การสังเคราะห์ไฮโดรเจลของเพคตินจากผลข้าวปั้นพระฤาษีสำหรับการปลดปล่อยปุ๋ยไนโตรเจน

The Synthesis of Hydrogel from Canthium Parvifolium Roxb.'s Pection for Nitrogen Fertilizer Releasing

วลีพรรณ รกิติกุล[1]

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการสังเคราะห์ไฮโดรเจลของเพคติน (Pc) ที่สกัดได้จากผลข้าวปั้นพระฤาษีและพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:0.2 1:0.4 1:0.6 1:0.8 กับ 1:1 ซึ่งมีกลูตารัลดีไฮด์ (GA) เป็นสารเชื่อมขวาง ในการทดสอบความสามารถในการดูดซับของเหลวของไฮโดรเจล พบว่าไฮโดรเจลมีการดูดซับน้ำได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับจนถึงชั่วโมงที่ 8 จากการศึกษาการดูดซับปริมาณไนโตรเจนโดยเทคนิคเคลดาห์ลของไฮโดรเจลที่เตรียมจากอัตราส่วน PC : PVP ในอัตราส่วนโดยมวล 1:0.8 และ 1:1 มีค่า ปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 61.59 และ 53.35 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการทดสอบผสมไฮโดรเจลลงในดินเป็นเวลา 14 วัน พบว่ามีค่า ปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 22.57 และ 4.11 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อบรรจุไฮโดรเจลลงในถุงชาและนำลงดินเป็นเวลา 14 วัน พบว่าปริมาณไนโตรเจนในดินมีค่า 5.13 และ 4.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ: ข้าวปั้นพระฤาษี เพคติน Polyvinylpyrrolidone ปุ๋ยไนโตรเจน ไฮโดรเจล

ABSTRACT

In this research investigation, the researchers synthesized hydrogel of pection (Pc) extracted from Canthium parvifolium Roxb and Polyvinylpyrolidone (PVP) in the ratio of 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:08, and 1:1 using glutaraldehyde (GA) as a cross linker. The test of the free absorption capacity of hydrogel found that hydrogel absorbed water more when the absorption time was increased to the eighth hour. The study of nitrogen absorption using the Kjeldahl technique of hydrogel prepared at the ratio of PC:PVP in the ratios of 1:0.8 and 1:1 found the amount of nitrogen to be 61.59 and 53.35 percent. The test of mixing hydrogel in soil for fourteen days found the amount of nitrogen to be 22.57 and 4.11 percent. When hydrogel was mixed in tea bags and put in soil for fourteen days, it was found that the amount of nitrogen was 5.13 and 4.12 percent, respectively.

Keywords: canthium parvifolium Roxb, hydrogel, nitrogen fertilizer, pection, polyvinylpyrrolidone

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

บทนำ

ข้าวปั้นพระฤาษีเป็นพืชป่า ซึ่งชาวบ้านจะนำผลข้าวปั้นพระฤาษีมาเผาไฟรับประทานแก้หิวในเวลาเดินป่า เพื่อทดแทนอาหารในการดำรงชีวิต ข้าวปั้นพระฤาษี (*Canthium parvifolium* Roxb.) เป็นพืชพื้นบ้านที่ขึ้นตามที่ราบหุบเขาเป็นไม้ต้นขนาดเล็กต้นและกิ่งมีหนามปกคลุม ผลมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-4 เซนติเมตร ผิวสีเขียวอ่อนเรียบ (วาทิตย์, 2548) ซึ่งในผลของข้าวปั้นพระฤาษีมีสารประกอบสำคัญอยู่ 2 อย่าง คือ ไฮโดรคอลลอยและเพคตินที่อยู่ในรูปแคลเซียมเพคติน ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถนำมาผลิตเพคตินเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไฮโดรเจลต่อไป

เพคตินเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่ม เพคตินมีคุณสมบัติพิเศษหลายอย่างที่ช่วยให้สามารถนำมาใช้เป็นเมทริกซ์สำหรับการดักจับ และการนำส่งโปรตีน และเซลล์ต่างๆ นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Yoshimura et al. (2005) กล่าวว่าเพคตินเชื่อมต่อกับพอลิเมอร์อื่นสามารถสร้างไฮโดรเจลที่สามารถดูดซับและเก็บรักษาน้ำได้เป็นร้อยๆ เท่าของน้ำหนัก และเป็นที่รู้จักกันในชื่อ Superabsorbents

ไฮโดรเจล (Hydrogel) เป็นพอลิเมอร์แบบโครงร่างตาข่าย (Network) ที่มีความสามารถในการกักเก็บของเหลวไว้ในตัวเอง โดยเมื่อดูดซับน้ำแล้วโครงสร้างร่างแหสามมิติของไฮโดรเจลจะไม่ละลายน้ำแต่จะบวมพอง และสามารถคงรูปร่างเดิมไว้ได้ จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้มีการนำไฮโดรเจลไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ในทางการแพทย์มีการใช้ไฮโดรเจลเป็นแผ่นปิดแผล หรือเป็นวัสดุทดแทนผิวหนังชั่วคราว ในทางเภสัชศาสตร์มีการใช้ไฮโดรเจลเป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อยตัวยา นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้ในด้านการเกษตร เพื่อเป็นวัสดุอุ้มน้ำในดิน ลดการระเหย และสูญเสียน้ำจากดิน ช่วยให้ดินมีความชุ่มชื้น และยังสามารถใช้แทนดินเพื่อเป็นแหล่งในการกักเก็บ และควบคุมการปลดปล่อยน้ำ และธาตุอาหารให้แก่พืชในการปลูกพืชไร้ดินได้อีกด้วย วัสดุที่ใช้ในการสังเคราะห์ไฮโดรเจลอาจเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic Polymer) จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีหรือพอลิเมอร์จากธรรมชาติ (Natural Polymer) ซึ่งการใช้พอลิเมอร์จากธรรมชาติมีข้อดีคือไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และสิ่งมีชีวิต ทั้งยังสามารถย่อยสลายเองตามธรรมชาติ และไม่เป็นพิษเมื่อเกิดการย่อยสลายแล้ว พอลิเมอร์จากธรรมชาติที่นำมาใช้สังเคราะห์ไฮโดรเจล เช่นโปรตีน เซลลูโลส ไคโตซาน กัม แป้ง และเพคติน เป็นต้น

จากงานวิจัยของณิชากรณ์ (2560) ได้ศึกษาความคุ้มทุนของเพคตินที่สกัดได้จากผลข้าวปั้นพระฤาษี เทียบกับเพคตินทางการค้า โดยทำการสกัดด้วยวิธีของ ชวนิฏฐ์ (2548) จากผลการทดลองพบว่าปริมาณเพคตินที่สกัดได้ (% Yield Crude Extract) มีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 38.20% และในงานของ Rakesh et al. (2008) ได้ผลิตไฮโดรเจลจาก PC และ PVP โดยมีอัตราส่วนของ PC:PVP (1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8 และ 1:1 w/w) ศึกษาคุณสมบัติและทดสอบด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น FTIR (Fourier transform infrared) Spectroscopy, X-ray Diffraction (XRD), Differential (DSC) การทดสอบความทนแรงดึง และการสแกนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รูปแบบการปลดปล่อยยา (Salicylic acid) โดยทดสอบที่ pH ต่างๆ (pH 1.4, pH 7.4 และน้ำกลั่น) และตัวอย่างถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Spectrophotometrically ที่ความยาวคลื่น 294 นาโนเมตรบนเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ UV-VIS Spectrophotometer ทำการทดสอบ MTT assay เพื่อให้แน่ใจความเข้ากันได้ของเอนไซม์ PC/PVP hydrogel membranes โดยใช้เซลล์มะเร็ง melanoma B16 และจากการศึกษา Differential Scanning Calorimetry (DSC) แสดงให้เห็นการเพิ่ม Tg ของไฮโดรเจลหลังจากผสมกับ PVP พบว่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในงานวิจัยของปฐมา และคณะ, (2556) ได้ศึกษาการผลิตไฮโดรเจลจากแป้งข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่างๆโดยการนำไฮโดรเจลไปทดสอบคุณสมบัติอยู่หลายอย่างเช่น ทดสอบปริมาณเจล มีค่า 54-85% ทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำที่สภาวะอิสระโดยการแช่ในน้ำกลั่น ในน้ำเกลือ และ pH ต่างๆ พบว่าเมื่อ pH $\geq$ 5 ไฮโดรเจลมีการดูดซับ

น้ำได้ในปริมาณที่มากขึ้น และทดสอบอัตราการดูดซับน้ำของไฮโดรเจลผลที่ได้ค่อนข้างดี Lawal et al. (2009) ได้ศึกษาการเตรียมไฮโดรเจลจากแป้งมันสำปะหลังโดยการดัดแปรแป้งด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิเลชันตามด้วยวิธีการเชื่อมข้ามด้วยกรด di-carboxylic หรือ polycarboxylic ได้แก่ กรด suberic glutaric primelic และ butanetetracarboxylic ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคแล้วทำการวิเคราะห์โครงสร้าง และสมบัติของไฮโดรเจลที่ได้ โดยพบว่ากรด di-carboxylic ซึ่งประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล 2 หมู่มีประสิทธิภาพในการเชื่อมข้ามมากกว่ากรด polycarboxylic ส่งผลให้ไฮโดรเจลมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง และมีโครงสร้างที่แข็งแรงกว่า โดยความสามารถในการอุ้มน้ำของไฮโดรเจลนั้นขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นของเกลือในสารละลาย ไฮโดรเจลที่เตรียมได้สามารถดูดซับของเหลว และพองตัวอย่างอิสระได้เต็มที่ภายในเวลา 1 ชั่วโมง โดยสามารถดูดซับน้ำ และน้ำเกลือภายใต้สภาวะอิสระได้ 50-80 และ 40-70 เท่าของน้ำหนักเจลแห้ง และงานวิจัยของ Rakesh et al. (2008) ทำการสังเคราะห์ไฮโดรเจลจากเพคตินที่มีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำที่ pH ต่าง ๆ มีค่าการดูดซับน้ำ 40-80% โดยไฮโดรเจลนี้ประยุกต์ใช้ในการเป็นวัสดุนำส่งยาหรือปลดปล่อยตัวยาได้ คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ไฮโดรเจลมีแนวโน้มในการใช้งานที่แตกต่างกัน

งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเกี่ยวกับการสังเคราะห์ไฮโดรเจลที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้จาก pectin (Pc) ของผลข้าวปั้นพระฤาษีและพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) โดยมีกลูตารัลดีไฮด์ (GA) เป็นสารเชื่อมขวางในการเกิดไฮโดรเจลและศึกษาสมบัติของไฮโดรเจล

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การสังเคราะห์ไฮโดรเจลจากเพคตินของผลข้าวปั้นพระฤาษี

ละลาย PC ที่สกัดได้จากผลข้าวปั้นพระฤาษีที่สกัดตามวิธีการของ Rakitikul (2018) ในน้ำกลั่น 10% w/v ปริมาตร 50 ml แล้วนำสารละลาย PC ที่เตรียมไว้มาละลายกับ PVP โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ PC ต่อ PVP เป็น 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8 และ 1:1 ปั่นกวนอย่างต่อเนื่องเพื่อให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เติมสาร GA reagent (0.2 ml กรดไฮโดรคลอริก + 1 ml GA) เข้ามาทำปฏิกิริยาเชื่อมข้าม พร้อมปั่นกวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาครึ่งชั่วโมง จากนั้นนำสารผสมที่ได้มาวางบนจานเพาะเชื้อเพื่อให้สารผสมแห้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40-45 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปทำปฏิกิริยา Esterification เพื่อให้เกิดพันธะเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุล PVP กับ Pc ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลานำแผ่นไฮโดรเจลแห้งที่ได้มาบดเป็นผงและเก็บใส่ภาชนะบรรจุปิดเพื่อใช้ในการทดสอบสมบัติต่อไป

2. การวิเคราะห์สมบัติของไฮโดรจากเจลเพคตินของผลข้าวปั้นพระฤาษี

2.1 ปริมาณโครงสร้างเจล (Gel Fraction)

ทำการวิเคราะห์ปริมาณโครงสร้างเจลที่เกิดในไฮโดรเจลตามวิธีของ Byun และคณะ (2008) โดยนำไฮโดรเจลแห้ง 0.2 g แช่ในน้ำกลั่นปริมาตร 150 ml ที่อุณหภูมิห้อง เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร (shaker) ที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อละลายส่วนที่ไม่เกิดพันธะเชื่อมข้าม หลังจากนั้นกรองแยกส่วนที่ไม่ละลายน้ำ นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณ Gel Fraction จากสมการ

$$\text{Gel fraction (\%)} = (W_d/W_i) \times 100$$

โดย W_d หมายถึง น้ำหนักแห้งของส่วนที่ไม่ละลายน้ำหลังจากแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง W_i หมายถึง น้ำหนักเริ่มต้นของไฮโดรเจลแห้งก่อนแช่ในน้ำกลั่น

2.2 ความสามารถในการดูดซับของเหลวภายใต้สภาวะอิสระ (Free-absorption Capacity)

ทำการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับของเหลวภายใต้สภาวะอิสระของไฮโดรเจล ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Lawal et al. (2009) โดยทำการทดสอบกับของเหลว คือ น้ำกลั่น โดยชั่งน้ำหนักผงไฮโดรเจลแห้ง (~0.1 g) ใส่ในถุงชาแล้วนำไปแช่ในของเหลวที่ต้องการทดสอบปริมาตร 250 mL

ที่อุณหภูมิห้อง แล้วทำการชั่งน้ำหนักของไฮโดรเจลที่พองตัวตามระยะเวลาต่างๆ คำนวณค่าความสามารถในการดูดซับของเหลวภายใต้สภาวะอิสระของไฮโดรเจลจากสมการ

$$\text{Free absorption capacity} = \frac{W_s - W_d}{W_d}$$

โดย W_s หมายถึง น้ำหนักของไฮโดรเจลที่พองตัว ณ เวลา t ที่แช่ในของเหลวที่ทำการทดสอบ (หลังหักน้ำหนักของถุงชาเปียกแล้ว)

W_d หมายถึง น้ำหนักแห้งของไฮโดรเจลก่อนแช่ในน้ำกลั่น

3 การทดสอบการปลดปล่อยปุ๋ยไนโตรเจน

3.1 การเตรียมสารละลายปุ๋ยไนโตรเจน

ชั่งปุ๋ยไนโตรเจน 1.00 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 100 mL คนจนปุ๋ยละลาย ตั้งทิ้งไว้เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบต่อไป

3.2 การทดสอบการปลดปล่อยไนโตรเจนในดิน

1. ชั่งไฮโดรเจลที่บดเป็นผงแต่ละตัวอย่าง 2.00 กรัม ใส่ลงในสารละลาย ปุ๋ยไนโตรเจนปริมาตร 20 mL คนให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ให้ไฮโดรเจลทำการดูดซับสารละลาย ปุ๋ยไนโตรเจนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปเทลงในจานเพาะเชื้อและนำไปอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40-48 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไฮโดรเจลที่ได้มาบดและเก็บไว้ทำการทดสอบต่อไป

2. นำผงไฮโดรเจลที่ทำการแช่ปุ๋ยไนโตรเจนผสมกับดินที่เตรียมไว้ ซึ่งดินที่นำมาทดสอบเป็นดินร่วนปนทราย โดยชั่งดินใส่ในถุงเพาะชำปริมาตร 200 กรัม ผสมกับผงไฮโดรเจลที่แช่ปุ๋ยจำนวน 2 ตัวอย่าง ได้แก่ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ Pc:PVP 1:0.8 กับ 1:1 ตัวอย่างละ 3 ถุง ทำการรดน้ำดินทุกวันโดยให้ไฮโดรเจลอยู่ในดินเป็นเวลา 14 วัน หลังจากครบเวลาที่กำหนดแล้วนำดินมาทดสอบต่อไป

3. นำผงไฮโดรเจลที่ทำการแช่ปุ๋ยไนโตรเจนใส่ลงในถุงชาปิดปากถุงแล้วนำไปใส่ลงในดิน ได้แก่ อัตราส่วนของ PC:PVP 1:0.8 กับ 1:1 ตัวอย่างละ 3 ถุง เป็นเวลา 14 วันโดยทำการรดน้ำดินทุกวัน เมื่อครบกำหนดแล้วนำดินมาทำการทดสอบด้วยวิธีคเจดาห์ลซึ่งเป็นการย่อยดินด้วยกรดซัลฟิวริกและไตเตรทกลับกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

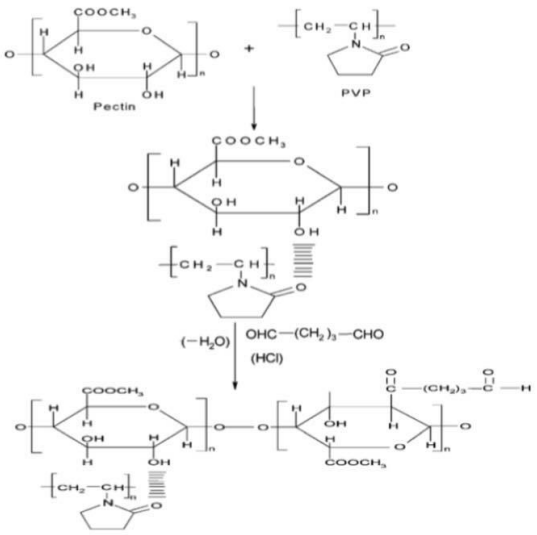
ผลการวิจัย

1. การสังเคราะห์ไฮโดรเจล

การผลิตไฮโดรเจลของเพคตินจากผลข้าวปั้นพระฤาษีภายใต้งานวิจัยนี้ประกอบด้วย กลไกการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้าม ของ PVP กับโมเลกุลของ PC แสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งอธิบายได้ว่าในโมเลกุลของ PVP มีหมู่คาร์บอกซิล (–OH) และหมู่คาร์บอนิล (–C=O) เมื่อมีการให้ความร้อนกับ PVP จะเกิดปฏิกิริยา Dehydration ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล มีการปลดปล่อยน้ำ ทำให้เกิดเป็นสาร Citric acid anhydride หมู่ Anhydride ที่เกิดขึ้นนี้สามารถเกิดปฏิกิริยา Esterification กับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุล PC ได้ หลังจากสร้างพันธะเอสเทอร์กับโมเลกุล PC แล้วจะให้หมู่คาร์บอกซิลอิสระกลับคืนมา ทำให้ PVP ที่เชื่อมอยู่กับโมเลกุลเพคตินมีหมู่คาร์บอกซิลอิสระเหลืออยู่ ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยา Dehydration (มีการสูญเสียน้ำ 1 โมเลกุล) และเกิดเป็น citric acid anhydride อีกครั้ง หมู่ Anhydride ที่เกิดขึ้นใหม่นี้สามารถเกิดปฏิกิริยา Esterification กับหมู่ไฮดรอกซิลของ PC อีกโมเลกุลหนึ่ง ทำให้เกิดพันธะเชื่อมข้าม ระหว่างโมเลกุล PC พันธะเชื่อมข้ามที่เกิดขึ้นนี้ทำให้เกิดโครงสร้างร่างแห 3 มิติ เกิดเป็นโครงสร้างของไฮโดรเจลที่ไม่ละลายน้ำที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของไฮโดรเจลแสดงดังภาพที่ 1

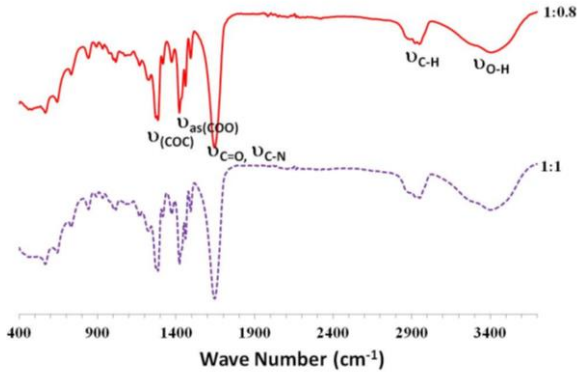
ก่อนแช่น้ำ หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง

ภาพที่ 1 ไฮโดรเจลก่อนแช่และหลังแช่น้ำ



ภาพที่ 2 กลไกปฏิกิริยาในการเตรียม PC/PVP ไฮโดรเจล โดยใช้ GA เป็นตัวเชื่อมข้าม (ที่มา: Rakesh et al.2008)

จากภาพที่ 3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ FT-IR ของ Pc/PVP ไฮโดรเจลที่อัตราส่วน 1:1 และ 1:0.8 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ชัดเจนที่ 3,404, 2,949 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการยืดตัวของพันธะ OH และ CH สำหรับพีคที่ 1,460 และ 1,372 cm^{-1} แสดงถึงการสั่นของ $\nu_{as(coo)}$ และ $\nu_{(coc)}$ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบพีคที่ตำแหน่ง 1,646 cm^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับหมู่ฟังก์ชัน - CO และ –CN

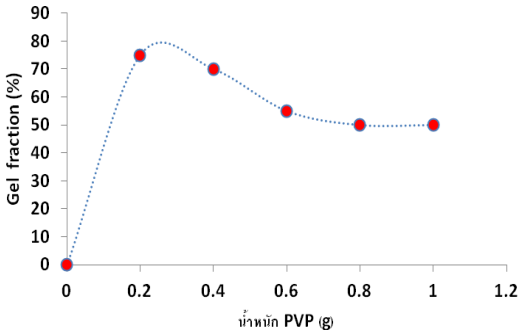


ภาพที่ 3 FT-IR spectrum สำหรับไฮโดรเจลที่สังเคราะห์ได้จากเพคตินของผลข้าวปั้นพระฤาษีและ PVP

2. การวิเคราะห์สมบัติของไฮโดรเจลจากเพคตินของผลข้าวปั้นพระฤาษี

2.1 ปริมาณโครงสร้างเจลที่เกิดในไฮโดรเจลเพคตินจากผลข้าวปั้นพระฤาษี (Gel fraction)

PC ที่ใช้ในการผลิตไฮโดรเจลเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อนำมาทำปฏิกิริยากับ PVP จะทำให้เกิดพันธะเอสเทอร์เชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุล PC ได้เป็นโครงสร้างเจลที่ไม่ละลายน้ำ ภาพที่ 4 แสดงปริมาณโครงสร้างเจล (% Gel fraction) ที่เกิดขึ้นในไฮโดรเจลที่เตรียมจาก PVP และ Pc ในอัตราส่วนโดยมวล PC ต่อ PVP เท่ากับ 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8 และ1:1 จะเห็นว่าปริมาณโครงสร้างเจลที่เติม PVP มีค่ามากกว่ากรณีที่ไม่เติม PVP และปริมาณโครงสร้างเจลมีความสัมพันธ์กับปริมาณของ PVP และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยทั่วไปปริมาณโครงสร้างเจลจะมากขึ้นตามปริมาณของ PVP ที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณจนถึงระดับหนึ่งการเพิ่มปริมาณของ PVP ต่อไปจะมีผลทำให้ปริมาณโครงสร้างเจลของไฮโดรเจลมีค่าลดลงทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณโครงสร้างเจลในช่วงแรกน่าจะมาจากปริมาณ PVP ที่เพิ่มขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับ PC ได้มากขึ้น ทำให้เกิดพันธะเชื่อมข้าม ส่งผลให้โครงสร้างเจลที่ไม่ละลายน้ำเกิดมากขึ้นด้วย จากภาพที่ 4 จะเห็นค่า % Gel fraction สูงสุดที่ 0.2-0.3 โดยน้ำหนัก Pectin อย่างไรก็ดีการที่ค่า % Gel fraction มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของ PVP เกินกว่าระดับหนึ่ง อาจจะเนื่องมาจากมีปริมาณที่มากเกินพอที่ไม่ได้เข้าทำปฏิกิริยากับ PC ที่เหลืออยู่ โดย PVP ส่วนนี้เป็นส่วนที่ละลายน้ำได้ และเนื่องจากการวิเคราะห์ปริมาณโครงสร้างเจลเป็นการตรวจวัดส่วนที่ไม่ละลายน้ำของไฮโดรเจล ดังนั้นเมื่อมี PVP เหลือจากการทำปฏิกิริยาจึงทำให้ค่าร้อยละของส่วนที่ไม่ละลายน้ำของไฮโดรเจลมีค่าลดลงด้วย เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณสมบัติทางกายภาพ คือ สีและความข้นหนืด ในการทดลองนี้จึงเลือกไฮโดรเจลที่มีอัตราส่วน PC: PVP เท่ากับ 1:1 และ 1:0.8 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณโครงสร้างเจลที่คงที่ มีสีน้ำตาลอ่อน และความข้นหนืดไม่มากเกินไป เพื่อทำการศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนในปุ๋ยยูเรีย

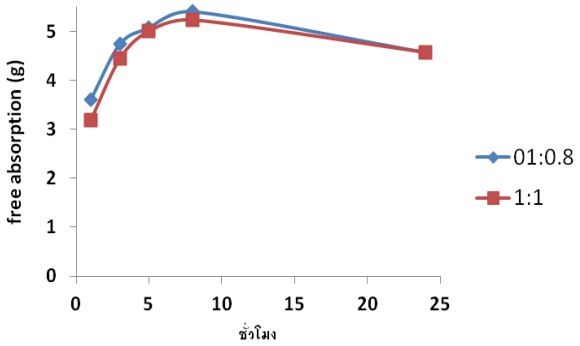


ภาพที่ 4 ปริมาณโครงสร้างเจล (% Gel fraction)

2.2 ความสามารถในการดูดซับของเหลวภายใต้สภาวะอิสระ (Free absorption capacity)

จากภาพที่ 5 พบว่า ค่าความสามารถในการดูดซับของเหลวของไฮโดรเจลเพิ่มมากขึ้นตามเวลาการแช่ที่นานขึ้น แต่ระยะเวลาที่ไฮโดรเจลมีค่าการดูดซับที่มากที่สุดคือเวลาในการแช่น้ำที่ 8 ชั่วโมง

โดยเฉพาะตัวอย่างที่สังเคราะห์โดยใช้ PC ต่อ PVP ในอัตราส่วน 1:0.8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณของ PVP มีผลต่อการดูดซับของเหลวซึ่งการเติม PVP ในปริมาณที่น้อยโครงสร้างของเจลที่เกิดขึ้นยังไม่มีความแข็งแรงมากนักจึงทำให้มีการดูดซับน้ำได้ในปริมาณที่มาก ในขณะที่การเติม PVP ในปริมาณที่มากจะทำให้โครงสร้างเจลมีพันธะเชื่อมข้ามที่ค่อนข้างหนาแน่น โครงสร้างเจลมีความแข็งแรงจึงทำให้ความสามารถในการดูดซับของเหลวลดลง (Kiatkamjornwong et al., 2000)



ภาพที่ 5 การดูดซับของเหลวภายใต้สภาวะอิสระของไฮโดรเจลที่เตรียมจาก PC กับPVP ที่แช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 1-24 ชั่วโมง ของอัตราส่วน PC ต่อ PVP 1:0.8 และ 1:1 w/w

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในดินที่มีไฮโดรเจลจาก PC กับ PVP ทำการดูดซับปุ๋ยไนโตรเจน

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจน (%)		
	ก่อนการปลดปล่อยไนโตรเจน	ไฮโดรเจลผสมดิน	ไฮโดรเจลผสมดินใส่ถุงชา
ชุดควบคุม (ดินเปล่า)		3.08	3.08
Pc: PVP 1:0.8	61.59	22.57	5.13
Pc : PVP 1: 1	53.35	4.11	4.12

3. การทดสอบการปลดปล่อยปุ๋ยไนโตรเจน

จากตารางที่ 1 การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนของไฮโดรเจลจาก PC กับ PVP ที่ทำการดูดซับปุ๋ยไนโตรเจนชนิดปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) พบว่าไฮโดรเจลที่สังเคราะห์จาก PC:PVP ในอัตราส่วน 1:0.8 มีการดูดซับปุ๋ยไนโตรเจนที่มากกว่าไฮโดรเจลในอัตราส่วนของ PC:PVP ในอัตราส่วน 1:1 โดยมีค่าปริมาณไนโตรเจน เท่ากับ 61.59 และ 53.35 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำไฮโดรเจลที่ทำการดูดซับปุ๋ยลงในดินเป็นเวลา 14 วันโดยทำการรดน้ำทุกวันและนำมาวิเคราะห์หาค่าปริมาณไนโตรเจนในดิน พบว่า ปริมาณไนโตรเจนที่หลงเหลืออยู่ในดิน คือ อัตราส่วนโดยมวลของ PC:PVP ที่ 1:0.8 มีปริมาณไนโตรเจน เท่ากับ 22.57 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากไฮโดรเจลที่โดนน้ำมีการพองตัวได้มากและดูดซับของเหลวไว้ได้มาก ทำให้ค่อยๆปลดปล่อยปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนออกมา ส่วนอัตราส่วนของ PC:PVP ในอัตราส่วน 1:1 มีค่าปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 4.11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเหลือในปริมาณที่น้อย เนื่องจากโครงสร้างของเจลมีความหนาแน่นที่มาก ทำให้โครงสร้างเจลเกิดความแข็งแรง จึงทำให้การปลดปล่อยได้น้อยและปริมาณไนโตรเจนของดินที่มีไฮโดรเจลบรรจุอยู่ในถุงชา เมื่อนำดินมาวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน พบว่า ปริมาณไนโตรเจนที่หลงเหลืออยู่ในดินน้อยคือ อัตราส่วนของ PC:PVP ในอัตราส่วน 1:1 มีค่าปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 4.12 เปอร์เซ็นต์

สรุปและวิจารณ์ผล

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาการสังเคราะห์ไฮโดรเจจาก PC จากผลข้าวปั้นพระฤาษีกับ PVP พบว่าไฮโดรเจลที่สังเคราะห์ขึ้นจาก PC กับ PVP มีลักษณะเหลวหนืด สีน้ำตาลโดยมี GA เป็นสารเชื่อมขวาง มีลักษณะการดูดซับของเหลวภายใต้สภาวะอิสระของไฮโดรเจลมีการดูดซับของเหลวได้มากเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับจนถึง 8 ชั่วโมง ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกดูดซับไว้ในไฮโดรเจลที่เตรียมจากอัตราส่วนของ PC:PVP เท่ากับ 1:0.8 และ 1:1 โดยน้ำหนัก มีปริมาณไนโตรเจน เท่ากับ 61.59 และ 53.35 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไนโตรเจนในดินเมื่อนำไฮโดรเจลจาก PC กับ PVP ผสมกับดินโดยตรงและที่ใส่ถุงชา อัตราส่วนที่มีการปลดปล่อยปุ๋ยไนโตรเจนมากกว่า คือ อัตราส่วนของ PC:PVP ที่อัตราส่วน 1:0.8 ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนที่หลงเหลืออยู่ในดินเท่ากับ 22.57 และ 5.13 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนของไฮโดรเจลที่ดูดซับปุ๋ยไนโตรเจนและปริมาณไนโตรเจนของไฮโดรเจลที่บรรจุลงในถุงชาแล้วนำลงดิน ดินที่มีอัตราส่วน PC:PVP ที่อัตราส่วน 1:0.8 ผสมอยู่ มีปริมาณไนโตรเจนที่มากกว่าอัตราส่วน PC:PVP 1:1 อาจเนื่องมาจากการเพิ่ม PVP ทำให้การดูดซับของเหลวลดลง โดยการเพิ่ม PVP เป็นการเพิ่มความหนาแน่นของพันธะเชื่อมข้ามของไฮโดรเจล ทำให้ไฮโดรเจลมีความแข็งแรงขึ้น จึงทำให้การดูดซับของเหลวมีค่าลดลงและทำให้การปลดปล่อยได้ไม่มาก

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายสำหรับสถานที่ทำวิจัย และศูนย์ความหลากหลายทางชีวภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ภายใต้โครงอนุรักษ์พันธุกรรมพืชการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.) สำหรับทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ชวนิฏฐ์ สิทธิดิลกรัตน์, พิลาณี ไวถนอมสัตย์, จิราพร เชื้อกูลและปริศนา สิริอาชา. 2548. การผลิตเพคตินจากเปลือกและกากผลส้มเหลือทิ้ง. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43: สาขาสัตว์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร (หน้า 469-480). สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสากรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณิชากรณ์ กิ่งก้าน. 2560. รายงานการวิจัยการสกัดและวิเคราะหาปริมาณเพคติน เพื่อศึกษาความคุ้มทุน และการย่อยสลายของเพคตินที่สกัดได้จากผลข้าวปั้นพระฤาษี. โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.

ปฐมา จาตกานนท์, กุลฤดี แสงสีทองและรุ่งทิวา วันสุขศรี. 2556. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์การพัฒนาการผลิตไฮโดรเจลจากแป้งข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่างๆ. กรุงเทพฯ : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : ศูนย์พันธุ์วิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

วาทิตย์ สมุดหอม.2548. รายงานการวิจัยการสกัดเพคตินจากพืชพื้นบ้าน บ้านทุ่งก่อ อำเภอเวียงเชียงรุ้ง จังหวัดเชียงราย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.

Byun, H., and Hong, B. 2008. Swelling Behavior and Drug Release of Poyl(vinyl alcohol) Hydrogel Cross-Linked with Poly(acrylic acid). *Macromolecular Research*.16(3): 189-193.

Kiatkamjornwong, S., Chomsaksakul, W. and Sonsuk, M. 2000. Radiation modification of water absoption of cassava starch by acrylic acid/ acrylamide. *Radiation Phyics and Chemistry*. 59: 413-427.

Lawal, O.S., Storz, J., Storz, H., Lohmann, D., Lechner, D. and Kulicke, W.M. 2009. Hydrogels based on caboxymethyl cassava starch cross-linked whith di-or polymerfunctional carboxylic acid: Synthesis, water absorben behavior and rheological characterization. *European Polymer Journal.* 45: 3399-3408

Rakesh, K. M., Mahesh, D., and Ajit, K. B. 2008. Synthesis and Characterization of Pectin/PVP Hydrogel Membranes for Drug Delivery System. *AAPS PharmSciTech*, Vol. 9(2), 395-403.

Rakitikul, W., and Palee, J. 2018. Botanical Characteristics and Pectin Properties of Canthium parvifolium Roxb. *Current Applied Science and Technology*, Volume 18(3), 156-166.

Yoshimura, T., Sengku, K., and Fujioka, R. 2005. Pectin-based superabsorbent hydrogels crosslinked by some chemicals: synthesis and characterization. *Polymer Bulletin*, Volume 55, 123-129.

.