บทที่ 1 บทนำ

1.1 ปัญหาที่ทำการวิจัย และความสำคัญของปัญหา

ผักผลไม้เป็นสิ่งที่เก็บรักษาให้คงสภาพความสดไม่ได้นาน จึงได้มีความพยายามคิดค้นวิธีการ แปรรูปและถนอมอาหารในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้สามารถเก็บไว้บริโภคได้ตลอดปี การแปรรูปและถนอมอาหารยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตผลเกษตรและยังนำไปสู่การลงทุนผลิตเป็นสินค้าอุตสาหกรรมเพื่อการค้าและพาณิชย์ทั้งในประเทศและส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนา เศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ปัจจุบันตลาดสินค้าเกษตรแปรรูปมีคู่แข่งทางการค้าเกิดขึ้นหลาย ประเทศเช่น จีน เวียดนาม สินค้าเกษตรแปรรูปของไทยจึงต้องมีการพัฒนาด้านคุณภาพอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ได้สินค้าที่มีคุณภาพดีกว่าหรือทัดเทียม เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันกับคู่แข่งอื่นๆได้

หัวใจหลักของการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้แปรรูปคือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านต่างๆโดยเฉพาะด้านเนื้อสัมผัส เนื่องจากการแปรรูปผักผลไม้ส่งผลให้เกิดการสูญเสียปัจจัยคุณภาพสำคัญด้านนี้โดยง่าย มีการคิดค้นเทคนิคต่างๆเพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แปรรูป หนึ่งในขั้นตอนสำคัญในกระบวนการผลิตผักผลไม้แปรรูปโดยเฉพาะผักผลไม้บรรจุกระป๋องและขวดแก้ว ผัก ผลไม้แช่แข็ง ผักผลไม้แปรรูปเล็กน้อย (minimally processed fruits and vegetables) คือการแช่ในสารเพิ่มความกรอบ (firming agents) ซึ่งเป็นเกลือของแคลเซียม เช่น แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียม คาร์บอเนต แคลเซียมไดออกไซด์ แคลเซียมซิเตรด (กองส่งเสริมเทคโนโลยี 2537) เป็นที่ทราบมานานว่าแคลเซียมช่วยเพิ่มความกรอบของผักและผลไม้ได้ เนื่องจากการที่แคลเซียมมีปฏิสัมพันธ์กับผนังเซลล์ของพืช เกลือของแคลเซียมจับกับกรดคาร์บอกซิลิกอิสระบนสายของกรดกาแลกทูโรนิกซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของเพกทินทำให้เกิดการเชื่อมต่อ (cross-linking) ระหว่างสายเพกทิน การเพิ่มขึ้นของการเชื่อมต่อระหว่างสายเพกทินในมิดเดิ้ลลาเมลลา (middle lamella) ระหว่างเซลล์ นำไปสู่เนื้อสัมผัสของพืชที่แข็งขึ้น (Anthon *et al.* 2005) แต่อัตราการแข็งขึ้นของเนื้อสัมผัสของพืชโดยการแช่ในสารละลายที่มีแคลเซียมนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักที่สำคัญคือ ความมากน้อยที่หมู่เมทิลบนสายเพกทินที่ถูกเอสเทอริไฟด์ซึ่งควบคุมโดยการทำงานของเอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอเรส (pectin methyl esterase, PME) ถ้าอัตราการทำงานของเอนไซม์ PME สูงจะช่วยเพิ่มตำแหน่งที่ Ca^{2+} จับกับสารเพกทินได้ พบว่าการเติมเอนไซม์ PME บริสุทธิ์ลงไปส่งเสริมความสามารถของ Ca^{2+} ที่จะเพิ่มความแข็งของมะเขือเทศหั่นชิ้น (diced tomatoes) แต่วิธีนี้ก็มีข้อจำกัดคือราคาของเอนไซม์บริสุทธิ์ที่ใช้ และประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ที่จำกัดในผักผลไม้ที่เป็นชิ้นเนื่องจากการสัมผัสของเอนไซม์กับซับสเตรดเป็นไปได้ยาก

อีกวิธีการหนึ่งที่ช่วยเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ PME คือ การปรับ pH ให้เหมาะสมกับการ ทำงานของเอนไซม์ซึ่งประมาณ 7 แต่ก็เป็นข้อจำกัดสำหรับผักผลไม้บางชนิดที่มีสมบัติเป็นกรด เช่น มะเขือเทศ

อีกวิธีที่นิยมใช้เพิ่มการทำงานของเอนไซม์ PME ควบคู่กับการเติมแคลเซียมคือการลวกโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 50 ^{o}C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ วิธีนี้นิยมใช้เพิ่มความแข็งให้กับผลิตภัณฑ์แปรรูปสุดท้ายในผักผลไม้หลายชนิด (Bartolome and Hoff 1972; Ni *et al.* 2005)

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการศึกษาเรื่องแคลเซียมช่วยเพิ่มความกรอบของผักและผลไม้จะทำมานาน ประโยชน์ที่ได้รับในทางอุตสาหกรรมกับตัวผลิตภัณฑ์สุดท้ายยังมีข้อจำกัดทั้งนี้เนื่องจากการแข็งขึ้นของเนื้อสัมผัสของพืชโดยการแช่ในสารละลายที่มีแคลเซียมนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้านดังที่กล่าวมาแล้วรวมทั้งอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือขนาดชิ้นของผลิตภัณฑ์ซึ่งมีผลต่ออัตราการซึมผ่านของความร้อนและแคลเซียมที่ต้องควบคุมให้ถูกต้องผลที่ได้รับจึงจะเป็นไปอย่างที่คาดไว้

อัตราการแพร่เข้าไปในเนื้อผักผลไม้ของ Ca^{2+} หรือเอนไซม์ PME ที่เติมลงไปมีผลกระทบต่อการเพิ่มความแข็งของเนื้อ มีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้ความดันสูงในการเร่งการแพร่เข้าไปในเนื้อผักผลไม้ของ Ca^{2+} หรือเอนไซม์ PME (Infusion Technique) พบว่าได้ผลดีมากในการเพิ่มความแข็งของเนื้อ (Okamoto and Fujishima 2004) แต่ก็ยังมีความเป็นไปได้ยากในเชิงอุตสาหกรรมเนื่องจากปัญหาการลงทุนด้านเครื่องจักรที่มีราคาสูง

ดังนั้นการค้นคว้าวิธีการใหม่ในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผักผลไม้แปรรูปจึงมีความจำเป็นเทคโนโลยีการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผักผลไม้ก่อนการเก็บเกี่ยวโดยการเพิ่มความแข็งแรงของพืชก่อน เก็บเกี่ยวเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผักผลไม้แปรรูป

ธาตุอาหารที่พบว่ามีความสำคัญต่อความแข็งแรงหรือเนื้อสัมผัสของเนื้อเยื่อพืชคือแคลเซียมและซิลิคอน (Si) ซิลิคอนเป็นธาตุอาหารที่มีอยู่มากมายเป็นพื้นผิวโลก แต่ไม่จัดเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชเหมือนแคลเซียม (ถนิมนันต์ 2538) แต่ก็มีหลักฐานมากมายที่ระบุว่าการที่พืชได้รับซิลิคอนมากกว่าปกติให้ผลดีต่อการเจริญ การดูดซึมธาตุอาหารความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ความต้านทานต่อแมลงศัตรูและเชื้อรา (Epstein 1994)

มีการประยุกต์ใช้ซิลิคอนในรูปที่ละลายน้ำกับพืชหลายชนิด ซิลิคอนในรูปนี้ช่วยให้พืชดูดซิลิคอนที่ละลายน้ำนั้นขึ้นไปพร้อมกับการดูดน้ำของพืชผ่านทางท่อน้ำแล้วกระจายไปทั่วต้นพืช เมื่อน้ำ ระเหยออกทางผิวของพืชและผนังเซลล์แต่ซิลิก้าระเหยไม่ได้ก็สะสมในพืชมากขึ้นโดยเฉพาะในผนังเซลล์ พบว่าทำให้พืชแข็งแรงทน ต่อโรค แมลง ไร เพลี้ย หนอนมากขึ้น การมีซิลิก้าที่พืชผักมากขึ้นทำให้พืชผัก แข็งแรงกรอบอร่อยขึ้น เก็บรอการขายได้นานขึ้น ช้ำน้อย (ดีพร้อม 2541)

เนื่องจากวัตถุดิบที่ดีเป็นจุดเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีคุณภาพสูงจึงมีความคิดในการเสริมธาตุอาหารที่เพิ่มความแข็งแรงให้เซลล์พืช เช่น ซิลิคอน เพื่อปรับปรุงคุณภาพของวัตถุดิบ (ผัก

ผลไม้) ที่จะนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในขั้นต่อไป การมีผนังเซลล์ที่แข็งแรงจะลดความรุนแรงของการทำลายโครงสร้างผนังเซลล์เมื่อผักผลไม้ถูกนำไปแปรรูปโดยใช้ความร้อน และยังช่วยลดการทำลายเซลล์พืช เนื่องจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแช่เยือกแข็ง Rajashekar and Burke (1996) พบว่าการต้านทานของเซลล์พืชต่อการแช่เยือกแข็งมีอิทธิพลมาจากผนังเซลล์ เขาพบว่าสมบัติเชิงกลของผนังเซลล์มีผลโดยตรงกับการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากเซลล์ซึ่งส่งผลให้เกิดเซลล์แห้งเหี่ยว (cell dehydration and collapse) มีคำแนะนำว่าการเพิ่มความแข็งแรงของผนังเซลล์เป็นปัจจัยสำคัญในการต้านทานการแห้งเหี่ยวของเซลล์ที่ถูกกระตุ้นโดยกระบวนการแช่เยือกแข็ง นอกจากนี้การเพิ่มความแข็งแรงของเนื้อเยื่อพืชโดยการเพิ่มธาตุอาหารซิลิคอนหรือแคลเซียมระหว่างการเพาะปลูกมีประโยชน์เหนือกว่าการแช่ในสารละลายแคลเซียมที่นิยมทำกันในขั้นตอนการแปรรูปผักผลไม้ในแง่ความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของสารเพิ่มความแข็งแรงเนื่องจากการแข็งขึ้นของผนังเซลล์เกิดขึ้นในทุกเซลล์ของเนื้อเยื่อพืช

ยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับผลของการเพิ่มธาตุอาหารเพื่อเพิ่มความแข็งแรงแก่เนื้อเยื่อพืช เช่น ซิลิคอน และแคลเซียมระหว่างขั้นตอนการเพาะปลูกต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แปรรูป และรายงานเกี่ยวกับความเป็นไปได้ในการใช้วิธีการนี้เพื่อทดแทนหรือส่งเสริมขั้นตอนการแช่สารเพิ่มความกรอบและการลวกด้วยอุณหภูมิต่ำระหว่างกระบวนการแปรรูปผักผลไม้ ซึ่งนอกจากจะเป็นการลดขั้นตอนในการผลิตและช่วยประหยัดพลังงานและกำลังคน ยังช่วยลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในผลิตภัณฑ์แปรรูป อีกทั้งเทคนิคนี้ยังมีแนวโน้มในการช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตผลระหว่างขั้นตอนการแปรรูปโดยไม่ต้องใช้สารเคมี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิด ความเข้มข้น และอัตราการดูดซึมของสารเพิ่มความแข็งแรงแก่เนื้อเยื่อพืช (แคลเซียมและซิลิคอน) ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการแปรรูปแบบใช้ความร้อนและการแช่เยือกแข็ง

1.2.2. เพื่อศึกษาโครงสร้างของผนังเซลล์ของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการแปรรูป เพื่อเปรียบ เทียบความแตกต่างของเนื้อเยื่อระหว่างตัวอย่างที่ใช้และไม่ใช้ธาตุอาหารเพิ่มความแข็งแรงแก่เนื้อเยื่อ

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (literature review)

1.3.1 ผักผลไม้แปรรูป

ผักผลไม้แปรรูปของไทยนับว่าเป็นอุตสาหกรรมที่สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าเกษตรของไทยเป็นอย่างมากและเป็นสินค้าอุตสาหกรรมการเกษตรซึ่งประเทศไทยส่งออกเป็นรายใหญ่ในตลาดโลก ผักผลไม้แปรรูปที่ผลิตในประเทศไทยประกอบด้วย 4 กลุ่มหลักคือประเภทอบแห้ง ดอง บรรจุกระป๋อง และแช่เยือกแข็ง โดยมีโรงงานกระจายอยู่ทั่วประเทศกว่า 136 โรงงาน ภาพรวมการส่งออกผลไม้กระป๋องและผลไม้แปรรูปในปี 2551 ขยายตัวทั้งปริมาณและมูลค่า โดยมีปริมาณทั้งสิ้น 976,807 ตัน คิดเป็นมูลค่า 36,860 ล้านบาท มูลค่าขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 16.39 ปริมาณขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.62 ส่วนสินค้าประเภทผักสดแช่เย็น แช่แข็ง แห้งและแปรรูปนั้น มีปริมาณ 585,509 ตัน มีมูลค่า18,256 ล้านบาท และการส่งออกในปี 2552 เพิ่มขึ้น 1,079,694 ตัน คิดเป็นมูลค่า 39,146 ล้านบาท สำหรับด้านการส่งออกน้ำผลไม้ของไทยนั้นมีปริมาณการส่งออกทั้งสิ้น 306,954 ตัน คิดเป็นมูลค่า 9,829 ล้านบาท มีปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.47 และมูลค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 20.79 (ข้อมูลอุตสาหกรรมอาหาร 12 สาขา 2010) ทั้งนี้ปัญหาด้านการแข่งขันที่ทวีความรุนแรงมากขึ้นโดยเฉพาะคู่แข่งสำคัญคือ จีนและเวียดนาม ซึ่งมีศักยภาพในการผลิต แรงงานและพื้นที่เพาะปลูกได้เปรียบกว่าประเทศไทย โดยที่คู่แข่งสามารถผลิตสินค้าได้ปริมาณมากและมีราคาถูก หนึ่งในกลยุทธ์การเพิ่มศักยภาพการแข่งขันด้านการตลาดของผักผลไม้แปรรูปคือการพัฒนาด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพราะหัวใจหลักของการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้แปรรูปของผู้บริโภคคือคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะคุณภาพทางเนื้อสัมผัส เนื่องจากกระบวนการแปรรูปผักผลไม้ส่งผลให้เกิดการสูญเสียคุณภาพด้านนี้ได้ (กมล เลิศรัตน์ 2544) นอกจากนี้ความต้องการผลิตภัณฑ์แปรรูปจากพืชที่มีลักษณะใกล้เคียงของสด (fresh like) ทำให้เกิดความพยายามในการพัฒนาเทคนิคเพื่อการถนอมเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด ดังนั้นบทความนี้จะกล่าวถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียเนื้อสัมผัสระหว่างกระบวนการแปรรูปและรวบรวมเทคนิคที่ใช้รักษาสมบัติด้านนี้ของผลิตภัณฑ์ผักผลไม้แปรรูปเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ในอนาคต

ปัจจัยสำคัญสองประการที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียเนื้อสัมผัสระหว่างกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้คือการสูญเสียความดัน (turgor pressure หรือ osmotic pressure) ภายในแวคิวโอล (vacuoles) และโพรโทพลาสต์ (protoplasts) ของเซลล์ซึ่งเป็นผลมาจากการเสียสภาพของโปรตีนในเยื่อหุ้มเซลล์ระหว่างกระบวนการใช้ความร้อน ปัจจุบันยังไม่มีเทคนิคที่ช่วยลดการสูญเสียเนื้อสัมผัสเนื่องจากปัจจัยด้านนี้ ปัจจัยที่สองที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียเนื้อสัมผัสระหว่างกระบวนการแปรรูปคือการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์และเทคนิคเพื่อการถนอมเนื้อสัมผัสที่พัฒนาขึ้นในปัจจุบันเกี่ยวข้องกับการลดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์

1.3.2 เทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากพืช

ความต้องการอาหารแปรรูปจากพืชที่มีลักษณะใกล้เคียงของสดทำให้เกิดความพยายามในการพัฒนาเทคนิคเพื่อการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปโดยใช้ความร้อนเพื่อลดการเสื่อมสภาพด้านเนื้อสัมผัส แต่ละวิธีจะให้ค่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเฉพาะตัวต่างๆกัน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก. การลวกที่อุณหภูมิต่ำ

การลวกที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 50-70°C เป็นเวลาโดยทั่วไปประมาณ 30min ก่อนกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อนสูง (≥100°C) มักกระทำเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากพืช เนื่องจากปฏิกิริยา β-elimination เกิดขึ้นกับสายกรดกาแลกทูโลนิกที่มีหมู่คาร์บอกซิลถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ด้วยเมทานอล (esterified galacturonic acid residues) เท่านั้น ดังนั้นการลดปริมาณเพกทินที่มีหมู่คาร์บอกซิลถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ด้วยเมทานอล จึงเป็นการลดการเกิดปฏิกิริยา β-elimination และลดการสูญเสียเนื้อสัมผัสระหว่างกระบวนการให้ความร้อน การลดการเกิดปฏิกิริยา β-elimination ทำได้โดยการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ PME วิธีที่นิยมใช้เพิ่มการทำงานของเอนไซม์ PME คือการใช้อุณหภูมิในช่วง 50-70 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนี้การลวกที่อุณหภูมิต่ำยังเพิ่มโอกาสการเกิดเชื่อมโยงข้ามระหว่างสายเพกทิน

การลวกที่อุณหภูมิต่ำยังเพิ่มการยอมให้ผ่าน (permeability) ของเยื่อหุ้มเซลล์ (plasma membrane) ซึ่งกระตุ้นการผ่านของแคตไอออน (cation) ซึ่งจะไปกระตุ้นการทำงานของ PME อีกต่อหนึ่ง เนื่องจากการมีหรือไม่มีไอออนที่มีเวเลนซีเท่ากับ 2 (ทั้งที่เติมลงไปและที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อพืช) มีความสำคัญ ดังนั้นมักจะนิยมใช้วิธีลวกที่อุณหภูมิต่ำร่วมกับการแช่สารละลายแคลเซียม(Sila *et al.* 2008) ดังรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

ข. การล้าง, การจุ่มหรือการแช่สารความกรอบและทำให้เนื้อแน่น (Washing, dipping or infusion treatments)

สารที่ให้ความกรอบและทำให้เนื้อแน่นขึ้น (firming agents) เช่น เกลือแคลเซียม (calcium salts) สารไฮโดรคอลลอยด์ (gelling hydrocolloids) และเอนไซม์ PME มักถูกใช้เพื่อเพิ่มความแข็งของเนื้อสัมผัสในอาหารแปรรูปจากพืช

- **แคลเซียม**

การใช้แคลเซียมมักใช้ลดการสูญเสียเนื้อสัมผัสของเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการใช้ความร้อน พบว่าได้ผลดีกับผักผลไม้หลายชนิด เช่น กะหล่ำดอก (Hoogzand and Doesburg 1961) พริกฮาลาพีโน (Jalapeno pepper) (Howard *et al.* 1994) และแครอท (Vu *et al.* 2004) เนื่องจากแคลเซียมสามารถจับกับสายกรดกาแลกทูโลนิกที่มีหมู่คาร์บอกซิลที่ไม่ถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ด้วยเมทานอล (demethoxylated polyuronides) การเชื่อมโยงข้ามระหว่างหมู่คาร์บอกซิลที่ไม่ถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ด้วยเมทานอล (free carboxyl groups) ของสายเพกทินและแคลเซียมไอออนนำไปสู่การใช้เทคนิคการแช่สารละลายแคลเซียมอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามการใช้แคลเซียมที่ความเข้มข้นสูงนำไปสู่รสชาติที่ไม่พึงปรารถนาแก่ผู้บริโภคและส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยา β-elimination (Sila *et al.* 2008)

แคลเซียมแลกเตท (calcium lactate) แคลเซียมโพรพิโอเนต (calcium propionate) และแคลเซียมกลูโคเนต (calcium gluconate) มีประโยชน์ในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสเช่นเดียวกับการใช้แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) นอกจากนี้ยังไม่ทำให้เกิดรสขมและกลิ่นรสแปลกปลอมตกค้างและการใช้เกลือชนิดอื่นยังช่วยหลีกเลี่ยงการก่อตัวของสารก่อมะเร็ง (เช่น chloramines และ trihalomethanes) ซึ่งเกี่ยวข้องกับคลอไรด์ ประสิทธิภาพของแคลเซียมในฐานะสารที่ให้ความกรอบและทำให้เนื้อแน่นเพิ่มขึ้นถ้าเพิ่มแอกทิวิตีของ PME ดังนั้นจึงนิยมใช้การแช่สารละลายแคลเซียมกับการใช้ความร้อนต่ำ (mild heating) ร่วมกับเทคนิคการแทรกซึมโดยใช้สุญญากาศ (vacuum impregnation technology) จุดประสงค์ของเทคนิคนี้เพื่อปรับปรุงองค์ประกอบในวัตถุดิบอาหารโดยการเอาน้ำบางส่วนออกแล้วแทนที่ด้วยตัวละลาย (solutes) โดยไม่กระทบต่อความแข็งของวัตถุดิบ ตัวผลักดันของกระบวนการนี้อาจเป็นออสโมติกเกรเดียนต์ (osmotic gradient) ระหว่างตัวอย่างกับสารละลาย การใช้สุญญากาศตามด้วยการนำกลับไปที่บรรยากาศปกติ หรือการใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้อาจมีลักษณะไม่เป็นธรรมชาติและค่อนข้างเป็นผลิตภัณฑ์แห้ง (dehydrated product) ขึ้นอยู่กับเวลาของกระบวนการ (เป็นนาทีถึงเป็นวัน) และความแรงของสุญญากาศที่ใช้ซึ่งอยู่ระหว่าง 5-200 mbar หรือความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ซึ่งอยู่ระหว่าง 20-75 ^{o}Bx

เมื่อเนื้อเยื่อที่มีรูพรุนถูกแช่ในสารละลายภายใต้สภาวะสุญญากาศ อากาศจะถูกสกัดออกจากรูขนาดเล็กเมื่อนำความดันสู่ปกติ (ความดันบรรยากาศ) สารละลายจะทะลุทะลวงเข้าไปในช่องว่างระหว่างเซลล์โดยการซึมตามรูขนาดเล็ก (capillary) และโดยเกรเดียนต์ความดัน (pressure gradients) เทคนิค impregnation ถูกใช้เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสและหรือการเสริมธาตุอาหาร (fortify) ผลิตภัณฑ์ มีการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้อย่างกว้างขวางในการแปรรูปผักและผลไม้โดยการแทรกซึมแคลเซียมชนิดต่าง ๆเข้าในเนื้อเยื่อเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Martı´n-Dianaa *et al.* 2007)

- **เอนไซม์ PME**

การกระตุ้นแอกทิวิตีของ PME ที่อยู่ภายในวัตถุดิบมักใช้กับอาหารที่มาจากพืชแต่การเติม PME จากภายนอกนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม เนื้อและผลิตภัณฑ์ที่บดละเอียดอื่นๆ อย่างไรก็ตามหลังจากมีการพัฒนาเทคนิคการแทรกซึมโดยใช้สุญญากาศ ทำให้สามารถนำ PME เข้าไปภายในรูพรุนของเมตริกของอาหารแข็งที่มีอากาศอยู่ภายใน เช่น สตรอเบอร์รี่ ได้ (Duvette *et al.* 2005) อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ใช้ไม่ได้ผลกับวัสดุที่มีผิวที่ไม่ยอมให้ผ่าน (impermeable skin) หรือขาดช่องว่างภายใน เช่น เชอร์รี่ บลูเบอร์รี่ ถั่ว และข้าวโพด การใช้ PME จากภายนอก มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์ที่มีภายในเนื้อเยื่อจากที่มีอยู่แล้วหรือทดแทนเอนไซม์ที่เสียสภาพไป PME ที่ใช้มาจากทั้งพืชและจุลินทรีย์ (ราและแบคทีเรีย) (Sila *et al.* 2008)

การนำเอนไซม์จากภายนอกเข้าไปเพื่อเปลี่ยนลักษณะของเนื้อเยื่อเรียกว่า enzyme infusion มีวิธีการทำให้เกิดการแทรกซึมโดย 1) การแพร่ออสโมติกแบบไม่ใช้พลังงาน (passive osmotic diffusion) ข้อจำกัดของวิธีการนี้มี 2 ประการคือ ความเป็นรูพรุนของผนังเซลล์ และขนาดของโมเลกุลที่ทำ infusion ยิ่งโปรตีนมีขนาดใหญ่การเคลื่อนเข้าไปในช่องว่างระหว่างเซลล์ยิ่งทำได้ยากขึ้น 2) การซึมโดยอาศัยความดัน(pressure-assisted infusion) สำหรับสารละลายเอนไซม์ วิธีนี้ได้ผลดีสำหรับเนื้อเยื่อที่มีที่ว่างภายในจำนวนมาก เมื่ออยู่ภายใต้ความดันสูงก๊าซ ที่อยู่ในโพรงอากาศในผักผลไม้จะถูกอัดและเข้าไปอยู่ในที่ว่างด้านในของเนื้อเยื่อ โพรงอากาศในเนื้อเยื่อจะถูกแทนที่ด้วยสารละลายเอนไซม์ เมื่อความดันกลับเข้าสู่สภาวะปกติ ก๊าซกลับเข้าสู่ตำแหน่งเดิมของเหลวจำนวนมากก็จะถูกดันออกมาจากเนื้อเยื่อ ในเนื้อเยื่อบางอย่างเช่น แอปเปิ้ล วิธีการนี้ใช้ได้ดี แต่ในเนื้อเยื่อเช่นเปลือกด้านในสีขาวของส้มฝรั่ง (albedo) การใช้ความดันสูงจะทำให้เนื้อเยื่อเสียรูปถาวรซึ่งป้องกันสารละลายเอนไซม์เข้าไป 3) การซึมโดยอาศัยสุญญากาศ (vacuum-assisted infusion) เช่นเดียวกับวิธีการซึมโดยอาศัยความดัน วิธีนี้ทำได้ผลดีสำหรับเนื้อเยื่อที่มีที่ว่างภายในจำนวนมาก ภายใต้สุญญากาศในขณะที่ตัวอย่างแช่อยู่ในสารละลายเอนไซม์อากาศจะถูกดึงออกไปจากเนื้อเยื่อผักผลไม้ เมื่อกลับเข้าสู่ความดันบรรยากาศ สารละลายเอนไซม์จะเข้าสู่ที่ว่างในเนื้อเยื่อ ข้อดีของวิธีการนี้คือสุญญากาศทำให้อากาศภายในออกไปหมดดังนั้นสารละลายเอนไซม์จึงสามารถอยู่ในเนื้อเยื่อภายหลัง infusion (Baker and Wicker 1996)

แม้ว่าประโยชน์จาก PME ทั้งภายในและภายนอกเป็นที่ทราบแน่ชัด แต่ตัวยับยั้งเอนไซม์ PME (pectinmethylesterase inhibitor) ที่พบในผักและผลไม้บางชนิดมีผลทำให้ประสิทธิภาพของ PME ลดลง ดังนั้นจึงมีแนวโน้มการใช้ PME จากจุลินทรีย์มากกว่า PME จากพืช เพราะนอกจากจะหาซื้อได้ง่ายยังพบว่ามีประโยชน์ในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสมากกว่า นอกจากนี้ยังไม่ถูกยับยั้งโดยตัวยับยั้งเอนไซม์ PME ซึ่งแตกต่างจากเอนไซม์ PME จากพืช (Sila *et al.* 2008)

Table 1 และ 2 แสดงตัวอย่างสภาวะที่เหมาะสมที่ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ที่มีรายงานในเอกสารวิชาการ

- **ไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids)**

การซึมของสารก่อเจล (gelling agents) ในอาหารที่มาจากพืชช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสโดยการสร้างสะพานเชื่อมระหว่างเซลล์ในรูพรุนหรือช่วยเติมเต็มโครงข่ายภายในผนังเซลล์ หรือการสร้างพันธะระหว่างไฮโดรคอลลอยด์ที่เติมลงไปกับองค์ประกอบในผนังเซลล์ อย่างไรก็ตามเจลที่เข้าไประหว่างเซลล์จะสามารถช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสได้ต่อเมื่อโครงสร้างมีความเป็นรูพรุนสูงและการดูดซึมตัวละลายมีปริมาณสูงโดยเฉพาะเมื่อการถ่ายเทมวลสารถูกจำกัดโดยความหนืดที่สูงของสารละลายเจล (Sila *et al.* 2008)

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้คือการใช้กัมแซนแทน (xanthan gum) ในเห็ดกระดุม (button mushroom หรือ *Agaricus bisporus*) ก่อนขั้นตอนการลวกและบรรจุกระป๋องพบว่าช่วยปรับปรุงน้ำหนักสุทธิและรสชาติของผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้เป็นอย่างดี (Gormley and Walshe 1986) Matringe *et al.* (1999) แสดงให้เห็นว่าการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ เช่น เจลาติน (gelatin) เพกทิน (pectin) อัลจิเนต (alginate) และสตาร์ช (starch) โดยใช้สุญญากาศช่วยผลักดันสารเหล่านี้เข้าไปในเนื้อเยื่อใช้ได้ดีกับผลิตภัณฑ์แอปเปิ้ลหั่นชิ้นแช่เยือกแข็งได้

ค. การใช้ความดันสูงก่อนการแปรรูป

เทคนิคใหม่ที่คิดค้นขึ้นเพื่อถนอมอาหารจากพืชให้มีคุณภาพดีขึ้นได้แก่การแปรรูปโดยใช้ความดันสูง (High-pressure, HP) การใช้ความร้อนสูงช่วยขจัดผลกระทบที่รุนแรงต่อคุณภาพเมื่อใช้ความร้อนในการแปรรูป ในแง่การทำงานของเอนไซม์ที่มีความสำคัญต่อการรักษาเนื้อสัมผัสพบว่า HP เร่งการทำงานของ PME อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้ความดันในช่วงที่เหมาะสม (Sila *et al.* 2008)

ตัวอย่างเช่นแครอทที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น 9 เท่า เมื่อใช้ความดันสูง (400 MPa, 60°C, 15min) และแช่แคลเซียม (0.5% w/v) เมื่อเทียบกับการใช้การลวกที่อุณหภูมิต่ำแบบดั้งเดิมที่ 90°C, 4min (Sila *et al.* 2004; 2005)

เนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้นน่าจะเป็นผลมาจากแอกทิวิตีของ PME เมื่อใช้ความดันสูง PME ถูกปลดปล่อยออกมาแล้วสัมผัสกับซับสเตรตซึ่งก็คือเพกทินที่มีหมู่คาร์บอกซิลถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ด้วยเมทานอลในสัดส่วนสูงนำไปสู่ปฏิกิริยาการแยกสลายหมู่เมทิล เพกทินที่มีหมู่เมทิลน้อยสามารถก่อตัวสร้างโครงข่ายกับไอออนที่มีเวเลนซีเท่ากับสองเป็นผลต่อการเพิ่มความแข็งของเนื้อเยื่อ นอกจากนี้ความดันสูงยังลดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น β-elimination ระหว่างการใช้ความดันสูงและอุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตามกลไกที่แน่นอนที่อธิบายการปรับปรุงเนื้อสัมผัสเมื่อใช้ความดันสูงและอุณหภูมิสูงที่ยังต้องมีการศึกษาวิจัยต่อไป (Oey *et al.* 2008)

ง. การดัดแปลงทางพันธุกรรมของเมทริกซ์พอลิเมอร์

ปัจจุบันการดัดแปลงทางพันธุกรรมของเมทริกซ์พอลิเมอร์เน้นหนักการดัดแปลงเอนไซม์ในผนังเซลล์ การดัดแปลงโพลีแซคคาไรด์อยู่บนหลักการการควบคุมยีนที่ควบคุมการสังเคราะห์เอนไซม์หรือที่ควบคุมองค์ประกอบในระบบการสังเคราะห์ (genes encoding biosynthetic enzymes หรือ components of synthase complexes) การควบคุมแอกทิวิตีของเอนไซม์ทำได้โดยกระบวนการที่ทำให้ยีนไม่สามารถทำงานได้ (gene silencing) และการคัดเลือกเอายีนที่มีอยู่ออกทิ้งหรือทำให้ยีนนั้นใช้งานไม่ได้ (selective knockouts) ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การดัดแปลงเพกตินของหัวมันฝรั่ง (มี galactan ปริมาณมาก) ทำโดยการดัดแปลงการแสดงออก (expressing) ของเอนไซม์ไลเอสที่สลาย rhamnogalacturonan I ซึ่งลดระดับของ arabinan และ galactan ในหัวมันฝรั่งซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ ในมะเขือเทศการละลายของเพกตินในผนังเซลล์ของพืชที่ดัดแปลงพันธุกรรม(transgenic plant) สามารถบังคับได้โดยการควบคุมการย่อยสลายของ PME และ endo-PG การรักษาเนื้อสัมผัสให้ได้ผลดีอาจทำได้โดยการเอายีนของเอนไซม์ที่มีอยู่ออกทิ้งหรือทำให้ยีนนั้นใช้งานไม่ได้หลายตัวในคราวเดียวโดยเฉพาะเอนไซม์ที่มีเป้าหมายแตกต่างกันในแต่ละองค์ประกอบของผนังเซลล์ (Sila *et al.* 2008)

จ. การให้ธาตุที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงระหว่างขั้นตอนการปลูก

วิธีการในอุตสาหกรรมที่ใช้ช่วยในการรักษาเนื้อสัมผัสนั้นอาศัยหลักการทำงานของแคลเซียมร่วมกับเอนไซม์ PME ซึ่งมีข้อจำกัดหลายด้านโดยเฉพาะการควบคุมความสม่ำเสมอในการแพร่กระจายของแคลเซียมในเนื้อเยื่อพืชซึ่งควบคุมได้ยาก ทำให้วิธีการนี้ยังไม่มีประสิทธิภาพสมบูรณ์ นอกจากนี้ประสิทธิภาพของวิธีนี้ในผักผลไม้ที่มีลักษณะทางกายภาพต่างกันมีความแตกต่างกันดังนั้นจึงมีแนวคิดในการใช้ธาตุอาหารเพิ่มความแข็งแรงแก่เนื้อเยื่อพืชได้แก่ซิลิคอนและแคลเซียมเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผักผลไม้ตั้งแต่ระหว่างการเพาะปลูกโดยหวังว่าจะส่งผลดีด้านเนื้อสัมผัสต่อเมื่อนำมาแปรรูป อีกทั้งยังเป็นวิธีที่ช่วยลดขั้นตอนในการผลิตและช่วยประหยัดเวลา พลังงานและกำลังคน และยังช่วยลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในผลิตภัณฑ์แปรรูป

ธาตุอาหารที่พบว่ามีความสำคัญต่อความแข็งแรงหรือเนื้อสัมผัสของเนื้อเยื่อพืชนอกจากแคลเซียม ได้แก่ซิลิคอน (Si) ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่มีอยู่มากมายเป็นพื้นผิวโลก แต่ไม่จัดเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชเหมือนแคลเซียม แต่ก็มีหลักฐานมากมายที่ระบุว่าการที่พืชได้รับซิลิคอนมากกว่าปกติให้ผลดีต่อการเจริญ การดูดซึมธาตุอาหาร ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ความต้านทานต่อแมลงศัตรูและเชื้อรา (ถนิมนันต์ 2538)

ซิลิคอน (^{14}Si) เป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับสองของผิวโลก น้ำดิน (soil water หรือ soil solution) มีซิลิคอนส่วนใหญ่อยู่ในรูป silicic acid (H_4SiO_4) ซึ่งเป็นรูปที่พืชนำไปใช้ได้ มีความเข้มข้นประมาณ 0.1-0.6 mM พอๆกับโปแทสเซียม แคลเซียม และธาตุอาหารหลักของพืชอื่นๆ

ซิลิคอนถูกดูดซึมง่ายโดยพืช ความเข้มข้นแตกต่างกันไปจาก 1% ถึง 10% ของน้ำหนักแห้งหรือมากกว่านี้ในพืชบางชนิด (Epstein 1994) ซิลิคอนถูกดูดซึมโดยราก ส่งผ่านไปทั่วพืชแล้วสะสมในรูป amorphous silica gel (SiO_2 nH_2O) ในผนังเซลล์ ช่องระหว่างเซลล์ (cell lumens) ส่วนที่เชื่อมระหว่างเซลล์ (intercellular spaces) (Jones and Milne 1963; Lux *et al.* 2003, 2004) Kim *et al.* (2002) ใช้เทคนิค electron microscopy และ x-ray microanalysis ในการศึกษาตำแหน่งและปริมาณการสะสมของซิลิคอนในข้าวที่ปลูกในระบบไร้ดิน (hydroponic) ที่มีการเติมซิลิคอนที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆลงไป พบว่าซิลิคอนที่เติมลงไปสะสมในผนังเซลล์และช่วยส่งเสริมการต้านทานการทำลายของตัวอ่อนศัตรูพืช ยิ่งความเข้มข้นของซิลิคอนสูงยิ่งต้านทานการทำลายได้สูง ซิลิคอนมักพบได้ cuticle ใน epidermal ในผนังเซลล์ ซิลิคอนที่เติมลงไปส่วนใหญ่สะสมในผนังเซลล์ middle lamella และช่องระหว่างเซลล์ (intercellular spaces)

งานวิจัยในประเทศไทยก็มีการศึกษาการใช้ประโยชน์ของซิลิคอนในการป้องกันศัตรูพืชโดยเฉพาะในข้าว Khan and Chaiyawat (2533) พบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับของซิลิคอนในเนื้อเยื่อของข้าว ขึ้นน้ำ ช่วยลดจำนวนและเพิ่มเวลาการเจาะทำลายโดยตัวอ่อนของหนอนกอสีครีม โดยซิลิคอนที่เพิ่มขึ้น ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของลำต้นข้าว นอกจากนี้ บุญธรรมและแสนสุข (2536) ยังพบว่าการเพิ่มขึ้นของ ปริมาณซิลิคอนช่วยต้านทานโรคไหม้ในข้าวขึ้นน้ำ ซิลิคอนที่เพิ่มขึ้นยังช่วยให้ข้าวมีการเจริญเติบโตเร็วขึ้น (ประโยชน์และคณะ 2537) การศึกษาของ Shahjahan และ Talukder (2536) พบการลดลงของจำนวนประชากรของศัตรูของข้าวได้แก่ เพลี้ยจักจั่นสีเขียว ตัวห้ำ แมงมุม แมลงเต่าทอง ในทุ่งข้าวที่ปลูก โดยมีซิลิคอนสูง การใช้ซิลิคอนที่มีความเข้มข้นเหมาะสมยังช่วยควบคุมเชื้อราในการปลูกแตงยุโรปใน ระบบไม่ใช้ดินในโรงเรือน ช่วยเพิ่มผลผลิต ลดการใช้สารเคมีและสารเคมีตกค้างในผลิตผล (ถนิมนันต์และวรางคณา 2541)

กระบวนการที่เป็นสาเหตุให้ที่ทำให้ซิลิคอนช่วยยับยั้งการพัฒนาของโรคพืชและป้องกันศัตรูพืชนั้นคาดว่าเกิดจากการสะสมและการเกิด polymerization ของ silicic acid ในผนังเซลล์ ซึ่งเป็นเกาะกำบังทางกายภาพ ป้องกันการเจาะทำลายของราศัตรูพืช ตัวหนอน และแมลง (Kim *et al.* 2002) หลักฐานสนับสนุนการสะสมของซิลิคอนในผนังเซลล์ของพืชในพืชที่ปลูกและเพาะในสภาวะที่มีซิลิคอนสูงมีกล่าวไว้ในหลายงานวิจัย (Cherif *et al.* 1992, Kim *et al.* 2002, Samuels *et al.* 1994)

หินแร่ภูเขาไฟบางชนิดมีซิลิคอนที่ละลายน้ำได้เป็นปริมาณที่พบมากกว่าในดินปกติ พบว่าผักที่ปลูกในเขตภูเขาไฟเก่าของญี่ปุ่นโดยทั่วไปมีลักษณะแข็งกรอบอร่อย รอการขายในตู้เย็นได้นานไม่ยุบ ง่าย ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของซิลิคอน (ดีพร้อม 2541) มีการประยุกต์ใช้ซิลิคอนในรูปที่ละลายน้ำกับพืชหลายชนิด ซิลิคอนในรูปนี้ช่วยให้พืชดูด ซิลิคอนที่ละลายน้ำนั้นขึ้นไปพร้อมกับการดูดน้ำของพืชผ่านทางท่อน้ำแล้วกระจายไปทั่วต้นพืช เมื่อน้ำระเหยออกทางผิวของพืชและผนังเซลล์แต่ซิลิก้าระเหยไม่ได้จึงสะสมในพืชมากขึ้นโดยเฉพาะในผนังเซลล์พบว่าทำให้พืชแข็งแรงทน

ต่อโรค แมลง ไร เพลี้ย และหนอนมากขึ้น การมีซิลิก้าที่พืชผักมากขึ้นทำให้พืชผักเช่น ผักกาด คะน้า กวางตุ้ง ถั่วฝักยาว คื่นชาย มีความแข็งกรอบอร่อยขึ้น เก็บรอการขายได้นานขึ้น และมีรอยช้ำน้อย (ดีพร้อม 2541)

แหล่งของซิลิคอนได้แก่ ซีโอไลท์ (Zeolite) ไครน๊อฟติโลไลท์ (Clinoptilolite) ภูไมท์ (Pumice) และสเม็กไทด์ (Smectide) ซึ่งมีซิลิคอนอยู่ 71.6, 70.3, 68.7 และ 60.1% ตามลำดับ (ประเวส 2544) ส่วนประกอบของธาตุต่างๆใน ซีโอไลท์ ไครน๊อฟติโลไลท์ ภูไมท์ และ สเม็กไทด์ แสดงไว้ใน Table 1.1

แหล่งของหินแร่ที่มีซิลิคอนสูงในประเทศไทยคือแถบเขากระโดง จังหวัดบุรีรัมย์ และเทือกภูเขา ไฟ เก่าขนาดใหญ่ อายุ 22 ล้านปีที่จังหวัดลพบุรี (ดีพร้อม 2541)

ดีพร้อม (2541) ได้บรรยายในหนังสือพืชผักปลอดสารพิษจากภูไมท์ถึงวิธีการใช้หินแร่ภูเขาไฟ ชนิดที่มีซิลิคอนที่ละลายน้ำได้ เช่น ซีโอไลท์ ไครน๊อฟติโลไลท์ ภูไมท์ และสเม็กไทด์ในการเพิ่มปริมาณ ซิลิคอนในเนื้อเยื่อพืช ทำให้พืชแข็งแรง ต้านทานต่อเพลี้ย หนอน ไร รา ไส้เดือนฝอย ช่วยปรับปรุง คุณภาพของพืชผักให้กรอบ อร่อย เก็บได้นาน ทนทานต่อการขนส่ง ไม่ช้ำง่าย เก็บในตู้เย็นได้นาน อีกทั้งยังเป็นการลดสารพิษกำจัดศัตรูพืช และลดสารพิษตกค้างที่ติดมากับผัก ปริมาณการใช้ภูไมท์จะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช พืชผักเล็กๆ เช่น ผักกินใบ ใช้ในปริมาณน้อยก็จะเห็นผล ส่วนพืชต้น ใหญ่ เช่น มะขามเทศ ชมพู่ มะม่วง ต้องใช้เวลานานและ ปริมาณมากจึงจะเห็นผล

จากข้อมูลข้างต้นจึงมีความเป็นไปได้สูงในการประยุกต์ใช้ซิลิคอนที่พืชนำไปใช้ได้ในการเพิ่ม ปริมาณซิลิคอนในเนื้อเยื่อพืช ทำให้พืชแข็งแรง ปรับปรุงคุณภาพของผลิตผลและวัตถุดิบที่จะนำมาแปรรูปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แปรรูปที่มีคุณภาพสูง การแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรโดยใช้เทคนิค เช่น การแปรรูปเล็กน้อย (minimally processing) การแปรรูปโดยใช้ความร้อน (thermal processing) เช่น ผักผลไม้บรรจุ กระป๋อง หรือขวดแก้ว การแปรรูปแบบแช่เยือกแข็ง (freezing processing) เหล่านี้ล้วนแล้วแต่ต้องใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพสูง เพราะต้องผ่านกระบวนการแปรรูปที่ทำให้เนื้อเยื่อเสียหายนำไปสู่การสูญเสียเนื้อสัมผัสเดิมโดยตรง การที่พืชมีเนื้อเยื่อที่แข็งแรงตั้งแต่เริ่มต้นยังอาจทดแทนหรือส่งเสริมประสิทธิภาพของการใช้สารเพิ่มความกรอบในขั้นตอนการแปรรูปและช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมีในการผลิต นอกจากนี้การที่เนื้อเยื่อพืชที่แข็งแรงยังอาจเป็นการป้องกันปฏิกิริยาที่ไม่พึงประสงค์ระหว่างกระบวนการแปรรูป เช่น ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์ โดยไม่ต้องใช้สารเคมี Chikthimmah *et al.* (2006) พบว่าการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 0.3% หรือ การใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 0.3% ร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น 0.75% ในน้ำรดเห็ด ช่วยปรับปรุงสีของเห็ดกระดุมให้ขาวขึ้น ลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน และนอกจากนี้ยังช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษาซึ่งช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของเห็ด การใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ในน้ำรดเห็ดกระดุมทำให้ปริมาณ

แคลเซียมในเห็ดเพิ่มขึ้นและพบความสัมพันธ์โดยตรงกับความขาวเริ่มต้นของเห็ด (Simons and Beelman 1996) การลดลงของการเกิดสีน้ำตาลนี้อาจเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคลเซียมทำให้เซลล์แมมเบรนของแวสคูลาแข็งแรงขึ้นซึ่งจะไปลดโอกาสที่เอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลเกิดปฏิกิริยากับสารตั้งต้นของมัน การลดลงของการเกิดสีน้ำตาลอาจเป็นผลมาจากผลของแคลเซียมที่มีต่อการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลด้วยก็ได้

เห็ดเป็นอาหารที่มีคุณค่าสูงและเป็นนิยมบริโภคมาเป็นเวลาช้านาน อีกทั้งยังจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งเนื่องจากการเพาะเห็ดให้ผลตอบแทนสูงในระยะเวลาสั้น จัดเป็นพืชอาหารที่มีคุณค่าและมีศักยภาพด้านการตลาดสูงจึงเป็นที่นิยมเพาะกันมาก เห็ดนำมาแปรรูปได้หลายอย่าง เช่น เห็ดบรรจุกระป๋อง หรือขวดแก้ว ในรูปทั้งเห็ดสดและเห็ดดองเค็ม แหนมเห็ด เห็ดสวรรค์หรือเห็ดหยอง เห็ดแดดเดียว ลูกชิ้นเห็ด ฯลฯ ในการเพาะเห็ดนิยมผสมยิบซั่ม (แคลเซียมซัลเฟต) หรือภูไมท์ในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของดอกเห็ดและเพิ่มความแข็งแรงแก่เส้นใยเห็ด ถึงแม้โครงสร้างของเห็ดจะไม่ซับซ้อนเท่าโครงสร้างของพืชแต่เนื้อเยื่อของเห็ดประกอบจากเซลล์ที่มีผนังเซลล์เหมือนพืชทั่วไป และการเพาะเห็ดให้ผลผลิตในระยะเวลาสั้น และสามารถผลิตปริมาณมากพอสำหรับการแปรรูป ดังนั้นเห็ดจึงเหมาะที่จะนำมาใช้ศึกษาอิทธิพลของใช้ธาตุอาหารเพิ่มความแข็งแรงของเนื้อเยื่อพืชได้แก่ซิลิคอนและแคลเซียมในการเพาะปลูกต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผักผลไม้แปรรูป ผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ผักผลไม้แปรรูปชนิดอื่นๆได้ในอนาคต

Table 1.1 สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของซีโอไลท์ ไครน๊อฟติโลไลท์ ภูไมท์ และสเม็กไทด์

ส่วนประกอบ	**เปอร์เซ็นต์**			
	ซีโอไลท์	**ไครน๊อฟติโลไลท์**	**ภูไมท์**	**สเม็กไทด์**
พีเอช	7.31	7.63	7.92	6.72
ซิลิคอน	71.6	70.3	68.7	68.1
อลูมินัมออกไซด์	11.9	12.3	13.6	14.7
โซเดียมออกไซด์	0.53	0.47	2.18	2.13
แมกนีเซียมออกไซด์	1.03	0.93	0.46	0.66
โพแตสเซียมออกไซด์	2.65	2.81	4.69	4.40
แคลเซียมออกไซด์	3.01	3.50	1.02	10.2

ที่มา: ประเวส (2544)