บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของแสงต่อแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL และปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์

จากการศึกษาผลของแสงต่อแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL และปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ รวมถึงผลของแสงต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในระหว่างการพัฒนาของผล (60 – 110 วันหลังจากดอกบาน) โดยการจัดให้ผลที่อยู่บนต้นได้รับแสงแตกต่างกัน 3 กรรมวิธีคือ ได้รับแสงในสภาพปกติโดยไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) ไม่ได้รับแสงโดยการห่อผล และได้รับแสงเพิ่มจากการใช้แผ่นสะท้อนแสง ได้ผลการทดลองดังนี้ (รูปที่ 17)

1. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

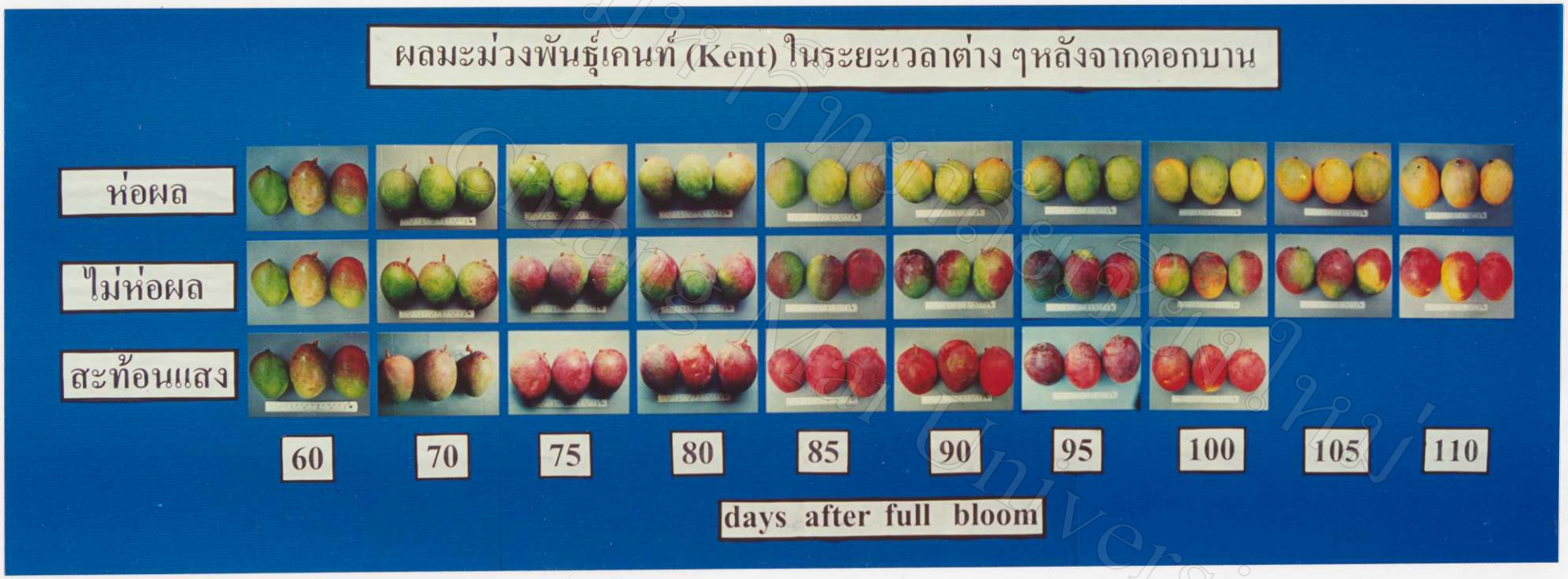
1.1 การเปลี่ยนแปลงขนาดของผล

ค่าเฉลี่ยความกว้าง ความยาว และความหนาของผลทั้ง 3 กรรมวิธีคือ ห่อผล ไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) และสะท้อนแสงในระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากดอกบานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการพัฒนาของผล ซึ่งมีการเจริญเติบโตเป็นแบบ simple sigmoid curve (เกศิณี , 2528 และ วิจิตร , 2529) (รูปที่ 18A , B และ C) โดยขนาดผลทั้ง 3 กรรมวิธีของแต่ละระยะมีค่าใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 1-3)

1.2 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผล

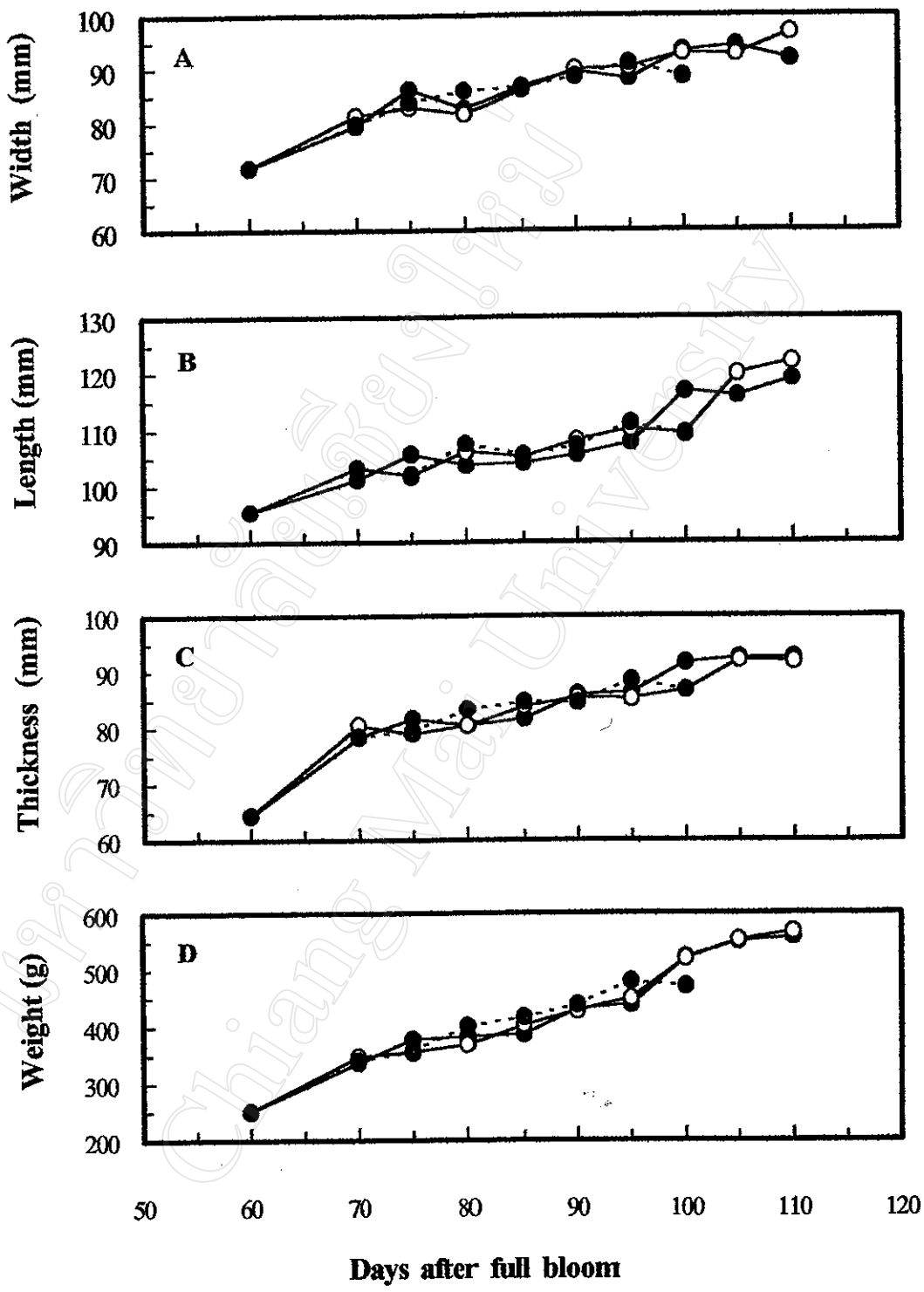
ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของผลทั้ง 3 กรรมวิธีในระยะเวลาต่าง ๆ ของการพัฒนาของผลมีค่าใกล้เคียงกัน และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 4) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการพัฒนาของผล และน้ำหนักของผลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อผลมีอายุได้ 60 – 70 วันหลังจากดอกบาน (รูปที่ 18D)

จะเห็นได้ว่าการที่ผลได้รับสภาพแสงแตกต่างกันทั้ง 3 กรรมวิธีไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลในเรื่องขนาดและน้ำหนักของผลตลอดระยะการพัฒนาของผล รวมทั้งเป็นการยืนยันผลการทดลองของดิศร(2541)ที่ทำการศึกษาในผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ที่อยู่บนต้นซึ่งได้รับแสงแตกต่างกันโดยทำการห่อผลและไม่ห่อผล พบว่าแสงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 17 ผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในกรรมวิธีห่อผล ไม่ห่อผล และสะท้อนแสง ในระยะเวลาต่างๆหลังจากดอกบาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University



รูปที่ 18 การเปลี่ยนแปลงความกว้าง (A) ความยาว (B) ความหนา (C) และน้ำหนัก (D) ของผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับแสงในสภาพแตกต่างกัน 3 กรรมวิธีคือ ห่อผล (—●—) ไม่ห่อผล (—○—) และสะท้อนแสง (-----●-----)

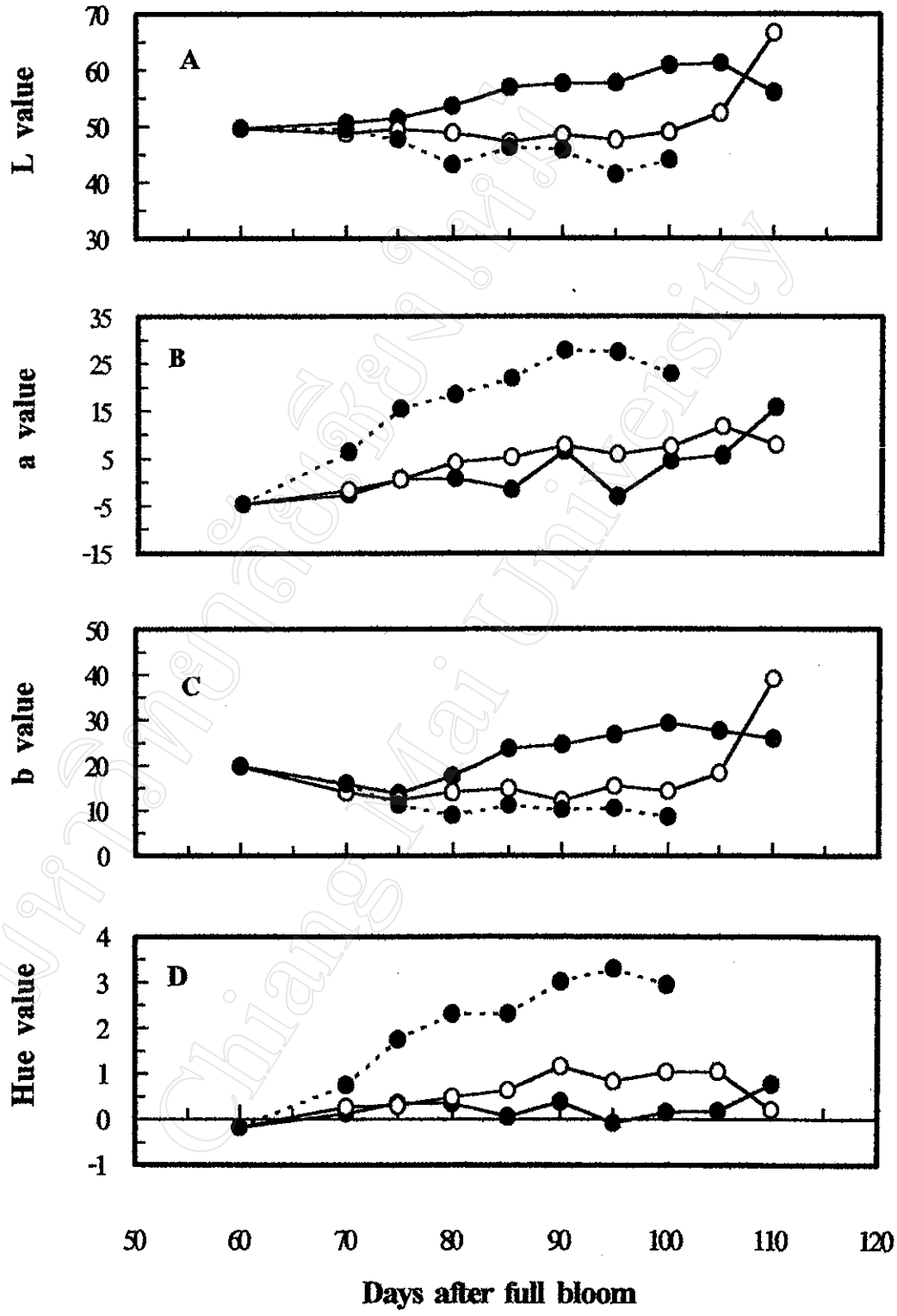
ทางกายภาพของผลโดยขนาดและน้ำหนักของผลทั้ง 2 ชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกระยะการพัฒนาของผลและมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการพัฒนาการของผลซึ่งมีการแบ่งเซลล์ การขยายขนาดของเซลล์ และเกิดการเจริญพัฒนาไปเป็นเนื้อเยื่อเพื่อทำหน้าที่ต่างๆ รวมทั้งมีการเพิ่มปริมาณอาหารสะสมภายในเซลล์นั้นได้รับสารอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของใบของต้นแม่เป็นหลัก (วิจิตร , 2529) มีผลทำให้ผลมะม่วงทั้งในสภาพได้รับแสงหรือไม่ได้รับแสงนั้นมีขนาดและน้ำหนักมากขึ้นไม่แตกต่างกัน

1.3 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผล

1.3.1 การวัดการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลโดยใช้เครื่องวัดสี

จากการศึกษาการวัดสีเปลือกของผลมะม่วงพันธุ์เคนท์โดยใช้เครื่องวัดสี พบว่าค่า L a b และ Hue ในวันเริ่มต้นการทดลองคือ 60 วันหลังจากดอกบานมีค่าเท่ากับ 49.57 -4.65 19.77 และ -0.17 ตามลำดับ จากนั้นแต่ละค่าในแต่ละกรรมวิธีมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการพัฒนาผลดังนี้

ความสว่างและความมืดของสีเปลือกผลซึ่งวัดจากค่า L โดยการที่มีค่า L มากแสดงว่ามีความสว่างของสีเปลือกมากนั้น พบว่าตลอดทุกระยะการพัฒนาของผล ค่า L ของผลในกรรมวิธีห่อผลมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือกรรมวิธีไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) และสะท้อนแสงตามลำดับ โดยในกรรมวิธีห่อผลเมื่อผลอายุ 60 - 105 วันหลังจากดอกบานมีความสว่างของสีเปลือกเพิ่มขึ้นแต่จะลดลงเมื่ออายุ 110 วันหลังจากดอกบาน ในกรรมวิธีไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) ค่า L หรือความสว่างของเปลือกค่อนข้างคงที่ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุผลได้ 95 - 110 วันหลังจากดอกบาน ส่วนในกรรมวิธีสะท้อนแสงความสว่างของสีเปลือกลดลงในช่วงที่ผลอายุได้ 60 - 80 วันหลังจากดอกบาน และหลังจากนั้นค่อนข้างคงที่ (รูปที่ 19A และตารางผนวกที่ 5) ผลการทดลองนี้ให้ผลเหมือนกับการเปลี่ยนแปลงค่า L ในเปลือกผลลิ้นจี่และมังคุดซึ่งมีค่าลดลงในระหว่างการพัฒนาของผล เนื่องจากในระยะแรกเปลือกผลมีสีเขียวหรือเขียวอมเหลือง จึงยังมีความสว่างของสีมาก แต่เมื่อผลเข้าสู่ระยะการแก่มีการสร้างสีแดงเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันมีการสลายของรงควัตถุคลอโรฟิลล์ และมีการกระจายและสะสมสีม่วงแดงของรงควัตถุแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นในเปลือกผล ทำให้ค่า L ลดลงอย่างต่อเนื่อง และพบว่าค่า L ของเปลือกผลที่ไม่ได้รับแสงโดยการห่อผลมีค่ามากกว่าเปลือกผลที่ได้รับแสง (อัญชุลี , 2539 และ สุจิตรา , 2541) ในทำนองเดียวกันมีรายงานการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า L ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในพื้นที่เปลือกส่วนที่เป็นสีเขียวสีแดงและสีเหลืองของผลที่ได้รับแสงแตกต่างกันคือ ไม่ได้รับแสงโดยการห่อผล ได้รับแสงในสภาพธรรมชาติโดยไม่ห่อผล และได้รับแสงเพิ่มจากแผ่นสะท้อนแสง พบว่าค่าL ของพื้นที่



รูปที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่า L (A) a (B) b (C) และHue (D) ของผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับแสงในสภาพแตกต่างกัน 3 กรรมวิธีคือ ห่อผล (—●—) ไม่ห่อผล (—○—) และสะท้อนแสง (-----●-----)

เปลือกผลทั้ง 3 ส่วนของกรรมวิธีห่อผลมีค่ามากกว่ากรรมวิธีไม่ห่อผล และสะท้อนแสงตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าผลที่ไม่ได้รับแสงมีความสว่างของสีเปลือกมากกว่าผลที่ได้รับแสง โดยเปลือกผลยังคงมีสีเขียวหรือเขียวอมเหลืองเนื่องจากไม่มีการพัฒนาสีแดงของรงควัตถุแอนโทไซยานินที่เปลือกผลเลย และเมื่อทำการเปิดถุงที่ห่อผลออกพบว่าค่า L ของเปลือกผลมีแนวโน้มลดลง โดยเปลือกผลมีการพัฒนาสีแดงมากขึ้นทำให้ความสว่างของสีเปลือกในกรรมวิธีนี้ลดลง (ดิศร , 2541) มีรายงานการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า L กับปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินในเปลือกผลแอปเปิ้ลพันธุ์ Delicious 10 สายพันธุ์ซึ่งมีความเข้มของสีแดงบนเปลือกผลต่างกัน พบว่าค่าดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันโดยมีค่า R^2 เท่ากับ0.78โดยในสายพันธุ์ที่เปลือกผลมีสีแดงเข้มมากซึ่งมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงจะมีค่า L ต่ำกว่าพันธุ์ที่มีสีอ่อนกว่า (Singha *et al.* , 1991) แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาในเปลือกของผลลูกสาลี่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวน้อยมากโดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.41 (Dussi *et al.* , 1995)

สีแดงและสีเขียวของเปลือกผลซึ่งวัดจากค่า a โดยค่า a ที่เป็นลบ (-) แสดงถึงการมีสีเขียว ถ้าค่า a เป็นบวก (+) แสดงถึงการมีสีแดง การมีค่า a เป็นบวกมากแสดงว่าเปลือกมีสีแดงมาก จากการทดลองนี้พบว่าตลอดระยะเวลาการพัฒนาของผล ผลในกรรมวิธีสะท้อนแสงมีค่า a มากที่สุดแสดงให้เห็นว่ามีการพัฒนาสีแดงที่เปลือกของผลมาก รองลงมาคือผลในกรรมวิธีไม่ห่อผล(ชุดควบคุม) และกรรมวิธีห่อผลตามลำดับ โดยค่า a ของผลในกรรมวิธีสะท้อนแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่กรรมวิธีไม่ห่อผลและห่อผลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกันแต่น้อยกว่า (รูปที่ 19B และตารางผนวกที่ 6) แสดงให้เห็นได้ว่าผลที่ได้รับแสงมากทำให้มีค่า a สูงอันอาจเป็นผลเนื่องจากมีการพัฒนาสีแดงของรงควัตถุแอนโทไซยานินได้มากกว่าผลที่ได้รับแสงน้อยกว่าตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองเหมือนกันกับของดิศร (2541) ซึ่งวัดสีเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ส่วนที่เป็นสีเขียว สีแดง และสีเหลือง ของผลที่ได้รับแสงแตกต่างกันคือ ไม่ได้รับแสงโดยการห่อผล ได้รับแสงในสภาพธรรมชาติโดยไม่ห่อผล และได้รับแสงเพิ่มโดยใช้แผ่นสะท้อนแสง พบว่าผลในกรรมวิธีสะท้อนแสงมีค่า a ของพื้นที่ทั้ง 3 ส่วนสูงกว่าผลในกรรมวิธีไม่ห่อผลตลอดระยะเวลาการพัฒนาของผล ในขณะที่กรรมวิธีห่อผลไม่ปรากฏพื้นที่สีแดงที่เปลือกผลเลยจึงไม่สามารถวัดค่า a ในพื้นที่เปลือกส่วนที่มีสีแดงได้ ส่วนพื้นที่เปลือกที่มีสีเขียวและสีเหลืองนั้นค่า a ค่อนข้างคงที่ เมื่อทำการเปิดถุงที่ห่อผลออกค่า a ของเปลือกผลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทันทีซึ่งคาดว่าเป็นผลเนื่องจากการได้รับแสงมีผลต่อการพัฒนาสีแดงของรงควัตถุแอนโทไซยานินในเปลือกผล นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาในพืชบางชนิดที่แสดงให้เห็นว่าการได้รับสภาพแสงรวมทั้งชนิดของแสงที่แตกต่างกันมีผลต่อการพัฒนาสีแดงของเปลือกผลหรือค่า a ได้แตกต่างกัน เช่น ในผลลูกสาลี่พันธุ์ Sensation Red Bartlett ซึ่งได้รับแสงความยาวคลื่นต่าง ๆ กันคือ 400 - 500 500 - 600

600 - 700 และมากกว่า 700 นาโนเมตรนั้น ผลที่ได้รับแสงความยาวคลื่น 600 - 700 นาโนเมตรมีเปลือกผลสีแดงสว่าง และมีค่า a ของเปลือกผลมากที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติจากชุดควบคุม ในขณะที่เปลือกผลที่ได้รับแสงความยาวคลื่น 400 - 500 500 - 600 และมากกว่า 700 นาโนเมตรมีค่า a ต่ำกว่าชุดควบคุม และเปลือกผลมีสีแดงเข้ม เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินพบว่าผลที่ได้รับแสงความยาวคลื่นต่างๆดังกล่าวมีปริมาณแอนโทไซยานินใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันทางสถิติและมีปริมาณมากกว่าชุดควบคุม (Dussi *et al.*, 1995) นอกจากนี้ยังพบว่าในผลแอบเปิ้ลพันธุ์ Royal Gala ที่ได้รับแสง white light ร่วมกับแสงอัลตร้าไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 310 นาโนเมตรจะมีผลทำให้มีค่า a และปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าผลที่ไม่ได้รับแสงดังกล่าว (Dong *et al.*, 1995) อย่างไรก็ตามแสงไม่มีผลต่อค่า a ในผลมังคุดโดยพบว่าในเปลือกผลมังคุดที่ได้รับแสงแตกต่างกันโดยทำการห่อผลและไม่ห่อผลบนต้นนั้นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า a ไม่แตกต่างกันคือมีค่าสูงขึ้นในระยะที่ 1 ถึงระยะที่ 3 เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของสีแดงบนเปลือกผล และหลังจากระยะที่ 3 ค่า a ของทั้ง 2 กรรมวิธีมีแนวโน้มลดลงเหมือนกันไปจนถึงระยะที่ 6 ในขณะที่ปริมาณแอนโทไซยานินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และให้ผลไม่แตกต่างกันในผลทั้ง 2 กรรมวิธี (สุจิตรา, 2541)

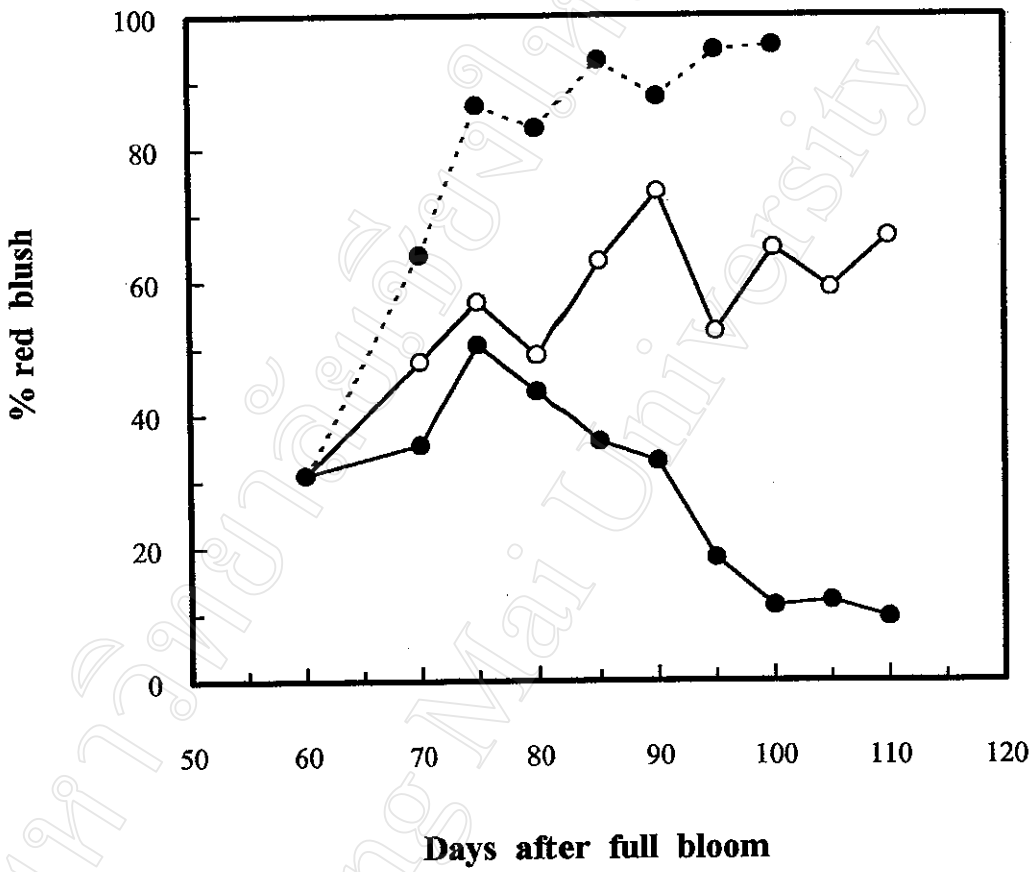
สีเหลืองและสีน้ำเงินของเปลือกผลซึ่งวัดจากค่า b โดยการมีค่าเป็นบวก (+) แสดงถึงการมีสีเหลือง การที่มีค่าบวกมากแสดงว่ามีสีเหลืองมาก จากการทดลองนี้พบว่าเมื่อผลมีอายุได้ 60 - 75 วันหลังจากดอกบาน ค่า b ของผลทั้ง 3 กรรมวิธีมีแนวโน้มลดลงและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 7) หลังจากนั้นค่า b ในกรรมวิธีห่อผลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในขณะที่กรรมวิธีไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) และสะท้อนแสงมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง ยกเว้นในชุดควบคุมเมื่อผลมีอายุได้ 100 – 110 วันหลังจากดอกบานค่า b มีค่าเพิ่มสูงขึ้น (รูปที่ 19C และตารางผนวกที่ 7) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผลในกรรมวิธีห่อผลมีสีแดงซึ่งเกิดจากรงควัตถุแอนโทไซยานินปรากฏที่เปลือกผลน้อยเนื่องจากอิทธิพลของการไม่ได้รับแสง เมื่อผลมีการพัฒนาสูงสุดและสุกแก่จึงปรากฏสีเหลืองซึ่งเกิดจากรงควัตถุคาโรตินอยด์ได้อย่างชัดเจนค่า b จึงมีค่าสูง ส่วนผลในกรรมวิธีไม่ห่อผล และสะท้อนแสงเกิดสีแดงที่เปลือกผลมากกว่า เมื่อผลสุกแก่จึงปรากฏสีเหลืองได้ไม่ชัดเจนเนื่องจากถูกสีแดงบดบังสีเหลืองไว้จึงทำให้ค่า b มีค่าต่ำ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลที่ไม่ได้รับแสงจะมีค่า b สูงกว่าผลที่ได้รับแสงเนื่องจากผลที่ไม่ได้รับแสงมีสีเปลือกผลค่อนข้างเหลือง และไม่มีการพัฒนาสีแดงของรงควัตถุแอนโทไซยานิน ซึ่งให้ผลการทดลองเหมือนกันกับของดิศร (2541) ซึ่งพบว่าสีเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ส่วนที่เป็นสีเขียว สีแดง และสีเหลือง ของผลที่ได้รับแสงแตกต่างกันนั้นค่า b ในกรรมวิธีห่อผลของพื้นที่เปลือกทั้ง 3 ส่วนมีค่ามากกว่าผลในกรรมวิธีไม่ห่อผล และสะท้อนแสง ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลในกรรมวิธีห่อผลและสะท้อน

แสงมีการพัฒนาสีแดงของแอนโทไซยานินที่เปลือกผลมากกว่า และไปบดบังสีเขียวของคลอโรฟีลล์และสีเหลืองของคาโรตินอยด์ไว้ค่า b จึงมีค่าต่ำ เมื่อเปิดถุงที่ห่อผลออก ค่า b ของเปลือกผลมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากมีการพัฒนาสีแดงของรงควัตถุแอนโทไซยานินดังกล่าวข้างต้น สำหรับค่า b ของเปลือกผลมังคุดที่ไม่ได้รับแสงโดยการห่อผลก็มีค่ามากกว่าผลที่ได้รับแสงเนื่องจากเปลือกผลที่ได้รับการห่อผลมีสีเหลืองมากกว่า แต่ค่า b ของทั้ง 2 กรรมวิธีมีแนวโน้มลดลงเหมือนกันอาจเป็นเพราะว่าแสงไม่มีผลต่อการพัฒนาสีของเปลือกผลมังคุด เนื่องจากยังมีสีแดงม่วงเกิดขึ้นในทุกกรรมวิธี (สุจิตรา , 2541)

ค่า Hue (a / b) เป็นอัตราส่วนระหว่างค่า a และค่า b ถ้า Hue เป็นบวก (+) แสดงถึงการมีสีแดงหรือสีเหลือง ค่าที่เป็นบวกมากแสดงว่ามีสีแดงมากกว่าสีเหลือง ถ้า Hue มีค่าเป็นลบ (-) แสดงว่ามีสีเขียวหรือสีน้ำเงิน ค่าเป็นลบมากแสดงว่ามีสีน้ำเงินมากกว่าสีเขียว หากมีค่าลบต่ำลง (เข้าใกล้ค่าบวก) แสดงว่ามีสีเขียวมากขึ้น จากการทดลองนี้พบว่าทุกระยะการพัฒนาของผลในกรรมวิธีสะท้อนแสงมีค่า Hue มากที่สุด รองลงมาคือกรรมวิธีไม่ห่อผล และห่อผลตามลำดับ โดยค่า Hue ของผลในกรรมวิธีสะท้อนแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ค่า Hue ในผลที่ไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีแนวโน้มลดลงเมื่อผลมีอายุได้ 105 – 110 วันหลังจากดอกบานส่วนในกรรมวิธีห่อผลมีค่า Hue ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการพัฒนาของผล (รูปที่ 19D และ ตารางผนวกที่ 8) จากผลการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าแสงมีผลทำให้อัตราส่วนระหว่างค่า a และ ค่า b เพิ่มขึ้น แสดงว่าการได้รับแสงของผลมะม่วงทำให้เปลือกผลมีการพัฒนาสีแดงได้ดีกว่าผลที่ไม่ได้รับแสง ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันกับของดิศร (2541) ซึ่งพบว่าค่า Hue ของผลในกรรมวิธีสะท้อนแสงมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือผลในกรรมวิธีที่ไม่ได้รับแสง และกรรมวิธีห่อผลตามลำดับ ทั้งในพื้นที่เปลือกสีแดง และสีเหลือง ซึ่งในเปลือกส่วนที่มีสีแดงมีค่าดังกล่าวสูงกว่าส่วนที่มีสีเหลือง ส่วนในพื้นที่เปลือกที่มีสีเขียวนั้นพบว่าค่า Hue ในกรรมวิธีห่อผลมีค่ามากกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้ห่อผลตลอดระยะการพัฒนาของผล นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาในผลลิ้นจี่พันธุ์โอเฮียะพบว่าค่า Hue ของเปลือกผลที่ได้รับแสงจะมีค่าสูงกว่าผลที่ไม่ได้รับแสงโดยการห่อผล ซึ่งทั้ง 2 กรรมวิธีดังกล่าวให้ผลแตกต่างกันทางสถิติ (อัญชุลี , 2539)

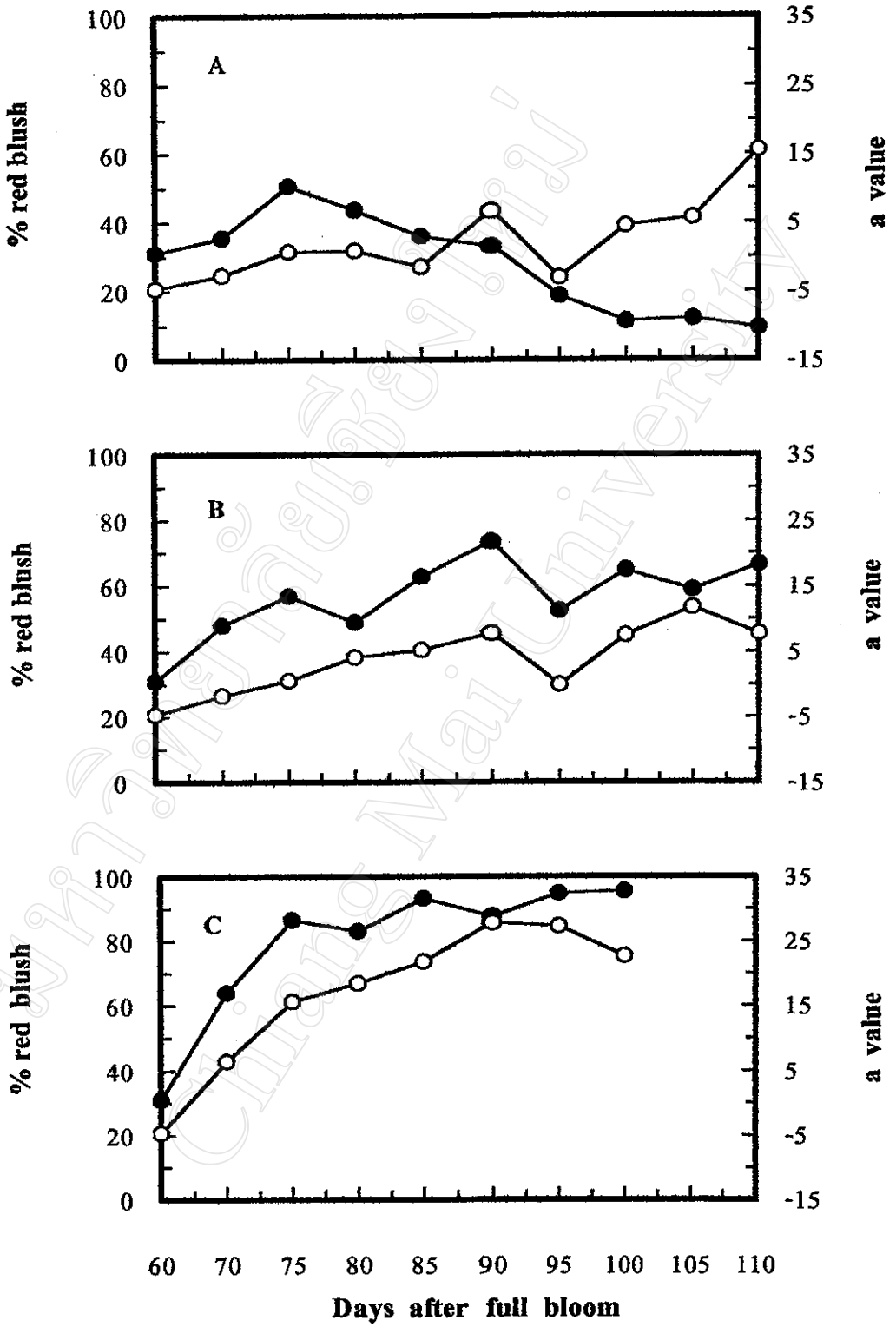
1.3.2 การประเมินสีแดงของเปลือกผล

จากการประเมินพื้นที่สีแดงของเปลือกผลด้วยสายตา โดยคิดเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ปรากฏสีแดงต่อพื้นที่เปลือกทั้งหมดพบว่าผลในทั้ง 3 กรรมวิธีมีเปอร์เซ็นต์สีแดงของเปลือกผลแตกต่างกันทางสถิติทุกระยะการพัฒนาการของผล (ตารางผนวกที่ 9) โดยผลในกรรมวิธีที่ได้รับแสงเพิ่มจากแผ่นสะท้อนแสงมีเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดงนี้เปลือกมากที่สุด รองลงมาคือกรรมวิธีที่ไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) ส่วนผลในกรรมวิธีห่อผลมีพื้นที่สีแดงที่เปลือกน้อยที่สุด โดยในวันเริ่มต้นการทดลอง (60 วันหลังจากดอกบาน) ผลในทุกกรรมวิธีมีเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดงของเปลือกผลเท่ากับ 31% เมื่อผลมีอายุได้ 60 - 75 วันหลังจากดอกบานผลทั้ง 3 กรรมวิธีมีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดงที่เปลือกเพิ่มขึ้น แต่หลังจากนั้นมีเพียงในกรรมวิธีสะท้อนแสงและไม่ห่อผลเท่านั้นที่มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของพื้นที่สีแดงของเปลือกผล โดยในกรรมวิธีสะท้อนแสงมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่ากรรมวิธีไม่ห่อผล และในกรรมวิธีห่อผลมีค่าลดต่ำลงเรื่อยๆ โดยมีค่าเท่ากับ 95.5% 66.67% และ 9.50% ตามลำดับเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (รูปที่ 20 และตารางผนวกที่ 9) จะเห็นได้ว่าแสงมีผลต่อการพัฒนาสีแดงของเปลือกผลมะม่วงสอดคล้องกับผลการทดลองในประเทศญี่ปุ่นที่ใช้แผ่นพลาสติกที่สามารถสะท้อนแสงได้มาวางรอบโคนต้นมะม่วงพันธุ์เออร์วิน (Irwin) ซึ่งมีเปลือกผลสีแดงคล้ายมะม่วงพันธุ์เคนท์ พบว่าสามารถทำให้การพัฒนาสีแดงที่เปลือกผลเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการพัฒนาของผล (สำนักงานเกษตรภาคเหนือ , 2537) รวมทั้งยืนยันผลการทดลองของดิศร (2541) ซึ่งพบว่าผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในกรรมวิธีที่ได้รับแสงเพิ่มโดยการใช้แผ่นสะท้อนแสงมีสีแดงที่เปลือกผลเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงที่สุดตลอดระยะเวลาการพัฒนาของผล ในขณะที่กรรมวิธีห่อผลเกิดพื้นที่สีแดงที่เปลือกผลน้อยมาก และเมื่อทำการเปิดถุงที่ห่อผลออกเพื่อให้ได้รับแสงพบว่าพื้นที่สีแดงที่เปลือกผลมีการพัฒนาเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับผลแอปเปิ้ลที่อยู่บริเวณร่มเงาของต้นที่ไม่ได้รับแสง หรือได้รับแสงน้อยการพัฒนาของสีแดงที่เปลือกผลจะลดลงและน้อยกว่าผลที่ได้รับแสงเต็มที่ (Gross , 1987) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในผลลิ้นจี่พันธุ์โอเฮียะที่อยู่บนต้นที่ไม่ได้รับแสงโดยทำการห่อผลด้วยถุงกระดาษสีน้ำตาลเป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่าเปลือกผลลิ้นจี่มีสีแดงไม่สม่ำเสมอ และมีปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินน้อยกว่าชุดควบคุมซึ่งไม่ได้ห่อผล (อัญชุลี , 2539) อย่างไรก็ตามแตกต่างจากผลการทดลองในมังคุดซึ่งพบว่าแสงไม่มีผลต่อการพัฒนาสีของเปลือกผล โดยพบว่าทั้งผลมังคุดที่ได้รับแสงและไม่ได้รับแสงโดยการห่อผลนั้นสามารถเกิดสีแดงได้ตามปกติ เพียงแต่ว่าเปลือกผลที่ห่อผลจะมีสีแดงที่สดใสกว่าในระยะแรก เนื่องจากเป็นการเกิดสีแดงบนพื้นที่สีเหลือง แต่เมื่อถึงระยะที่แก่เต็มที่สีเปลือกของทั้ง 2 ชุดจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงเข้มได้โดยไม่แตกต่างกัน (สุจิตรา , 2541)

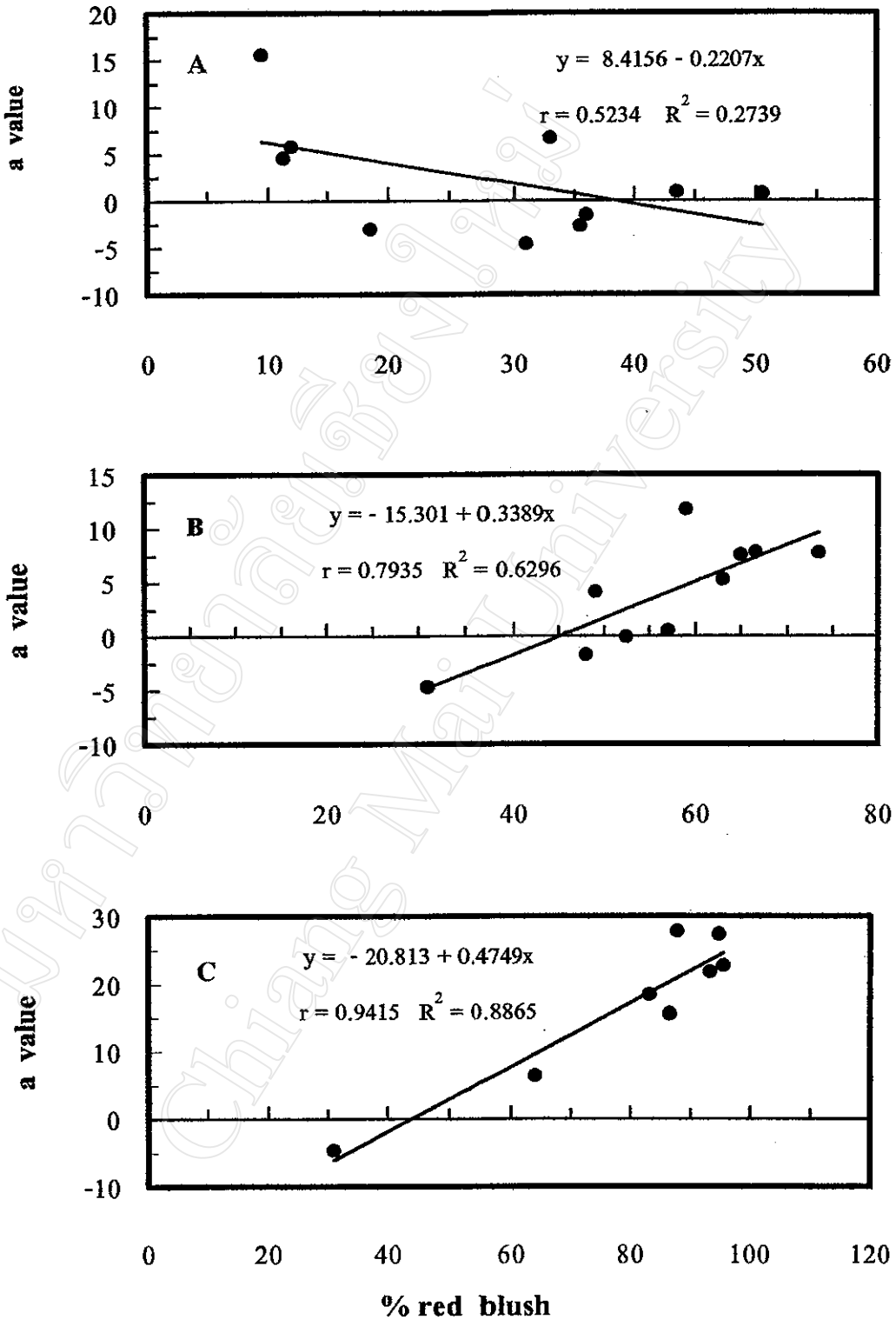


รูปที่ 20 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดงของผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับแสงในสภาพแตกต่างกัน 3 กรรมวิธี คือ ห่อผล (—●—) ไม่ห่อผล (—○—) และสะท้อนแสง (-----●-----)

จากผลการทดลองนี้พบว่าแสงมีผลต่อการพัฒนาสีแดงที่เปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ซึ่งเกิดจากรงควัตถุแอนโทไซยานิน (Saure , 1990) โดยผลในกรรมวิธีที่ได้รับแสงเพิ่มจากการสะท้อนแสงจะปรากฏสีแดงของเปลือกผลรวมทั้งมีค่า a สูงกว่าในกรรมวิธีอื่นๆ ดังกล่าว เมื่อศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear correlation) ระหว่างเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดงของเปลือกผลกับค่า a (รูปที่ 21 และ 22) พบว่ามีความสัมพันธ์ดังกล่าวมากในกรรมวิธีสะท้อนแสง โดยมีค่า r เท่ากับ 0.9415 และ R^2 เท่ากับ 0.8865 (รูปที่ 22C) ส่วนในกรรมวิธีห่อผล และไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) พบความสัมพันธ์ดังกล่าวน้อยกว่าโดยมีค่า r เท่ากับ 0.5324 และ 0.7935 และ R^2 เท่ากับ 0.2739 และ 0.6296 ตามลำดับ (รูปที่ 22A และ 22B) ซึ่งให้ผลในทำนองเดียวกันกับการศึกษาในผลแอปเปิ้ล 4 พันธุ์ที่เปลือกผลมีสีแดงเข้มต่างกัน พบว่าค่า a มีความสัมพันธ์กับสีเปลือกผล โดยเปลือกผลที่มีสีแดงมากกว่าจะมีค่า a สูงกว่าผลที่มีสีเปลือกอ่อนกว่า (Lancaster *et al.*, 1994)



รูปที่ 21 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดง (—●—) และค่า a (—○—) ของเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับแสงในสภาพแตกต่างกัน 3 กรรมวิธีคือ ห่อผล (A) ไม่ห่อผล (B) และสะท้อนแสง (C)

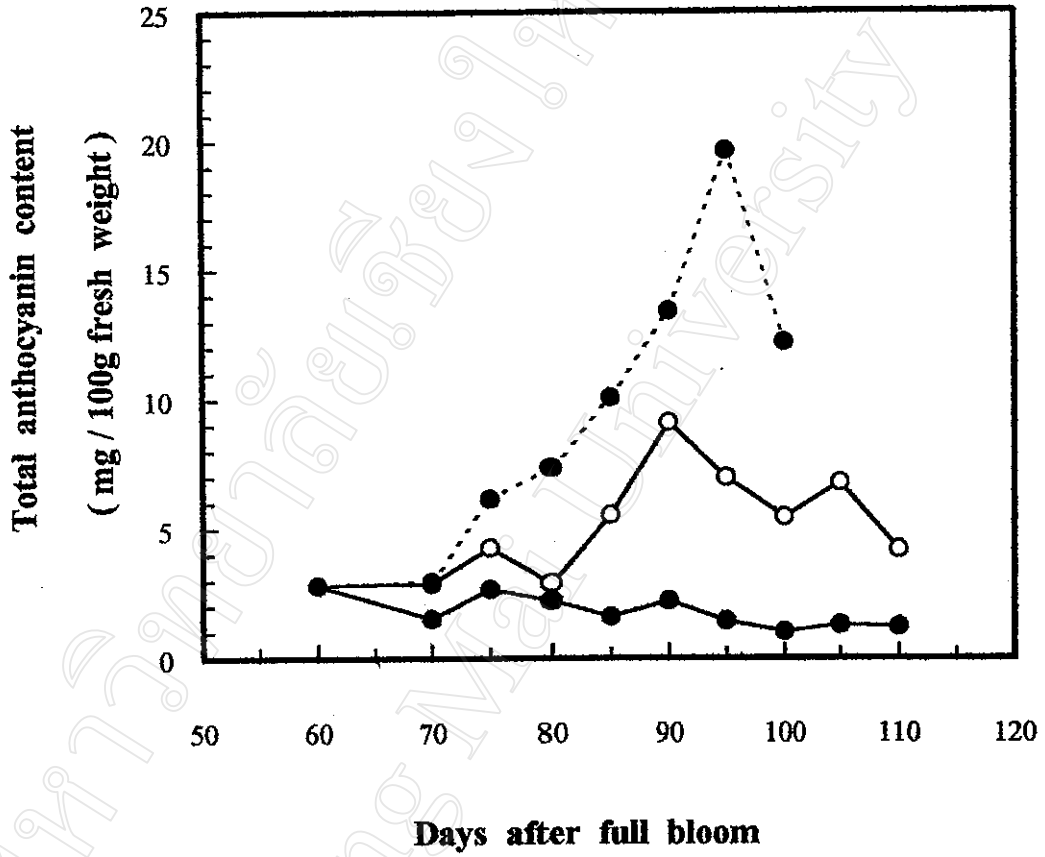


รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดงและค่า a ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับแสงในสภาพแตกต่างกัน 3 กรรมวิธีคือ ห่อผล (A) ไม่ห่อผล (B) และสะท้อนแสง (C)

2. การเปลี่ยนแปลงปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมด

การเปลี่ยนแปลงปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมดในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ซึ่งได้รับแสงแตกต่างกัน 3 กรรมวิธี พบว่าในกรรมวิธีสะท้อนแสงและไม่ห่อผลเท่านั้นที่มีการเพิ่มขึ้นของรงควัตถุนี้ ในขณะที่กรรมวิธีห่อผลมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยปริมาณแอนโทไซยานินในวันเริ่มต้นการทดลอง (60 วันหลังจากดอกบาน) มีค่าเท่ากับ 2.81 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด จากนั้นในกรรมวิธีสะท้อนแสงมีการเพิ่มขึ้นของรงควัตถุนี้อย่างรวดเร็ว โดยมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 95 วันหลังจากดอกบานซึ่งมีค่าเท่ากับ 19.69 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด จากนั้นจึงลดต่ำลงในวันที่ 100 วันหลังจากดอกบานซึ่งเป็นวันที่ผลสุกและถูกเก็บเกี่ยวเร็วกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ประมาณ 10 วัน ส่วนปริมาณแอนโทไซยานินในกรรมวิธีไม่ห่อผลก็มีการเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เช่นกันแต่น้อยกว่ากรรมวิธีสะท้อนแสง โดยมีปริมาณสูงสุดในวันที่ 90 วันหลังจากดอกบานซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.10 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด จากนั้นจึงลดต่ำลงเรื่อย ๆ เช่นกัน เมื่อผลเข้าสู่ระยะการสุกหรือเสื่อมสภาพจนถึงวันเก็บเกี่ยว (110 วันหลังจากดอกบาน) ในกรรมวิธีห่อผลพบการเปลี่ยนแปลงของแอนโทไซยานินน้อยมากโดยมีค่าค่อนข้างคงที่ประมาณ 1.02 - 2.81 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสดตลอดระยะเวลาการทดลองจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผล (รูปที่ 23 และตารางผนวกที่ 10) จะเห็นได้ว่าสภาพการได้รับแสงมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอนโทไซยานินในเปลือกผล ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันกับผลการทดลองในลิ้นจี่พันธุ์โอเฮี้ยะและมะม่วงพันธุ์เคนท์ ซึ่งพบว่าผลที่ไม่ได้รับแสงโดยทำการห่อผลจะมีการพัฒนาสีแดงที่เปลือกผลไม่สม่ำเสมอและมีปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินน้อยกว่าผลที่ได้รับแสง (อัญชุลี , 2539 ; กอบเกียรติ และคณะ , 2540 และ ดิศร , 2541) แต่การศึกษาในผลมังคุดพบว่าแสงไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินของเปลือกผล โดยในผลที่ไม่ได้รับแสง (ห่อผล) มีปริมาณแอนโทไซยานินไม่แตกต่างกันทางสถิติจากผลที่ได้รับแสงปกติจากธรรมชาติ (ไม่ห่อผล) ตลอดระยะการทดลองจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผล (สุจิตรา , 2541)

แสงถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่มีผลต่อการสังเคราะห์รงควัตถุแอนโทไซยานินที่เปลือกหรือผิวของผลไม้ ผัก และดอกไม้ ทำให้มีสีสันสดใสโดยเฉพาะสีแดง (Chalmers *et al.* , 1973 ; Gross , 1987 และ Mazza and Miniati , 1993) ในผลแอปเปิ้ลที่ได้รับแสงจากธรรมชาติหรือแสงจากหลอดไฟฟ้าจะมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าที่ผลที่ไม่ได้รับแสง (Proctor , 1974 ; Tan , 1979 และ Ju *et al.* , 1995) นอกจากนี้ยังพบว่าแสงอัลตร้าไวโอเล็ตก็มีผลส่งเสริมการสะสมรงควัตถุนี้ในเปลือกผลของแอปเปิ้ลเช่นกัน โดย Faragher and Chalmers (1977) ให้แสงอัลตร้าไวโอเล็ตความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรแก่ผลแอปเปิ้ลพันธุ์ Jonathan พบว่าทำให้เกิดการสังเคราะห์แอนโทไซยานินได้สูงกว่าผลที่ไม่ได้รับแสงดังกล่าว ส่วนในพันธุ์ Royal Gala

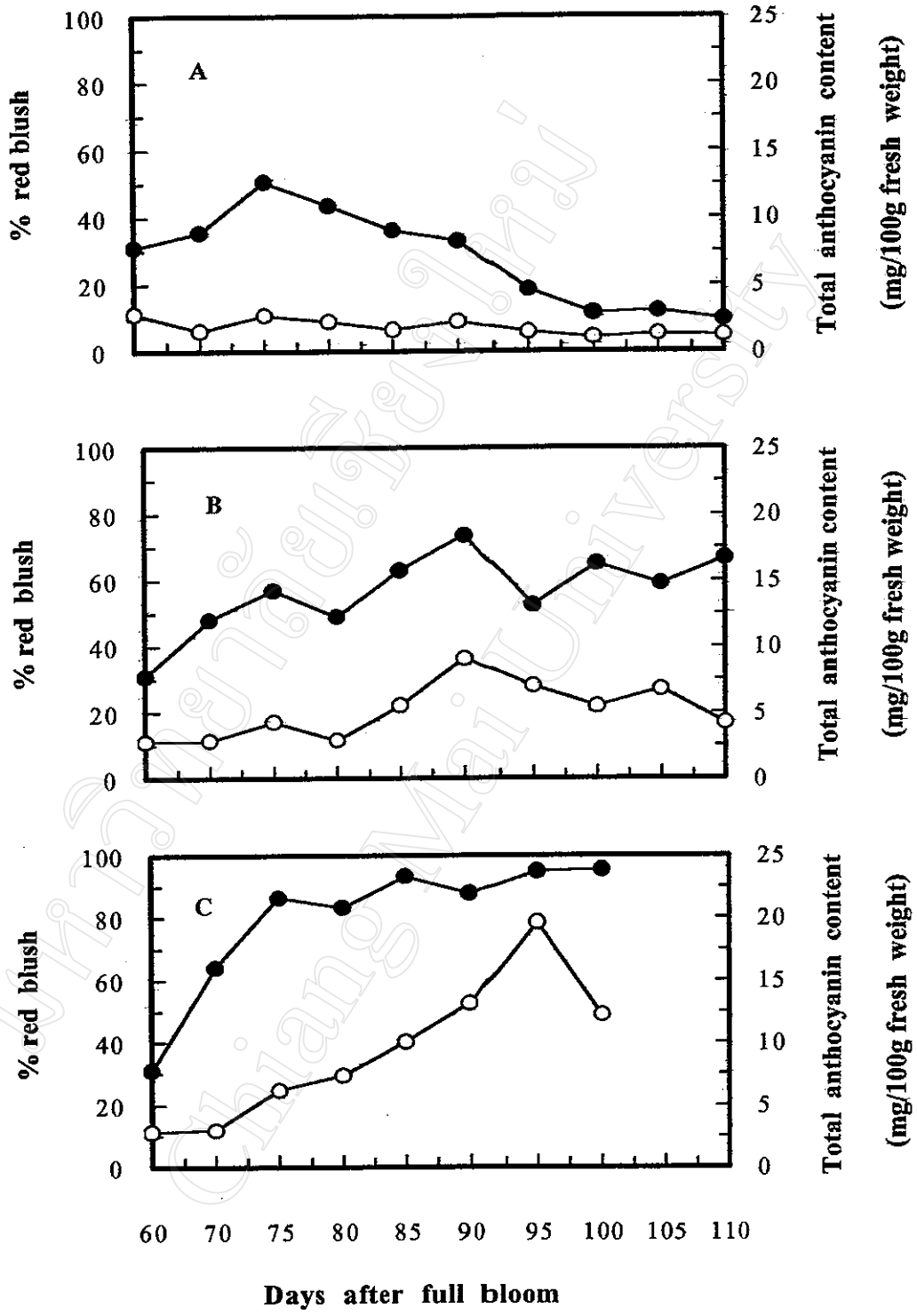


รูปที่ 23 การเปลี่ยนแปลงปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมดในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับแสงในสภาพแตกต่างกัน 3 กรรมวิธีคือ ห่อผล (—●—) ไม่ห่อผล (—○—) และสะท้อนแสง (----●----)

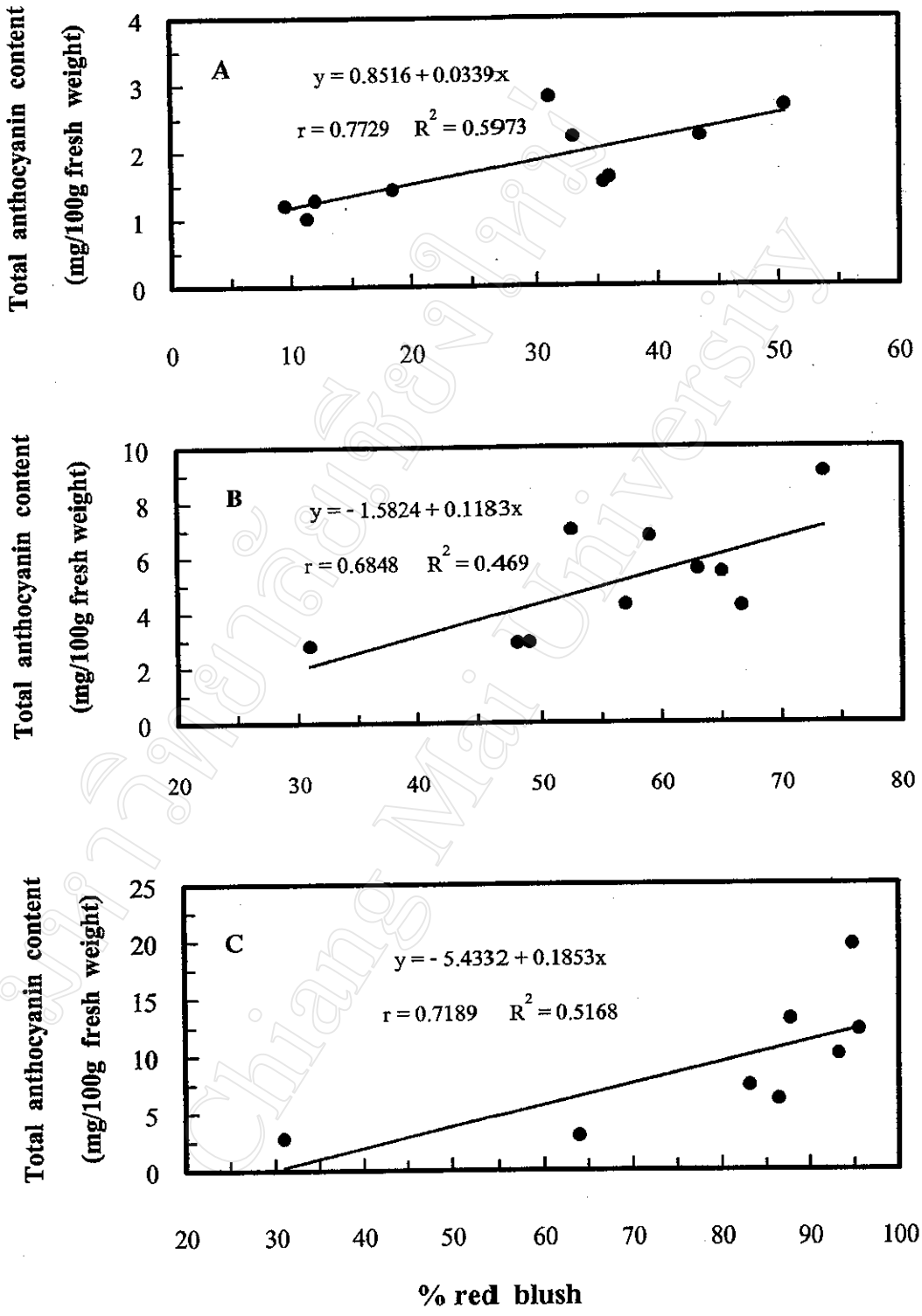
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University

และ Starking Delicious ที่ได้รับแสงอัลตร้าไวโอเล็ตความยาวคลื่น 310 และ 312 นาโนเมตร ตามลำดับ ก็ให้ผลส่งเสริมการสังเคราะห์แอนโทไซยานินเช่นกัน (Dong *et al.* , 1995 และ Arakawa *et al.* , 1986) สันนิษฐานว่าแสงไปมีผลต่อการทำงานของไฟโตโครมซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับแสงและมีผลเร่งปฏิกิริยาในกระบวนสังเคราะห์แอนโทไซยานิน โดยมีผลในการกระตุ้นไฟโตโครมให้เปลี่ยนไปเป็นรูป active form ที่สามารถเพิ่มการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน (Saure , 1990 และ Dussi *et al.* , 1995) ส่วนพืชที่ไม่ได้รับแสงหรือพืชที่เจริญในที่มืดแม้จะมีไฟโตโครมมากกว่าพืชที่เจริญในที่ที่มีแสง แต่ไฟโตโครมนี้อยู่ในรูป inactive form ซึ่งมีผลลดการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน นอกจากนี้มีรายงานการศึกษาถึงการส่งเสริมการสังเคราะห์แอนโทไซยานินโดยผลของแสงในผลไม้อื่นๆ อีกหลายชนิด เช่น ลิ้นจี่พันธุ์ Tai So (Tyas *et al.* , 1998) แอปเปิ้ลพันธุ์ Delicious (Ju *et al.*, 1995) และมะม่วงพันธุ์เคนท์ (ดีศร 2541) ซึ่งจัดให้ผลที่อยู่บนต้นไม่ได้รับแสงโดยทำการห่อผลไว้ในช่วงระยะเวลาหนึ่งเพื่อเพิ่มระดับไฟโตโครมซึ่งในช่วงนี้ไฟโตโครมจะอยู่ในรูป inactive form และหลังจากนั้นให้ผลดังกล่าวได้รับแสงโดยเปิดถุงที่ห่อออก พบว่าผลจะมีการพัฒนาสีเนื่องจากรงควัตถุแอนโทไซยานินได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากแสงมีผลทำให้ไฟโตโครมที่สะสมไว้เปลี่ยนไปเป็นรูป active form อย่างไรก็ตามความเข้มแสงและระยะเวลาในการได้รับแสงก็มีผลเช่นกันโดยพบว่าการได้รับแสงน้อยมีผลทำให้โครงสร้างของแอนโทไซยานิดินเปลี่ยนมาเป็นแอนโทไซยานินไม่ได้ ทั้งนี้เนื่องจากในสภาพที่มีแสงน้อยมีผลทำให้ ring B ของ flavan nucleus เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยไม่มีกลุ่ม OH และ OCH_3 มาแทนที่ในตำแหน่ง C-3 ของ ring B ดังกล่าว หรือไม่มี acylated anthocyanin ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้ตอบสนองต่อแสงและอุณหภูมิได้ดี (Kliewer , 1977) นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาในแตง gherkin พบว่าแสงมีผลต่อ cinnamic acid ซึ่งถือว่าเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน โดยพบว่าแสง blue light (360 μW / cm^2) มีผลส่งเสริมทำให้ *cis*–cinnamic acid ซึ่งเป็นรูป inactive form สามารถเปลี่ยนเป็น *tran–p*–coumaric acid ในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานินได้ ในขณะที่ red light และ far red light มีผลต่อการทำงานของไฟโตโครมดังกล่าวมาแล้ว (Engelsma , 1974)

จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นได้ว่าผลมะม่วงในสภาพที่ได้รับแสงในกรรมวิธีไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) และกรรมวิธีสะท้อนแสงมีการพัฒนาสีแดงของเปลือกผลและมีปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นในระหว่างการพัฒนาของผล ในขณะที่ในกรรมวิธีห่อผลไม่มีการพัฒนาสีแดงที่เปลือกผลและมีปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินคงที่ตลอดการพัฒนาของผล เมื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้น(linear correlation)ระหว่างปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินและเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดงของเปลือกผลในสภาพที่ผลได้รับแสงแตกต่างกันทั้ง 3 กรรมวิธี (รูปที่ 24 และ 25) พบว่าในกรรมวิธีห่อผล ไม่ห่อผล และสะท้อนแสงมีความสัมพันธ์กันโดยมีค่า r ใกล้



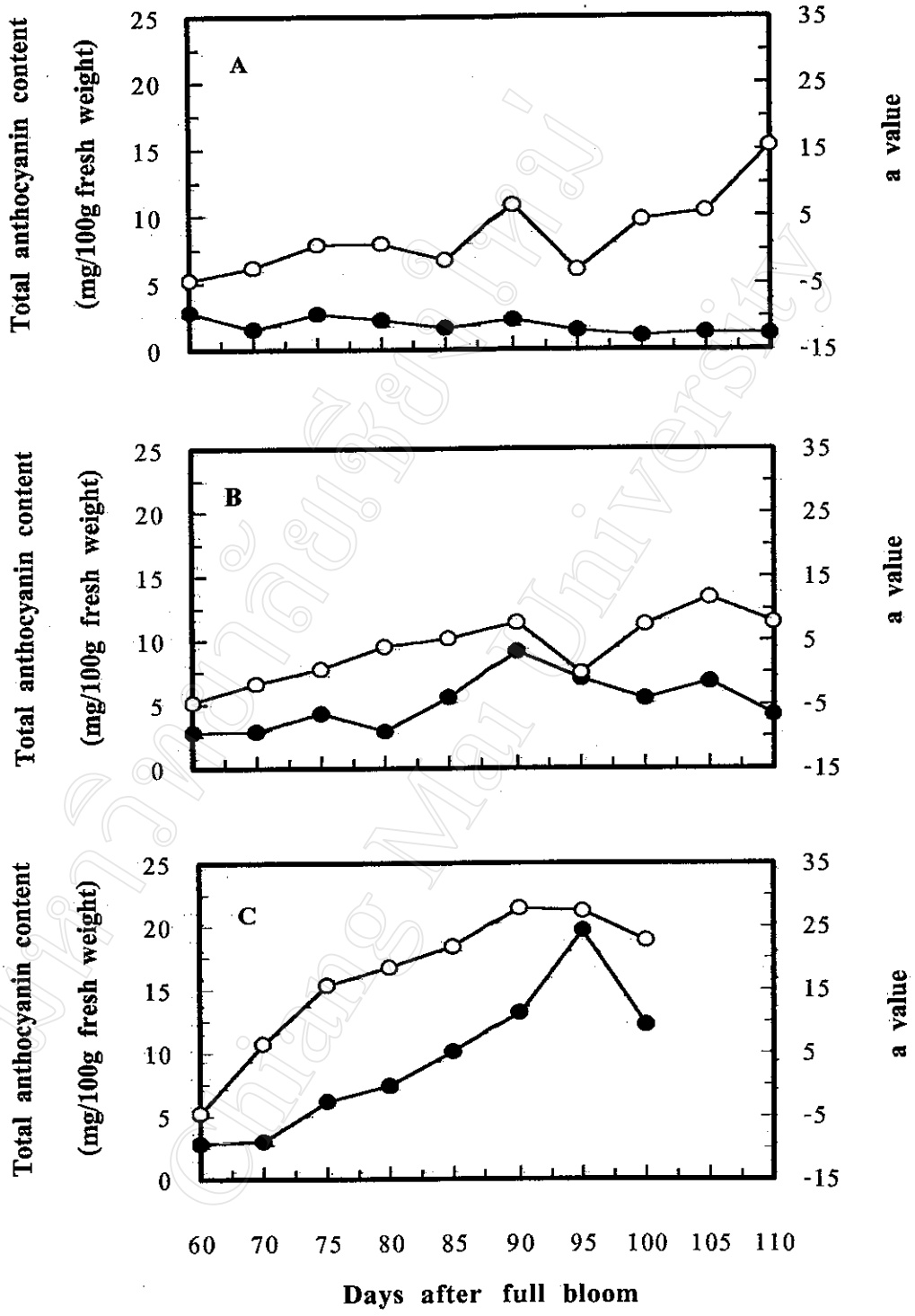
รูปที่ 24 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดง (—●—) และปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมด (—○—) ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผลเมื่อผลได้รับแสงในสภาพแตกต่างกัน 3 กรรมวิธีคือ ห่อผล (A) ไม่ห่อผล (B) และสะท้อนแสง (C)



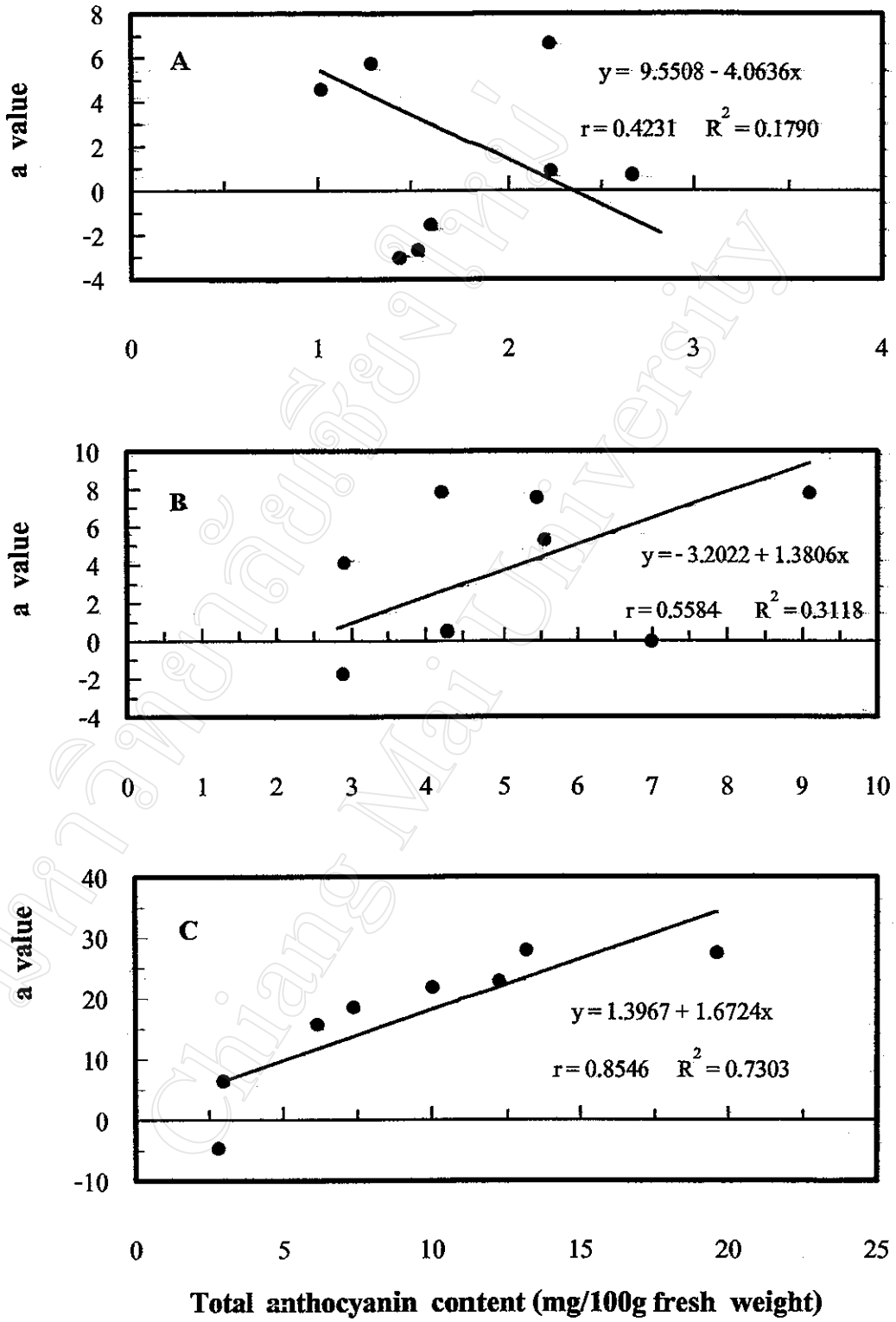
รูปที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดงและปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมดในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับแสงในสภาพแตกต่างกัน 3 กรรมวิธีคือห่อผล (A) ไม่ห่อผล (B) และสะท้อนแสง (C)

เดียงกันคือเท่ากับ 0.7729 0.6848 และ 0.7189 และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.5973 0.4690 และ 0.5168 ตามลำดับ เมื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear correlation) ระว่างปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินกับค่า a (รูปที่ 26 และ 27) พบว่าในกรรมวิธีสะท้อนแสงมีความสัมพันธ์กันมากโดยมีค่า r = 0.8546 และ R^2 เท่ากับ 0.7303 (รูปที่ 27C) ส่วนในกรรมวิธีห่อผลและไม่ห่อผลพบความสัมพันธ์ดังกล่าวน้อย (รูปที่ 27A และ 27B) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการได้รับแสงทำให้เปลือกผลมีการพัฒนาสีแดงของรงควัตถุแอนโทไซยานินได้มากขึ้น ค่า a ซึ่งแสดงถึงความเป็นสีแดงของเปลือกผลจึงมีค่าสูงขึ้น

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



รูปที่ 26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมด (—●—) และค่า a (—○—) ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับแสงในสภาพแตกต่างกัน 3 กรรมวิธีคือ ห่อผล (A) ไม่ห่อผล (B) และสะท้อนแสง (C)

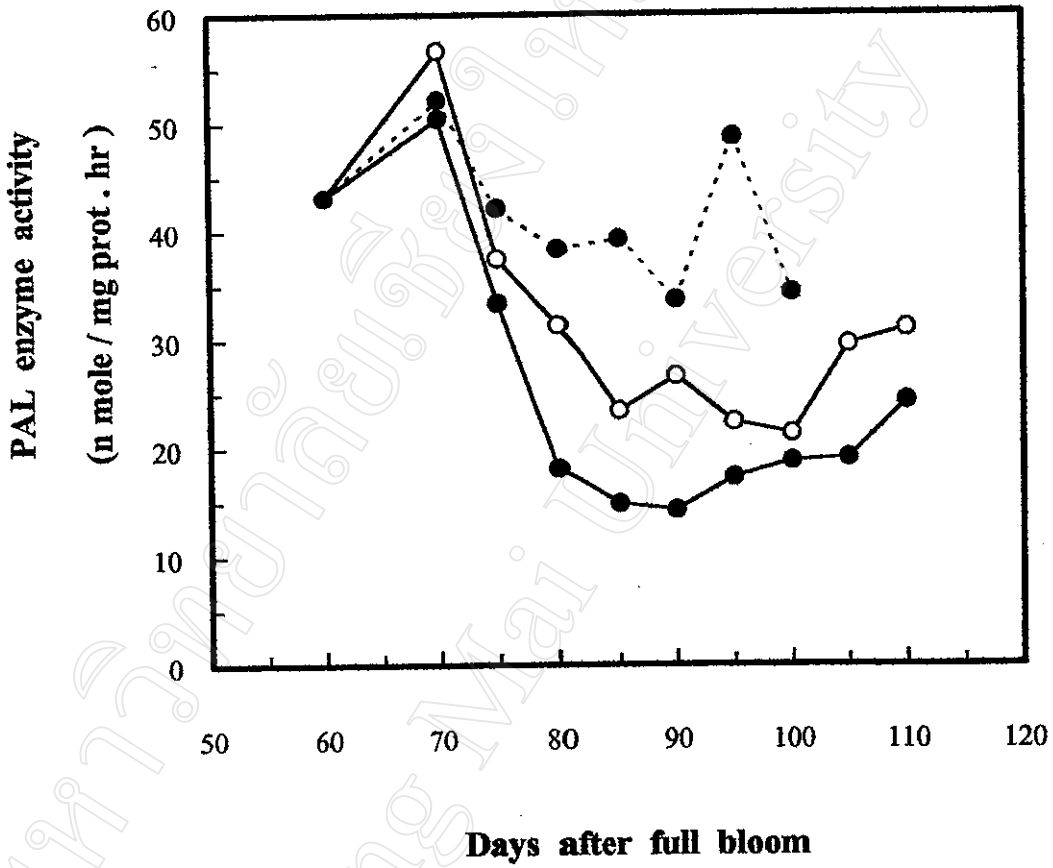


รูปที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมดและค่า a ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับแสงในสภาพแตกต่างกัน 3 กรรมวิธีคือ ห่อผล (A) ไม่ห่อผล (B) และสะท้อนแสง (C)

3. การเปลี่ยนแปลงแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL

การเปลี่ยนแปลงแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ซึ่งได้รับแสงแตกต่างกัน 3 กรรมวิธี พบว่าแอคติวิตีของเอนไซม์ในวันเริ่มต้นของการทดลอง (60 วันหลังจากดอกบาน) มีค่าเท่ากับ 43.13 นาโนโมล ต่อ มิลลิกรัมโปรตีน•ชั่วโมง จากนั้นแอคติวิตีของ 3 กรรมวิธีมีค่าสูงขึ้นและมีค่าสูงสุดในวันที่ 70 วันหลังจากดอกบาน โดยผลในกรรมวิธีห่อผล ไม่ห่อผล และสะท้อนแสงมีแอคติวิตีของเอนไซม์สูงสุดเท่ากับ 50.42 56.69 และ 52.14 นาโนโมลต่อมิลลิกรัมโปรตีน•ชั่วโมง ตามลำดับ หลังจากนั้นแอคติวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 กรรมวิธีมีค่าลดลง โดยในกรรมวิธีห่อผลมีการลดลงมากที่สุดและลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 70 - 80 วันหลังจากดอกบาน และหลังจากนั้นค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยอีกครั้งจนกระทั่งเก็บเกี่ยว (110 วันหลังจากดอกบาน) ส่วนแอคติวิตีของเอนไซม์ในกรรมวิธีไม่ห่อผลก็มีการลดลงเรื่อย ๆ ในทำนองเดียวกัน แต่จะลดลงน้อยกว่าในกรรมวิธีห่อผลโดยในวันที่ 70 - 85 วันหลังจากดอกบานแอคติวิตีของเอนไซม์ลดลงอย่างรวดเร็วแล้วจึงมีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเช่นกันจนกระทั่งถึงวันเก็บเกี่ยว (110 วันหลังจากดอกบาน) ในขณะที่แอคติวิตีของเอนไซม์ในกรรมวิธีสะท้อนแสงลดลงเพียงเล็กน้อยในช่วงวันที่ 70 - 90 วันหลังจากดอกบานแต่จะสูงขึ้นอีกครั้งเท่ากับ 48.65 นาโนโมลต่อ มิลลิกรัมโปรตีน•ชั่วโมงในวันที่ 95 วันหลังจากดอกบาน ซึ่งในช่วงนี้มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุดเช่นกัน จากนั้นจึงลดต่ำลงในวันที่ 100 วันหลังจากดอกบานซึ่งเป็นช่วงที่ผลสุกและถูกเก็บเกี่ยวเร็วกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ประมาณ 10 วัน (รูปที่ 28 และตารางผนวกที่11) เช่นเดียวกันกับการศึกษาในระหว่างการสุกของผลสตรอเบอรี่ พบว่าแอคติวิตีของเอนไซม์จะสูงขึ้น 2 ครั้ง โดยครั้งแรกเกิดในช่วงที่ผลยังไม่สุกคือวันที่ 5 หลังจากการถ่ายละอองเกสร และอีกครั้งหนึ่งในวันที่ 27 หลังจากการถ่ายละอองเกสรซึ่งเป็นช่วงที่ผลกำลังสุก (Cheng and Breen , 1991) ส่วนในผลแอปเปิ้ลพันธุ์ Splendour ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีสีแดงพบว่ามีแอคติวิตีของเอนไซม์ค่อนข้างสูงในช่วงที่ผลยังอ่อนอยู่ เมื่อผลมีอายุมากขึ้นแอคติวิตีของเอนไซม์เริ่มลดลง และเมื่อผลสุกจะเปลี่ยนเป็นสีแดงซึ่งพบว่า แอคติวิตีของเอนไซม์เริ่มสูงขึ้นอีกครั้งแต่มีค่าต่ำกว่าครั้งแรกเล็กน้อย (Lister *et al.* , 1996)

จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าสภาพการได้รับแสงมีผลต่อแอคติวิตีของเอนไซม์ PALในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ โดยในกรรมวิธีที่ได้รับแสงทั้งสองกรรมวิธียังสามารถรักษาระดับของแอคติวิตีของเอนไซม์ไว้ได้สูงกว่าในกรรมวิธีที่ไม่ได้รับแสง นั่นคือแสงมีผลส่งเสริมการสร้างเอนไซม์ PAL ในผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ สอดคล้องกับการศึกษาในกลีบดอกพิทูเนียที่ได้รับแสงและอยู่ในที่มืด พบว่าในสภาพที่ได้รับแสงมีระดับแอคติวิตีของเอนไซม์นี้สูงกว่า 4 เท่าของในสภาพมืด รวมทั้งพบว่าแสงสีน้ำเงินมีผลส่งเสริมดีกว่าแสงสีแดง (Weiss and Halevy , 1991) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในผลแอปเปิ้ลซึ่งพบว่าแสงมีผลเกี่ยวข้องกับระดับแอคติวิตีของเอนไซม์



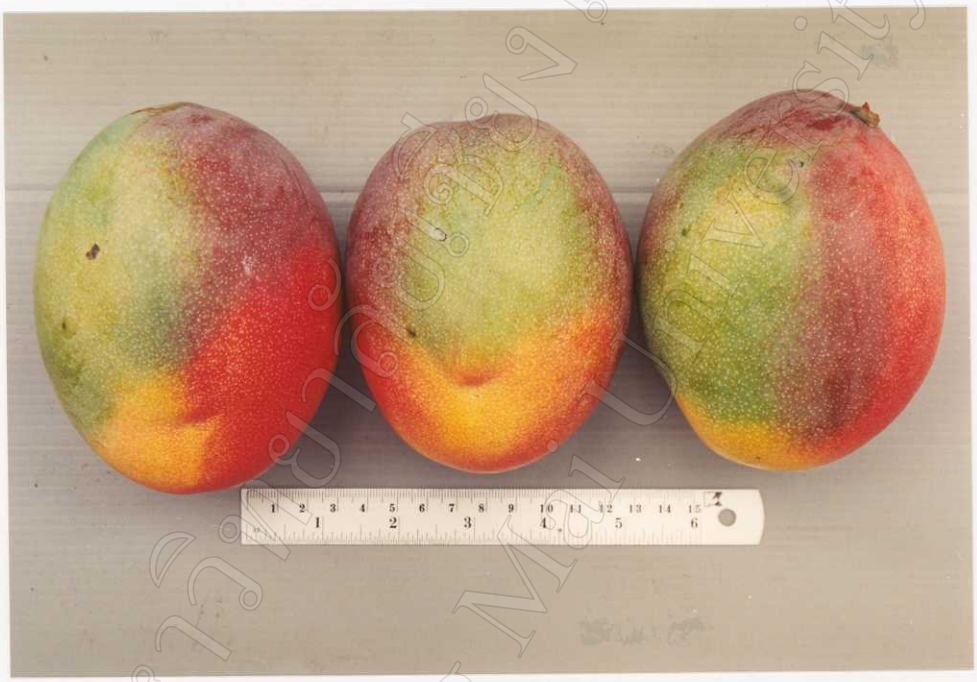
รูปที่ 28 การเปลี่ยนแปลงแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับแสงในสภาพแตกต่างกัน 3 กรรมวิธีคือ ห่อผล (—●—) ไม่ห่อผล (—○—) และสะท้อนแสง (-----●-----)

PAL การลดระดับความเข้มของแสงหรือไม่ได้รับแสงมีผลทำให้ระดับเอนไซม์ลดต่ำลงด้วย โดยเฉพาะพบว่าแสงมีผลเพิ่มแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ในเปลือกผลแอปเปิ้ลพันธุ์ Mutsu และพันธุ์ Golden Delicious ได้ อย่างไรก็ตามเมื่อทดลองกับชิ้นเนื้อเยื่อของเปลือกแอปเปิ้ลที่ตัดออกมาจากผล พบว่าเปลือกยังคงมีการสร้างเอนไซม์นี้เพิ่มสูงขึ้นแม้อยู่ในสภาพที่ไม่ได้รับแสง ทั้งนี้สันนิษฐานว่าฮอร์โมนเอทธิลีนอาจมีส่วนเกี่ยวข้องในเรื่องนี้ (Faragher and Chalmers , 1977 ; Faragher , 1983 และ Arakawa *et al.* , 1986) อาจเป็นไปได้ที่แสงมีผลต่อการสังเคราะห์แอนโทไซยานินโดยกระตุ้นผ่านการทำงานของ PAL สันนิษฐานว่าในสภาพได้รับแสงจะมีการสร้าง reducing products เช่น NADPH หรือ reduced pyridoxine ซึ่งสารประกอบเหล่านี้มีผลกระตุ้นการทำงานของ PAL ซึ่งในใบป๊วยเล็งพบว่าแสงมีผลกระตุ้นในเรื่องนี้โดยผ่านทาง redoxin – thioredoxin system (Hanson and Havir , 1981)

Schopfer (1977) อธิบายว่าแสงมีผลต่อแอคติวิตีของเอนไซม์โดยไปมีผลผ่านการทำงานของไฟโตโครม ซึ่งมีสมมุติฐานเกี่ยวกับกลไกการทำงาน 2 สมมุติฐาน คือ gene regulation hypothesis และ membrane permeability hypothesis โดยสมมุติฐานแรกกล่าวว่าเมื่อไฟโตโครมได้รับแสงในช่วงที่ทำให้อยู่ในรูปที่ทำงานได้ (Pfr) อาจมีผลเกี่ยวข้องกับการควบคุมสิ่งต่างๆ โดยผ่านการทำงานของยีน โดยจะไปกระตุ้น operon ซึ่งเป็นหน่วยรวมของยีนที่จะแสดงออกให้เกิดการสังเคราะห์โปรตีนในที่นี้ได้แก่เอนไซม์ PAL ซึ่งมีกลไกคล้าย lac operon ใน *Escherichia coli* มาก โดย Dong *et al.* (1995) ทำการศึกษาแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ในผลแอปเปิ้ลพันธุ์ Royal gala โดยวัดแอคติวิตีของเอนไซม์นี้จากการประมาณปริมาณของ PAL mRNA โดยวิธี Northern analysis พบว่าผลที่ได้รับแสงจะมีระดับ PAL mRNA สูงกว่าผลที่ไม่ได้รับแสง รวมทั้งมีผลทำให้เปลือกผลมีการสังเคราะห์รงควัตถุนี้เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดพร้อมกับการส่งเสริมการสังเคราะห์เอนไซม์สำคัญในกระบวนการ phenylpropanoid metabolism และกระบวนการสังเคราะห์ flavonoid ส่วนสมมุติฐานที่สองนั้นเชื่อว่าไฟโตโครมซึ่งมีแหล่งอยู่ที่ membrane อาจเกี่ยวข้องกับ permeability ของเซลล์ อย่างไรก็ตามการที่ไฟโตโครมจะทำให้ permeability ของเซลล์เปลี่ยนได้อย่างไรนั้นเป็นเรื่องที่อธิบายได้ยาก จากการศึกษาของ Engelsma (1974) ได้อธิบายเกี่ยวกับเรื่องนี้ว่า Pfr จะไปมีผลต่อคุณสมบัติของ membrane ในการส่งสารผ่านเข้า – ออก ทำให้มีการลำเลียง hydroxycinnamic acid ซึ่งเป็นสารตัวกลางที่สำคัญในการสังเคราะห์จากแหล่งที่มีการสังเคราะห์ไปยัง vacuoles มากขึ้นซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้ระดับของเอนไซม์ PAL สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามก็ยังไม่เป็นที่ชัดเจน

ในการกระตุ้นหรือส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ PAL และการสังเคราะห์รงควัตถุแอนโทไซยานินโดยแสงจะแตกต่างกันในพืชแต่ละชนิด โดยพบว่าแสงมีผลส่งเสริมในเรื่อง

ดังกล่าวในหัวมันฝรั่ง กะหล่ำปลีสีแดง และแอปเปิ้ลพันธุ์ต่างๆ (Saure , 1990) รวมทั้งในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ (ดิศร , 2541) แต่ในผลมังคุดพบว่าแสงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL และปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานิน (สุจิตรา , 2541) รวมทั้งในผักและผลไม้แต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อแสงในเรื่องดังกล่าวแตกต่างกันไปอันเป็นผลมาจากการควบคุมของยีน เช่น แสง UV312 สามารถส่งเสริมแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL และกระตุ้นการสังเคราะห์รงควัตถุแอนโทไซยานินเฉพาะในเปลือกผลแอปเปิ้ลพันธุ์ที่มีสีแดงเท่านั้น แต่ในพันธุ์ที่มีสีเหลืองและสีเขียวพบว่าถึงแม้แสงจะสามารถกระตุ้นแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ได้ แต่ไม่สามารถชักนำให้เกิดการสังเคราะห์รงควัตถุแอนโทไซยานิน (Arakawa *et al.*, 1986 และ Lister *et al.* , 1996) เมื่อทำการศึกษาแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL และปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ที่มีอายุได้ 98 วันหลังจากดอกบาน (รูปที่ 29) โดยทำการศึกษาในพื้นที่เปลือกที่มีสีแดง สีเขียว และสีเหลือง พบว่าในพื้นที่เปลือกสีแดงมีแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL และปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 70.74 นาโนโมลต่อมิลลิกรัมโปรตีน•ชั่วโมง และ 9.55 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด รองลงมาคือพื้นที่เปลือกสีเหลืองและสีเขียวมีแอคติวิตีของเอนไซม์เท่ากับ 40.84 และ 33.17 นาโนโมลต่อมิลลิกรัมโปรตีน•ชั่วโมงตามลำดับ และมีปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินเท่ากันคือ 1.53 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด (ตารางที่ 1) นั่นแสดงให้เห็นว่าพื้นที่เปลือกผลที่ไม่มีสีแดงทั้งปริมาณรงควัตถุและแอคติวิตีของเอนไซม์มีค่าลดต่ำลง มีรายงานการศึกษาโดย Faragher and Chalmers (1977) และ Arakawa *et al.* (1986) พบว่าในผลแอปเปิ้ลพันธุ์ที่มีสีแดงมีความสัมพันธ์ระหว่างแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL และปริมาณแอนโทไซยานิน โดยในพันธุ์ Jonathan ที่ได้รับแสงอัลตร้าไวโอเล็ตจะมีแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL สูงสุดหลังจากได้รับแสงแล้ว 30 ชั่วโมง ต่อมาในชั่วโมงที่ 120 หลังจากได้รับแสงจะมีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นสูงสุดซึ่งในช่วงนี้เอนไซม์ PAL มีแอคติวิตีต่ำสุด แสดงให้เห็นว่าก่อนหน้าที่ปริมาณแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นสูงสุดนั้นแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ได้เพิ่มขึ้นสูงสุดก่อนแล้ว (Faraghere and Chalmers , 1977) จากการทดลองนี้ แอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ทั้ง 3 กรรมวิธีสูงสุดเมื่อผลมีอายุได้ 70 วันหลังจากดอกบาน และหลังจากนั้นผลในกรรมวิธีไม่ห่อผล และสะท้อนแสงจะมีแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 90 และ 95 วันหลังจากดอกบาน ตามลำดับ ส่วนในกรรมวิธีห่อผลนั้นแม้มีการเพิ่มขึ้นของแอคติวิตีของ PAL ในตอนท้ายแต่ไม่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอนโทไซยานิน (รูปที่ 30) แม้ว่าเอนไซม์ PAL ถือว่าเป็นเอนไซม์ที่มีความสำคัญ และเป็น key enzyme ในการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน (Gross , 1987) โดยพบว่าถ้ามีแอคติวิตีเอนไซม์นี้มากจะทำมีให้ปริมาณแอนโทไซยานินสูงขึ้น และเมื่อมีแอคติวิตีน้อยจะทำให้มีการสังเคราะห์แอนโทไซยานินลดลง (Saure , 1990) แต่เมื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้น



รูปที่ 29 ผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ที่มีอายุได้ 98 วันหลังจากดอกบาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ตารางที่ 1 แอคติวิตีของเอนไซม์ PAL และปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมดในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ที่มีสีแดง สีเขียว และสีเหลือง เมื่อผลมีอายุได้ 98 วันหลังจากดอกบาน

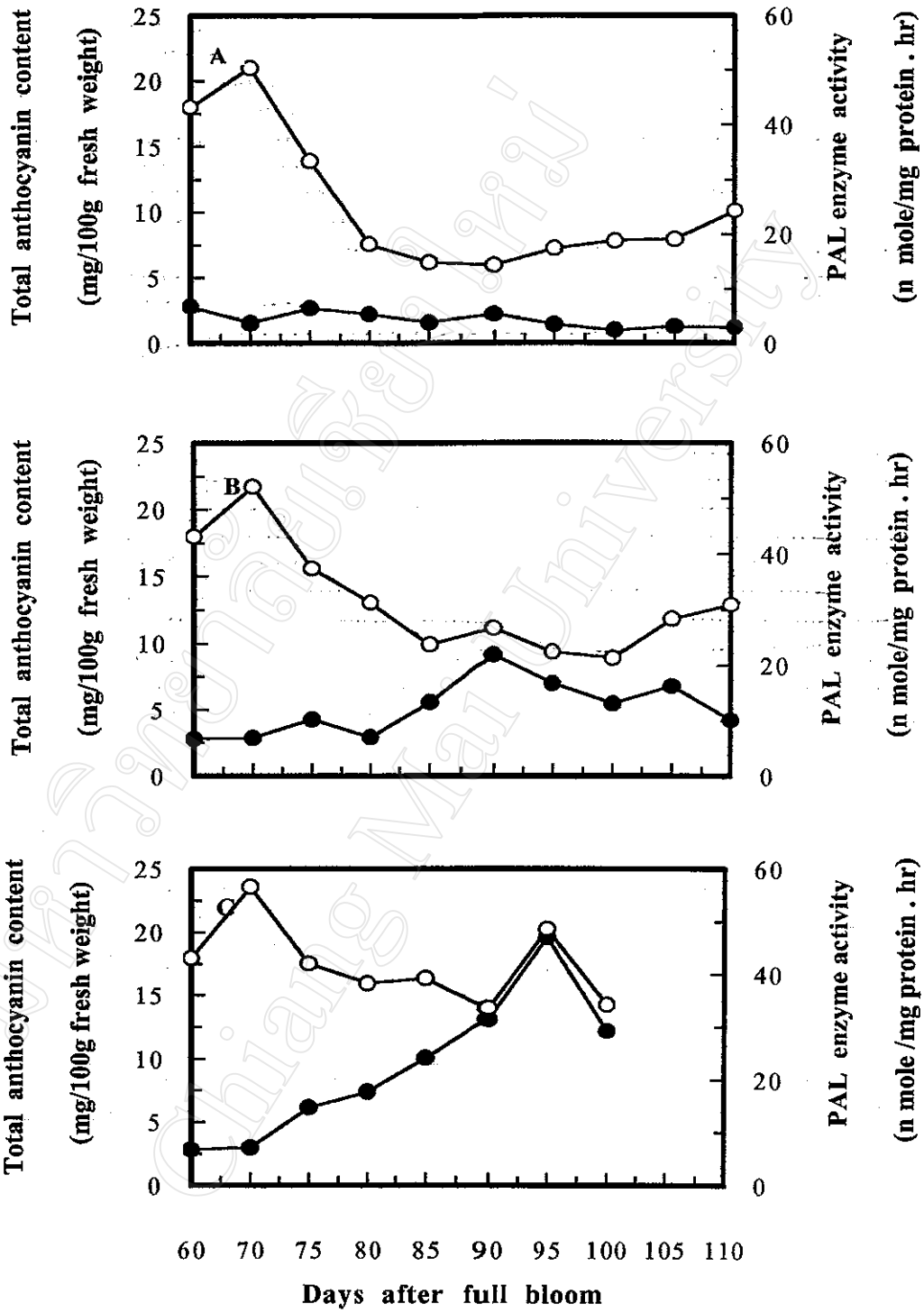
พื้นที่เปลือกผล	แอคติวิตีของเอนไซม์ PAL [1/] (n mole / mg protein • hr)	ปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมด [2/] (mg / 100 g fresh weight)
สีแดง	70.74 a	9.55 a
สีเหลือง	40.84 b	1.53 b
สีเขียว	33.17 c	1.53 b
LSD [3/]	2.05	0.95

หมายเหตุ

1/ = ค่าเฉลี่ยแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ

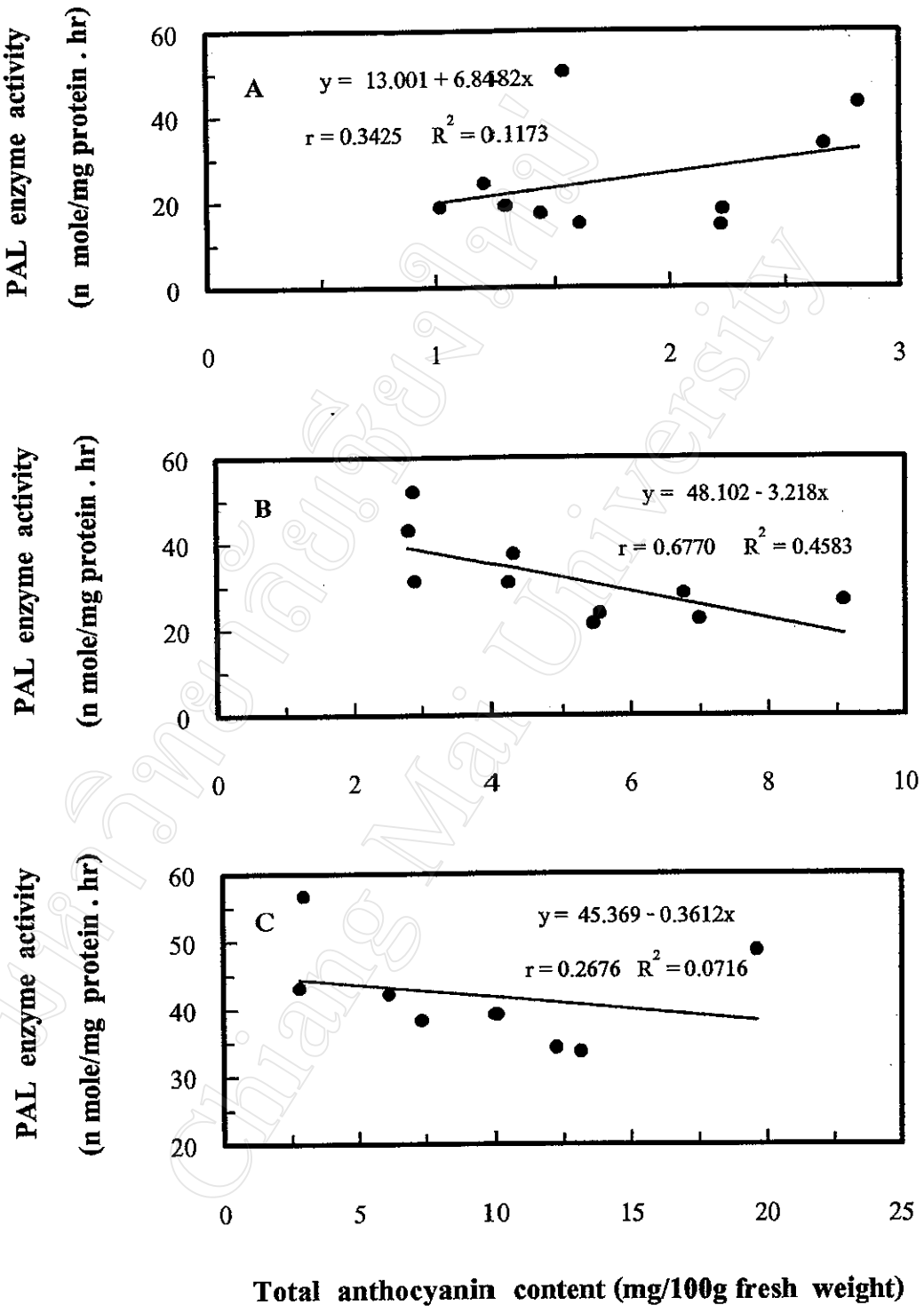
2/ = ค่าเฉลี่ยปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมดที่ได้จากการทดลอง 4 ซ้ำ

3/ = ค่าความแตกต่างต่ำสุด ระหว่างค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Analysis of variance แบบ One– way ANOVA ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 30 การเปลี่ยนแปลงปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมด(——●——) และแอคติวิตีของเอนไซม์PAL(——○——)ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับแสงในสภาพแตกต่างกัน 3 กรรมวิธีคือ ห่อผล (A) ไม่ห่อผล (B) และสะท้อนแสง (C)

ระหว่างแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL และปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินในเปลือกผลทั้ง 3 วิธี พบว่ามีความสัมพันธ์กันน้อยโดยในกรรมวิธีห่อผล ไม่ห่อผล และสะท้อนแสงมีค่า r เท่ากับ 0.3425 0.6770 และ 0.2676 และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.1173 0.4583 และ 0.0716 ตามลำดับ (รูปที่ 31) เช่นเดียวกันกับในผลมังคุด (สุจิตรา , 2541) และในผลแอปเปิ้ลพันธุ์ New Zealand ซึ่งพบว่าระหว่างการพัฒนาของผลแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL มีความสัมพันธ์กับปริมาณแอนโทไซยานินน้อยมาก (r = 0.34) แต่มีความสัมพันธ์กันมากกับปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (r = 0.75) (Lister *et al.* , 1996) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานินมีเอนไซม์หลายตัวเข้ามาเกี่ยวข้องและร่วมเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการนี้ ไม่ได้มีเฉพาะเอนไซม์ PAL ตัวเดียว มีรายงานว่าในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในผลองุ่นพันธุ์ Shiraz นอกจากเอนไซม์ PALแล้วยังมีเอนไซม์อื่นๆ อีกหลายตัวที่มีผลเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน เช่น chalcone synthase (CHS) chalcone isomerase (CHI) flavanone - 3 - hydroxylase (F3H) dihydroflavonol - 4 - reductase (DFF) leucoanthocyanidin dioxygenase (LDOX) และ UDP glucose - flavonoid 3 - O - glucosyl transferase (UFGT) (Boss *et at.* , 1996) รวมทั้งในการควบคุมการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในพืชแต่ละชนิดจะมีเอนไซม์ที่สำคัญควบคุมแตกต่างกันไป เช่น เอนไซม์ CHS F3H และ DFR เป็นเอนไซม์สำคัญในการควบคุมการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในพืชพวกข้าวโพด พิทูเนีย และลิ้นมังกร ตามลำดับ (Martin and Gerats , 1993 อ้างโดย Boss *et al.* , 1996) ส่วนในผลแอปเปิ้ลมีเอนไซม์สำคัญในการควบคุมคือ CHI UFGT และ PAL (Lister *et al.* , 1996) เป็นต้น เอนไซม์ PAL เร่งปฏิกิริยาเฉพาะในช่วงต้นของกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานินเท่านั้น เพื่อให้สารตัวกลางอีกหลายตัวในกระบวนการนี้ เช่น *p* – coumayl CoA flavanone และ dihydroflavonol ที่สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบในกลุ่ม phenolic compounds ต่าง ๆ ได้อีกหลายชนิด ซึ่งล้วนจำเป็นต่อการเจริญพัฒนาของผล (Grisebanch , 1982 ; Gross , 1987 และ Mazza and Miniati , 1993) การที่มีแอคติวิตีของ PAL สูงในระยะต้นๆ ของการพัฒนาผลมะม่วง (70 วันหลังจากดอกบาน) อาจเป็นดัชนีแสดงให้เห็นถึงมีการสังเคราะห์สารประกอบ phenolic compounds อื่นๆ ที่ไม่ใช่แอนโทไซยานิน ซึ่งในผลการทดลองได้แสดงให้เห็นแล้วว่ามีปริมาณแอนโทไซยานินต่ำในเวลานั้นทั้งในสภาพมีแสงและไม่มีแสง ในระยะเวลาต่อมาในกรรมวิธีที่ได้รับแสงเท่านั้นจึงค่อยมีการพัฒนาสีแดงเกิดขึ้น ซึ่งถ้าพิจารณาในระยะท้ายๆ ของการพัฒนาของผลก็พออาจเห็นความสัมพันธ์ระหว่างแอคติวิตีของเอนไซม์และปริมาณแอนโทไซยานินได้ ในขณะนี้ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าในพืชแต่ละชนิดหรือในแต่ละส่วนของพืชจะต้องมีระดับแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL เท่าใดที่เพียงพอต่อการกระตุ้นการสังเคราะห์รงควัตถุนี้ มีบางรายงานกล่าวว่าระดับของเอนไซม์อาจมีเพียงพออยู่แล้วในพืชนั้นๆ แต่



รูปที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมดและแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับแสงในสภาพแตกต่างกัน 3 กรรมวิธีคือ ห่อผล (A) , ไม่ห่อผล (B) และสะท้อนแสง (C)

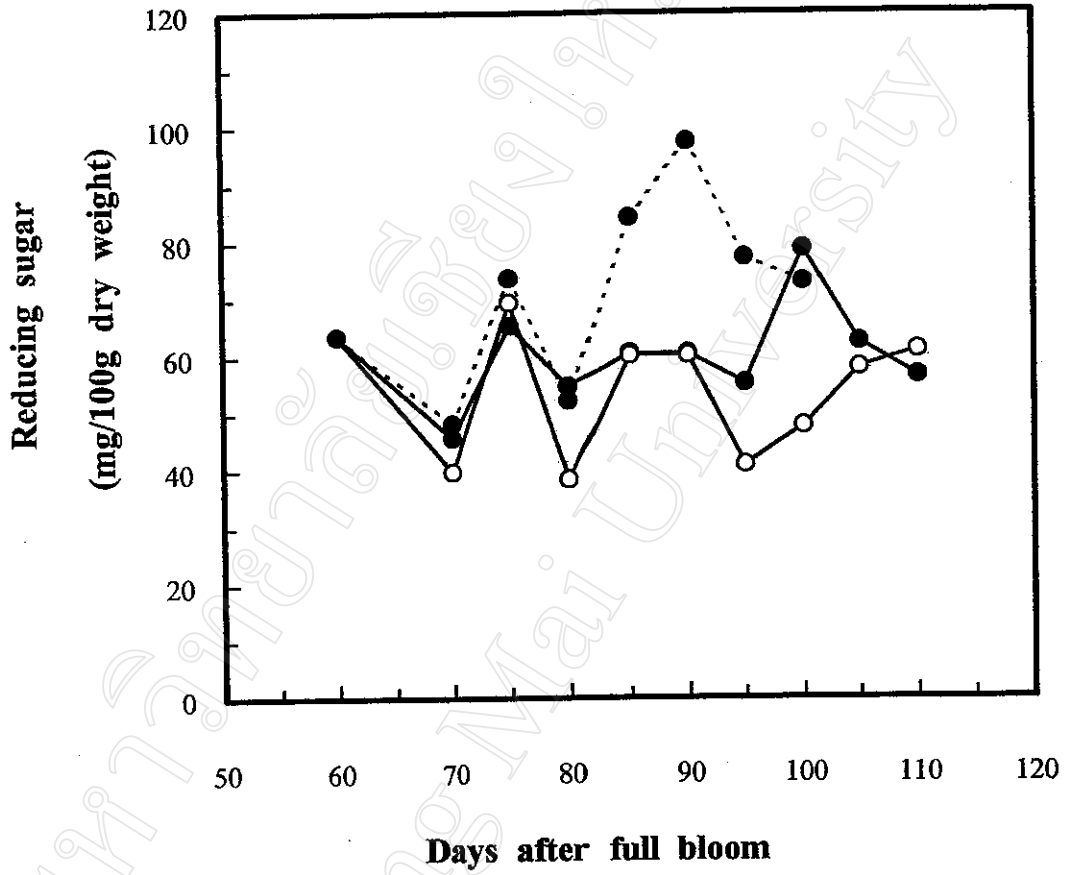
มีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์นี้ เช่น ปัจจัยในเรื่องแสงและอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะกระตุ้นการทำงานโดยการเปลี่ยนจากรูป inactive เป็นรูป active ที่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ (Tan , 1979 และ Zucker , 1968) ดังนั้นการห่อผลมะม่วงทำให้ผลไม่ได้รับแสงอาจก่อให้เกิดเอนไซม์ในรูป inactive ก็ได้ ในขณะที่ในสภาพได้รับแสงกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์นี้ จึงทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่า

4. การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

น้ำตาลเป็นส่วนประกอบสำคัญของโครงสร้างโมเลกุลของแอนโทไซยานิน โดยขั้นตอนสุดท้ายของการสังเคราะห์นี้น้ำตาลจะรวมตัวกับแอนโทไซยานิดิน โดยพบว่าปริมาณน้ำตาลและปริมาณแอนโทไซยานินมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกันโดยการสะสมน้ำตาลมักเพิ่มสูงขึ้นก่อนการเพิ่มขึ้นของแอนโทไซยานินในผลองุ่น รวมทั้งน้ำตาลซูโครสมีผลกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์รงควัตถุแอนโทไซยานินในผลแอปเปิ้ล (Saure , 1990 และ Pirie and Mullins , 1977) จากการทดลองนี้พบว่าในวันเริ่มต้นการทดลอง (60 วันหลังจากดอกบาน) ผลมะม่วงทั้ง 3 กรรมวิธีมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 63.16 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักแห้ง ต่อจากนั้นผลในกรรมวิธีห่อผลและไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ไม่คงที่ตลอดการพัฒนาของผล ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในแต่ละระยะการพัฒนาของผลมีทั้งการสังเคราะห์และการสลายน้ำตาลในอัตราที่แตกต่างกัน โดยน้ำตาลได้มาจากกระบวนการสังเคราะห์แสงจากต้นแม่เป็นหลัก ถ้ามีการสังเคราะห์แสงมากย่อมมีน้ำตาลเกิดขึ้นในปริมาณมากและมีผลต่อการสร้างรงควัตถุแอนโทไซยานินมากขึ้นด้วย ในขณะเดียวกันน้ำตาลอาจลดน้อยลงไปเนื่องจากถูกนำไปใช้ในกระบวนการทางสรีรวิทยาอื่นๆ ด้วย เช่น การหายใจ การสังเคราะห์โปรตีน เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของเซลล์หรือต้นพืช (Saure , 1990) ดังนั้นสภาพการได้รับแสงต่างกันอาจไม่มีผลเกี่ยวข้อง ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของผลในกรรมวิธีสะท้อนแสงมีแนวโน้มไม่คงที่ในช่วงที่ผลมีอายุ 60 – 80 วันหลังจากดอกบานเท่านั้น แต่หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อผลมีอายุได้ 90 วันหลังจากดอกบาน ซึ่งผลในกรรมวิธีนี้ได้รับแสงมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ รวมทั้งมีแอคติวิตีของ PAL และปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ด้วยอันอาจเป็นผลมาจากปัจจัยเรื่องแสงดังกล่าว และหลังจากนั้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จึงลดลงเมื่อผลเข้าสู่ระยะการสุกแก่ (รูปที่ 32 และ ตารางผนวกที่ 12)

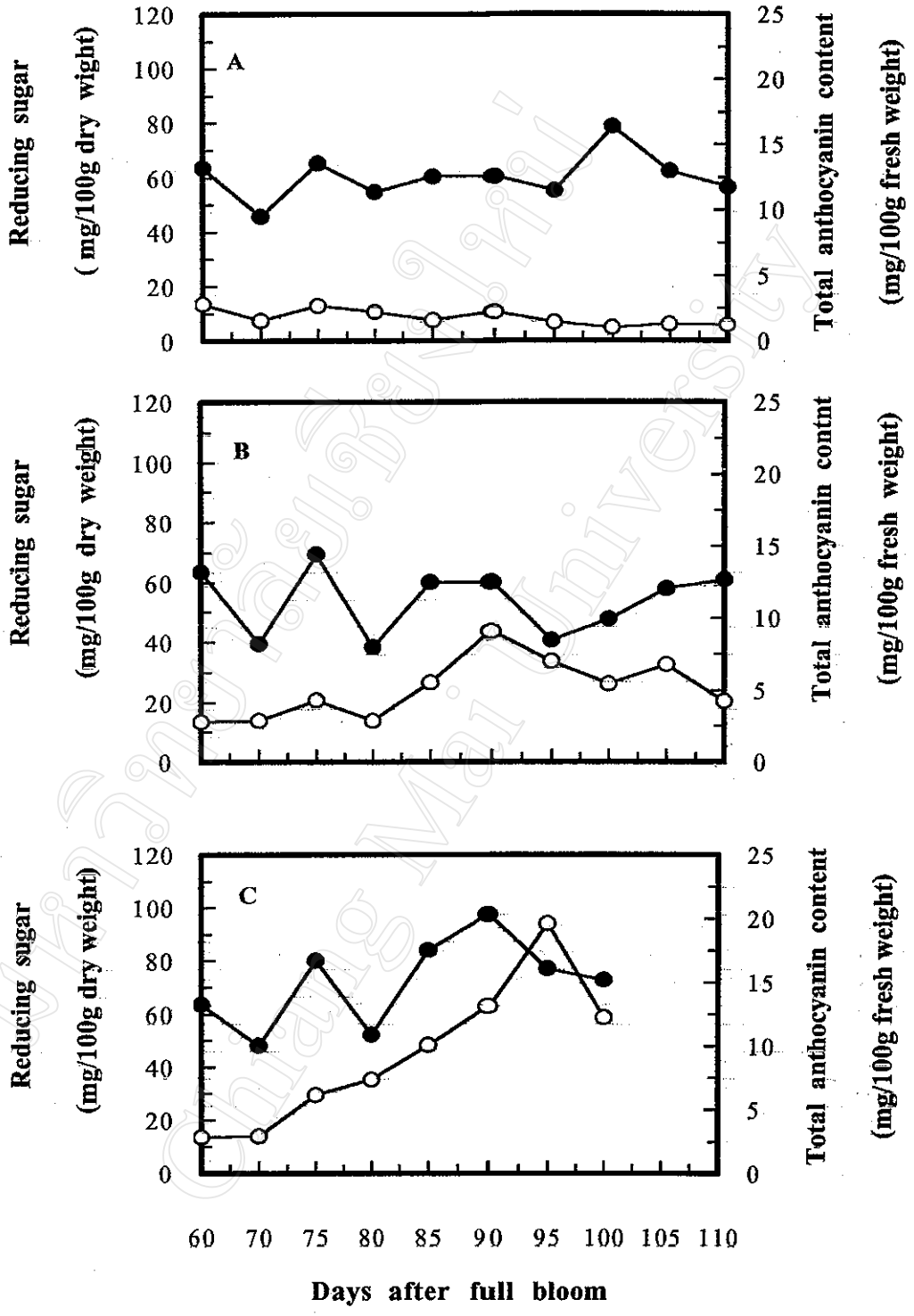
จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า หลังจากที่ผลในกรรมวิธีสะท้อนแสงมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดแล้ว 5 วัน ปริมาณแอนโทไซยานินจึงเพิ่มสูงสุด (95 วันหลังจากดอกบาน) (รูปที่

33C) เช่นเดียวกันกับในผลองุ่นซึ่งพบว่าจะเกิดการสะสมน้ำตาลก่อนที่จะมีการสะสมรงควัตถุแอนโทไซยานิน เมื่อหาความสัมพันธ์แบบ quadratic-correlation ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณแอนโทไซยานินพบว่ามีความสัมพันธ์กันมาก (r = 0.960) (Pirie and Mullins , 1977) ส่วนในเปลือกผลมังคุดพบว่ามีความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นแบบ exponential correlation โดยมีค่า r เท่ากับ 0.951 (สุจิตรา , 2541) แต่จากการทดลองนี้พบว่าในเปลือกผลทั้ง 3 กรรมวิธีมีความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear correlation) ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินน้อย (รูปที่ 34) โดยมีค่า r เท่ากับ 0.0400 0.1530 และ 0.5760 และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.0016 0.0234 และ 0.3318 ในผลมะม่วงที่ห่อผล ไม่ห่อผล และสะท้อนแสงตามลำดับ

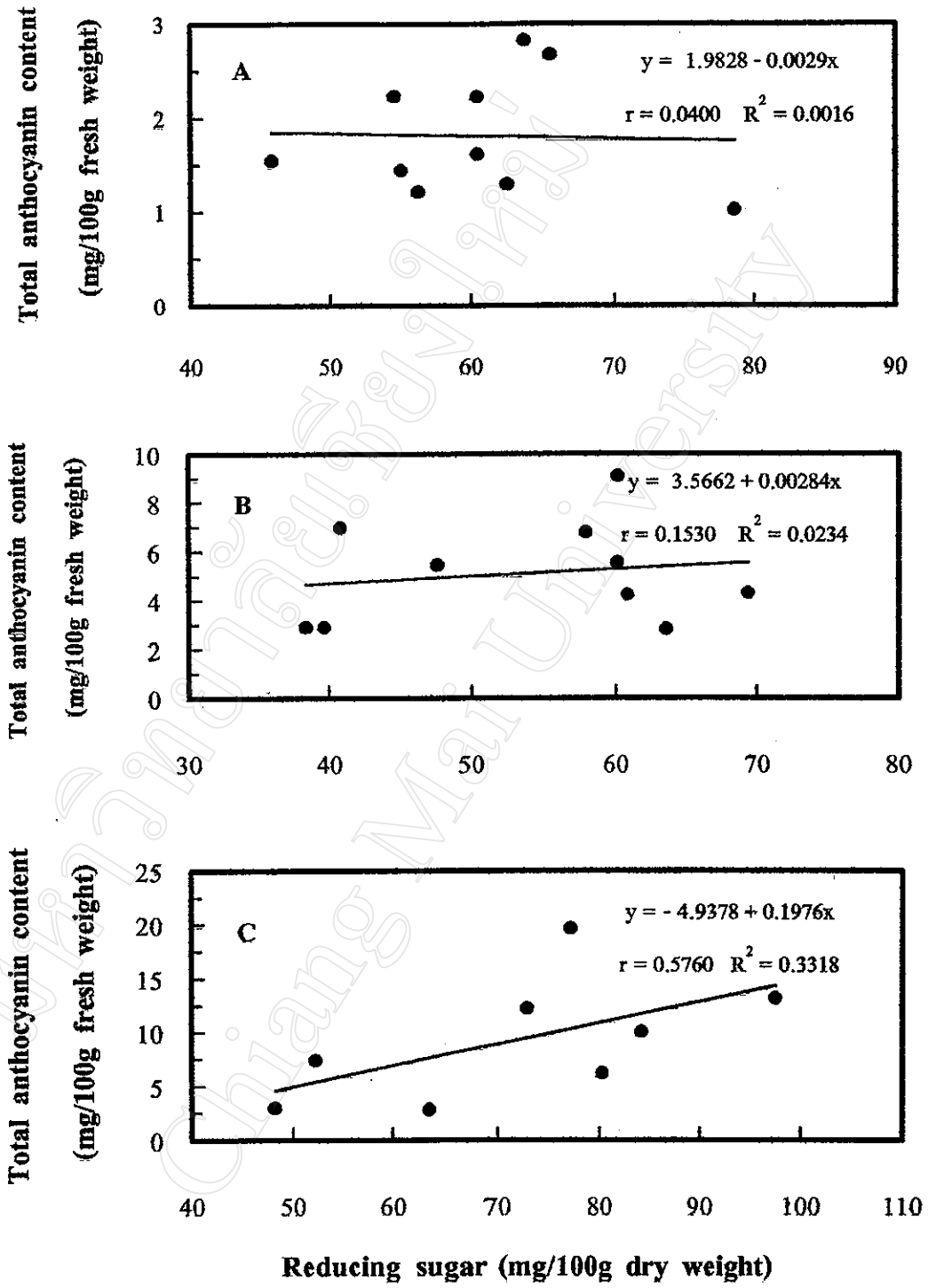


รูปที่ 32 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับแสงในสภาพแตกต่างกัน 3 กรรมวิธีคือ ห่อผล (—●—) ไม่ห่อผล (—○—) และสะท้อนแสง (-----●-----)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University



รูปที่ 33 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (—●—) และปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมด (—○—) ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับแสงในสภาพแตกต่างกัน 3 กรรมวิธีคือ ห่อผล (A) ไม่ห่อผล (B) และสะท้อนแสง (C)



รูปที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมดในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับแสงในสภาพแตกต่างกัน 3 กรรมวิธีคือ ห่อผล (A) ไม่ห่อผล (B) และสะท้อนแสง (C)

การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดต่อแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL และปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์

จากการศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดต่อปริมาณแอนโทไซยานิน รวมทั้งแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ทั้งในสภาพ *in vivo* และ *in vitro* ได้ผลการทดลองดังนี้

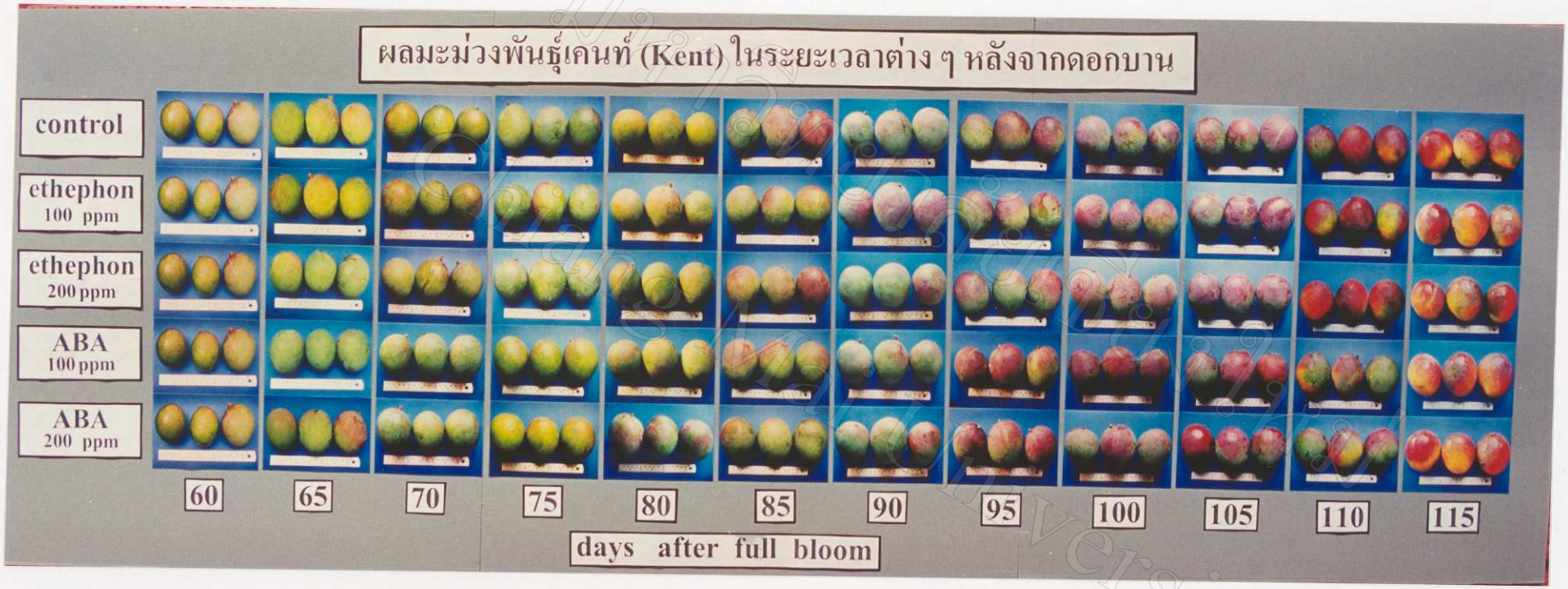
การทดลองที่ 2.1 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดในสภาพ *in vivo*

ในการทดลองนี้ได้ทำการประเมินและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานิน ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ในเปลือกผลที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดแตกต่างกัน 5 กรรมวิธี ในระหว่างการพัฒนาของผล (60 – 115 วันหลังจากดอกบาน) และทุกกรรมวิธีได้รับแสงจากธรรมชาติเหมือนกัน ได้ผลการทดลองดังนี้ (รูปที่ 35)

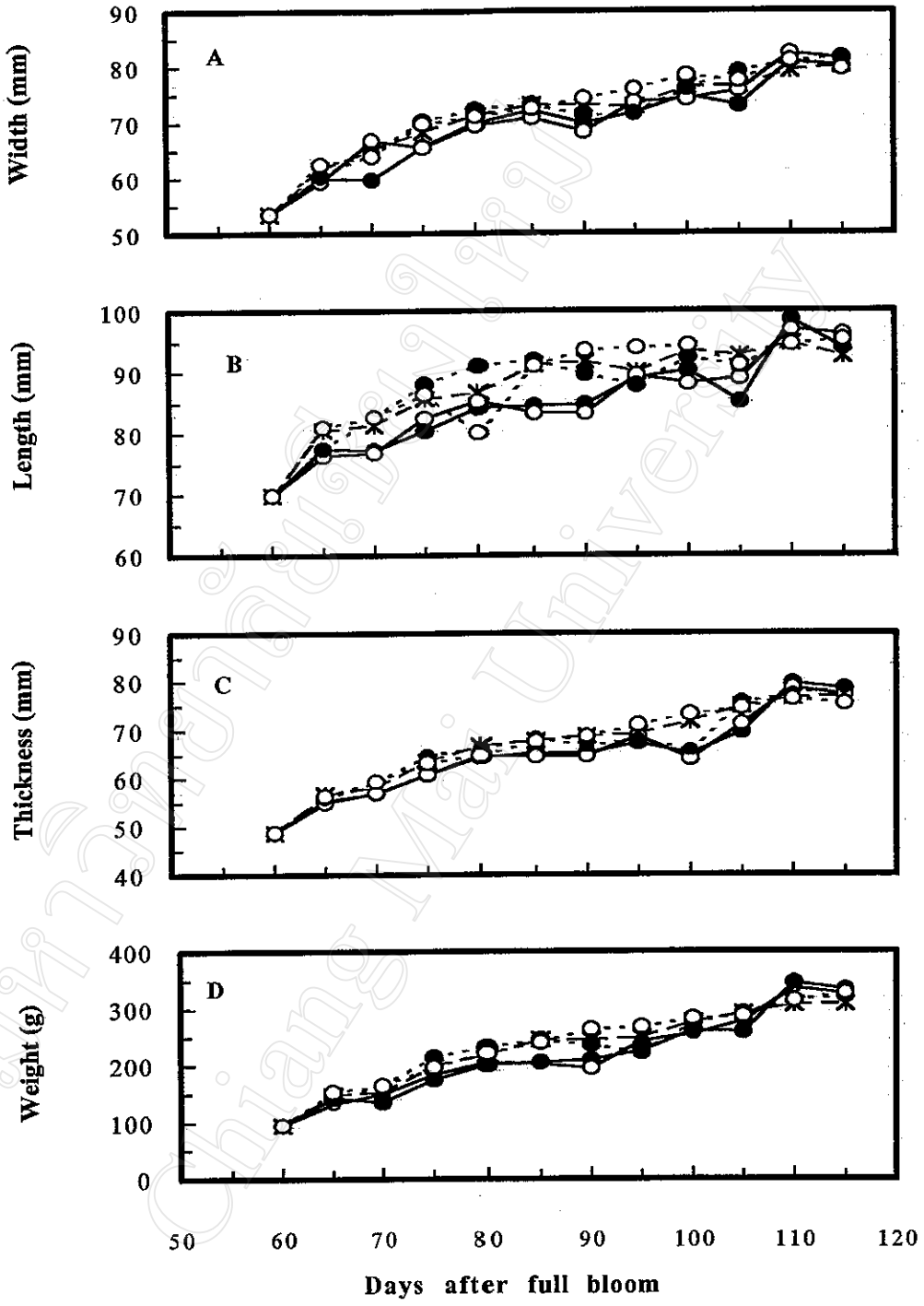
1. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

1.1 ขนาดและน้ำหนักของผล

ขนาดและน้ำหนักของผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดแตกต่างกันทั้ง 5 กรรมวิธีคือ ethephon 100, 200 ppm, ABA 100, 200 ppm และน้ำกลั่น (กรรมวิธีควบคุม) มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามลำดับ ในระหว่างการพัฒนาของผล โดยอัตราการเจริญเติบโตของผลไม่ว่าจะเป็นน้ำหนัก ความหนา ความยาว และความกว้างของผลมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุของผลซึ่งรูปแบบของการเจริญเติบโตเป็นแบบ single sigmoid curve (เกศิณี , 2528) โดยขนาดและน้ำหนักของผลทั้ง 5 กรรมวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ละระยะการพัฒนามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 13-16) โดยมีขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาของผลสูงสุดเท่ากับ 81.63 96.22 และ 78.51 มิลลิเมตร ตามลำดับในวันที่ 115 วันหลังจากดอกบาน และในวันเดียวกันนี้ผลมีน้ำหนักสูงสุดประมาณ 332.65 กรัม (รูปที่ 36) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ABA มีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชโดยมีผลยับยั้งการแบ่งเซลล์ มีการทดลองให้พืชได้รับ ABA ที่บริเวณยอดพบว่ายอดพืชที่กำลังเจริญเติบโตจะมีการพักตัว นอกจากนี้ ABA ยังมีผลในด้านอื่นๆ เช่น ทำให้พืชมีปล้องสั้น ใบมีขนาดเล็ก ทำให้เกิดการร่วงของใบ ยับยั้งการแตกใบอ่อน



รูปที่ 35 ผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดในระยะเวลา ต่าง ๆ หลังจากดอกบาน



รูปที่ 36 การเปลี่ยนแปลงความกว้าง (A) ความยาว (B) ความหนา (C) และน้ำหนัก (D) ของผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแตกต่าง กัน 5 กรรมวิธีคือ ethephon 100 ppm (—●—) ethephon 200 ppm (—○—) ABA 100 ppm (- - ● - -) ABA 200 ppm (- - ○ - -) และน้ำกลั่น (—*—)

และยับยั้งการงอกของเมล็ดเป็นต้น (สัมพันธ์ , 2529 และสมบุญ , 2538) ส่วน ethephon นอกจากจะมีผลต่อการสุกของผล และการเสื่อมสภาพของพืชแล้ว ยังมีผลในการยับยั้งการเคลื่อนย้ายออกซินซึ่งมีผลกระตุ้นการแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ จากปลายยอดสู่โคนต้นหรือส่วนต่าง ๆ ของพืช ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตลดลง (สมบุญ , 2538) แต่ในการทดลองนี้ผลทั้ง 5 กรรมวิธีมีขนาดและน้ำหนักไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้มีความเข้มข้นต่ำเกินไปที่จะมีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง หรือระดับฮอร์โมนในกลุ่มออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนินภายในผลมีมากเพียงพอที่จะต้านผลในทางเสื่อมสภาพและยังคงมีผลกระตุ้นให้เกิดการแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ จึงทำให้ผลในกรรมวิธีที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชดังกล่าวมีการเจริญเติบโตได้ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม

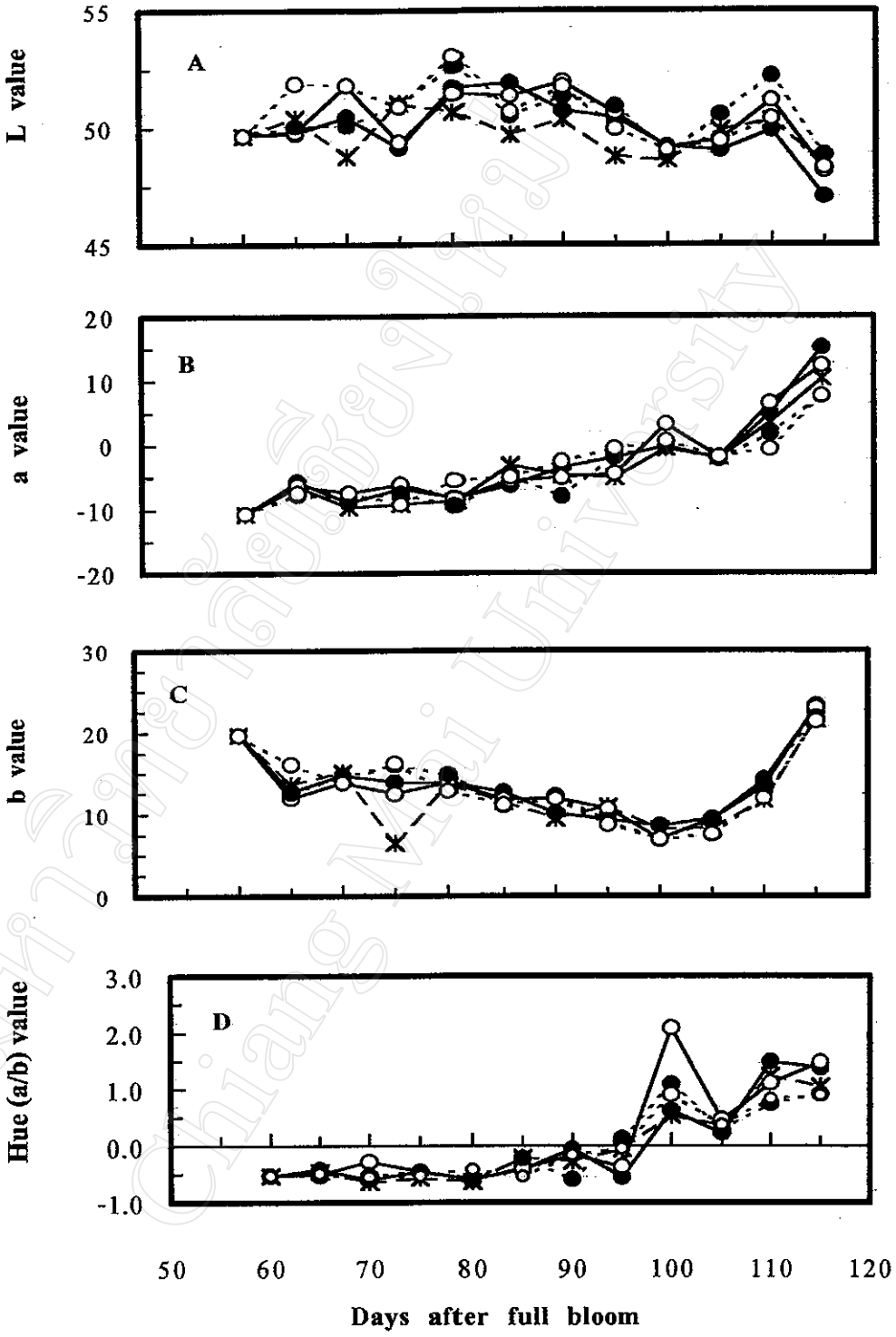
1.2 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผล

1.2.1 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผลโดยใช้เครื่องวัดสี

จากการศึกษาการวัดสีเปลือกผลของมะม่วงพันธุ์เคนท์โดยใช้เครื่องวัดสีพบว่าค่า L a b และ Hue ในวันเริ่มต้นการทดลองคือ 60 วันหลังจากดอกบาน มีค่าเท่ากับ 49.65 -10.68 19.67 และ -0.53 ตามลำดับ ภายหลังจากที่ให้ผลได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดแตกต่างกัน 5 กรรมวิธี แต่ละค่าในแต่ละกรรมวิธีมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการพัฒนาของผลดังนี้

ความสว่างของเปลือกผล ซึ่งวัดจากค่า L อันเป็นค่าที่แสดงถึงความมืดและความสว่างของสีเปลือก พบว่าเปลือกผลทั้ง 5 กรรมวิธีมีความสว่างของสีใกล้เคียงกัน โดยมีค่า L ค่อนข้างคงที่และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 47.07 – 53.05 ตลอดระยะเวลาการพัฒนาของผล โดยในวันที่ 115 วันหลังจากดอกบานซึ่งเป็นวันเก็บเกี่ยว ค่า L ของทั้ง 5 กรรมวิธีมีค่าลดต่ำลงเล็กน้อย (รูปที่ 37A และตารางผนวกที่ 17) เมื่อเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงค่า L ในระหว่างการพัฒนาของผลมังคุดและสตรอเบอรี่พบว่าค่า L ลดลงตลอดระยะเวลาการพัฒนาของผล ทั้งนี้เนื่องจากสีเปลือกของผลมังคุดหรือผิวของสตรอเบอรี่มีการพัฒนาจากไม่มีสีหรือมีสีเขียวอ่อน ๆ เป็นสีม่วงเข้มและแดงเข้มขึ้นเรื่อย ๆ อย่างเห็นได้ชัดในระหว่างการพัฒนาของผล ความสว่างของสีเปลือกจึงลดลง (Ratanamarno *et al.* , 1999 และ Martinez *et al.* , 1996) แต่ในเปลือกผลมะม่วงมีการพัฒนาสีเปลือกจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง เมื่อผลสุกความสว่างของสีเปลือกจึงเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก และไม่แตกต่างกันในทั้ง 5 กรรมวิธี

สีแดงและสีเขียวของเปลือกผลซึ่งวัดจากค่า a พบว่า ค่า a ของผลทั้ง 5 กรรมวิธีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการพัฒนาของผล แสดงว่าความเป็นสีเขียวของเปลือกผลลดลง



รูปที่ 37 การเปลี่ยนแปลงค่า L (A) a (B) b (C) และ Hue (D) ของผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน 5 กรรมวิธีคือ ethephon 100 ppm (—●—) ethephon 200 ppm (—○—) ABA 100 ppm (- - ● - -) ABA 200 ppm (- - ○ - -) และน้ำกลั่น (—*—)

และเกิดการพัฒนาสีแดงของเปลือกผลมากขึ้น โดยค่า a ของเปลือกผลทั้ง 5 กรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นในช่วงวันที่ 75 – 90 และ 110 – 115 วันหลังจากดอกบาน (รูปที่ 37B และตารางผนวกที่ 18) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่า a นี้อาจแตกต่างไปตามชนิดของพืช

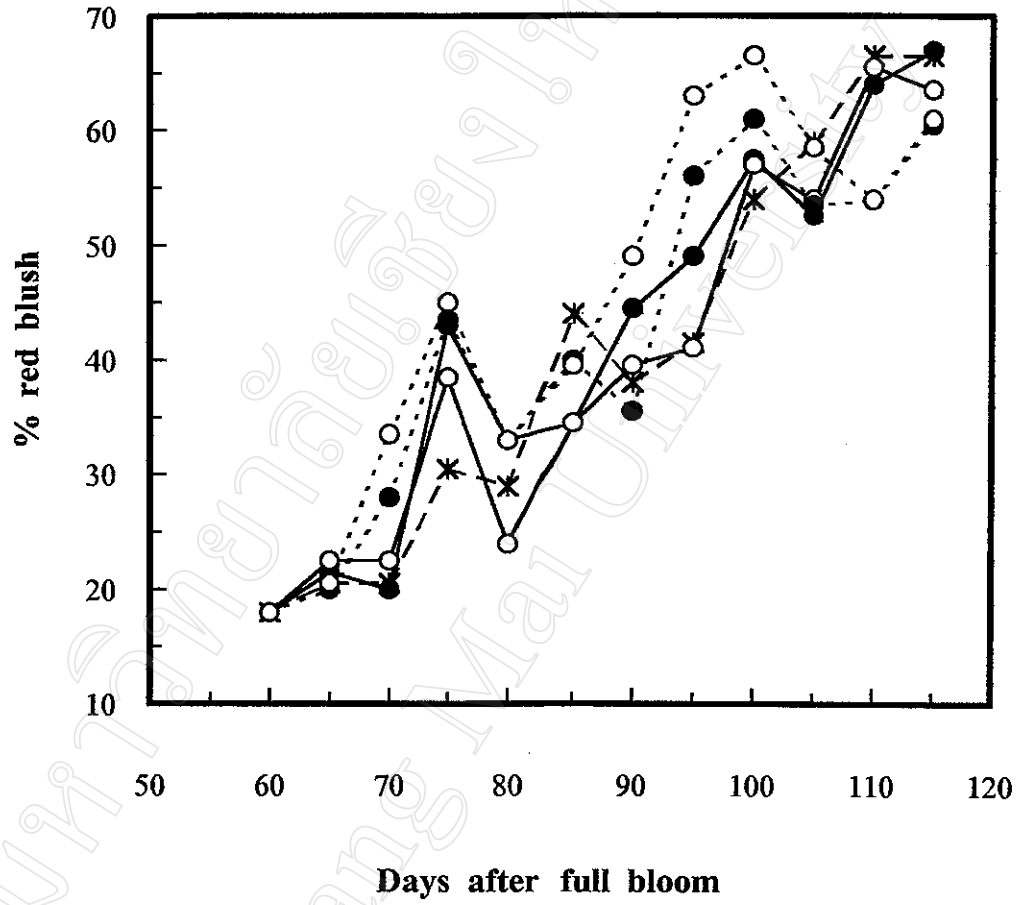
สีเหลืองและสีน้ำเงินของเปลือกผลที่ค่าวัดจากค่า b นั้นพบว่าในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกัน โดยในช่วงวันที่ 60 – 100 วันหลังจากดอกบาน ค่า b ของผลในแต่ละกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลง และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ หลังจากนั้นวันที่ 105 – 115 วันหลังจากดอกบานทุกกรรมวิธีมีค่า b เพิ่มขึ้น (รูปที่ 37C และตารางผนวกที่ 19) แสดงว่าเปลือกผลมีความเป็นสีเหลืองมากขึ้นเนื่องจากในระยะนี้ผลมะม่วงเข้าสู่ระยะการสุก มีการสลายตัวของคลอโรฟีลล์ และสีเหลืองของรงควัตถุคาโรตินอยด์ปรากฏให้เห็นมากขึ้น (ดนัย , 2540)

ค่า Hue (a/b) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่า a และ ค่า b จากการทดลองนี้จะเห็นว่า ค่า Hue มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับค่า a คือมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการพัฒนาของผล โดยในวันที่ 60 – 95 วันหลังจากดอกบาน ค่า Hue ของทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและมีค่าเป็นลบ แสดงว่าในช่วงนี้เปลือกผลมีความเป็นสีเขียวและสีน้ำเงิน หลังจากนั้นผลในทุกกรรมวิธีมีค่า Hue เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 100 วันหลังจากดอกบานจนมีค่าเป็นบวก แสดงว่าเปลือกผลมีความเป็นสีแดงและสีเหลืองมากขึ้น ต่อจากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย (รูปที่ 37D และตารางผนวกที่ 20) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีการเปลี่ยนแปลงค่า a และค่า b ของเปลือกผล โดยในวันที่ 60 – 100 วันหลังดอกบานค่า b มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่า a มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการพัฒนาของผล มีผลทำให้อัตราส่วนระหว่าง a และ b มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าในขณะที่ b มีค่าต่ำสุดในวันที่ 100 วันหลังจากดอกบาน ค่า Hue จะมีค่าสูงสุด และหลังจากนั้นค่า b มีค่าสูงขึ้นเนื่องจากผลเข้าสู่กระบวนการสุก เปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีเหลือง มีผลทำให้ค่า Hue มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเนื่องจากค่า a และ b มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน

จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่า L a b และ Hue ในเปลือกผลในแต่ละกรรมวิธีและในแต่ละระยะเวลาของการพัฒนาผลมีแนวโน้มไปในทำนองเดียวกันและมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าสารควบคุมการเจริญเติบโตทั้งสองนี้ในระดับความเข้มข้นดังกล่าวอาจไม่มีผลต่อสีที่ปรากฏให้เห็นในเปลือกผล ซึ่งให้ผลการทดลองคล้ายกับงานทดลองในมะม่วงพันธุ์เคนท์โดยดิศร (2541)

1.2.2 การประเมินสีแดงของเปลือกผล

จากการประเมินพื้นที่สีแดงของเปลือกผลด้วยสายตา โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ปรากฏสีแดงต่อพื้นที่เปลือกผลทั้งหมด พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการพัฒนาของผล โดยในวันเริ่มต้นของการทดลอง (60 วันหลังจากดอกบาน) ผลในทุกกรรมวิธีมีเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดงของเปลือกผลเท่ากับ 18% ต่อจากนั้นทุกกรรมวิธีมีเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดงที่เปลือกผลเพิ่มขึ้น โดยกรรมวิธีที่ได้รับABA มีแนวโน้มทำให้เปลือกผลมีสีแดงสูงกว่ากรรมวิธีควบคุมและกรรมวิธีที่ได้รับ ethephon ซึ่ง ABA 200 ppm ทำให้เปลือกผลมีพื้นที่สีแดงสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ และให้ผลแตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมอย่างเห็นได้ชัดในช่วงวันที่ 90 – 100 วันหลังจากดอกบาน ส่วนผลในกรรมวิธีที่ได้รับ ethephon นั้นพบว่ามีเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดงที่เปลือกผลไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมตลอดระยะเวลาการพัฒนาของผล (รูปที่ 38 และตารางผนวกที่ 21) ผลการทดลองนี้ให้ผลในทำนองเดียวกับการศึกษาของ ดิศร (2541) ซึ่งพบว่าการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวในระดับความเข้มข้น 100 และ 200 ppm ให้ผลไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมในเรื่องของการพัฒนาสีแดงที่เปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ในพืชบางชนิด เช่น ในแอปเปิ้ลพันธุ์ Jonathan การให้ ethephon ความเข้มข้น 15 ไมโครลิตรต่อลิตรหรือในผลองุ่นพันธุ์ Cabernet Sauvignon ที่ได้รับ ethephon หรือ ABA ความเข้มข้น 60 หรือ 20 มิลลิโมล ตามลำดับ ส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาสีแดงได้ผลดีที่เปลือกผล (Faragher and Brohier , 1984 และ Pirie and Mullins , 1976) นอกจากนี้มีรายงานการศึกษาในผลมะม่วงพันธุ์เออร์วิน (Orwin) ออสเทน (Osten) ลิบเพนส์ (Rippens) และเคนท์ (Kent) พบว่าการให้เบนโนมิล (benomyl) ซึ่งเป็นสารฆ่าเชื้อรา ความเข้มข้น 1.2 กรัมต่อลิตรก็สามารถทำให้เกิดการพัฒนาสีแดงที่เปลือกผลได้ดี (Bryan *et al.* , 1972) ส่วนในพันธุ์เคนท์และฮาเดนที่ได้รับ ethephon 560 – 1,000 มิลลิลิตรต่อลิตร (560 – 1,000 ppm) ก็มีผลส่งเสริมการพัฒนาสีแดงที่เปลือกผลได้ในระดับหนึ่งเท่านั้นแต่ยังไม่เป็นที่พอใจ (Sergent *et al.* , 1993) รวมทั้งยังมีการศึกษาในผลสตรอเบอรีโดยให้ GA_3 ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลแก่ผลที่ยังไม่มีการพัฒนาสีแดงและที่มีการพัฒนาสีแดงน้อยกว่า 25% ของผล โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 3 วันพบว่ามีผลชะลอการพัฒนาสีแดงของผลได้ซึ่งมีประโยชน์ในแง่ทำให้ระยะเวลาการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวนานขึ้น ส่วนผลที่มีสีแดงมากกว่า 25% นั้น GA_3 ไม่สามารถชะลอการเกิดสีแดงของผลได้ (Martinez *et al.* , 1996) จะเห็นได้ว่าผลไม้แต่ละชนิดมีการตอบสนองในเรื่องการพัฒนาสีแดงของผลต่อสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดในระดับความเข้มข้นแตกต่างกันไป ซึ่งจากการทดลองนี้ผลมะม่วงพันธุ์เคนท์อาจต้องการสารควบคุมการเจริญเติบโตในระดับความเข้มข้นที่สูงกว่านี้ก็เป็นได้ ดังนั้นการเลือกใช้สารควรให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสมกับชนิดและอายุของพืช

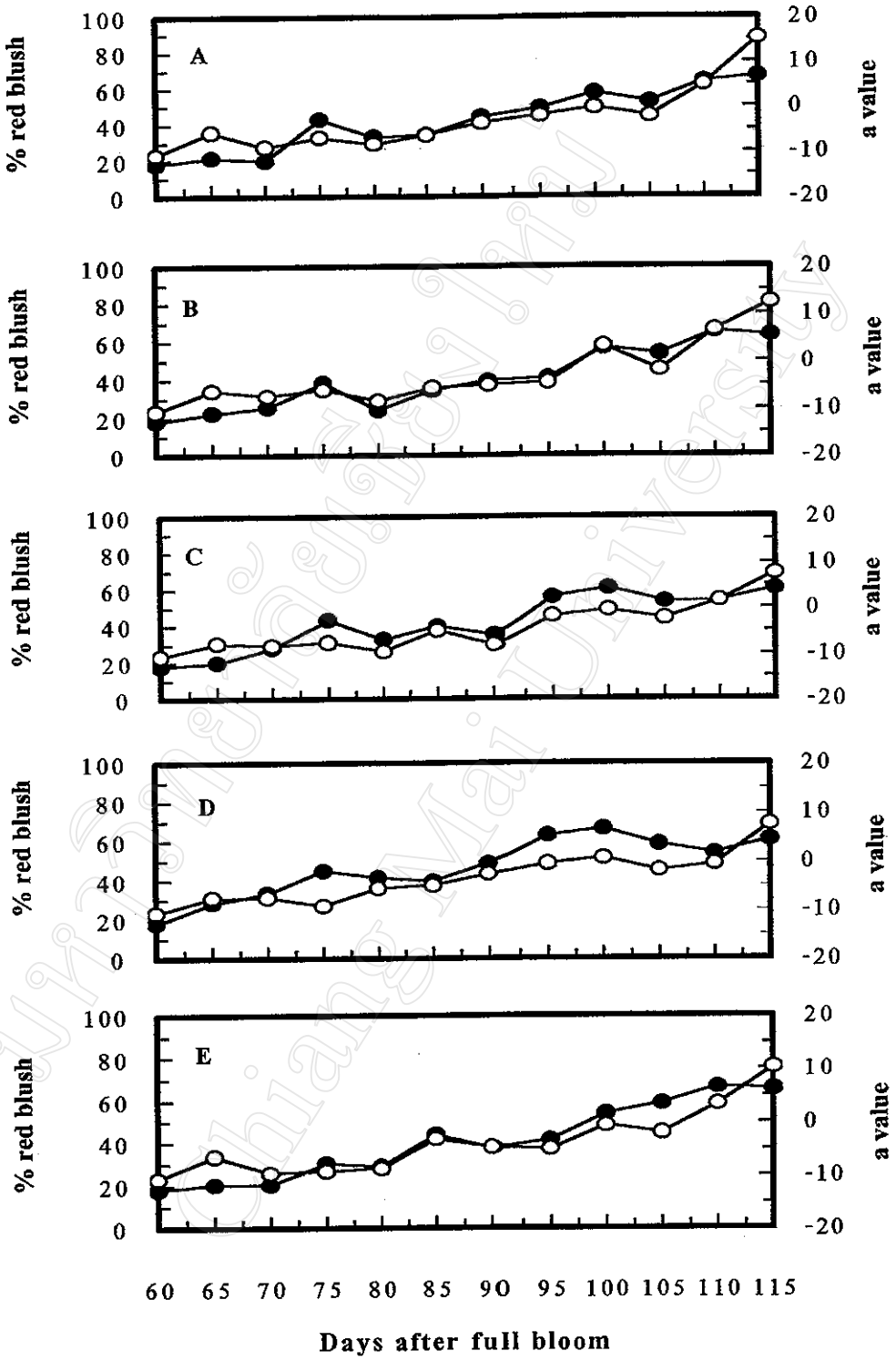


รูปที่ 38 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดงในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน 5 กรรมวิธีคือ ethephon 100 ppm (—●—) ethephon 200 ppm (—○—) ABA 100 ppm (- - ● - -) ABA 200 ppm (- - ○ - -) และน้ำกลั่น (—*—)

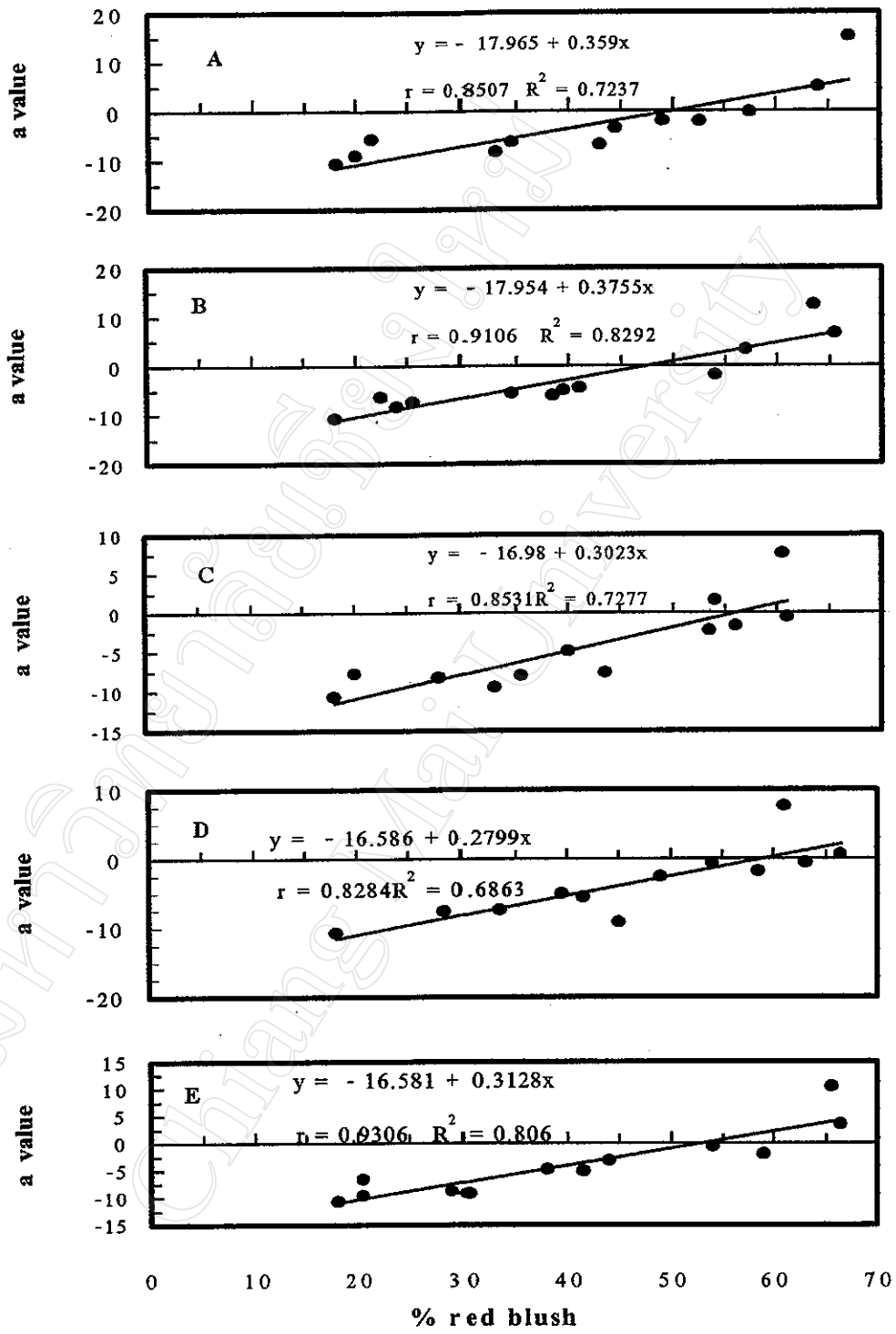
จึงจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารดังกล่าว

เมื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear correlation)ระหว่างเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดงกับค่า a ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงสีแดงและสีเขียวของเปลือกผล (รูปที่ 39 และ 40) พบว่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดงและค่า a ของทั้ง 5 กรรมวิธีซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการพัฒนาของผลนั้นมีความสัมพันธ์กันมากในทุกกรรมวิธี ซึ่งมีค่า r มากกว่า 0.8 และมีค่า R^2 มากกว่า 0.6 (รูปที่ 40) อย่างไรก็ตามในแต่ละส่วนของพืชแต่ละชนิดที่มีอายุแตกต่างกันจะมีการตอบสนองต่อสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน รวมทั้งปัจจัยทางสภาพแวดล้อมภายนอกอาจมีผลร่วมทำให้พืชมีการตอบสนองต่อสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ให้แตกต่างกันไป (พีรเดช , 2537)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



รูปที่ 39 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดง (—●—) และค่า a (—○—)ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแตกต่าง กัน 5 กรรมวิธีคือ ethephon 100 ppm (A) ethephon 200 ppm (B) ABA 100 ppm (C) ABA 200 ppm (D) และน้ำกลั่น (E)

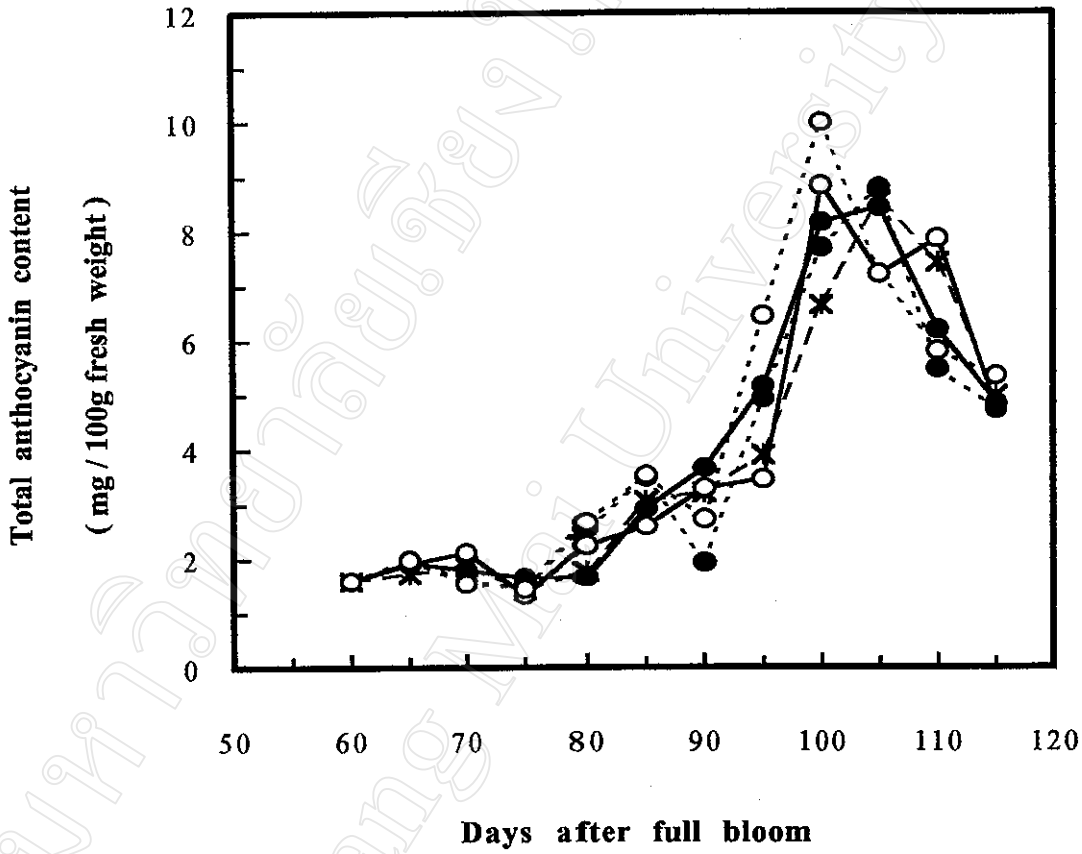


รูปที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดงและค่า a ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผลเมื่อผลได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแตกต่าง กัน 5 กรรมวิธีคือ ethephon 100 ppm (A) ethephon 200 ppm (B) ABA 100 ppm (C) ABA 200 ppm (D) และน้ำกลั่น (E)

2. การเปลี่ยนแปลงปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมดในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ซึ่งได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน 5 กรรมวิธี พบว่าทั้ง 5 กรรมวิธีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อผลมีอายุมากขึ้น โดยมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุดในช่วงที่ผลมีอายุประมาณ 100 – 105 วันหลังจากดอกบานแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแต่ละกรรมวิธี หลังจากนั้นปริมาณแอนโทไซยานินลดต่ำลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (รูปที่ 41 และตารางผนวกที่ 22) ทั้งนี้เนื่องจากผลเข้าสู่กระบวนการสุกหรือเสื่อมสภาพ และพบว่าพื้นที่เปลือกผลบางส่วนมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองอันเกิดจากผลของรงควัตถุคาโรตินอยด์ (จริงแท้ , 2541 และดนัย , 2540)

ผลในกรรมวิธีที่ได้รับ ethephon มีปริมาณแอนโทไซยานินไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมตลอดระยะการพัฒนาของผล โดยในกรรมวิธีที่ได้รับ ethephon 100 และ 200 ppm มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุดเท่ากับ 8.44 และ 8.84 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสดในวันที่ 105 และ 100 วันหลังจากดอกบาน ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมมีค่าสูงสุดเท่ากับ 8.56 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสดในวันที่ 105 วันหลังจากดอกบาน (รูปที่ 41 และตารางผนวกที่ 22) จะเห็นได้ว่า ethephon 200 ppm มีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นสูงสุดเร็วกว่าปกติ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นนั้นก็มีค่าไม่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุม เช่นเดียวกับการทดลองของดิศร (2541) พบว่าผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ที่ได้รับ ethephon 100 และ 200 ppm ไม่มีผลส่งเสริมการสะสมแอนโทไซยานินตลอดระยะเวลาการพัฒนาของผล แต่ในเนื้อเยื่อใบและผลองุ่นพันธุ์ Cabernet Sauvignon ที่ได้รับ ethephon 60 ไมโครโมลจะมีผลทำให้มีการสะสมปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น (Pirie and Mullins , 1976) ส่วนในผลแอปเปิ้ลพันธุ์ McIntosh ที่ได้รับ ethephon 2 มิลลิโมลจะมีการสังเคราะห์แอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นภายใน 6 วันหลังจากการฉีดพ่นสาร (Murphey and Dilley , 1988) นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาพบว่าระดับของ ethylene ที่เกิดขึ้นภายในระหว่างการสุกของผลสามารถกระตุ้นให้มีการสะสมแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น โดย Kondo *et al.* (1991) ทำการศึกษาในผลแอปเปิ้ลพันธุ์ Tsugaru Senshu และ Fuji พบว่าการสะสมแอนโทไซยานินในเปลือกผลจะสะสมเพิ่มสูงควบคู่กับการเพิ่มขึ้นของ ethylene ภายในผล เช่นเดียวกับพันธุ์ Jonathan ที่พบว่าในระหว่างการสุกของผลจะมีการสร้าง ethylene เพิ่มขึ้น ethylene ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้เกิดการสะสมแอนโทไซยานินอย่างรวดเร็วโดยจะไปเพิ่มระดับของเอนไซม์ PAL ในเปลือกของผลแอปเปิ้ล (Faragher and Brohier ,1984) ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า ethylene มีผลในการควบคุมการเจริญเติบโตและการพัฒนาการต่าง ๆ ของพืช เช่น การออกดอกและการสุกของผล เป็นต้น ซึ่งในระหว่างการสุก ethylene มีผลเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมีภายในผล เช่น การเปลี่ยนรูปของแป้งไปเป็นน้ำตาล ปริมาณกรดลดลง เกิดการนิ่ม



รูปที่ 41 การเปลี่ยนแปลงปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมดในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผลมื่อผลได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน 5 กรรมวิธีคือ ethephon 100 ppm (—●—) ethephon 200 ppm (—○—) ABA 100 ppm (- - ● - -) ABA 200 ppm (- - ○ - -) และน้ำกลั่น (—*—)

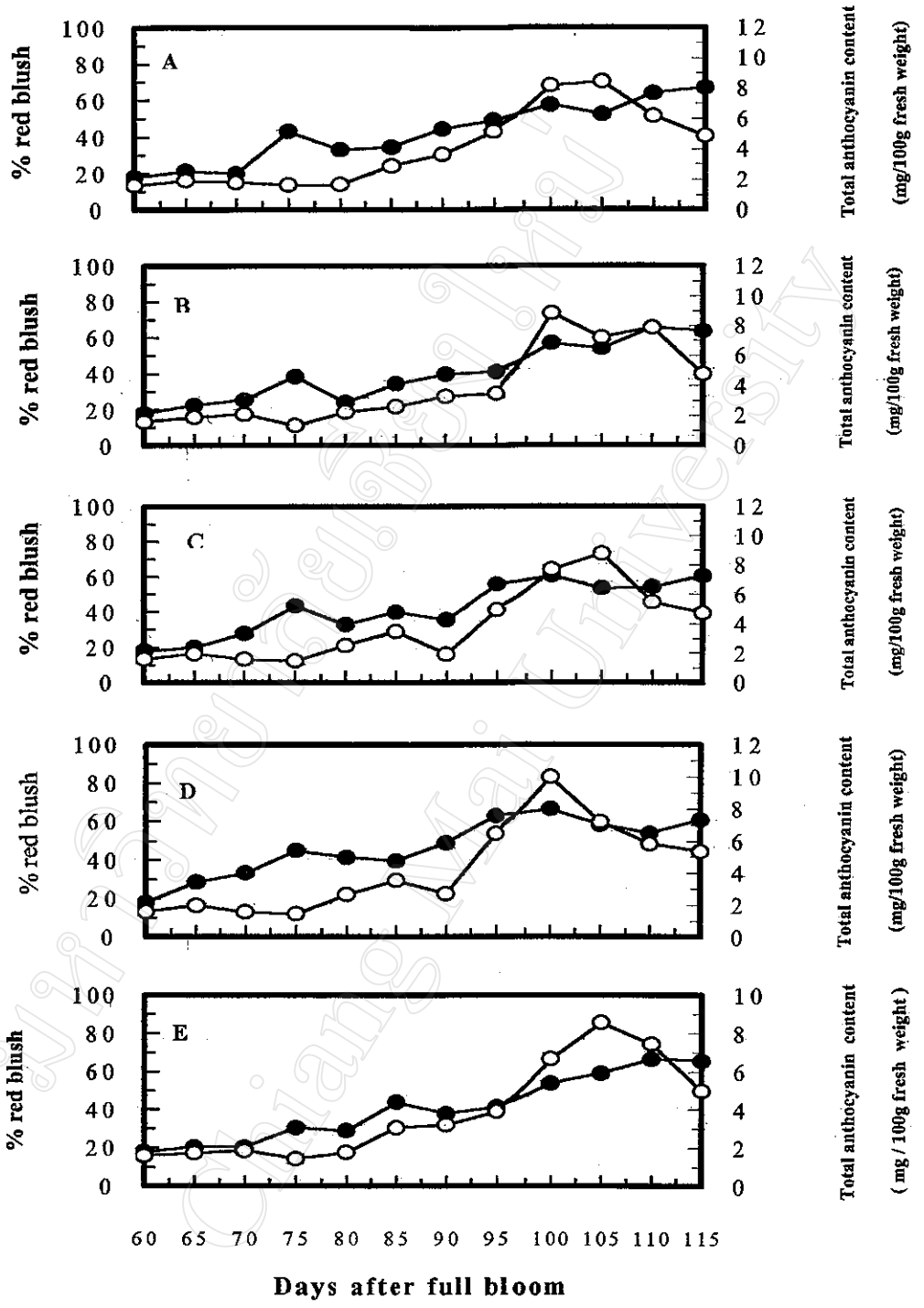
ของผล การเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรส ตลอดทั้งการเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณของรงควัตถุต่าง ๆ โดยการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในขณะที่มีการสร้างคาโรตินอยด์และแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นทำให้สีของผลเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองหรือสีแดง (สมบุญ , 2538 และ สัมพันธ์ , 2529) แต่อย่างไรก็ตาม ethylene อาจไม่ได้เกี่ยวข้องกับการสะสมปริมาณแอนโทไซยานินในพืชก็ได้ ดังรายงานการศึกษาของ Arakawa *et al.* (1986) ที่แสดงให้เห็นว่า ethylene มีผลเพียงเล็กน้อยหรือแทบไม่มีผลต่อการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในเปลือกผลแอปเปิ้ล ซึ่งทดลองโดยการใช้สารยับยั้งการสร้าง ethylene แต่ผลยังสามารถสร้างรงควัตถุนี้ได้

ผลในกรรมวิธีที่ได้รับ ABA มีแนวโน้มของปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ และมีค่าแตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมในช่วงที่ผลมีอายุประมาณ 80 - 110 วันหลังจากดอกบาน โดยผลในกรรมวิธีที่ได้รับ ABA 200 ppm มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 9.99 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสดในวันที่ 100 วันหลังจากดอกบาน ในขณะที่กรรมวิธีที่ได้รับ ABA 100 ppm และกรรมวิธีควบคุมมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุดเท่ากับ 8.79 และ 8.56 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสดตามลำดับในวันที่ 105 วันหลังดอกบาน (รูปที่ 41 และตารางผนวกที่ 22) จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า ABA ที่มีความเข้มข้นสูงจะมีผลทำให้เกิดการสะสมรงควัตถุแอนโทไซยานินได้สูงและเร็วกว่า ABA ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ซึ่งดิศร (2541) ให้ ABA 100 และ 200 ppm แก่ผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ พบว่ามีผลทำให้ปริมาณแอนโทไซยานินที่เปลือกผลสูงขึ้นมากกว่ากรรมวิธีควบคุม มีรายงานการศึกษาที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของ ABA ต่อการสะสมปริมาณแอนโทไซยานินในพืชบางชนิด เช่น การศึกษาถึงระดับ ABA ภายในเปลือกผลองุ่นพันธุ์ Pionnior ในระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากดอกบานจนกระทั่งเก็บเกี่ยว (90 วันหลังจากดอกบาน) พบว่า ABA มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงที่ผลมีอายุได้ 26 – 54 วันหลังจากดอกบานและหลังจากนั้นปริมาณ ABA มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยจนกระทั่งเก็บเกี่ยว (Kondo *et al.*, 1998) รวมทั้งการให้ ABA 20 ไมโครโมลร่วมกับน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 0.04 – 0.12 โมล แก่เนื้อเยื่อและใบของผลองุ่นพันธุ์ Cabernet Sauvignon มีผลทำให้มีการสะสมปริมาณฟีโนลิกและแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น (Pirie and Mullins , 1976) ซึ่ง ABA มีผลคล้าย ethylene แต่มีผลในทางอ้อมโดยจะชักนำให้มีการสร้าง ethylene และชักนำให้เซลล์เจริญเต็มที่ (cell maturation) เร็วขึ้น ทำให้ตอบสนองต่อ ethylene ได้ง่ายและมีผลกระตุ้นการสลายตัวของคลอโรฟิลล์เช่นเดียวกับ ethylene ดังนั้นเมื่อผลเข้าสู่ระยะการสุกระดับของ ABA จะสูงขึ้นจึงมีผลกระตุ้นการพัฒนาสีและกระตุ้นให้เกิดการสะสมแอนโทไซยานินในองุ่นได้ (Coombe and Hale , 1973) ในผลแอปเปิ้ลพันธุ์ Jonagold ก็เช่นกัน พบว่าระดับ ABA ภายในผลเพิ่มขึ้นตลอดระยะการพัฒนาของผล

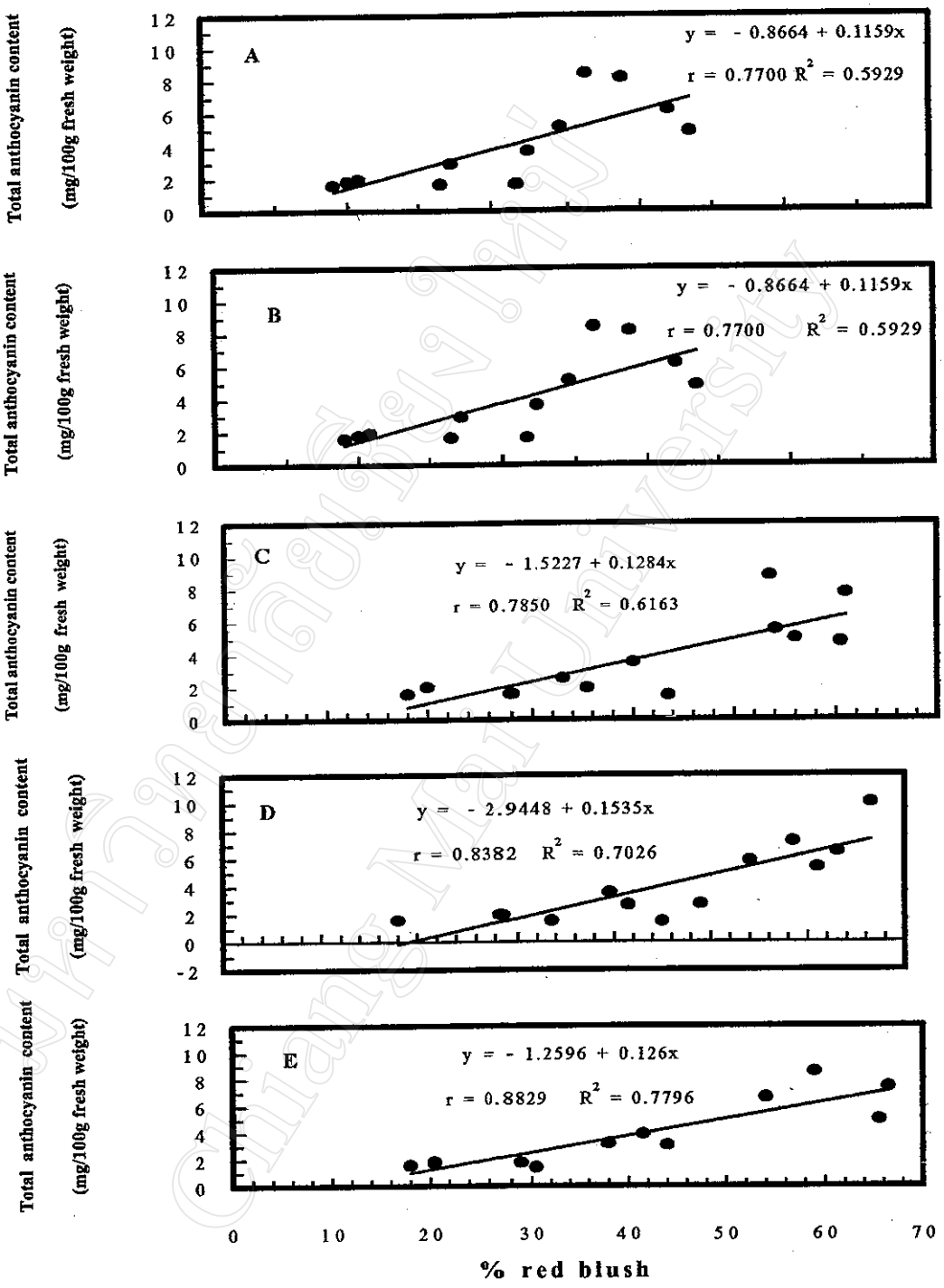
(60 - 160 วันหลังจากดอกบาน) การเพิ่มขึ้นของ ABA นี้จะเกิดควบคู่กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอนโทไซยานิน โดย ABA มีผลส่งเสริมให้มีการสังเคราะห์ ethylene ดังที่กล่าวมาแล้ว (Uthaibutra and Gemma , 1991)

จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าการให้ ethephon หรือ ABA จากภายนอกให้แก่ผลในระดับความเข้มข้น 100 – 200 ppm มีผลทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอนโทไซยานินโดยเฉพาะในระยะเวลาซึ่งผลเข้าสู่การสุกแก่ การให้สารควบคุมการเจริญเติบโตดังกล่าวจากภายนอกอาจมีผลเพิ่มระดับฮอร์โมนนี้ในผลโดยเฉพาะ ethylene ในแง่เร่งการสุกหรือเสื่อมสภาพ รวมทั้งกระตุ้นการทำงานของ PAL เพื่อเพิ่มการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน อย่างไรก็ตามผลที่ได้รับในเรื่องนี้ยังไม่ชัดเจน การให้สารดังกล่าวในระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสมน่าจะมีผลส่งเสริมในเรื่องนี้

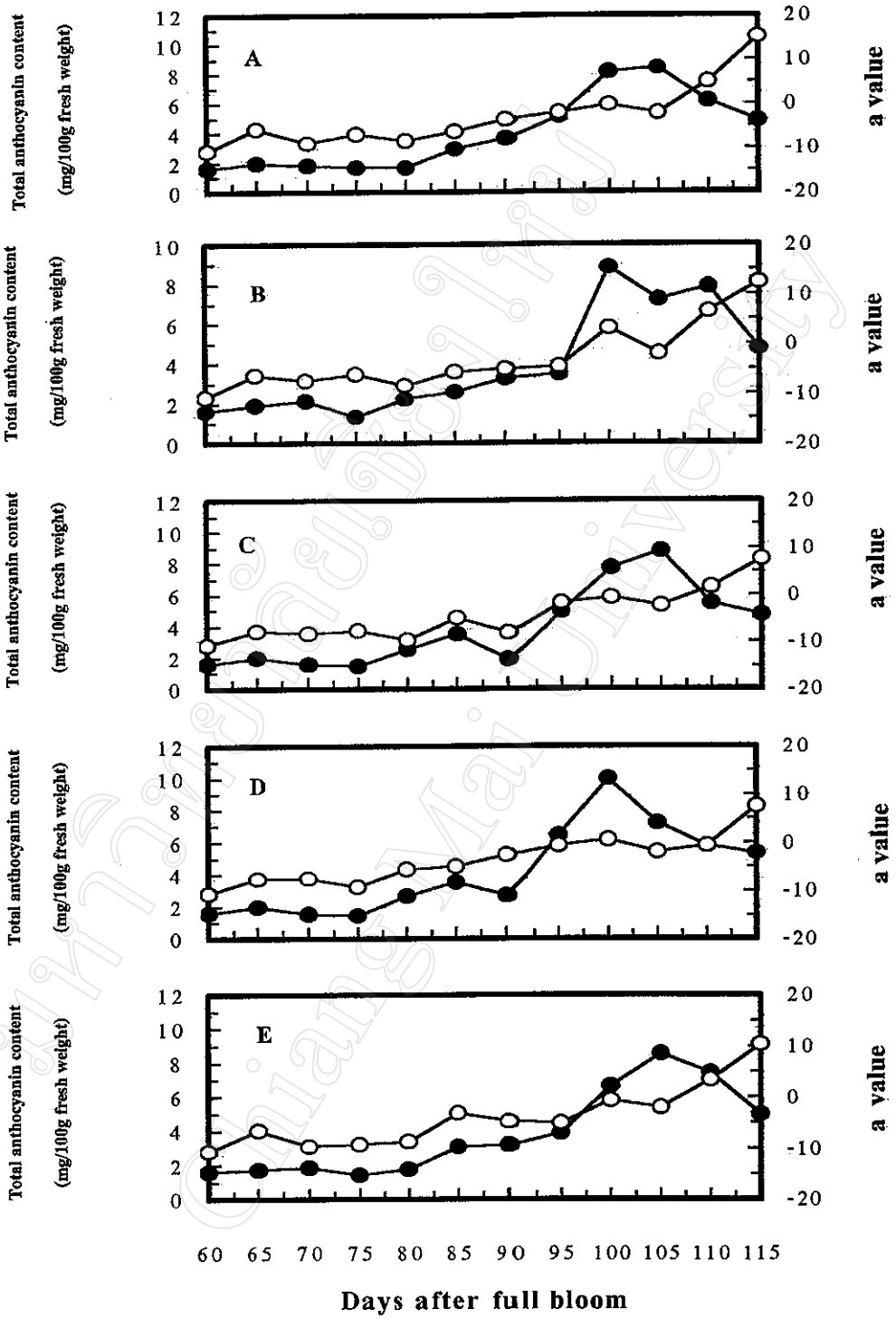
จากรูปที่ 42 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดงและปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมดในเปลือกผล ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะการพัฒนาของผลทั้ง 5 กรรมวิธี และพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear correlation) ระหว่างเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดงและปริมาณแอนโทไซยานินในทุกกรรมวิธี โดยมีค่า r มากกว่า 0.750 ($R^2 > 0.55$) ในทุกกรรมวิธี (รูปที่ 43) นอกจากนี้ยังพบว่าค่า a ซึ่งแสดงความเป็นสีแดงของเปลือกผลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการพัฒนาของผลเช่นเดียวกับปริมาณแอนโทไซยานิน (รูปที่ 44) ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear correlation) ระหว่างปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานิน และค่า a ในทุกกรรมวิธีเช่นกัน โดยมีค่า r อยู่ระหว่าง 0.55 และ 0.75 และมีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.30 และ 0.50 (รูปที่ 45)



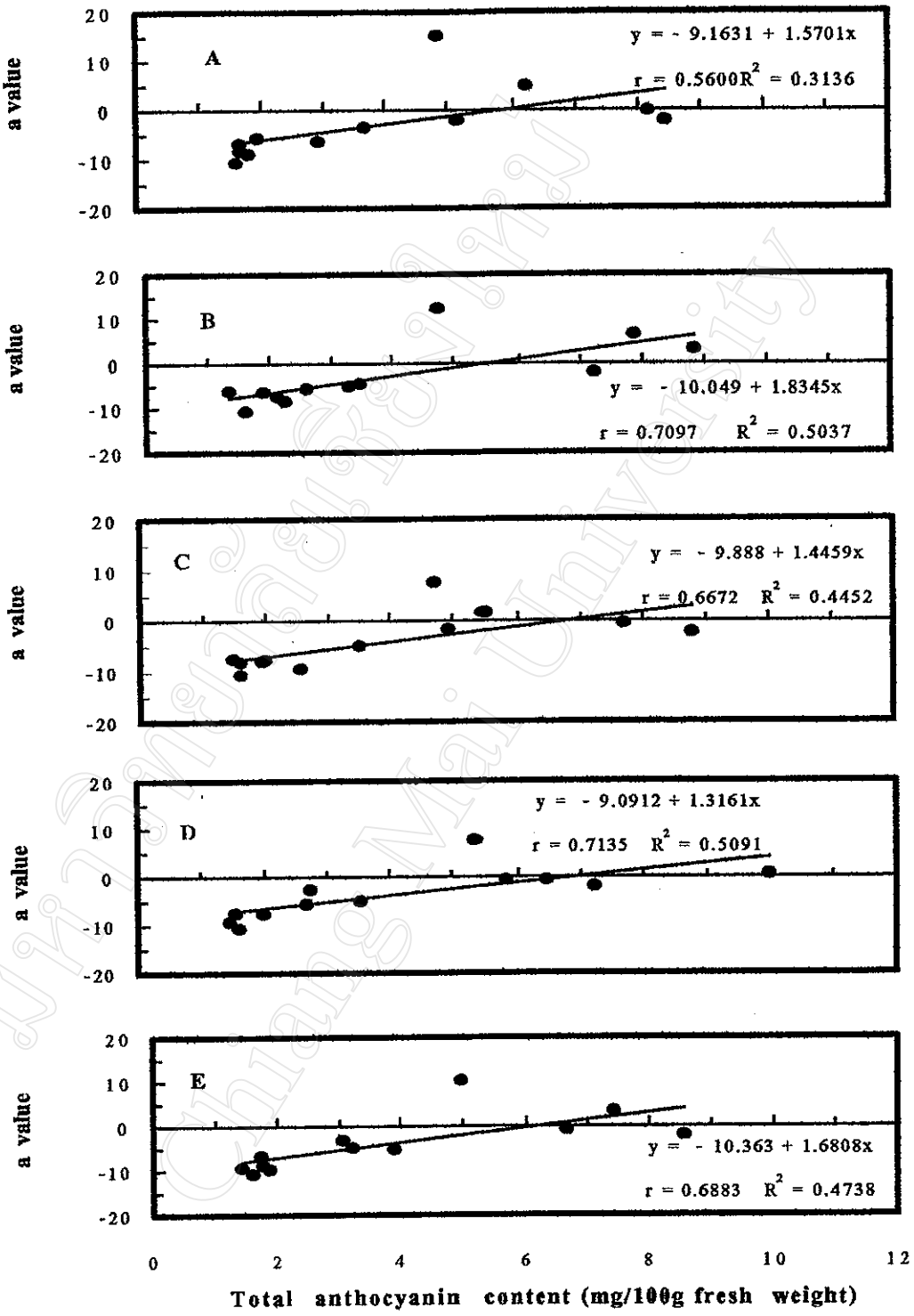
รูปที่ 42 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดง (—●—) และปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมด (—○—) ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน 5 กรรมวิธีคือ ethephon 100 ppm (A) ethephon 200 ppm (B) ABA 100 ppm (C) ABA 200 ppm (D) และน้ำกลั่น (E)



รูปที่ 43 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีแดง และปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมดในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของ พืชแตกต่างกัน 5 กรรมวิธีคือ ethephon 100 ppm (A) ethephon 200 ppm (B) ABA 100 ppm (C) ABA 200 ppm (D) และน้ำกลั่น (E)



รูปที่ 44 การเปลี่ยนแปลงปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมด (—●—) และค่า a (—○—) ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน 5 กรรมวิธีคือ ethephon 100 ppm (A) ethephon 200 ppm (B) ABA 100 ppm ABA 200 ppm (D) และน้ำกลั่น (E)

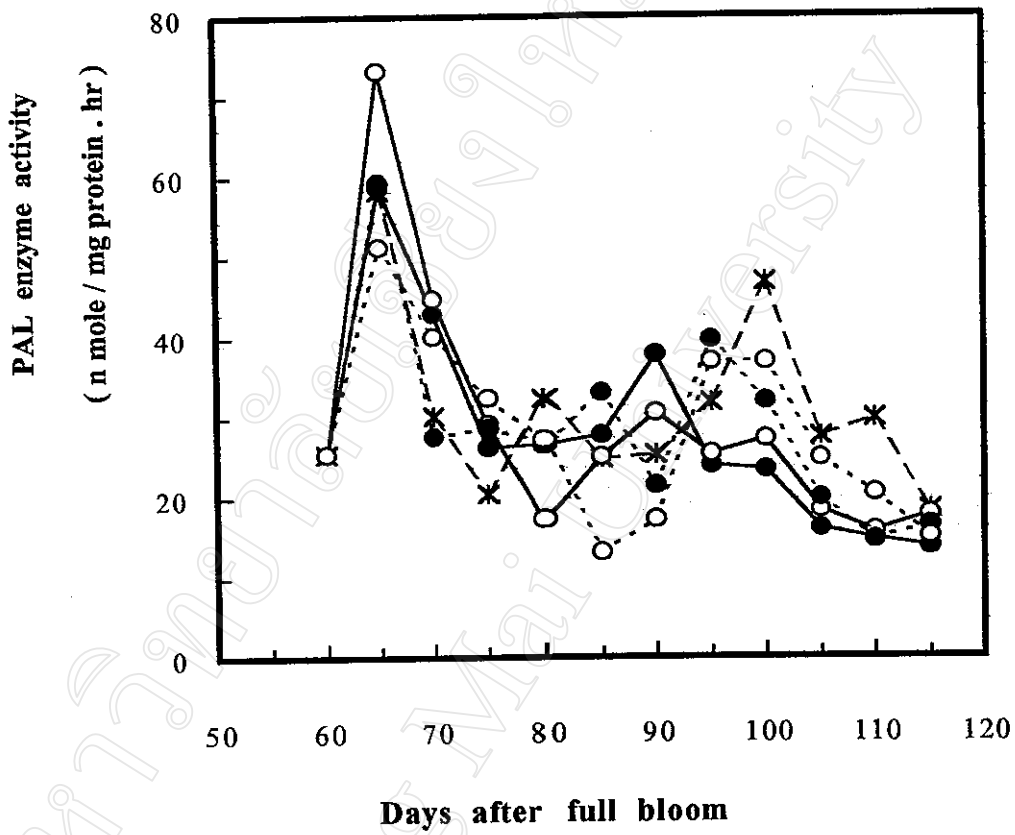


รูปที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมด และค่า a ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน 5 กรรมวิธีคือ ethephon 100 ppm (A) ethephon 200 ppm (B) ABA 100 ppm (C) ABA 200 ppm (D) และน้ำกลั่น (E)

3. การเปลี่ยนแปลงแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL

การเปลี่ยนแปลงแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ซึ่งได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน 5 กรรมวิธี พบว่าทั้ง 5 กรรมวิธีมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงแอคติวิตีของเอนไซม์เป็นไปในทำนองเดียวกัน โดยมีค่าสูงสุดในระยะต้นแล้วลดต่ำลงเรื่อย ๆ จากนั้นจึงมีการเพิ่มขึ้นอีกครั้งในตอนท้ายระยะการพัฒนาของผล แต่มี peak ต่ำกว่า peak แรก ในวันเริ่มต้นของการทดลอง (60 วันหลังจากดอกบาน) มีแอคติวิตีของ PAL เท่ากับ 26.36 นาโนโมล ต่อ มิลลิกรัมโปรตีน•ชั่วโมง จากนั้นแอคติวิตีของเอนไซม์มีค่าเพิ่มสูงสุดในวันที่ 65 วันหลังจากดอกบาน โดยผลในกรรมวิธีที่ได้รับ ethephon 100 200 ppm ABA 100 200 ppm และกรรมวิธีควบคุมมีแอคติวิตีเอนไซม์สูงสุดเท่ากับ 58.70 72.98 59.36 51.34 และ 58.33 นาโนโมล ต่อ มิลลิกรัมโปรตีน•ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งแอคติวิตีของเอนไซม์ทั้ง 5 กรรมวิธีที่เพิ่มขึ้นสูงสุดนั้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นในกรรมวิธีที่ได้รับ ethephon 200 ppm จะมีแอคติวิตีเอนไซม์สูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ หลังจากนั้นแอคติวิตีของเอนไซม์ทั้ง 5 กรรมวิธีเริ่มลดลง และในช่วงที่ผลมีอายุได้ 90 – 100 วันหลังจากดอกบานแอคติวิตีของเอนไซม์มีแนวโน้มพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งแต่น้อยกว่าครั้งแรก โดยกรรมวิธีที่ได้รับ ethephon และ ABA มีแอคติวิตีของเอนไซม์เพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 90 และ 95 วันหลังจากดอกบาน ตามลำดับ ในขณะที่แอคติวิตีของเอนไซม์ในกรรมวิธีควบคุมเพิ่มขึ้นในวันที่ 100 วันหลังจากดอกบาน (รูปที่ 46 และตารางผนวกที่ 23) ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลในกรรมวิธีที่ได้รับ ethephon และ ABA มีผลทำให้แอคติวิตีของเอนไซม์เพิ่มขึ้นในครั้งที่ 2 นี้เกิดขึ้นเร็วกว่ากรรมวิธีควบคุม และหลังจากนั้นแอคติวิตีของเอนไซม์ในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มลดลงจนถึงวันเก็บเกี่ยว (115 วันหลังจากดอกบาน) ในการศึกษาในระหว่างการพัฒนาของผลสตรอเบอรี่และแอปเปิ้ลพันธุ์ Splendour Cheng ก็พบว่าแอคติวิตีเอนไซม์จะเพิ่มขึ้น 2 ครั้งเช่นกัน โดยครั้งแรกเกิดในช่วงที่ผลยังอ่อนอยู่ เมื่อผลมีอายุมากขึ้นแอคติวิตีเอนไซม์จะลดลงและจะสูงขึ้นอีกครั้งเพียงเล็กน้อยเมื่อผลเริ่มสุก (Lister *et al.*, 1996 และ Cheng and Breen , 1991)

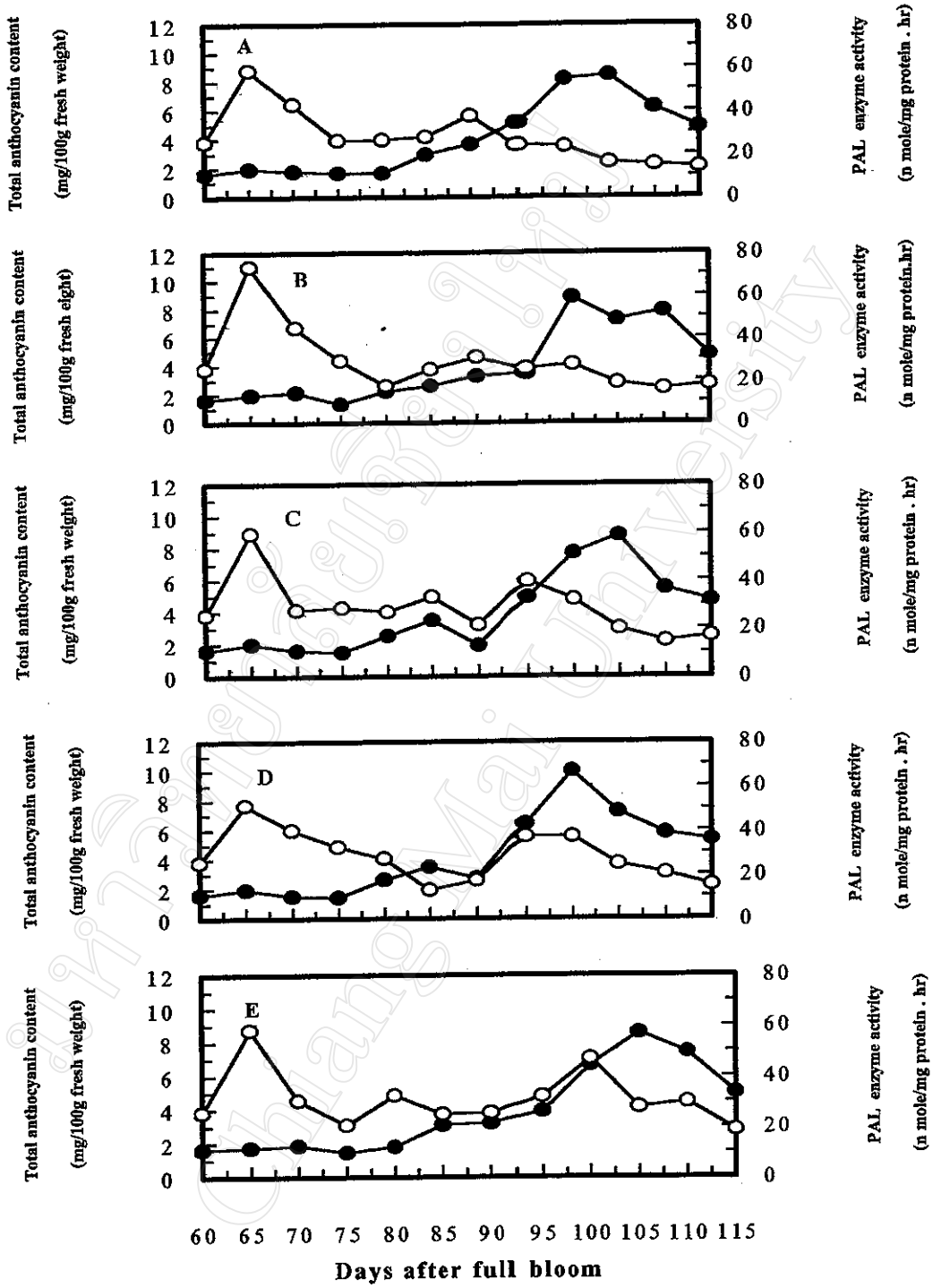
จากการทดลองนี้จะเห็นว่าสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชมีผลต่อแอคติวิตีเอนไซม์ PAL ซึ่งในกรรมวิธีที่ได้รับ ethephon และ ABA มีแอคติวิตีของเอนไซม์แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมตลอดระยะเวลาการพัฒนาของผลยกเว้นในบางระยะเท่านั้น โดยสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดแต่ละความเข้มข้นจะให้ผลต่างจากกรรมวิธีควบคุมในผลที่มีอายุแตกต่างกันไป ethephon 100 และ 200 ppm มีผลส่งเสริมแอคติวิตีเอนไซม์ PAL มีแนวโน้มสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ในช่วงวันที่ 65 - 90 วันหลังจากดอกบาน ซึ่ง ethephon 200 ppm มีผลต่อแอคติวิตีของ PAL ได้ยาวนานกว่า 100 ppm อย่างไรก็ตามในช่วงที่ผลมีอายุได้ 100 – 115 วันหลังจาก



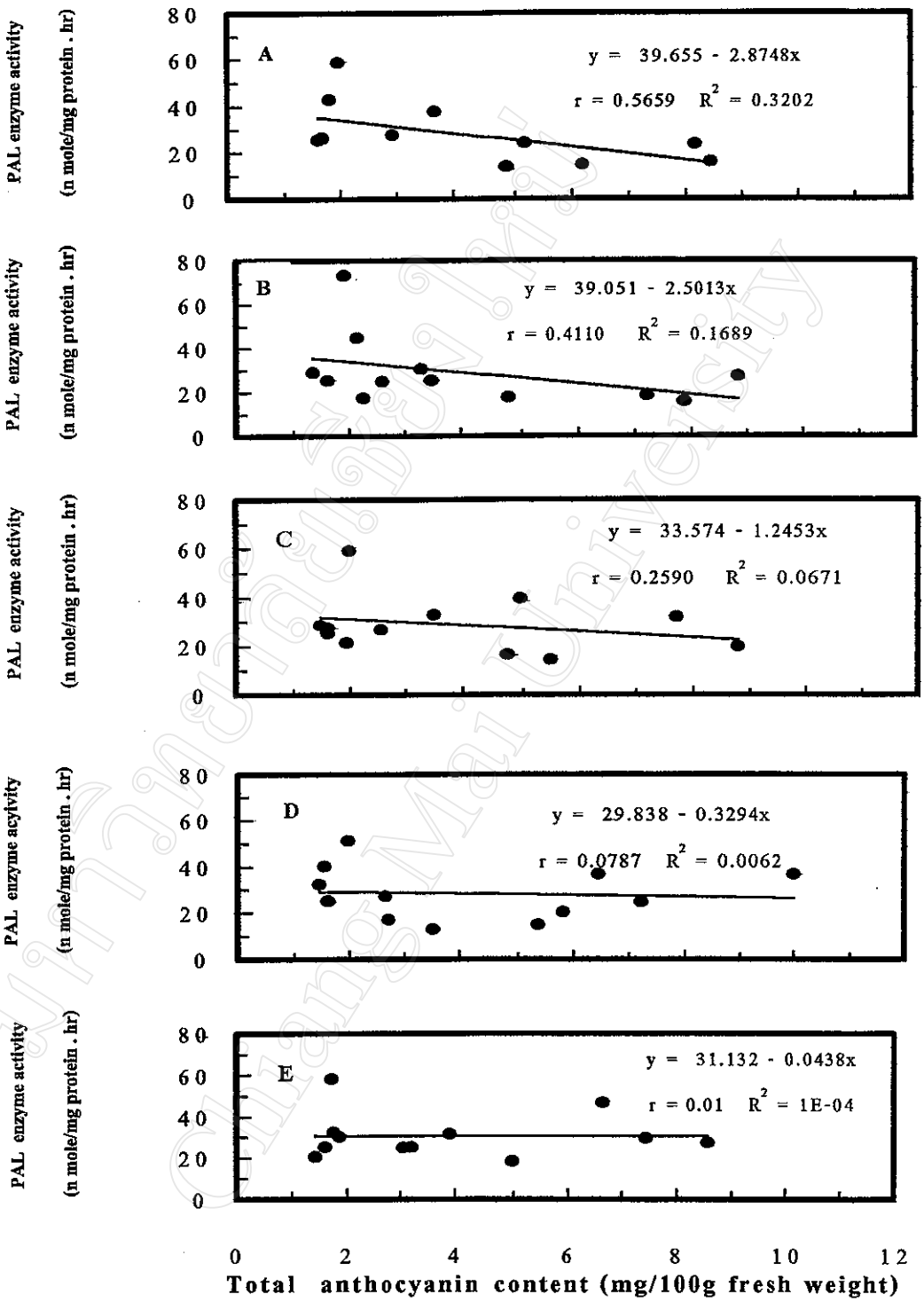
รูปที่ 46 การเปลี่ยนแปลงแอคติวิตีเอนไซม์ PAL ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน 5 กรรมวิธี คือ ethephon 100 ppm (—●—) ethephon 200 ppm (—O—) ABA 100 ppm (- - ● - -) ABA 200 ppm (- - O - -) และน้ำกลั่น (—*—)

ดอกบานผลในกรรมวิธีที่ได้รับ ethephon ทั้ง 2 ความเข้มข้นจะมีแอคติวิตีของเอนไซม์ต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุม แต่ไม่มีความแตกต่างกันในผลที่ได้รับ ethephon ทั้ง 2 ความเข้มข้นดังกล่าวตลอดระยะการพัฒนาของผล ยกเว้นในวันที่ 65 วันหลังจากดอกบานเท่านั้น (ตารางผนวกที่ 23) Hyodo and Yang (1971) อ้างโดย Siriphanich and Kader (1985) แสดงให้เห็นว่า ethylene สามารถส่งเสริมแอคติวิตีของ PAL ในต้นกล้าของถั่วลันเตาได้ โดย Faragher and Brohier (1984) พบว่า ethylene ที่เกิดขึ้นในระหว่างการสุกของแอปเปิ้ลพันธุ์ Jonathan มีผลกระตุ้นแอคติวิตีของ PAL ในเปลือก ทำให้มีสารสังเคราะห์แอนโทไซยานินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อทำการศึกษาถึงระดับ ethylene ภายในผลแอปเปิ้ล 2 พันธุ์คือ Starking Delicious และ Golden Delicious พบว่าในระหว่างการพัฒนาของผลแอปเปิ้ลทั้ง 2 พันธุ์มีระดับ ethylene ภายในผล และแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน (Blankenship and Unrath , 1988) สำหรับ ABA นั้นก็มีผลส่งเสริมแอคติวิตีของ PAL เช่นกัน โดย ABA 100 ppm มีแอคติวิตีของเอนไซม์สูงกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในช่วงวันที่ 75 และ 85 วันหลังจากดอกบาน ส่วนABA 200 ppm มีแอคติวิตีของเอนไซม์สูงกว่ากรรมวิธีควบคุมในวันที่ 70 – 75 วันหลังจากดอกบาน และเมื่อผลมีอายุได้ 100 – 115 วันหลังจากดอกบานผลในกรรมวิธีที่ได้รับ ABA ทั้ง 2 ความเข้มข้นมีแอคติวิตีของเอนไซม์ต่ำกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยทั้ง 2 กรรมวิธีดังกล่าวมีแอคติวิตีของเอนไซม์ไม่แตกต่างกันทางสถิติตลอดระยะการพัฒนาของผลยกเว้นในบางระยะ ซึ่งผลในกรรมวิธีที่ได้รับ ABA 200 ppm มีแนวโน้มแอคติวิตีของเอนไซม์สูงกว่าผลในกรรมวิธีที่ได้รับ ABA 100 ppm (ตารางผนวกที่ 23) ถึงแม้ว่า ABA จะมีผลส่งเสริมการพัฒนาสีแดงและกระตุ้นให้มีการสังเคราะห์แอนโทไซยานินดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่การศึกษาถึงผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชดังกล่าวต่อแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ในพืชต่าง ๆ ยังมีน้อยมาก

เมื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear correlation) ระหว่างแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL กับปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมดในผลทั้ง 5 กรรมวิธี พบว่าแอคติวิตีของเอนไซม์เพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 65 วันหลังจากดอกบานหลังจากนั้นจะมีแนวโน้มลดลง และในช่วงที่ผลมีอายุได้ 90 – 100 วันหลังจากดอกบานแอคติวิตีของเอนไซม์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งแต่น้อยกว่าครั้งแรก ในขณะที่ปริมาณแอนโทไซยานินของทั้ง 5 กรรมวิธีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะการพัฒนาของผล โดยมีค่าสูงสุดในช่วง 100 – 105 วันหลังดอกบาน (รูปที่ 47) ซึ่งจะเห็นได้ว่าก่อนที่ปริมาณแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นสูงสุดนั้น แอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ได้เพิ่มขึ้นสูงสุดก่อนแล้ว และทั้ง 5 กรรมวิธีมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าดังกล่าวน้อย ($r < 0.60$ และ $R^2 < 0.4$) (รูปที่ 48) ทั้งนี้ในกระบวนการสังเคราะห์แอนโทไซยานินมีเอนไซม์หลายตัวเข้ามาเกี่ยวข้องไม่ได้มีเฉพาะเอนไซม์ PAL ตัวเดียว ซึ่งในพืชแต่ละชนิดก็จะมีเอนไซม์สำคัญควบคุมการ



รูปที่ 47 การเปลี่ยนแปลงปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมด (—●—) และแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL (—○—) ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผลเมื่อผลได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน 5 กรรมวิธีคือ ethephon 100 ppm (A) ethephon 200 ppm (B) ABA 100 ppm (C) ABA 200 ppm (D) และน้ำกลั่น (E)



รูปที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมดและแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน 5 กรรมวิธีคือ ethephon 100 ppm (A) ethephon 200 ppm (B) ABA 100 ppm (C) ABA 200 ppm (D) และน้ำกลั่น (E)

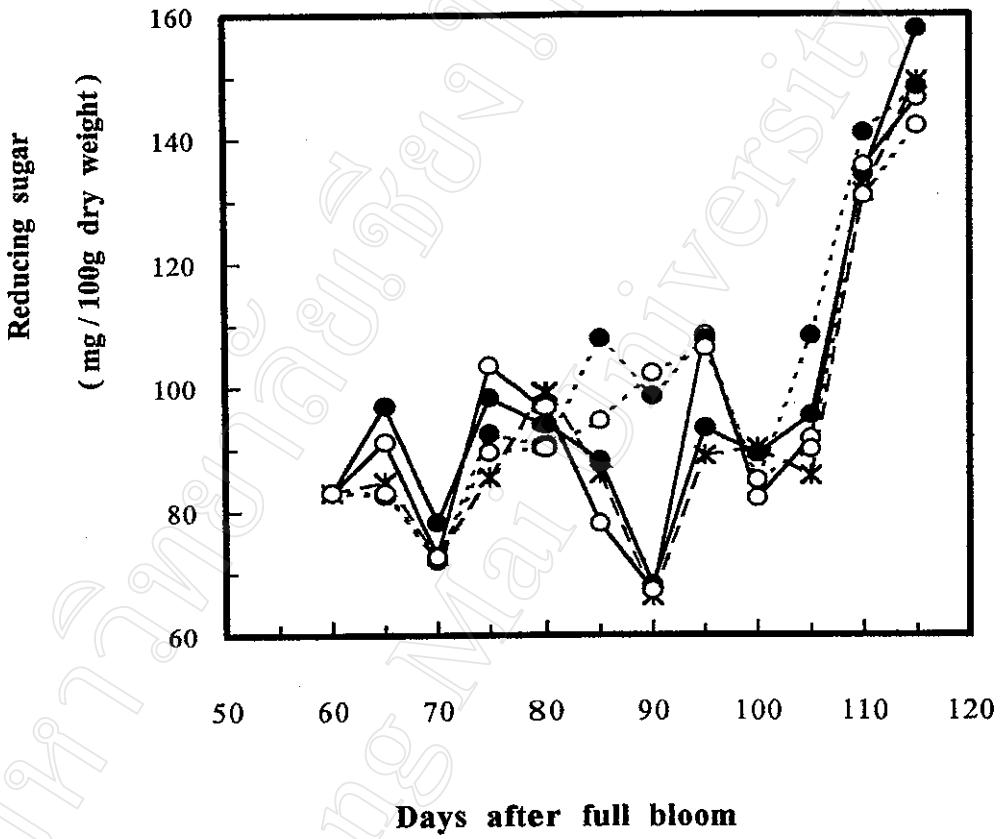
สังเคราะห์แอนโทไซยานินแตกต่างกัน (Boss *et al.* , 1996) รวมทั้งเอนไซม์ PAL ยังทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบสำคัญๆ อีกหลายชนิดที่จำเป็นต่อการเจริญพัฒนาของพืชดังได้กล่าวมาแล้วในการทดลองที่ 1 อย่างไรก็ตามในระยะตอนท้ายของการพัฒนาของผล การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโทไซยานินและแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL จะเป็นไปในทำนองเดียวกัน

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

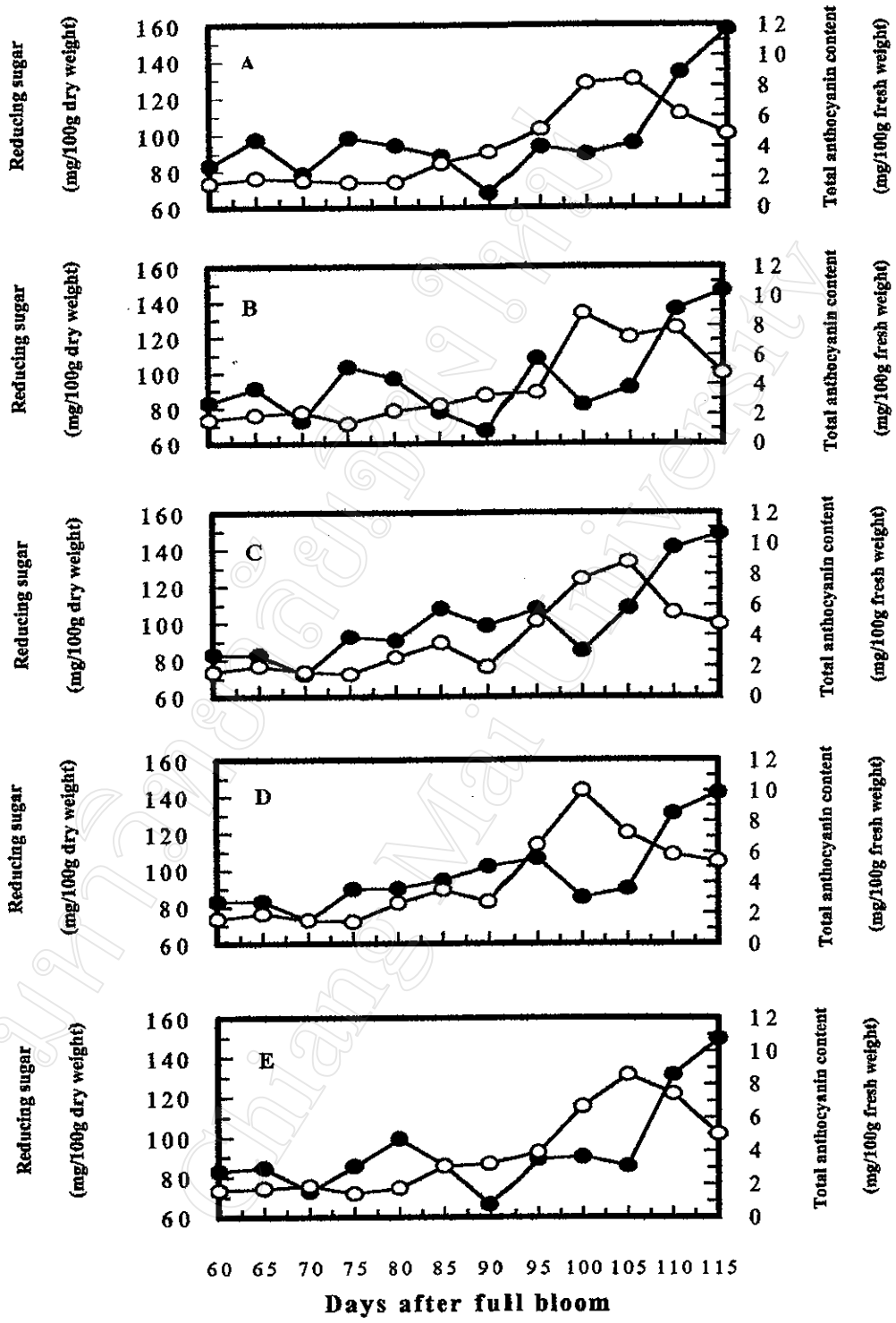
4. การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในระหว่างการพัฒนาผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ พบว่าผลในกรรมวิธีที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ไม่แตกต่างทางสถิติจากกรรมวิธีควบคุมตลอดการพัฒนาของผล ยกเว้นในบางระยะเท่านั้นคือผลในกรรมวิธีที่ได้รับ ethephon และ ABA ในช่วงวันที่ 65 – 75 และ 85 – 110 วันหลังจากดอกบานตามลำดับ จะมีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มสูงกว่าในกรรมวิธีควบคุม ในช่วงที่ผลมีอายุได้ 60 – 100 วันหลังจากดอกบานทุกกรรมวิธีมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ไม่คงที่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในแต่ละระยะการพัฒนาของผลในช่วงเวลาดังกล่าวมีอัตราการสะสมและการสลายน้ำตาลในอัตราที่แตกต่างกัน (Saure , 1990) หลังจากนั้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 100 – 110 วันหลังจากดอกบานเมื่อผลเข้าสู่ระยะการสุกแก่หรือเสื่อมสภาพ (รูปที่ 49 และตารางผนวกที่ 24)

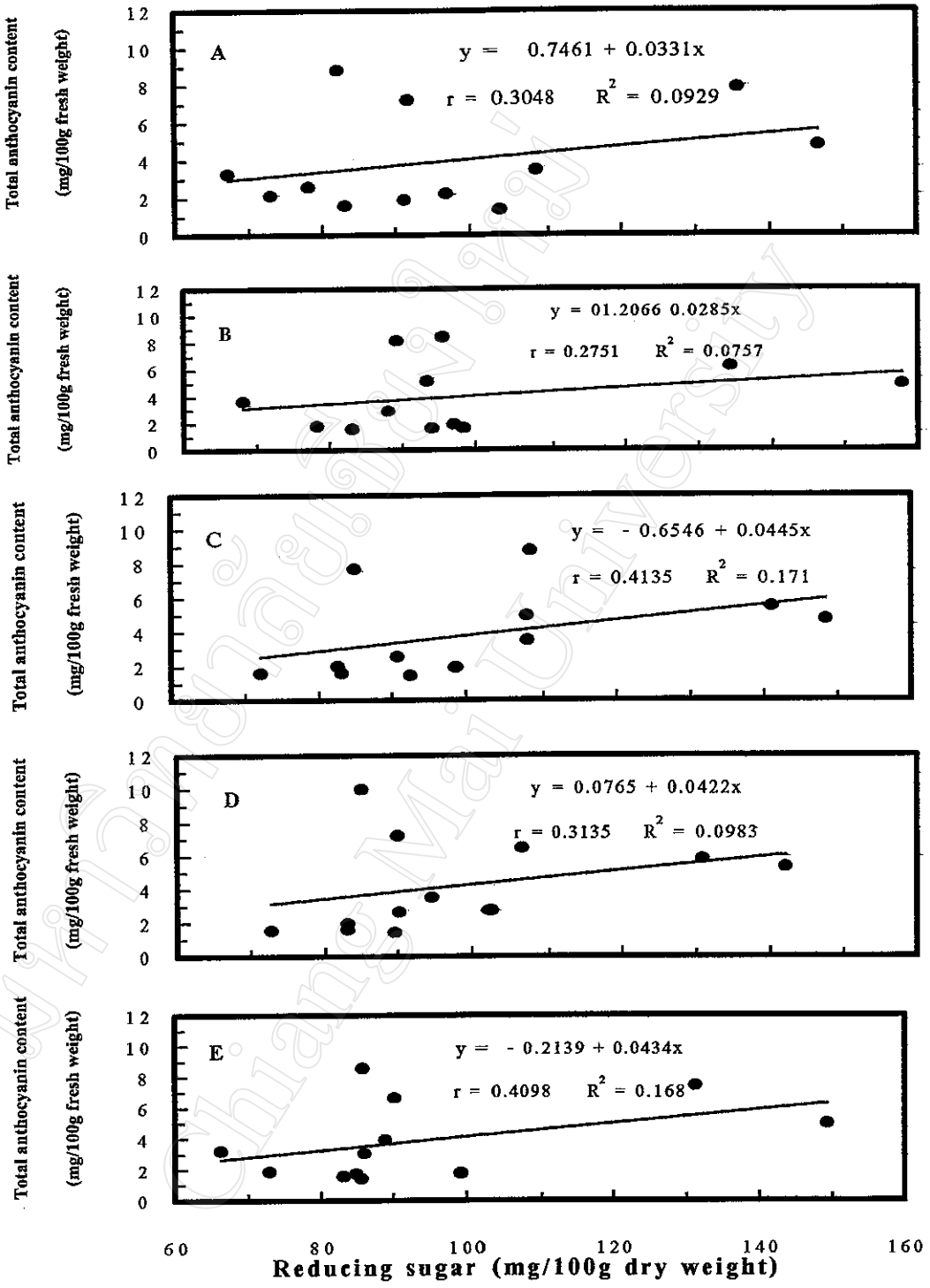
น้ำตาลเป็นส่วนประกอบหลักในโครงสร้างโมเลกุลแอนโทไซยานิน โดยแอนโทไซยานินเกิดจาก anthocyanidin รวมกับโมเลกุลของน้ำตาล ซึ่งปริมาณของรงควัตถุนี้มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลในระหว่างการสุกแก่ของผล (Saure , 1990) การมีปริมาณน้ำตาลมากอาจมีผลทำให้มีการสังเคราะห์แอนโทไซยานินได้ในปริมาณสูง จากการทดลองนี้จะเห็นความสัมพันธ์ดังกล่าวโดยปริมาณแอนโทไซยานินในผลทุกกรรมวิธีมีค่าสูงสุดในช่วงวันที่ 100 – 105 วันหลังจากดอกบานซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 100 – 105 วันหลังจากดอกบานเช่นกัน แม้ว่าก่อนระยะที่ปริมาณแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นในผลทุกกรรมวิธีนั้น (60 – 100 วันหลังจากดอกบาน) จะเห็นว่าน้ำตาลรีดิวซ์มีปริมาณไม่คงที่ (รูปที่ 50) แต่ว่าปริมาณน้ำตาลในช่วงนี้อาจมีปริมาณเพียงพอที่จะส่งเสริมให้เกิดการสังเคราะห์แอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นได้ อย่างไรก็ตามเมื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear correlation) ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมดในผลทั้ง 5 กรรมวิธี พบว่ามีความสัมพันธ์กันน้อย ($r < 0.45$ และ $R^2 < 0.20$) (รูปที่ 51) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากยังมีปัจจัยทั้งภายนอกและภายในที่มีผลต่อ metabolism ของน้ำตาลที่อยู่ในเนื้อเยื่อผล อย่างไรก็ตามจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดนี้ที่ให้จากภายนอกไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์นี้ ส่วนในผลมังคุดและองุ่นมีความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นแบบ exponential correlation ($r = 0.951$) และ quadratic correlation ($r = 0.960$) ตามลำดับ (สุจิตรา , 2541 และ Pirie and Mullins , 1977)



รูปที่ 49 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน 5 กรรมวิธี คือ ethephon 100 ppm (—●—) ethephon 200 ppm (—○—) ABA 100 ppm (- - ● - -) ABA 200 ppm (- - ○ - -) และน้ำกลั่น (—*—)



รูปที่ 50 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (—●—)และปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินทั้งหมด (—○—)ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน 5 กรรมวิธีคือ ethephon 100 ppm (A) ethephon 200 ppm (B) ABA 100 ppm (C) ABA 200 ppm (D) และน้ำกลั่น (E)



รูปที่ 51 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณรงควัตถุแอนโทไซยานินในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ในระหว่างการพัฒนาของผล เมื่อผลได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน 5 กรรมวิธีคือ ethephon 100 ppm (A) ethephon 200 ppm (B) ABA 100 ppm (C) ABA 200 ppm (D) และน้ำกลั่น (E)

การทดลอง 2.2 ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดในสภาพ *in vitro*

จากการศึกษาถึงผลของชนิดและระดับความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดต่อแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ในสภาพ *in vitro* ในเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ที่มีอายุ 75 80 และ 85 วันหลังจากดอกบาน (รูปที่ 52) โดยนำ crude enzyme ที่สกัดจากเปลือกผลซึ่งปราศจากการให้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชมาวิเคราะห์แอคติวิตีของเอนไซม์ในสารละลายวิเคราะห์ที่มีสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดแตกต่างกัน 5 กรรมวิธีคือ NAA GA_3 ethephon ABA และ BA ในระดับความเข้มข้น 0 50 100 200 และ 400 ppm ได้ผลการทดลองดังนี้

ในกรรมวิธีที่ได้รับ NAA ซึ่งเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มออกซิน พบว่า NAA ทุกระดับความเข้มข้นมีผลทำให้แอคติวิตีของ PAL สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม โดย NAA 100 ppm มีผลทำให้แอคติวิตีของ PAL สูงสุดเท่ากับ 79.856 และ 91.542 นาโนโมลต่อมิลลิกรัมโปรตีน•ชั่วโมงเมื่อสกัดจากเปลือกผลที่มีอายุ 75 และ 80 วันหลังจากดอกบาน ตามลำดับ โดย NAA ในแต่ละความเข้มข้นที่ทำการศึกษามีผลทำให้แอคติวิตีของเอนไซม์มีความแตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมทุกระดับความเข้มข้น (รูปที่ 53A และ53B และตารางผนวกที่ 25 และ 26) ในขณะที่ NAA 400 ppm มีผลทำให้แอคติวิตีของ PAL สูงสุดในผลที่มีอายุ 85 วันหลังจากดอกบาน โดยมีค่าเท่ากับ 66.298 นาโนโมลต่อมิลลิกรัมโปรตีน•ชั่วโมงและให้ผลแตกต่างจากกรรมวิธีที่ได้รับ NAA ความเข้มข้นอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 53C และตารางผนวกที่ 27) เชื่อว่าออกซินมีผลส่งเสริมการสังเคราะห์แอนโทไซยานินและแอคติวิตีของ PAL โดยมีรายงานว่า 2,4-D ซึ่งเป็นสารตัวหนึ่งในกลุ่มออกซินมีผลส่งเสริมแอคติวิตีของ PAL ในชิ้นเนื้อเยื่อเปลือกผลแอปเปิ้ลที่ตัดออกมาเลี้ยงในสภาพที่ได้รับแสง (Saure , 1990) ส่วนในเนื้อเยื่อดอกกุหลาบ แอคติวิตีในสภาพ *in vivo* ก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน แต่เมื่อศึกษาในสภาพ *in vitro* พบว่าออกซินไม่มีผลต่อแอคติวิตีของ PAL ที่สกัดได้จากดอกกุหลาบ (Camm and Towers , 1973) นอกจากนี้ยังพบว่าออกซินสามารถส่งเสริมการสังเคราะห์แอนโทไซยานินในพืชในสภาพที่ไม่ได้รับแสง อย่างไรก็ตามสารในกลุ่มนี้อาจมีผลส่งเสริมหรือยับยั้งการสังเคราะห์แอนโทไซยานินและแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ก็ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่ใช้ ซึ่งกลไกการควบคุมนั้นยังไม่ทราบแน่ชัด (Hale *et al.* , 1970)

ในกรรมวิธีที่ได้รับ BA ทุกระดับความเข้มข้นนั้นมีแอคติวิตีของ PAL สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม ซึ่งแอคติวิตีของเอนไซม์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับเมื่อได้รับ BA ในระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้น โดยในระดับความเข้มข้น 400 ppm มีผลทำให้แอคติวิตีของ PAL สูงสุดในทุกระยะของผลที่ทำการศึกษา โดยมีแอคติวิตีของ PAL สูงสุดเท่ากับ 123.620 363.863 และ 316.806 นาโนโมลต่อมิลลิกรัมโปรตีน•ชั่วโมงเมื่อสกัดจากเปลือกผลที่มีอายุ 75 80 และ 85

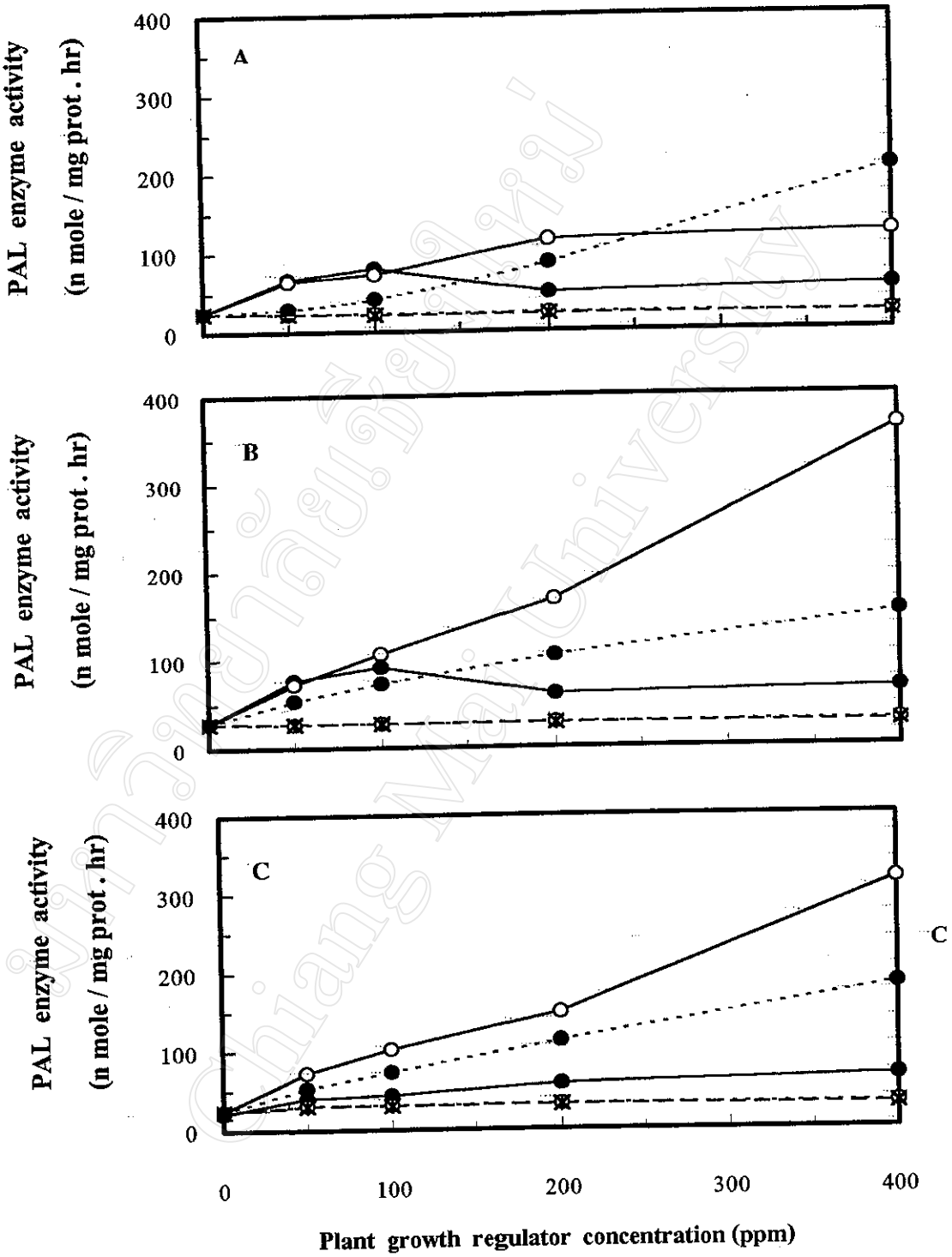
A

B

C

รูปที่ 52 ผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ที่มีอายุ 75(A) 80(B) และ 85(C) วันหลังจากดอกบาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University



รูปที่ 53 ผลของ NAA (—●—) BA (—○—) GA (---○---) ABA (---●---) และ ethephon (--*--) ต่อแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ในสภาพ *in vitro* ที่สกัดจากเปลือกผลมะม่วงพันธุ์เคนท์ที่มีอายุ 75(A) 80(B) และ 85(C) วันหลังจากดอกบาน

วันหลังจากดอกบาน ตามลำดับ (รูปที่ 53 และตารางผนวกที่ 25-27) จะเห็นได้ว่า BA ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันมีผลทำให้แอคติวิตีของ PAL แตกต่างกันทางสถิติทุกระดับความเข้มข้น ยกเว้นในผลที่มีอายุ 75 วันหลังจากดอกบานพบว่า BA 200 และ 400 ppm ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 25-27) BA เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มไซโตไคนินที่มีการรายงานถึงผลของการใช้กลุ่มนี้น้อยมากในเรื่องเกี่ยวกับการควบคุมการสังเคราะห์แอนโทไซยานินและแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL แต่อย่างไรก็ตาม BA น่าจะมีผลส่งเสริมในเรื่องนี้ โดยมีผลการทดลองที่สนับสนุนคือเมื่อให้ BA แก่ผลแอปเปิ้ลพันธุ์ McIntosh เป็นเวลา 1 เดือนก่อนเก็บเกี่ยวผลพบว่ามีผลทำให้เกิดการสังเคราะห์แอนโทไซยานินได้มากกว่าผลที่ไม่ได้รับสารดังกล่าว (Saure , 1990)

สำหรับกรรมวิธีที่ได้รับ ABA นั้นก็พบว่าให้ผลในทำนองเดียวกันกับในกรรมวิธีที่ได้รับ BA คือ ABA ในระดับความเข้มข้นสูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้แอคติวิตีของเอนไซม์เพิ่มขึ้นตามลำดับและมีความแตกต่างกันทางสถิติทุกระดับความเข้มข้น ABA 400 ppm มีผลทำให้แอคติวิตีของ PAL สูงสุดเท่ากับ 207.374 153.027 และ 183.708 นาโนโมลต่อมิลลิกรัมโปรตีน•ชั่วโมง เมื่อสกัดจากเปลือกผลที่มีอายุ 75 80 และ 85 วันหลังจากดอกบาน ตามลำดับ (รูปที่ 53 และตารางผนวกที่ 25-27) อย่างไรก็ตามจากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่า ABA มีผลส่งเสริมแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL ได้ทั้งในสภาพ *in vivo* และ *in vitro* ซึ่งในสภาพ *in vitro* นี้จะมีแอคติวิตีของ PAL สูงกว่ามากทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก crude enzyme ที่สกัดได้สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นได้โดยตรง ในขณะที่ สภาพ *in vivo* มีการเปลี่ยนแปลงระดับของสารตั้งต้นได้ตลอดเวลาอันเนื่องมาจากกระบวนการ metabolism ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเจริญเติบโตของผล รวมทั้งมีปัจจัยทั้งภายในและภายนอกที่มีผลควบคุมการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้อีกด้วย

ในกรรมวิธีที่ได้รับ GA_3 และ ethephon ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าไม่มีผลต่อเอนไซม์ PAL ในสภาพ *in vitro* โดยพบว่าแอคติวิตีของเอนไซม์ในทุกระดับความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตมีค่าใกล้เคียงกัน รวมทั้งพบว่าในทั้ง 2 กรรมวิธีมีแอคติวิตีของเอนไซม์ใกล้เคียงกัน โดยในวันที่ 75 80 และ 85 วันหลังจากดอกบานมีค่าอยู่ระหว่าง 21.953 - 24.307 26.684 - 28.151 และ 24.145 -31.589 นาโนโมลต่อมิลลิกรัมโปรตีน•ชั่วโมง ตามลำดับ (รูปที่ 53 และตารางผนวกที่ 25-27) อย่างไรก็ตามมีการศึกษาในสภาพ *in vivo* ในพืชหลายชนิดพบว่า สารทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวสามารถส่งเสริมแอคติวิตีของ PAL และการสังเคราะห์แอนโทไซยานินได้ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในการทดลองที่ 2.1 จากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าในกรรมวิธีที่ได้รับ ethephon ทั้งในสภาพ *in vivo* และ *in vitro* มีระดับแอคติวิตีของ PAL ใกล้เคียงกันแต่ในสภาพ

in vivo ethephon จะมีผลส่งเสริมแอคติวิตีของPAL ในขณะที่ในสภาพ *in vitro* นั้นพบว่าไม่มีผลส่งเสริมแอคติวิตีของ PAL เช่นเดียวกับผลของ GA_3

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างชนิดของสารควบคุมการเจริญเติบโตทั้ง 5 ชนิดพบว่า ABA 400 ppm มีผลทำให้แอคติวิตีของ PAL สูงที่สุดเท่ากับ 207.374 นาโนโมลต่อมิลลิกรัมโปรตีน•ชั่วโมงในผลที่มีอายุ 75 วันหลังจากดอกบาน รองลงมาคือ BA 400 ppm ซึ่งมีผลทำให้แอคติวิตีของ PAL เท่ากับ 123.620 นาโนโมลต่อมิลลิกรัมโปรตีน•ชั่วโมง ในขณะเดียวกัน BA 400 ppm มีผลทำให้แอคติวิตีของ PAL สูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 363.863 นาโนโมลต่อมิลลิกรัมโปรตีน•ชั่วโมงในผลที่มีอายุ 80 วันหลังจากดอกบาน ซึ่งจะเห็นว่าสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดแต่ละความเข้มข้นแตกต่างกันจะมีผลต่อแอคติวิตีของเอนไซม์ PAL แตกต่างกัน และในขณะเดียวกันสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชชนิดเดียวกันในความเข้มข้นเดียวกันจะมีผลต่อแอคติวิตีของ PAL แตกต่างกันในผลมะม่วงที่มีอายุต่างกัน ซึ่งนอกจากปัจจัยภายใน (อายุและพันธุ์) จะมีผลควบคุมแอคติวิตีของ PAL แล้วปัจจัยภายนอก เช่น แสงและอุณหภูมิก็ยังมีผลต่อการควบคุมแอคติวิตีของ PAL ด้วย (Kubota , 1996) การศึกษาแอคติวิตีของเอนไซม์ในสภาพ *in vitro* สามารถวิเคราะห์ได้ง่ายกว่าในสภาพ *in vivo* อย่างไรก็ตามผลการทดลองมักมีแนวโน้มไปในทำนองเดียวกันกับ *in vivo* อาจแตกต่างในเรื่องของระดับของแอคติวิตีเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องมาจากในสภาพ *in vivo* เกิดขึ้นในต้นพืชหรือเนื้อเยื่อพืชในสภาพธรรมชาติซึ่งกระบวนการ metabolism ยังคงดำเนินอยู่ ตลอดจนมีปัจจัยมาควบคุมจากทั้งภายในและภายนอกยังผลให้มีการเปลี่ยนแปลงสารตัวกลางต่าง ๆ ได้ตลอดเวลา ซึ่งในบางครั้งยังพบว่าเป็นไปได้ที่ปัจจัยดังกล่าวยังผลให้แอคติวิตีของเอนไซม์ในทั้งสองสภาพแตกต่างกันได้