บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีผลผลิตทางการเกษตรให้บริโภคได้ตลอดปี นอกเหนือจากการผลิตเพื่อบริโภคในประเทศแล้ว ยังมีการผลิตเพื่อการส่งออก สามารถนำเงินตราเข้าประเทศปีละนับหมื่นล้านบาท ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมามีการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตรให้ได้ผลผลิตที่สูงขึ้นส่งผลให้สินค้าการเกษตรโดยเฉพาะผักและผลไม้ได้รับความสนใจจากประเทศผู้บริโภคอื่น ๆ ในโลกอย่างมาก โดยตลาดส่งออกที่สำคัญได้แก่ ฮ่องกง จีน ไต้หวัน อินโดนีเซีย และญี่ปุ่น เป็นต้น จะเห็นได้จากปริมาณการส่งออกสินค้ากลุ่มนี้มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่ งในปี 2543 มีปริมาณการส่งออกสูงขึ้นถึงร้อยละ 8.07 จากปี 2542 คิดเป็นมูลค่ากว่า 3,000 ล้านบาทต่อปี โดยเฉพาะลำไยและมะม่วง อย่างไรก็ตาม อย่างไรก็ตาม ปัญหาการส่งออกผลไม้นับวันก็ยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะเรื่องคุณภาพสินค้า ปัญหาสารตกค้าง ปัญหาด้านสุขอนามัยและสุขอนามัยพืช ซึ่งจะต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไขอย่างเร่งด่วน โดยเฉพาะการส่งออกไปจีนซึ่งเป็นตลาดใหญ่ การผลิตและการควบคุมคุณภาพพร้อมทั้งการสร้างความเชื่อถือให้เป็นที่ยอมรับของประเทศผู้ซื้อเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อสร้างความได้เปรียบทางการค้าและเป็นการผลักดันการส่งออกผลไม้ไทยให้ขยายตัวมากกว่าที่เป็นอยู่ ซึ่งจะสร้างรายได้เข้าประเทศได้อย่างเป็นกอบเป็นกำและยั่งยืนในระยะยาวดังนั้นการวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีด้านการการเกษตรทั้งด้านก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อช่วยลดความเสียหายที่อาจเกิดกับผลผลิต และช่วยยืดอายุผลผลิตให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น ได้มาตรฐานที่นำไปสู่ Food Safety จึงเป็นงานวิจัยที่จะช่วยเพิ่มศักยภาพการแข่งขันเพื่อส่งเสริมการส่งออกสินค้าเกษตรได้ทางหนึ่ง

ข้อดีและจุดเด่นงานวิจัยนี้อยู่ที่การเลือกใช้ ดิน(clay, เคลย์) เกาลินและเบนทอไนต์ที่มีราคาถูก มีแหล่งวัตถุดิบในประเทศที่หาได้ง่ายและ มีจำนวนมาก และที่สำคัญคือปลอดภัยต่อผู้บริโภคแม้จะมีการตกค้างหลังการใช้เนื่องจากเคลย์ไม่ใช่สารเคมีอันตราย ได้จากธรรมชาติ มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และกำจัดออกได้ง่ายโดยการล้างน้ำ ไม่ก่อปัญหาตกค้างในสภาวะแวดล้อม ประกอบกับการการวิจัยเพื่อพัฒนารูปแบบการตรียมฟิล์มบาง และปรับปรุงโครงสร้างดินให้เหมาะสมกับการใช้ เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่วัตถุดิบดังกล่าวได้ ทั้งนี้การพัฒนาเทคโนโลยีการเคลือบผิวผัก ผลไม้ ในงานวิจัยนี้เป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน ไม่ต้องใช้เครื่องมือเฉพาะเป็นพิเศษ จึงมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ คาดว่าจะสามารถแข่งขันได้ทั้งในตลาดการใช้ผลิตภัณฑ์เพื่อการรักษาคุณภาพผลผลิตในการส่งออกและในกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับเกษตรอินทรีย์ ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไม่ใช้สารเคมีใด ๆ ในการเพาะปลูก ทั้งนี้ตลาดด้านผลิตภัณฑ์เพื่อการเกษตรอินทรีย์ยังไปได้อีกมากเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทางด้านนี้ยังมีตัวเลือกน้อย และมีประสิทธิภาพในการใช้ยังไม่ดีเท่าการเพาะปลูกและดูแลโดยใช้สารเคมีทางการเกษตรโดยทั่วไป ดังนั้นโอกาสทางการตลาดยังมีความเป็นไปได้สูง หากสามารถพัฒนาและวิจัยให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพดีพอและต้นทุนที่ไม่สูงเกินไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการศึกษาแนวทางการพัฒนาการเตรียมฟิล์มเคลือบผิวผลผลิตการเกษตรโดยเฉพาะ ในผัก ผลไม้ ด้วยวัสดุผสมไคโตซาน-เคลย์ เพื่อคุณภาพที่ดีของผลผลิตทางการเกษตรต่อไป

ผลิตผลทางการเกษตรกับการส่งออก

ผักและผลไม้ นับเป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญของประเทศไทยทั้งการบริโภคภายในประเทศและการส่งออก ผัก ผลไม้ส่งออกสามารถทำรายได้ให้แก่ประเทศปีหนึ่ง ๆ หลายพันล้านบาทและยังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกปี ซึ่งผลไม้ส่งออกสำคัญของไทยในช่วง 5 ปีที่ผ่านมาแสดงดังตาราง 1

โดยเฉพาะประเทศจีนซึ่งเป็นตลาดส่งออกใกล้บ้านสำคัญประเทศหนึ่งของไทยเรา ที่หากมองโอกาสทางการค้าระหว่างไทย-จีนภายใต้ข้อตกลงเขตการค้าเสรีไทยกับจีนในปี2546ที่ผ่านมาได้บ่งชี้ถึงมูลค่าการส่งออกและนำเข้าสินค้าการเกษตรสำคัญคือ ในปี 2545 ไทยยังได้เปรียบดุลการค้ากับจีนอยู่ที่ตัวเลข 302 ล้านบาท ซึ่งสินค้าการเกษตรส่งออกสำคัญคือ ลำไย ทุเรียน ส้มโอ กล้วยไข่ มังคุด สัปปะรดแห้งและมะละกอ โดยทั้งนี้จีนได้ใช้มาตรการทางด้านสุขอนามัยกับกลุ่มสินค้าทางการเกษตรแทนมาตรการทางภาษีโดยใช้การรวจโรคพืช แมลง และสารตกค้าง สิ่งเจือปนอื่นๆ อย่างเข้มงวดและใช้เวลานาน ทำให้สินค้าเน่าเสีย และการกำหนดให้ต้องมีใบอนุญาติสุขอนามัยและการรับรองฟาร์มจากกรมวิชาการเกษตรแสดงพร้อมการนำเข้า เช่น ทุเรียน และมะม่วง

ตารางที่ 1 แสดงการส่งออกผลไม้ที่สำคัญของประเทศไทย: ไม่ระบุประเทศนำเข้า

ปริมาณ(เมตริกตัน/มูลค่าล้านบาท)

ชนิดผลไม้	**2542**		**2543**		**2544**		**2545**	
	ปริมาณ	**มูลค่า**	**ปริมาณ**	**มูลค่า**	**ปริมาณ**	**มูลค่า**	**ปริมาณ**	**มูลค่า**
ลิ้นจี่	12,496	372.2	12,970	354.2	9,344	224.3	30,035.50	877.28
ลำไย	44,023	1,147.3	98,998	2,042.1	101,306	1,911.0	114,403	1,986.82
เงาะ	5,861	11.9	4,896	85.8	5,931	93.1	3,260	49.98
มังคุด	4,999	1,014.8	12,886	257.7	18,388	408.8	17,687.86	379.64
สับปะรด	1,994	24.5	4,995	67.6	6,471	66.8	6,602	135.26
มะม่วง	16,788	370,968	15,430	385.097	18,315	485.548	16,129	393

ที่มา : กระทรวงพาณิชย์

<u>ปัจจุบันเทคโนโลยีในการผลิตและบรรจุสินค้าผัก ผลไม้สด กระทำได้ในหลายเทคนิค เช่น</u>

1. การใช้สารเคมีช่วยคงคุณภาพหรือช่วยชะลอการสุก โดยหลักการง่ายๆ คือให้สารเคมีไปยับยั้งหรือรบกวนการทำงานของฮอร์โมนเอทิลีนที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดกระบวนการสุกในพืช เช่น การใช้ MCP(methycyclopropene) ในกลุ่มไม้ผลและไม้ดอก เป็นต้น

2. การควบคุมปริมาณความชื้นและค่า water activity ในผักผลไม้โดยการควบคุมสภาวะอุณหภูมิ ความชื้น ระหว่างขนส่งเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษา

3. การฉายรังสีลงบนผัก ผลไม้ที่เพิ่งเก็บเกี่ยวใหม่ๆ เพื่อลดจำนวนแบคทีเรีย (Escherichia coli) ที่ทำให้เน่าเสีย แต่ยังมีผลข้างเคียงที่ตามมาคือ พบว่าผักผลไม้หลายชนิดทนรังสีได้ต่ำทำให้เกิดตำหนิที่ผิวได้ง่าย

4. การใช้พอลิเมอร์รักษาสภาพระหว่างขนส่ง โดยการใช้พอลิเมอรเจลที่อุ้มน้ำได้ดีแช่แข็งและบรรจุไปพร้อมกับบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิทสามารถรักาสภาพความสดได้ถึงปลายทาง โดยถึงแม้น้ำแข็งละลายเป็นน้ำก้ไม่ไหลเปียกผัก ผลไม้ เพราะถูกดูดซับโดยพอลิเมอร์ สินค้าจึงเย็นได้นานถึงปลายทาง

วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีการเคลือบผิว ผัก ผลไม้ ด้วยวัสดุไคโตซาน-นาโนเคลย์คอมพอสิท

ขอบเขตของโครงการวิจัย

การปรับสภาพพื้นผิวดิน(เกาลินและเบนทอไนต์)ด้วยไคโตซานและเตรียมฟิล์มไคโตซานเคลย์คอมพอสิทและสร้างฟิล์มบางไคโตซาน-นาโนเคลย์คอมพอสิท

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

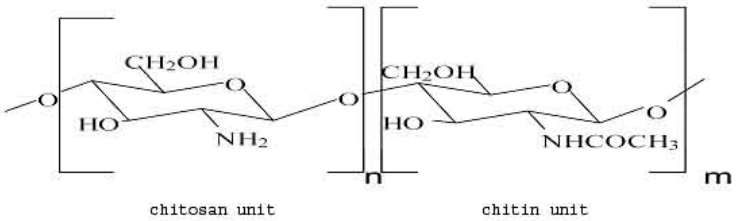
ผลิตภัณฑ์ฟิล์มบางเคลือบผิว ในการรักษาคุณภาพพืชผลทางการเกษตรเพื่อการส่งออกและในงานกลุ่มเกษตรอินทรีย์โดยเฉพาะในกลุ่มผัก ผลไม้ โดยการสร้างมูลค่าจากวัสดุได้จากธรรมชาติคือเคลย์และพอลิเมอร์แปรรูปคือไคโตซานได้จากของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม สัตว์น้ำ

การสำรวจแนวความคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไคโตซาน (chitosan)ไคติน/ไคโตซาน

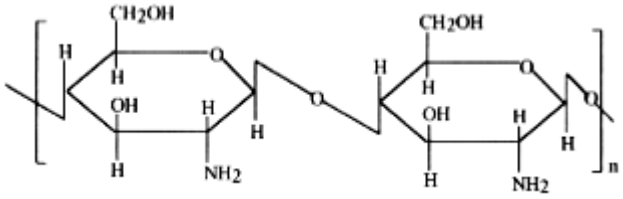
ไคโตซานเป็นสารอนุพันธ์หลักของไคติน(Chitin) เป็นไบโอพอลิเมอร์ธรรมชาติ สกัดได้จากเปลือกกุ้ง กระดองปู แกนปลาหมึก และผนังโครงสร้างเซลของเห็ด ราบางชนิด ในธรรมชาติไคติน มีปริมาณมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส ปัจจุบันมีการนำสารไคโตซานมาใช้ทั้งในภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรม ทางการแพทย์และเภสัชกรรม เช่น สารตกตะกอนในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมเส้นใยสิ่งทอ ในประเทศไทยมีแหล่งรองรับการแปรรูปของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลมาเป็นไคโตซานจำนวนมาก ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ประจุบวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงไม่มีกิ่งก้านสาขา (รูปที่ 1) จึงมีความหนืดสูงเมื่อละลายในกรดและแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic flow เตรียมขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ง่าย

ไคติน มีชื่อทางเคมีว่า 2-อะเซตามิโด-2-ดีออกซี-เบตา-ดี-กลูโคส (2-acetamido- 2-deoxy-β-D-glucose) ซึ่งแต่ละหน่วยจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้าที่ตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 4 [β-(1,4)] (Shahidi *et al.,* 1999) มีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 1 โครงสร้างไคติน-ไคโตซาน

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคติน เกิดจากการกำจัดหมู่อะซิติลในไคตินออก (deacetylation) โดยที่หมู่อะซิติล (-CO-CH_3-) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองจะถูกตัดออกเหลือเป็นหมู่เอมีน (-NH_2) ไคโตซานมีชื่อทางเคมีว่า 2-อะมิโน-2-ดีออกซี-เบตา-ดี-กลูโคส (2-amino-2-deoxy-β-D-glucose) ซึ่งแต่ละหน่วยจะเชื่อมต่อกันด้วยเบต้าที่ตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 4 [β-(1,4)] (Shahidi *et al*., 1999) มีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน (Kumar, 2000)

ไคตินและไคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ (copolymer) ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ (monomer) สองชนิด คือ เอ็น-อะซิติล-ดี-กลูโคซามีน (N-acetyl-D-glucosamine) และดีกลูโคซามีน (D-glucosamine) ซึ่ง N-acetyl-D-glucosamine มีหมู่อะซิตาไมด์เป็นหมู่แทนที่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองในวงแหวนไพราโนส ส่วน D-glucosamine มีหมู่อะมิโนเป็นหมู่แทนที่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองในวงแหวนไพราโนส ในกรณีที่พอลิเมอร์ประกอบด้วย N-acetyl-D-glucosamine มากกว่า D-glucosamine จะเรียกพอลิเมอร์นั้นว่า ไคติน แต่ถ้าในกรณีที่พอลิเมอร์ประกอบด้วย N-acetyl-D-glucosamine น้อยกว่า D-glucosamine จะเรียกพอลิเมอร์นั้นว่า ไคโตซาน การเตรียมไคโตซานจากไคตินทำได้โดยการทำปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิติลออก (deacetylation) ซึ่งจะเปลี่ยนหมู่แทนที่ที่

คาร์บอนตำแหน่งที่สองในวงแหวนไพราโนสจากหมู่อะซิตาไมด์เป็นหมู่อะมิโน จากลักษณะโครงสร้างที่เป็นโคพอลิเมอร์ของไคตินและไคโตซาน จึงทำให้มีการกำหนดค่าดัชนีที่ใช้บอกระดับของการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิติล โดยเรียกค่าดัชนีนี้ว่า ค่าระดับการเกิดเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิติล (degree of deacetylation) ซึ่งค่านี้จะบอกถึงสัดส่วนของจำนวน D-glucosamine ที่มีอยู่ในสายพอลิเมอร์ของไคตินและไคโตซาน (รัตนา รุจิรวนิช, 2544)

การศึกษาวิจัยเพื่อนำสารไคติน/ไคโตซานมาใช้ในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้เกิดขึ้นอย่างแพร่หลายมาเป็นเวลานานแล้ว เนื่องจากสารไคติน/ไคโตซานเป็นวัสดุชีวภาพเกิดในธรรมชาติที่ประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีธาตุไนโตรเจนติดอยู่ด้วย ทำให้มีสมบัติเด่น และหลากหลายในกิจกรรมชีวภาพและยังย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ดังนั้นจึงเป็นสารที่มีความปลอดภัยในการใช้กับมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม การนำไคตินไคโตซานไปประยุกต์ใช้นั้น ต้องอาศัยความรู้พื้นฐานเป็นสำคัญจึงจะก่อให้เกิดความถูกต้องและมั่นใจต่อการใช้ จุดและสมบัติเด่นประการหนึ่งของไคติน/ไคโตซานคือ การต่อต้านจุลินทรีย์โดยไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียง ซึ่งสอดคล้องกับความความต้องการสารต่อต้านจุลินทรีย์ที่มาจากธรรมชาติเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาพบว่าไคโตซานสามารถช่วยเพิ่มผลผลิต ยืดอายุการเก็บรักษาพืชผลทางการเกษตรได้ในพืชหลายชนิดทั้งไม้ผลและไม้ดอก โดยกลไกที่มีนักวิทยาศาสตร์ได้อธิบายไว้คือ จากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างประจุบวกและลบของโมเลกุลไคโตซานกับผนังเซลล์จุลินทรีย์ทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตในจุลินทรีย์ หรือการกระตุ้นให้เกิดกระบวนการป้องกันตัวเองของเซลล์เจ้าบ้าน(host cell) ของพืชโดยไปกระตุ้นยีนของพืชให้เพิ่มการสร้างเอ็นไซม์ที่สำคัญบางชนิดทำให้พืชมีความต้านทานต่อโรคที่มาจากเชื้อราบางชนิดได้ ซึ่งถือว่าเป็น elicitor ชนิดหนึ่ง

แหล่งของไคติน

ไคตินเป็นสารประเภทพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) โดยเป็นสารที่พบเป็นองค์ประกอบโมเลกุลโครงร่างแข็งภายนอก (exoskeleton) ที่สำคัญของเปลือกสัตว์ พบได้ในสัตว์น้ำประเภทที่มีเปลือกแข็งห่อหุ้มตัว (Crustacean) เช่น กุ้ง ปู กั้ง และแกนปลาหมึก นอกจากนี้ยังพบในเปลือกของแมลงต่างๆ และเป็นส่วนประกอบผนังเซลล์ของ พืช เชื้อรา เห็ดและยีสต์ (Shahidi *et al*., 1999) วัตถุดิบที่เป็นแหล่งสำคัญที่ใช้ในการผลิตไคตินและไคโตซาน ได้แก่ เปลือกกุ้ง เปลือกปูที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง

สมบัติของไคตินและไคโตซาน

การละลาย

ไคตินไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายทั่วไป เช่น น้ำ กรดเจือจาง ด่างเจือจางและเข้มข้น แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ เนื่องจากไคตินมีโครงสร้างที่แข็งแรงด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้โมเลกุลของตัวทำละลายไม่สามารถแทรกผ่านเข้าไปเกิดพันธะภายในสายโซ่ของไคตินได้ แต่ไคตินสามารถละลายได้ในสารละลายกรดเข้มข้นจำพวก กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก และกรดฟอร์มิก เนื่องจากกรดดังกล่าวมีปริมาณโปรตอนมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดไอออนบวกที่ตำแหน่งคาร์บอนตำแหน่งที่สอง พันธะไฮโดรเจนจึงสลายลง ในขณะเดียวกันพันธะไอออนจะถูกสร้างขึ้นระหว่างไอออนลบของกรดประเภทนั้นๆ ทำให้เกิดการละลายขึ้นโดยไม่ทำลายโครงสร้างของไคติน

สำหรับไคโตซาน ตัวทำละลายที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายคือ กรดอะซิติก ทั้งนี้เนื่องจากกรดดังกล่าวสามารถแตกตัวทำให้หมู่อะมิโนเป็นไอออนบวก และสามารถสร้างพันธะไอออนกับไอออนลบที่แตกตัวอยู่ในกรด โดยไม่ทำลายโครงสร้างของไคโตซาน หาง่าย ราคาถูก ส่วนกรด

อนินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก และกรดเปอร์คลอริก สามารถละลายไคโตซานได้เช่นกันแต่ภายใต้อุณหภูมิสูงปานกลาง ซึ่งบางครั้งอาจตกตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น เนื่องจากการละลายที่ไม่สมบูรณ์ (สุวบุญ จิรชาญชัย และคณะ, 2544)

ตารางที่ 2 ความสามารถในการละลายของไคโตซานในสารละลายกรดชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นกรดต่างๆ กัน (รัดเกล้า ภูติวรนาถ, (2539))

ชนิดของกรด	ความเข้มข้นของสารละลายกรด (V/V)				
	1%	5%	10%	50%	> 50%
Acetic	+	+	+	+	
Adipic	+				
Citric	-				
Formic	+	+	+	+	+
Lactic	+	+	+		
Malic	+				
Tartaric	-		+		
Hydrochloric	+	-	-		
Nitric	+	-	-		
Sulfuric	-	-	-		

หมายเหตุ + แสดงว่าไคโตซานสามารถละลายได้

- แสดงว่าไคโตซานไม่สามารถละลายได้

สมบัติทางความร้อน

ไคตินและไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างชนิดนี้มักจะแสดงสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ซึ่งจะมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, Tg) อย่างไรก็ตามเมื่อให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องแก่ไคตินและไคโตซานจนถึงระดับหนึ่งที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง คือประมาณ 320 องศาเซลเซียส จะทำให้ไคตินและไคโตซานไหม้และสลายไปในที่สุด เนื่องจากไคตินและไคโตซานมีความเสถียรต่อความร้อนสูง มีพันธะไฮโดรเจนที่เป็นระเบียบและยึดอยู่ในสายโซ่ด้วยกัน พลังงานความร้อนจึงไม่สามารถทำให้สายโซ่นี้เคลื่อนที่ได้ จึงไม่แสดงอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ซึ่งความร้อนที่ให้อย่างต่อเนื่องไม่สามารถทำลายพันธะไฮโดรเจนได้แต่เป็นกระบวนการดูดความร้อน

ความหนืด

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ร้อยละในการกำจัดหมู่อะซิติล (degree of deacetylation, %DD) และน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของไคโตซาน โดยการกำจัดหมู่อะซิติลที่ใช้เวลานาน หรือไคโตซานที่มีร้อยละในการกำจัดหมู่อะซิติลสูง จะทำให้ความหนืดของสารละลายลดลง เนื่องจากภาวะที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิติลที่รุนแรงจะมีผลทำให้เกิดการแตกขาดของสายโซ่โมเลกุล สำหรับน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของไคโตซานก็มีผลต่อความหนืดของสารละลายไคโตซานเช่นกัน ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูงกว่าจะทำให้สารละลายมีความหนืดสูงกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่ำกว่า ความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานและอุณหภูมิที่ให้แก่ไคโตซาน โดยไคโตซานที่ได้รับอุณหภูมิสูงกว่าจะมีความหนืดต่ำ เนื่องจากเกิดการแตกขาดของสายโซ่โมเลกุล (สุวบุญ จิรชาญชัย และคณะ, 2544)

การประยุกต์ใช้ไคตินและไคโตซาน

ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม

ไคตินและไคโตซานถูกใช้เป็นวัสดุปิดแผลในรูปของแผ่นเยื่อบางหรือผสมร่วมกับผ้าฝ้าย โดยจะช่วยสร้างเซลล์ใหม่ ป้องกันการติดเชื้อ ทำให้บาดแผลหายเร็วขึ้น สามารถนำมาทำผิวหนังเทียม ช่วยป้องกันบาดแผลจากเชื้อแบคทีเรียสามารถเข้าได้ดีกับเนื้อเยื่อของร่างกาย สลายตัวได้หลังจากที่บาดแผลได้รับการรักษา จนสร้างผิวหนังขึ้นมาแทนที่แล้ว ควบคุมการปลดปล่อยของตัวยาที่อยู่ในยาเม็ด ควบคุมระดับคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด ช่วยให้เลือดแข็งตัวเร็วขึ้น (ref.)

ด้านเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์บำรุงผิว

ไคตินและไคโตซานใช้เป็นสารเติมแต่งในแป้งทาหน้า แชมพู สบู่ และครีมทาผิวโดยไคโตซานจะก่อตัวเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ พร้อมดูดซับความชื้นและไขมันเอาไว้ จึงช่วยรักษาความชุ่มชื้นให้แก่ผิวหนังและเส้นผม ช่วยยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและลดอาการระคายเคืองหรือคันศรียะ

ด้านเส้นใยและสิ่งทอ

ไคตินและไคโตซานนำมาเคลือบที่เส้นใยช่วยรักษาความสดใสของสีผ้า ช่วยระบายเหงื่อและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและแบคทีเรีย ใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กระดาษขณะเปียกและขณะแห้ง ทำให้กระดาษมีความแข็งแรงเมื่อผ่านการพิมพ์ จะทำให้งานพิมพ์มีความคมชัดมีคุณภาพสูง (สุวลี จันทร์กระจ่าง, 2544)

ด้านอาหาร

ไคโตซานมีสมบัติในการยับยั้งเชื้อราและจุลินทรีย์ จึงนำมาใช้เป็นสารกันบูด สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มเคลือบอาหารและผักผลไม้ ช่วยควบคุมความชื้นระหว่างอาหารกับ

สิ่งแวดล้อมทำให้อาหารคงความสดอยู่ได้นาน ใช้ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร ควบคุมความเป็นกรดในน้ำผลไม้ (Shahidi *et al*., 1999)

ด้านเทคโนโลยีชีวภาพ

ผลิตแผ่นเมมเบรนเพื่อใช้ในการกรองแยก เป็นสารช่วยให้เกิดการตกตะกอน ใช้เป็นตัวจับไอออนของโลหะ และใช้เป็นตัวดูดซับสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม (Kumar, 2000)

ด้านการเกษตร

ไคตินและไคโตซานสามารถนำมาใช้ผสมกับดินสำหรับเพาะปลูกหรือใช้เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ใช้ไคโตซานผสมในปุ๋ยน้ำทำให้พืชสามารถยึดเกาะกับพื้นดินได้ดี ช่วยควบคุมการปลดปล่อยแร่ธาตุและสารอาหาร ใช้เคลือบเมล็ดพันธุ์พืชเพื่อป้องกันการขูดขีดเสียหายของเมล็ดพันธุ์ ใช้กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชช่วยเร่งการเจริญเติบโตของใบใหม่ นำไปใช้ผสมในอาหารสัตว์ช่วยให้สัตว์เติบโตแข็งแรงมีสุขภาพดีมีภูมิต้านทานโรคที่มีสาเหตุจากจุลินทรีย์หลายชนิดได้ (สุวลี จันทร์กระจ่าง, 2544) นอกจากนี้มีรายงานการวิจัยนำไคตินไคโตซานไปใช้ทางการเกษตรดังนี้

1) ใช้เป็นสารปรับสภาพดินสำหรับการเพาะปลูก จากการทดลองของ Chibu และ Shibayama (2001) ใช้ผงไคโตซานผสมกับดินในปริมาณ 0.5%ในการปลูกถั่วเหลืองและข้าวใน green house พบว่าพืชทั้งสองมีการเจริญเติบที่ดีขึ้น นอกจากนี้เมื่อนำไปผสมในปุ๋ยน้ำพบว่าช่วยในการยึดเกาะพื้นผิวดินได้ดี ทนต่อการถูกชะล้างและ ลดการระเหยของน้ำ และยังทำหน้าที่ช่วยควบคุมการปลดปล่อยแร่ธาตุและสารอาหารให้แก่พืชอีกด้วย(Struszczyk และคณะ, 1988 อ้างอิงในภาวดี เมธะคานนท์, 2543)

2) ใช้ในการเคลือบเมล็ดพืช ไคโตซานสามารถใช้เป็นสารเคลือบเมล็ดพืชเพื่อป้องกันการขูดขีดและเสียหายของเมล็ดพันธุ์โดยฟิล์มไคโตซานมีลักษณะยืดหยุ่น แข็งแรง ยึดเกาะกับผิวเมล็ดพันธ์ได้ดี และที่สำคัญ คือช่วยเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ด ทั้งนี้จากการศึกษาของ Dzung และ

Thang (2002) พบว่านอกจาก oligoglucosamine จะมีผลต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองแล้วยังสามารถสร้างปมรากที่ใช้ในการตรึงไนโตรเจนเพิ่มขึ้นถึง 2 เท่า และมีผลผลิตเพิ่มขึ้น 20-30% ส่วน Li และ Wu (1998) พบว่าการใช้ 0.1% ไคโตซานในกรดอะซิติกสามารถเร่งอัตราการงอกของเมล็ดกะหล่ำปลีในขณะที่ 1.5% ไคโตซาน ในกรดแลคติกให้ผลดีต่อการงอกของเมล็ดผักกาดหอมและคื่นฉ่าย

3) ใช้เป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโต จากการฉีดพ่นไคโตซานที่ความเข้มข้น 10-15ppm ในนาข้าวส่งผลให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น 41.7-91.5% โดยขึ้นกับภูมิภาคที่ทำการเพาะปลูก และยังช่วยให้ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยลงกว่าเดิม (Chandrkrachang, 2002) และในกล้วยไม้ เมื่อนำ oligochitosan ที่เตรียมขึ้นโดยการอาบรังสี มาผสมใน อาหารเลี้ยงสำหรับเพาะกล้วยไม้ที่ความเข้มข้น 50-75 ppm สามารถช่วยเร่งอัตราการเจริญเติบโตได้ดี (Siri-Upathum, 2002)

4) ใช้เป็นสารต้านทานโรคพืชจากการใช้ไคโตซานความเข้มข้น 70 ppm ฉีดพ่นต้นข้าวโพด (Chandrkrachang, 2002) พบว่า เปอร์เซ็นต์การถูกทำลายโดยเชื้อราของต้นข้าวโพดลดลงเหลือ 14.7% นอกจากนี้ Dzung และ Thang (2002) ยังพบว่า เมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านการเคลือบด้วย 0.4% oligoglucosamine มีความต้านทานต่อ rust disease ได้ดีขึ้น ทำให้สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เพิ่มขึ้นถึง 36.9%

5) ใช้เป็นสารยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว จากการศึกษาโดยใช้ไคโตซานเคลือบผิวผลไม้ชนิดต่างๆ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา พบว่า ไคโตซานมีผลทำให้ผลไม้สดสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานขึ้น ตัวอย่างเช่น Dien และคณะ (1996) พบว่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมของไคโตซานที่ใช้ในการเคลือบผิวส้มสด คือ 1.6% และ 1.8% ใน 2% กรดอะซีติก โดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 35-40 วัน ในกรณีของการเก็บรักษากล้วย Lan และคณะ (2001) พบว่า เมื่อนำกล้วยจุ่มลงในสารละลาย 1.5% ไคโตซาน ซึ่งเตรียมจากผงไคโตซานที่ผ่านการอาบรังสีที่ 25 kGy

แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง กล้วยจากเริ่มสุกตามธรรมชาติหลังจากเก็บไว้นานถึง 20 วัน นอกจากนี้ วิษณุและคณะ (2546) ยังพบว่า การใช้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 1% และ 1.3% สามารถชะลอการสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ได้จนถึงวันที่ 25 ของการเก็บรักษา

ถึงแม้ว่าการเคลือบด้วยฟิล์มไคโตซานสามารถช่วยลดการแพร่ผ่านของก๊าซ ชะลอการสูญเสียวิตามินหรือคุณค่าทางโภชนาการของผลไม้ได้ดี แต่ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของฟิล์มไคโตซาน คือไม่สามารถป้องกันการทำลายผัก ผลไม้ จากหนอนแมลงได้ และจากการศึกษาที่ผ่านมา จะเป็นการใช้ฟิล์มไคโตซานเพื่อผลในการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวเท่านั้น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของฟิล์มไคโตซาน

การประยุกต์ใช้อนุภาคดิน(Clay) ในงานทางด้านการเกษตร

ดินขาวหรือเกาลิน (Kaolin หรือ China Clay) เกิดจากจากการแปรสภาพของหินแกรนิตเป็นหินฟันม้า มีความบริสุทธิ์สูง ลักษณะเนื้อดินมีสีขาวหม่น มีความเหนียวน้อย หดตัวน้อย ทนความร้อนได้สูง ระหว่าง 1,400-1,500 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปใช้เป็นส่วนประกอบหลักในการงานผลิตเซรามิกส์แบบดั้งเดิมโดยใช้เป็นส่วนประกอบประมาณ 30-55% ของผลิตภัณฑ์ จัดแบ่งตามคุณภาพได้ 4 กลุ่ม คือ 1) ดินขาวดิบ, 2) ดินขาวเซรามิกส์, 3) ดินขาวระดับฟิลเลอร์ และ 4) ดินขาวเคลือบ ซึ่งในกลุ่มของดินขาวระดับฟิลเลอร์และระดับเคลือบที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมระดาษ สี ยางและยาฆ่าแมลง โดยมีงานวิจัยของนักวิจัยจากรัฐโอริกอน (1990) ถึงการใช้ดินขาวหรือดินเกาลิน เพื่อป้องกันแมลงในระยะก่อนการเก็บเกี่ยวโดยการพ่นเคลือบ ใน แอปเปิ้ล องุ่น พบว่าช่วยป้องกันการทำลายจากแมลงและลดการใช่สารเคมีกำจัดแมลงได้ ทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ ผิวสวยงาม แต่ก็มีข้อเสียคือ เกิดคราบสีขาวขึ้นทีผิวเมื่อแห้ง

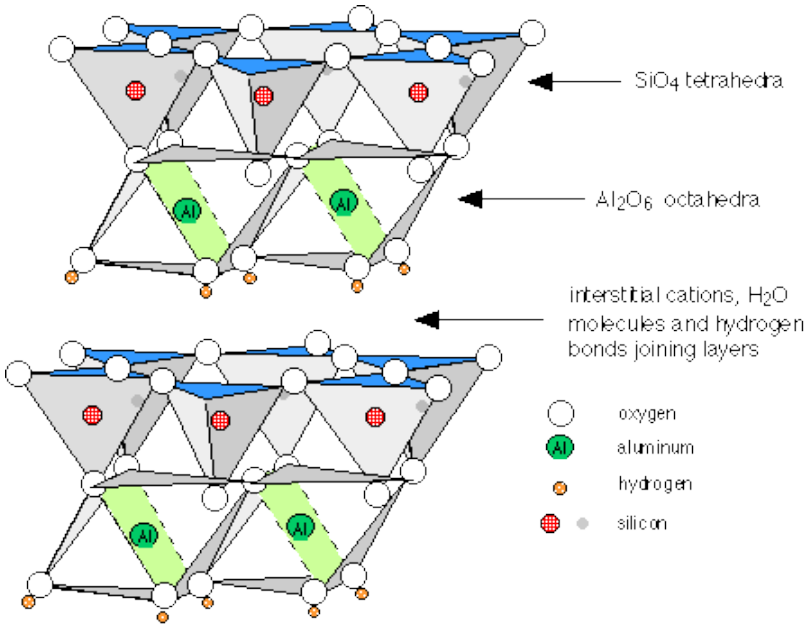
ส่วนประกอบทางเคมีของดินขาว

ผลึกที่บริสุทธิ์ของดินขาวมีส่วนประกอบทางเคมีเป็น $(OH)_4Al_2SiO_2$ หรือ

$AlO.SiO_2.2H_2O$ หรือ ประกอบด้วย 39.8%AlO, 46.3% SiO_2 และ 13.9%H_2O

ลักษณะรูปร่าง(Particle Shape)

แร่ Kaolinite มีลักษณะอนุภาคเป็นแผ่นหกเหลี่ยม มีขนาด 0.05 - 10 ไมครอน หรือขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ 0.5 ไมครอน



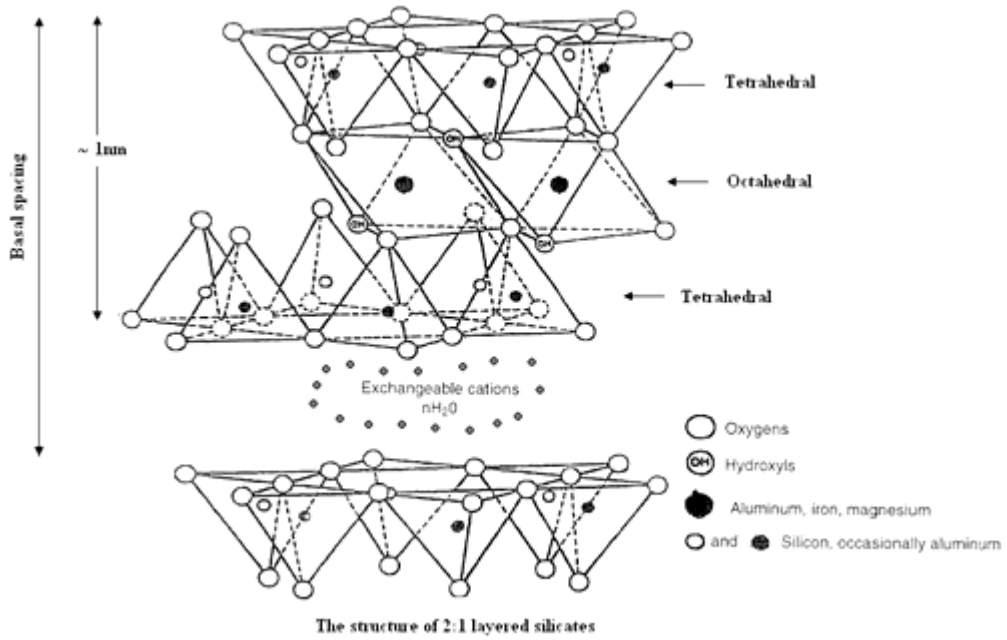
รูปที่ 3 แร่ Kaolonite (http://www.chem1.com/acad/webtext/geochem/04txt.html)

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ (Base Exchange Capacity)

สมบัติข้อนี้ของแร่ Kaolinite มีน้อยมาก เนื่องจากพบการแทนที่พวกประจุบวกในโครงสร้างน้อยมาก โดยเฉพาะผลึก Kaolinite ที่บริสุทธิ์จะไม่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุเลย โดยจะพบการแลกเปลี่ยนในแร่ผลึก Kaolinite ที่ไม่มีความบริสุทธิ์ หรือเกิดผลึกไม่สมบูรณ์

<u>*ดินเบนทอไนต์* หรือ Monmorillonite</u>

ดินเบนทอไนต์มี อนุภาคดินมีขนาดในระดับนาโนเมตร มีพื้นที่ผิวมาก โครงสร้างหรือองค์ประกอบหลัก มี แร่ Monmorillonite_ ซึ่งประกอบด้วย tetrahedral sheet กับ octahedral sheet โดยที่ซิลิกาถูกแทนที่ด้วยอลูมินาใน tetrahedral และอลูมินาถูกแทนที่ด้วย Mg^{+} และ Fe^{2+} ใน octahedral ในกลุ่มนี้แรงยึดกันระหว่างผลึกแร่มีน้อย (van der waals force) และผลึกจะเรียงต่อกันเป็นชั้น ดังนั้น โมเลกุลของน้ำและแคทไอออนต่าง ๆ สมารถแทรกซึมเข้าไปดูดซับอยู่ภายในระหว่างชั้น (internal surface) ได้ โดยโครงสร้างผลึกจะเป็นชนิดแผ่น 2:1 แตกต่างจากแร่เกาลินที่มีโครงสร้างผลึกชนิด 1:1 ทำให้สามารถดูดซับน้ำไปในระหว่างชั้นโครงสร้างเกิดการพองตัวขึ้นหลายเท่ากว่าเมื่อมีปริมาณน้ำมากและได้รับแรงพอโครงสร้างดินสามารถแตกออกเป็นแผ่นซึ่งจะทำให้อนุภาคดินมีขนาดระดับนาโนเมตร มีพื้นที่ผิวมากขึ้น ปัจจุบันมีการนำดินเบนโทไนต์มาใช้เป็นสารเสริมแรงระดับนาโนเมตรในการพัฒนาการผลิตวัสดุวิศวกรรม (engineering materials) ซึ่งมีรายงานวิจัยหลายชิ้นยืนยันว่าดินเบนโทไนต์สามารถเพิ่มความแข็งแรงโดยสูญเสียคุณลักษณะในการมองเห็นน้อย ป้องกันการซึมผ่านของของเหลวและก๊าซได้



รูปที่ 4 โครงสร้างผลึกแร่ดิน Monmorillonite

(http://www.homeremedysskinclear.com/content.php?pageid=8)

ฟิล์มคอมพอสิท (composite film)

วัสดุที่ใช้เพื่อรักษาคุณภาพและความสดของอาหารที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันจะผลิตในรูปฟิล์มเคลือบผิวหรือฟิล์มบรรจุ ที่มีสะดวกทั้งต่อการเก็บและจำหน่าย โดยมีสมบัติสำคัญคือสามารถชะลอการเน่าเสียของอาหารจากปจจัยแวดล้อมภายนอกต่างๆ อาทิ แสง ความชื้น อุณหภูมิ และเชื้อจุลินทรีย์

ฟิล์มคอมพอสิทหรือฟิล์มพอลิเมอร์เชิงประกอบ หมายถึง ฟิล์มที่เกิดจากการผสมกันของพอลิเมอร์กับพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์กับสารอื่นอย่างน้อย 2 ชนิดเพื่อให้เกิดสมบัติร่วมกันของพอลิเมอร์และสารอื่นที่นำมาประกอบกัน ในการเตรียมฟิล์มพอลิเมอร์เชิงประกอบระหว่างไคโตซานและอนุภาคดิน เป็นการนำสมบัติเด่นของทั้งสองวัสดุมาไว้ด้วยกัน ไคโตซานมีสมบัติเด่นที่ มีความยืดหยุ่นสูง เป็นสารยึดเกาะที่ดี สามารถต้านการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี และยับยั้งการ

เจริญเติบโตของเชื้อราและจุลินทรีย์ ในขณะที่อนุภาคดินมีสมบัติในการเป็นตัวดูดซับก๊าซเอทิลีน ซึ่งเป็นสาเหตุของการสุกและก่อให้เกิดการเน่าเสียของผัก ผลไม้ และการที่มีขนาดอนุภาคเล็กระดับนาโน ทำให้สามารถกระจายตัวได้และแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานได้ดี ทำให้เกิดเป็นรูปผลึกที่เป็นโครงร่างตาข่าย ช่วยให้แผ่นฟิล์มมีความแข็งแรงและทนความร้อนได้ดีขึ้น (Ray and Bousmina, 2005) ฟิล์มพอลิเมอร์เชิงประกอบที่ได้จึงมีสมบัติที่เหมาะสมที่จะนำไปผลิตเป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์เพื่อเก็บรักษาคุณภาพ ผัก ผลไม้

Kampeerapappun *et al.,* 2006 ได้ศึกษาการเตรียมฟิล์มประกอบของแป้งมันสำปะหลัง/มอนต์มอริลโลไนต์พบว่า อนุภาคของมอนต์มอริลโลไนท์ซึ่งเป็นอนุภาคขนาดเล็กของดินเหนียวจะกระจายอยู่ภายในโครงสร้างของแผ่นฟิล์ม เนื่องจากอนุภาคของมอนมอนต์ริลโลไนต์จะทำหน้าที่เป็นสารช่วยเสริมแรง ซึ่งจะเพิ่มการต้านแรงดึงขาดของแผ่นฟิล์ม อีกทั้งแผ่นฟิล์มมีอัตราการต้านการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้น การดูดซับน้ำลดลง