$ gave the best percentage adsorption of phenolic compound. However to avoid using high concentration of base, $ZnCl_2$ was selected as the best activated reagent. The suitable concentration of $ZnCl_2$ was 0.5 M and the optimum temperature for activation was $900^\circ C$. The prepared activated carbon was applied for shoot regeneration of banana (Musa spp cv.Kluai Namwa) in vitro culture. It was found that it can reduce the accumulation of phenolic compound in banana tissue better than that commercial activated carbon.

Keywords tamarind seed, activated carbon, shoot regeneration of banana, phenolic compound