สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ชุดโครงการวิจัยย่อยที่ 7

ผลของการใช้เอนไซม์ต่อสารออกฤทธิ์ชีวภาพจากเปลือกและเนื้อแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose

EFFECTS OF ENZYMATIC TREATMENT ON BIOACTIVE COMPOUNDS FROM SKIN AND FLESH OF RED DRAGON FRUIT *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose

โดย น.ส. กรรณิการ์ สอนโยธาและ รศ.ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง

ตอนที่ 2
การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเปลือกและเนื้อแก้วมังกรแดง โดยใช้เอนไซม์เพคติเนสทางการค้า(Pectinex ® Ultra SP-L)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเปลือกและเนื้อแก้วมังกรแดงที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 45-50 วันนับตั้งแต่ออกดอก โดยภาวะที่ใช้ในการควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในเปลือกและเนื้อของแก้วมังกรแดงใช้กรดอินทรีย์ 2 ชนิด คือ กรดแอสคอร์บิกและกรดซิตริก แปรความเข้มข้นกรดในช่วง 0-0.5%(w/w) แปรเวลาการให้ความร้อนในช่วง 0-5 นาทีพบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเปลือกและเนื้อ คือ เติมกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 0.2 และ 0.1%(w/w) ตามลำดับร่วมกับการให้ความร้อนด้วยไอน้ำจนจุดกึ่งกลางมีอุณหภูมิ 85°C นาน 3 นาที ขั้นตอนต่อมา นำเปลือกและเนื้อแก้วมังกรแดงที่ได้มาย่อยสลายด้วยเอนไซม์กลุ่มเพกติเนส โดยแปรระยะเวลาการย่อย 0-6 ชั่วโมง และแปรความเข้มข้นเอนไซม์ในช่วง 0-10.0%(v/w) โดยติดตามความสามารถในการย่อยสลายด้วยเอนไซม์จากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์พบว่า ในส่วนเปลือก เวลา 3 ชั่วโมง ความเข้มข้นของเอนไซม์เป็น 0.5, 2.5 และ 5.0%(v/w)สามารถแบ่งระดับของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เป็น 3 ช่วง คือ 20, 32 และ 45 mg glucose / g FM และในส่วนเนื้อ เวลา 3 ชั่วโมง ความเข้มข้นของเอนไซม์เป็น 0.5, 2.5 และ 10.0%(v/w)ซึ่งสามารถแบ่งระดับของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เป็น 3 ช่วง คือ 26, 59 และ 71 mg glucose / g FM ตามลำดับคัดเลือกเป็นตัวแทนเพื่อศึกษาผลของการใช้เอนไซม์ต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารให้สีม่วงแดงของเบต้าไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ รวมทั้งใย

อาหารทั้งหมด ที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อระดับของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เปลี่ยนแปลงไปเมื่อผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์กลุ่มเพคติเนส

1.บทนำ

แก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง (Dragon fruit, Pitahaya, Pitaya, Strawberry Pear) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Hylocereus polyrhizus* อยู่ในวงศ์ Cactaceae เป็นผลไม้ที่มีสีแดงสด(นฤมล มานิพพาน, 2548) ในการปอกเปลือก การหั่นชิ้น และการตีปน สามารถทำให้เกิดสีน้ำตาลได้ง่าย ซึ่งในผักและผลไม้ส่วนใหญ่มีสาเหตุหลักจากการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) โดยเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบโมโนฟีนอลที่อยู่ในเซลล์พืชกับออกซิเจนในอากาศ และมีเอนไซม์ PPO ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชั่นได้เป็น *o*-diphenol ซึ่งสารนี้จะถูกออกซิไดซ์ต่อให้เป็น o-quinone สารดังกล่าวที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลอื่นๆ หรือกับกรดอะมิโนได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล (Owusu-apenten, 2005) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์เมื่อเกิดขึ้น จะทำให้สีและรสชาติของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป มีคุณภาพลดลงและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในเปลือกและเนื้อของแก้วมังกรแดงก่อนนำไปย่อยสลายด้วยเอนไซม์ โดยใช้ความร้อนร่วมกับการสารเคมี โดยสารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่กรดเอสคอร์บิกและกรดซิตริก สำหรับกรดแอสคอร์บิกทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ โดยจะรีดิวซ์ o-quinone ให้กลับมาอยู่ในรูปของสารประกอบฟีนอล ก่อนที่ o-quinone จะทำปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็นสารสีน้ำตาล(Dris และ Jain, 2004) ส่วนกรดซิตริกทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลโดยลดค่า pH ให้ต่ำกว่าค่า optimum pH ของเอนไซม์ PPO ส่งผลให้เอนไซม์มีแอกทิวิตีลดลง(El-Shimi, 1993; Sapers และ Miller,1995; Sapers และคณะ, 1989;) และในการนำมาย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในกลุ่มเพกทิเนสมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเปลือกและเนื้อของแก้วมังกรแดง ได้แก่ สารให้สีม่วงแดงของเบต้าไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก สารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ โดยใช้เอนไซม์เพคติเนสในการสกัดโดยไม่ผ่านกระบวนการแยกกากหรือใยอาหารออก ทำให้สารสกัดที่ได้ยังคงรักษาองค์ประกอบเดิม แต่มีความเข้มข้นมากขึ้น เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้ปรุงแต่งสีและเนื้อสัมผัสในอาหาร ทดแทนสารสังเคราะห์ เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบทางการเกษตร นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่อไปได้

2.วิธีการทดลอง

2.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

นำแก้วมังกรที่คัดเลือกระดับความสุกได้แล้วแยกเป็นส่วนเปลือกและเนื้อ มาหาภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล โดยใช้สารควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล 2 ชนิด คือ กรดแอสคอร์บิก และกรดซิตริก ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ โดยตีปั่นด้วยเครื่องปั่นนาน 3 นาที แปรปริมาณสารควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ใช้เป็น 4 ระดับ คือ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3% (w/w) แปรระยะแวลาในการให้ความร้อนเป็น 4 ระดับ คือ 0, 1, 2 และ 3 นาที เริ่มจับเวลาเมื่อจุดกึ่งกลางของตัวอย่างมีอุณหภูมิ 85°C และทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว วัดค่าสีในระบบ L* a* b* ด้วยเครื่อง Chroma meter แหล่งกำเนิดแสง D_{65} ที่ทุกภาวะการทดลอง จากนั้นนำภาวะที่เลือกมาทดสอบแอกทิวิตีของเอนไซม์เพอออกซิเดส เพื่อยืนยันว่าภาวะที่เลือกใช้สามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ ซึ่งการทดสอบแอกทิวิตีของเอนไซม์เพอออกซิเดสทำโดยดัดแปลงวิธีของ Pearson (1976)

2.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเปลือกและเนื้อแก้วมังกรแดงโดยใช้เอนไซม์เพคติเนสทางการค้า(Pectinex ® Ultra SP-L)

สกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเปลือกและเนื้อแก้วมังกรแดงที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ด้วยเอนไซม์เพกทิเนสทางการค้าคือ Pectinex® Ultra SP-L โดยทำปฏิกิริยาในขวดแก้วสีชาขนาด 250 มิลลิลิตร แบบ batch ควบคุมอุณหภูมิที่ 32±2°C และกวนผสมด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที แปรความเข้มข้นของเอนไซม์เป็น 9 ระดับ คือ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 5.0, 7.0 และ 10.0% (v/w) และแปรเวลาการย่อยเป็น 9 ระดับ คือ 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาเอนไซม์โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100±5°C เป็นเวลานาน 5 นาที นำสารสกัดที่ได้มาทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง hand homogenizer ที่ความเร็ว 16000 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 3 นาที และวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar; RS) ตามวิธีของ Nelson (1944) ที่ทุกภาวะการทดลอง ทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ 9x9 Factorial in CRD วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

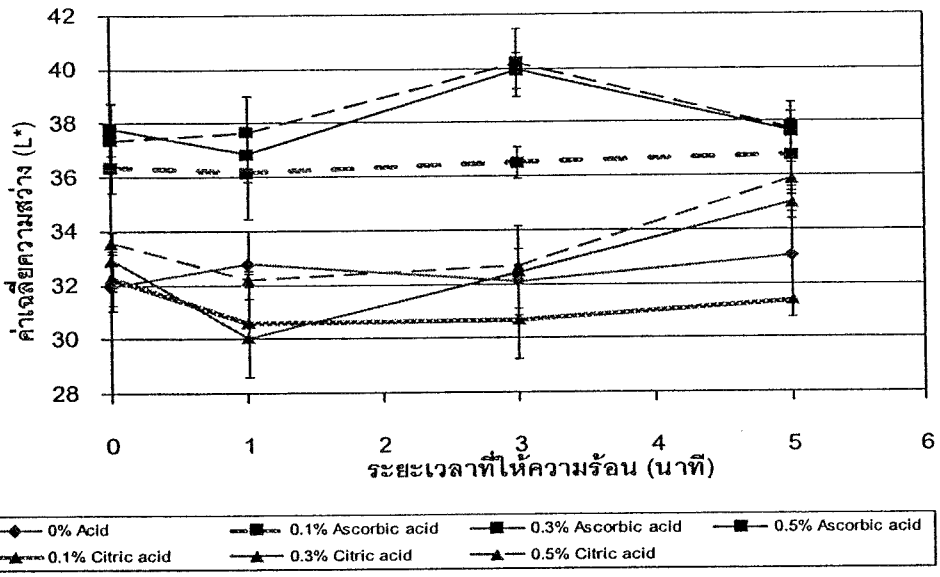
3.ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

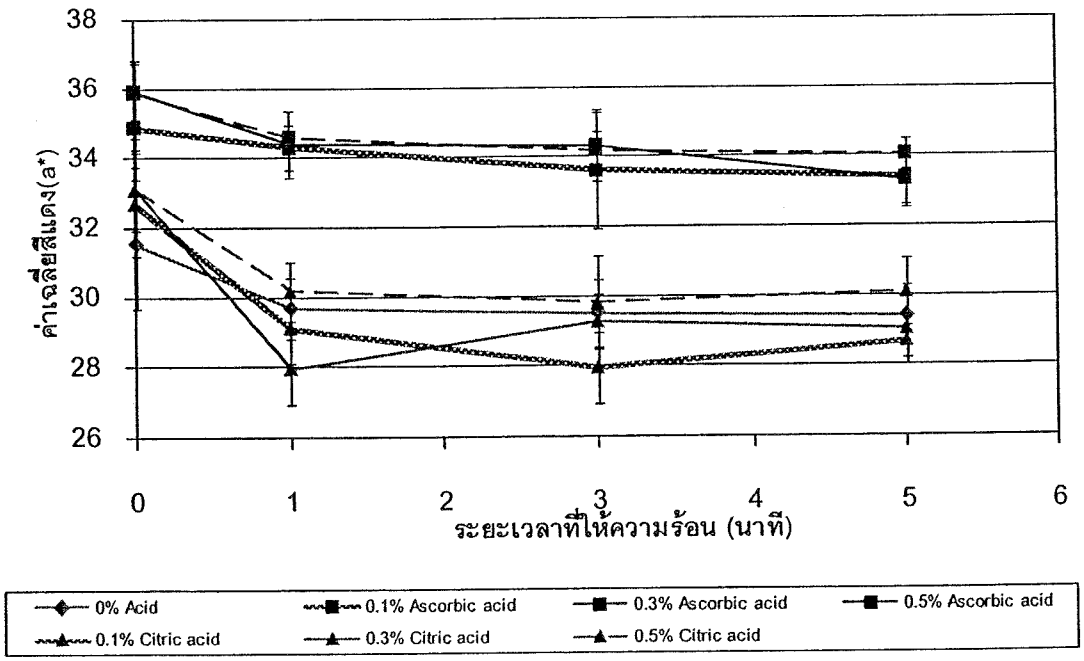
การเตรียมแก้วมังกรแดงก่อนนำไปย่อยสลายเอนไซม์ ต้องมีการปั่นละเอียดก่อนเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ เมื่อมีการหั่นและปั่นทำให้แก้วมังกรแดงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลมากขึ้น ซึ่งในผักและผลไม้ส่วนใหญ่เกิดการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase

(PPO) เมื่อเนื้อเยื่อถูกทำลายทางกล เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบ monophenol ที่อยู่ในเซลล์พืชกับออกซิเจนในอากาศโดยเอนไซม์ PPO ทำให้เกิดสาร o-diphenol ซึ่งถูกออกซิไดซ์ต่อให้เป็น o-quinone จากนั้นสารดังกล่าวที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกันและเกิดปฏิกิริยา Maillard กับกรดอะมิโนหรือสารประกอบฟีนอลอื่น ๆ ได้สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล(Owusu-apenten,2005) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีทั้งในเปลือกและเนื้อแก้วมังกรแดง ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ก่อนนำไปใช้ในการย่อยสลายด้วยเอนไซม์

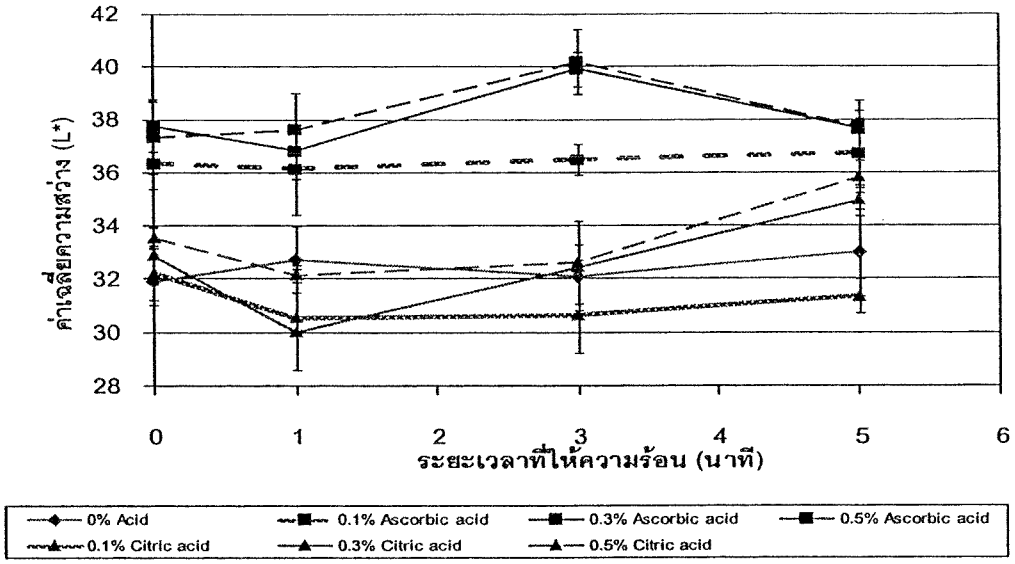
การทดลองเลือกใช้กรดอินทรีย์ 2 ชนิด คือ กรดแอสคอร์บิก และกรดซิตริก ซึ่งมีหน้าที่ในการควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลต่างกัน กรดแอสคอร์บิกทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ o-quinone ให้กลับมาอยู่ในรูปของ o-diphenol ทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ส่วนกรดซิตริกทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลกลุ่ม acidulant โดยทำให้ค่า pH ลดลง เมื่อ pH ต่ำกว่าค่า optimum pH ของเอนไซม์ PPO (pH 5-7) จะช่วยลดแอคติวิตีของเอนไซม์ได้เมื่อใช้กรดร่วมกับการให้ความร้อนจนจุดกึ่งกลางมีอุณหภูมิ 85 °C เพื่อทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดกับปริมาณสารควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและระยะเวลาในการให้ความร้อน พบว่าเปลือกแก้วมังกรเมื่อเติมกรดซิตริกควบคู่กับการให้ความร้อนด้วยไอน้ำทำให้มีค่าความสว่าง (L*) ค่าสีเหลือง (+b*) และค่าสีแดง(+a*) ใกล้เคียงกับที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลด้วยการให้ความร้อนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากกรดซิตริกที่ใช้มีปริมาณน้อยเกินไป จึงทำให้ยังมีค่า pH ใกล้เคียงกับ optimum pH ของเอนไซม์ PPO แต่การเติมกรดซิตริกในปริมาณมากเกินไป ส่งผลให้แก้วมังกรแดงมีรสเปรี้ยวมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ส่วนการเติมกรดแอสคอร์บิกควบคู่กับการให้ความร้อนจะช่วยลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเมื่อเทียบกับที่ผ่านการให้ความร้อนเพียงอย่างเดียว จากผลการทดลองพบว่า ในส่วนเปลือกและเนื้อแก้วมังกรแดง การเติมกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 0.3 และ0.1 %(w/w) ตามลำดับ ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยไอน้ำนาน 3 นาที โดยทั้งเปลือกและเนื้อแก้วมังกรแดงจะมีค่าความสว่าง(L*) และค่าสีแดง(+a*) สูงที่สุด ส่วนค่าสีเหลือง (+b*) จะมีค่าต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกการเติมกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 0.3และ0.1%(w/w) ตามลำดับร่วมกับการให้ความร้อนด้วยไอน้ำเป็นเวลา 3 นาที และเมื่อนำภาวะที่ได้ไปทดสอบแอกติวิตีของเอนไซม์ peroxidase (POD) เพื่อเป็นการยืนยันว่าเป็นภาวะที่สามารถควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ พบว่าไม่พบแอคติวิตีของเอนไซม์ POD แสดงผลของค่าเฉลี่ยความสว่าง (L*) และค่าสีแดง (+a*) ของเปลือกและเนื้อแก้วมังกรแดงที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ ดังรูปที่ 7.1-7.4



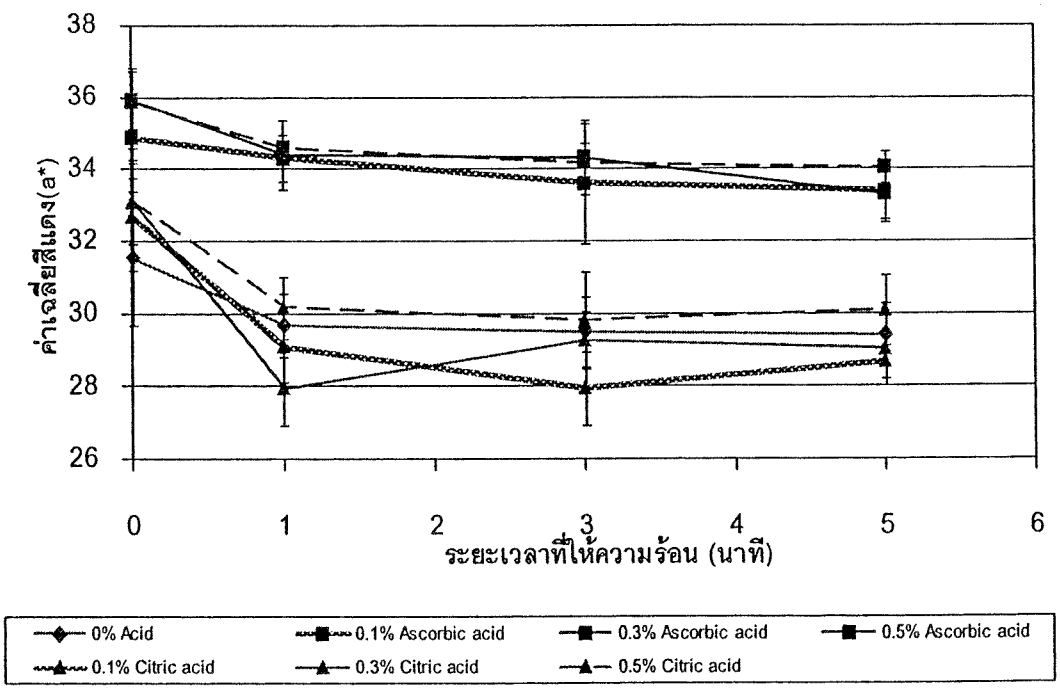
รูปที่ 7.1 ค่าเฉลี่ยความสว่าง (L*) ของเนื้อแก้วมังกรแดงที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ



รูปที่ 7.2 ค่าเฉลี่ยสีแดง (+a*) ของเนื้อแก้วมังกรแดงที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ



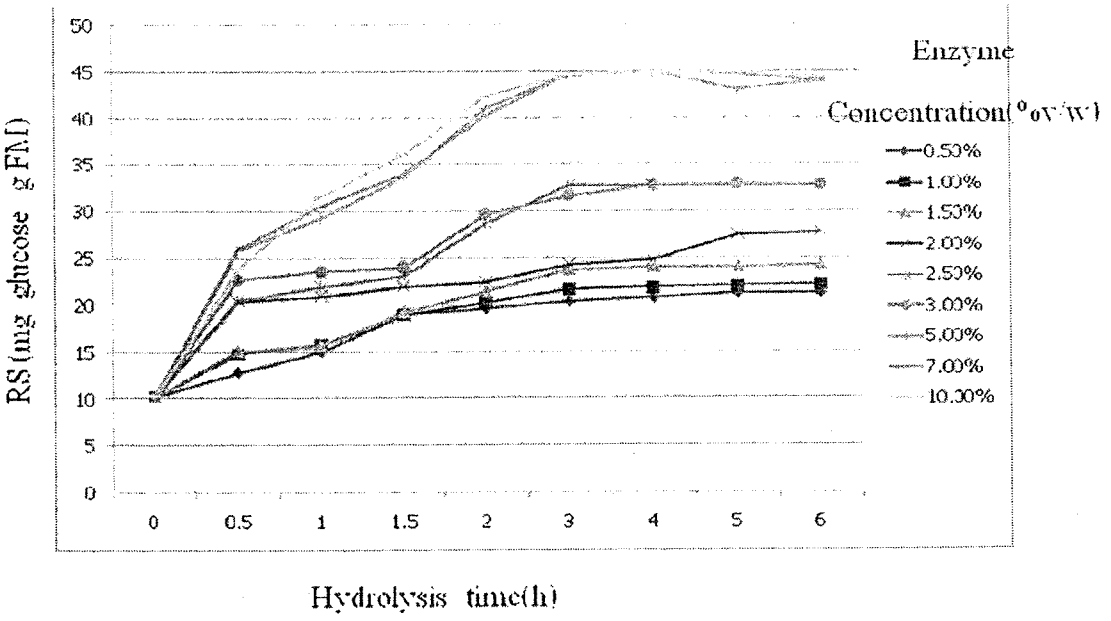
รูปที่ 7.3 ค่าเฉลี่ยความสว่าง (L*) ของเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ



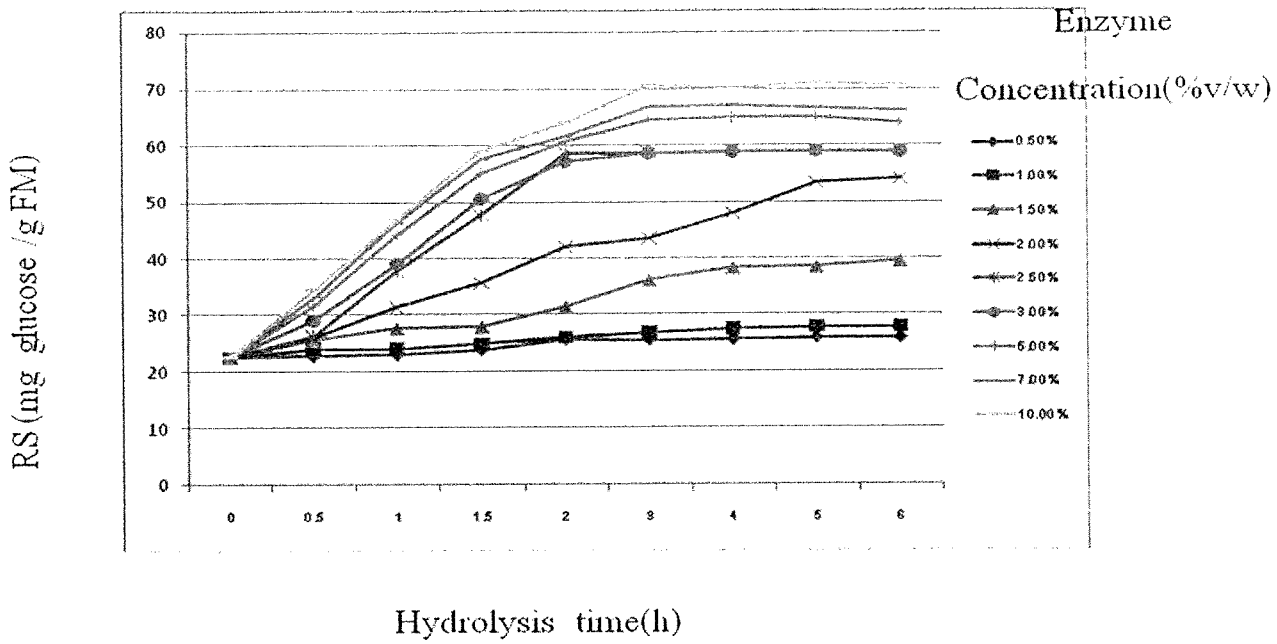
รูปที่ 7.4 ค่าเฉลี่ยสีแดง (+a*) ของเปลือกแก้วมังกรแดงที่ผ่านการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ภาวะต่างๆ

3.2 ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเปลือกและเนื้อแก้วมังกรแดงโดยใช้เอนไซม์เพคติเนสทางการค้า(Pectinex ® Ultra SP-L)

จากการติดตามการทำงานของเอนไซม์ โดยพิจารณาจากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดจากการตัดพันธะไกลโคซิลของพอลิเมอร์ในเปลือกและเนื้อแก้วมังกรแดง เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเปลือกและเนื้อแก้วมังกรแดง พบว่า ความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาการย่อยมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อย่างมีนัยสำคัญ($p\leq0.05$) และพบผลของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) จากผลการทดลองรูปที่ 7.5-7.6 พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาการย่อยเปลือกและเนื้อแก้วมังกรแดง จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ($p\leq0.05$) ซึ่งปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้น เกิดจากการตัดพันธะไกลโคซิลของพอลิเมอร์ในเปลือกและเนื้อแก้วมังกรแดงที่ มากขึ้น โดยเอนไซม์เพกทิเนส เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลส จะย่อยสลายพันธะไกลโคซิลของสารประกอบเพกทิน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสตามลำดับ ที่บริเวณผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อพืช(ปราณี, 2547; Grohmann and Baldwin, 1992; Sreenath et al., 1999) ทั้งนี้เอนไซม์ Pectinex® Ultra SP-L ประกอบด้วยเอนไซม์หลายชนิดดังกล่าว จึงสามารถช่วยเสริมการย่อยสลายสารประกอบต่างๆ ที่บริเวณผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อพืชได้ดีขึ้น (Pilnik and Rombouts, 1979)



รูปที่ 7.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเปลือกแก้วมังกรที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 0-10%เป็นเวลาต่างกัน



รูปที่ 7.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อแก้วมังกรที่ผ่านการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 0-10% เป็นเวลาต่างกัน

โดยพบว่าการใช้เวลาย่อยนาน 3 ชั่วโมง ที่เอนไซม์ความเข้มข้น 0.5-7.0% (v/w) เป็นภาวะที่เปลือกแก้วมังกร มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หรือมีระดับการตัดพันธะไกลโคซิลครอบคลุมจากช่วงต่ำไปสูง ซึ่งปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกับภาวะที่ใช้เวลา 4-6 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเปลือกแก้วมังกรที่ได้จากการย่อยเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยเอนไซม์เข้มข้น 0.5-7.0% (v/w) สามารถแบ่งเป็น 3 ช่วง โดยประมาณคือ 20.35, 32.73 และ 44.54 mg glucose/ g fresh weight (fw) แสดงในตารางที่ 1 ดังนั้นจึงเลือกใช้เวลาการย่อย 3ชั่วโมง เอนไซม์ที่ความเข้มข้น 0.5, 2.5 และ5.0%(v/w) เป็นตัวแทนเพื่อศึกษาผลของระดับการตัดพันธะไกลโคซิลของพอลิเมอร์ในเปลือกแก้วมังกรแดงด้วยเอนไซม์ที่มีต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้แก่ สารให้สีของเบต้าไซยานิน ปริมาณสารฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ และเลือกใช้เอนไซม์ที่ความเข้มข้น 5.0% (v/w) เวลาการย่อย 3 ชั่วโมง ซึ่งเป็นภาวะที่เปลือกแก้วมังกรแดงมีระดับการตัดพันธะไกลโคซิลด้วยเอนไซม์สูงสุดในช่วงที่ศึกษา เป็นตัวแทนเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณใยอาหาร และความคงตัวของเบต้าไซยานิน เปรียบเทียบกับเปลือกแก้วมังกรแดงตีป่นและควบคุมการเกิดสีน้ำตาล

ตารางที่ 7.1 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยสลายเปลือกแก้วมังกรแดงด้วยเอนไซม์เพคติเนสความเข้มข้นต่างกันเป็นเป็นเวลา 3 ชม.

Concentration (%v/w)	Reducing sugars (mg glucose/g fw)
0.5	20.35±0.09c
1.0	21.72±1.53c
1.5	23.72±0.32c
2.0	24.33±0.21c
2.5	32.73±0.02b
3.0	33.60±0.84b
5.0	44.54±0.65a
7.0	45.67±0.36a

ในส่วนเนื้อแก้วมังกรแดงพบว่าการใช้เวลาย่อยนาน 3 ชั่วโมง ที่เอนไซม์ความเข้มข้น 0.5-10.0% (v/w) เป็นภาวะที่เนื้อแก้วมังกร มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หรือมีระดับการตัดพันธะไกลโคซิลครอบคลุมจากช่วงต่ำไปสูง และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกับภาวะที่ใช้เวลา 4-6 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อแก้วมังกรที่ได้จากการย่อยที่เวลาย่อย 3 ชั่วโมง ด้วยเอนไซม์เข้มข้น 0.5-10.0% (v/w) สามารถแบ่งเป็น 3 ช่วง โดยประมาณคือ 25.61, 58.54 และ 70.56 mg glucose/ g fresh weight (fw) แสดงในตารางที่ 7.2 ดังนั้นจึงเลือกใช้เวลาการย่อย 3ชั่วโมง เอนไซม์ที่ความเข้มข้น 0.5, 2.5 และ 10.0%(v/w) เป็นตัวแทนเพื่อศึกษาผลของระดับการตัดพันธะไกลโคซิลของพอลิเมอร์ในเนื้อแก้วมังกรแดงด้วยเอนไซม์ที่มีต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้แก่ สารให้สีของเบต้าไซยานิน ปริมาณสารฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ และเลือกใช้เอนไซม์ที่ความเข้มข้น 10.0% (v/w) เวลาการย่อย 3 ชั่วโมง ซึ่งเป็นภาวะที่เนื้อแก้วมังกรแดงมีระดับการตัดพันธะไกลโคซิลด้วยเอนไซม์สูงสุดในช่วงที่ศึกษา เป็นตัวแทนเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณใยอาหาร และความคงตัวของเบต้าไซยานินเปรียบเทียบกับเนื้อแก้วมังกรแดงตีป่นและควบคุมการเกิดสีน้ำตาล

ตารางที่ 7.2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการย่อยสลายเนื้อแก้วมังกรแดงด้วยเอนไซม์เพคติเนส ความเข้มข้นต่างกันเป็นเวลา 3 ชม.

Concentration (%v/w)	Reducing sugars (mg glucose/g fw)
0.5	25.61±0.09c
1.0	27.99±1.53c
1.5	28.72±0.32c
2.0	30.13±0.21c
2.5	58.54±0.02b
3.0	58.60±0.84b
5.0	64.54±0.65b
7.0	66.85±0.36b
10.0	70.56±0.19a

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาภาวะที่ใช้ในการควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยใช้กรดอินทรีย์ 2 ชนิด คือ กรดแอสคอร์บิกและกรดซิตริก พบว่าภาวะที่เหมาะสมในเปลือกและเนื้อคือ เติมกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 0.2 และ 0.1 % (w/w) ตามลำดับร่วมกับการให้ความร้อนจนจุดกึ่งกลางมีอุณหภูมิ 85°C นาน 3 นาที ขั้นตอนสุดท้ายนำเปลือกและเนื้อที่ได้มาย่อยสลายด้วยเอนไซม์กลุ่มเพกทิเนส โดยแปรระยะเวลาการย่อย 0-6 ชั่วโมง และแปรความเข้มข้นเอนไซม์ในช่วง 0-10.0% (v/w) โดยติดตามความสามารถในการย่อยสลายด้วยเอนไซม์จากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์พบว่า ในส่วนเปลือก ที่เวลา 3 ชั่วโมง ความเข้มข้นของเอนไซม์เป็น 0.5, 2.5 และ 5.0%(v/w)สามารถแบ่งระดับของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เป็น 3 ช่วง คือ 20, 32 และ 45 mg glucose / g fw และในส่วนเนื้อที่เวลา 3 ชั่วโมง ความเข้มข้นของเอนไซม์เป็น 0.5, 2.5 และ 10.0%(v/w) สามารถแบ่งระดับของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เป็น 3 ช่วง คือ 26, 59 และ 71 mg glucose / g fw โดยภาวะดังกล่าวจะใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารให้สีม่วงแดงของเบต้าไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ

5. เอกสารอ้างอิง

นฤมล มานิพพาน. 2548. แก้วมังกร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปราณี อ่านเปรื่อง. 2547. เอนไซม์ทางอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Dris, R. and Jain, S. M. 2004. Production Practices and Quality Assessment of Food Crops. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

El-Shimi, N.M., 1993. Control of enzymatic browning in apple slices by using ascorbic acid under different conditions. Plant Foods for Human Nutrition. 43: 71-76.

Grohmann, K. and Baldwin, E. A. 1992. Hydrolysis of orange peel with pectinase and cellulase enzymes. Biotechnology Letters. 14(12): 1169-1774.

Nelson, N. 1944. Determination of glucose. Journal Biological and Chemistry. 153: 375-380.

Owusu-Apenten. 2005. Introduction to Food Chemistry.

Pearson, D. 1970. The Chemical Analysis of Food. 6th ed. New York: Chemical Publishing.

Pilnik, W. and Rombouts, F. M. 1979. Pectic enzymes. In J. M. V. Blanshard; J. R. Mitchell (eds), Polysaccharides in Food, pp. 109-126. London: Butterworths.

Sapers, G.M., and Miller, R.L. 1995. Heated Ascorbic/Citric Acid Solution as Browning Inhibitor for Pre-Peeled Potatoes. Journal of Food Science. 60(4): 762-766.

Sapers, G. M., Hicks, K.B., Phillips, J.P., Garzarella, L., Pondish, D.L., Matulaitis, McCormack, T.J., Sondey, S.M., Seib, P.A., and Ei-Atawy, Y.S. 1989. Control of Enzymatic Browning in Apple with Ascorbic Acid Derivatives, Polyphenol Oxidase Inhibitors, and Complexing Agents. Journal of Food Science. 54(4): 997-1002.

Sreenath, H. K., Koegel, R. G., Jeffries, T. W., and Straub, R. J. 1999. Enzymic saccharification of alfalfa fibre after liquid hot water pretreatment. Process Biochemistry. 35: 33-41.