บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้อง

1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของอัญชัน

อัญชัน มีถิ่นกำเนิดในประเทศปานามา อินเดีย และหมู่เกาะโมลุกกะ (ปีฎฐะ, 2519) มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Clitoria ternatea* L. เป็นพืชในตระกูล Leguminoceae มีชื่อสามัญเรียกทั่วไปว่า Clitoria, blue pea, butterfly pea, kordofan pea (Sudan), cunha (Brazil), pokindang (Philippines) (Fantz, 1997) มีจำนวนโครโมโซม 2 ชุด (2n=16) เป็นพืชผสมตัวเอง (self-pollination) บางครั้งอาจเกิดการผสมข้าม (cross-pollination) (Crowder, 1974) ส่วนมากพบในเขตทวีปเอเชีย (Cordoba *et al*., 1987) อัญชันเป็นไม้พุ่มเลื้อย (Garza *et al*, 1972) มีส่วนปลายยอดที่ยื่นออกไปยาวประมาณ 60-70 เซนติเมตร (Barro and Ribeiron, 1983)

ใบ มีลักษณะเรียวยาวประมาณ 1.5-5 เซนติเมตร กว้างประมาณ 0.3-3 เซนติเมตร ปลายยอดแหลม ฐานใบคล้ายร่มบางทีอาจพบเป็นฐานมน พื้นผิวปกคลุมด้วยขน เป็นใบประกอบแบบขนนกมีประมาณ 5-7 ใบ ก้านใบยาวประมาณ 1.5-3 เซนติเมตร แกนกลางยาวประมาณ 1-7 เซนติเมตร หูใบมีขนาดเล็กยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร (Andrews, 1952)

ดอก มีทั้งดอกสีขาวและสีม่วง มีทั้งดอกชั้นเดียวและดอกซ้อน กลีบดอกยาวประมาณ 4-9 เซนติเมตร กลีบเลี้ยงยาว 1.7-2.2 เซนติเมตร มีขนปกคลุมเล็กน้อย (Andrews, 1952)

ฝัก มีลักษณะแบนคล้ายดาบยาวประมาณ 6-12 เซนติเมตร กว้าง 0.7-1.2 เซนติเมตร (Bogdan, 1997)

เมล็ด ลักษณะของเมล็ดเป็นรูปวงรีคล้ายไต ภายในฝักมีเมล็ดมากกว่า 10 เมล็ด มีสีดำ สีน้ำตาล สีเขียวมะกอก บางครั้งอาจมีรอยจุดเล็กๆปนกัน (Bogdan, 1997) ยาวประมาณ 4.5-7 มิลลิเมตร กว้าง 3-4 มิลลิเมตร เมล็ดเป็นสีน้ำตาลจนเกือบดำบางเมล็ดอาจมีลายประกอบด้วย

2. ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโต

การเปลี่ยนแปลงฤดูกาลในแต่ละปี ในแต่ละพื้นที่ปลูก สภาพอากาศในแต่ละช่วงฤดูกาล เช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้นและปริมาณน้ำ ปัจจัยเหล่านี้ล้วนก่อให้เกิดสภาพความเครียด (stress) ต่อพืช การตอบสนองต่อความเครียดเหล่านี้ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางการเจริญเติบโตและปริมาณสารสำคัญ โดยระดับการตอบสนองนั้นมีความแตกต่างกันไปตามฤดูกาลในแต่ละปีและพื้นที่ปลูก (Nilsen and Orcutt, 1996) ปัจจัยสภาพแวดล้อมเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญและมีผล

ต่อการเจริญเติบโต ประกอบด้วยแสง อุณหภูมิ น้ำและความชื้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสง (McGregor and Nieuwolt, 1998) การควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในระยะต่าง ๆ จนได้ผลออกมาในรูปการเจริญเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้าง พืชบางชนิดมีขีดจำกัดในการปรับตัวตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมใหม่ที่ทำให้พืชไม่สามารถเติบโตได้อย่างปกติ เนื่องจากพืชจะตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมได้มากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับพันธุกรรมของพืชนั้นด้วย (จินดา, 2524)

2.1 แสง (Light) เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการสังเคราะห์แสง การสร้างอาหารและการควบคุมการเจริญเติบโต (สมบุญ, 2544) ถ้าพืชได้รับแสงที่มีความเข้มแสงที่สูงหรือต่ำเกินไปจะมีผลทำให้พืชไม่มีการเจริญเติบโต (Denisen, 1979) เนื่องจากพืชไม่สามารถลดอัตราการหายใจได้ ส่งผลให้พืชไม่เจริญเติบโตและตายในที่สุด (Jayachandran and Rana., 1999) แสงที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชจะมี 3 ด้านคือ ความเข้มของแสง (light intensity) คุณภาพของแสง (light quality) และช่วงเวลาของแสงที่พืชได้รับ (light duration) (จินดา, 2524) นอกจากนี้การสังเคราะห์แอนโธไซยานินจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการให้แสง (photoperiodicity) คุณภาพแสง (light quality) และความเข้มแสง (light intensity) ด้วย (Zhang *et al.*, 2002) เนื่องจากแสงมีบทบาทต่อกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แอนโธไซยานิน เมื่อได้รับแสง การสังเคราะห์ mRNA จะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจาก mRNA ดังกล่าวจะแปลรหัสได้เป็นเอนไซม์ PAL และเอนไซม์ CHI ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แอนโธไซยานิน (Reddy *et al.*, 1994)

ความเข้มแสง (Light intensity) มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของใบพืช นอกจากนี้ยังมีผลต่อความสูงของต้น แสงยังมีผลต่อการจำกัดความยาวข้อปล้องซึ่งจะมากน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มแสงความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างดังนี้ พื้นที่ใบลดลง ใบหนาขึ้น มีการแตกแขนงมากขึ้น มีปากใบเล็กลง มีน้ำหนักแห้งมากขึ้น (วิไลพร, 2551) Friend (1965) ศึกษาอิทธิพลความเข้มของแสงที่ต่างกันจากหลอดไฟที่มีผลต่อการเจริญเติบโตในต้นข้าวสาลี พบว่าการเพิ่มความเข้มแสงจะเพิ่มความหนา ความกว้างใบ แต่จะลดพื้นที่ใบ เนื่องจากแสงจะลดความยาวของใบและการเพิ่มความเข้มแสงมักเพิ่มอุณหภูมิตามไปด้วยซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตอย่างมาก

คุณภาพแสง (Light quality) หมายถึง spectrum ที่มองเห็นในแถบรุ้ง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่น คุณภาพแสงมีผลต่อการกระตุ้นการสังเคราะห์สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งต้องการน้ำตาลที่เกิดจากการสลายตัวของแป้งระหว่างการสังเคราะห์แสง โดยความยาวคลื่นแสงที่กระตุ้นการสังเคราะห์สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ในพืชอยู่ในช่วงแสงสีแดง แสง far red และแสงสีน้ำเงิน (ดนัย, 2540) โดยแสงสีน้ำเงินมีผลทำให้มีปริมาณการสะสม

แอนโธไซยานินสูงนั้น เพราะแสงสีน้ำเงินจะกระตุ้นการทำงานของ UV-A และ UV-B photoreceptor ซึ่งเป็นชนิดของ cryptochrome ที่ตอบสนองต่อช่วงคลื่น 280-400 นาโนเมตร ความยาวช่วงคลื่นดังกล่าวจะชักนำการสังเคราะห์เอนไซม์ CHS และเป็นช่วงคลื่นที่เอนไซม์ CHI มีการทำงานสูงสุด (Zhong et al., 1991; Stafford, 1990; Zubko *et al.*, 1993) จากการทดลองของ Meijer (1962) พบว่าจากต้นพืชที่ได้รับแสงสีแดงจะมีการยับยั้งการเจริญของข้อปล้องได้ดีกว่าแสงสีน้ำเงิน ในทางกลับกันเมื่อความเข้มแสงต่ำ แสงสีน้ำเงินจะสูงขึ้นและส่งผลให้ต้นพืชมีการยับยั้งการเติบโตของข้อปล้องได้ดีกว่าแสงสีแดง

ช่วงเวลาของแสง (Light duration) อัตราการสังเคราะห์แสงสัมพันธ์กับความยาวช่วงวัน โดยการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นเมื่อพืชได้รับแสงในช่วงวันที่ยาวขึ้น ช่วงแสงมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นในขณะที่พืชมีการเจริญเติบโตไม่พอที่จะตอบสนองต่อช่วงแสงในการออกดอก การเจริญเติบโตทางลำต้นจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงแสงที่เปลี่ยนแปลงด้วยจากการทดลองกับต้นงา (*Seasame indicum*) ของ Smilde (1960) พบว่า ช่วงแสงกลางวันและกลางคืนต่างกัน คือ ช่วงกลางวัน 5 ชั่วโมง และกลางคืน 19 ชั่วโมง ต้นงาจะมีความยาวลำต้นและจำนวนใบเพิ่มขึ้นตามช่วงความยาววันที่เพิ่มขึ้น

2.2 อุณหภูมิ (Temperature) เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมกระบวนการเมตาบอลิซึมและปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์พืชส่งผลออกมาเป็นการเจริญเติบโตของพืชทั้งต้น เช่น การหายใจ การออกดอก (ทรงศักดิ์, 2539) นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีผลต่อการสร้างรงควัตถุ เช่น การสังเคราะห์ไลโคปีน (lycopene) ในมะเขือเทศ จะถูกยับยั้งที่อุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส (สังคม, 2536) ฉะนั้นการเจริญเติบโตของพืชจึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับการสังเคราะห์แสง โดยทั่วไปพืชในเขตร้อนสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 30-37 องศาเซลเซียส หากต่ำกว่า 15-18 องศาเซลเซียส หรือสูงเกินไป (41-50 องศาเซลเซียส) อัตราการสังเคราะห์แสงของใบจะหยุดลง เนื่องจากอุณหภูมิใบที่สูงกว่าจุดที่เหมาะสมมีผลทำให้ปากใบปิดเพราะมีการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ในใบพืช (Honour and Mansfield, 1969)

2.3 น้ำ (Water) น้ำเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิต (Fisher and Turner, 1978) น้ำเป็นสารประกอบซึ่งประกอบด้วยไฮโดรเจน (H) 2 โมเลกุล และออกซิเจน (O) 1 โมเลกุล น้ำมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตมาก โดยเฉพาะพืช น้ำมีผลต่อกระบวนการทางเคมีภายในพืชทุกกระบวนการเนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญภายในเซลล์ มีบทบาทในกระบวนการสังเคราะห์แสง และการหายใจ ถ้าพืชได้รับน้ำน้อยหรือรากพืชได้รับน้ำ

ในปริมาณที่ไม่เพียงพอจะทำให้ความเข้มข้นของสารละลายในดินเพิ่มมากขึ้นจนเป็นอันตรายต่อเซลล์รากพืช

น้ำมีความร้อนจำเพาะของการกลายเป็นไอมากคือ ต้องใช้พลังงาน 540 แคลอรีต่อกรัมจึงสามารถทำให้อากาศในฤดูหนาวอบอุ่น เนื่องจากในฤดูหนาวเมื่อน้ำได้รับแสงแดดจากดวงอาทิตย์ก็จะสะสมพลังงานไว้และปล่อยพลังงานความร้อนออกมาในเวลากลางคืนจึงทำให้อากาศอบอุ่นและอากาศในฤดูร้อนเย็นลง เนื่องจากความร้อนจากแสงอาทิตย์ร่วมกับอากาศ ทำให้น้ำมีการระเหยซึ่งไอน้ำในอากาศที่มีปริมาณสูง ทำให้อุณหภูมิของอากาศลดต่ำลง นอกจากนี้น้ำยังเป็นตัวกลางในการชักนำความร้อนให้กระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช (นพดล, 2537) นอกจากนี้น้ำมีความสำคัญต่อพืชคือ รักษาสภาพของสารประกอบอินทรีย์และออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ในโพรโทพลาสซึมให้อยู่ในสภาพปกติ รักษาความเต่งของเซลล์ ช่วยลดอุณหภูมิใบในเวลากลางวัน และเป็นตัวกลางในการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ เนื่องจากน้ำมีแรงยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของสารอื่นสูง ทำให้น้ำสามารถอยู่ร่วมกับสารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้ เช่น แป้ง โปรตีน และน้ำตาล ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว (ลิลลี่ และคณะ, 2548)

2.4 ดินและธาตุอาหาร ดินที่เหมาะต่อการปลูกพืช pH อยู่ในช่วง 5.5-6.5 ดินที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชควรมีธาตุอาหารครบและมีปริมาณมากพอและมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง (cation exchange capacity-C.E.C) ดินควรมีค่า C.E.C ไม่น้อยกว่า 10-15 เซนติเมตร ต่อดินอบแห้ง 100 กรัม ส่วนธาตุอาหารที่มีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตของพืชมี 16 ชนิด แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

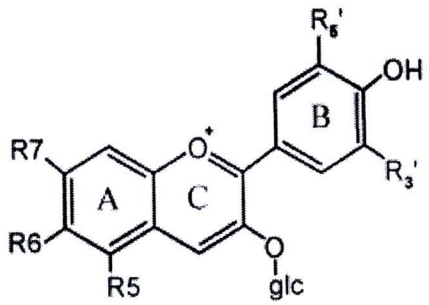
1) ธาตุอาหารหลัก (macro nutrients elements)เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณที่มากกว่า 1,000 ไมโครกรัม จึงเพียงพอต่อการเจริญเติบโตมี 9 ธาตุ ได้แก่ คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โปแตสเซียม (K) กำมะถัน (S) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg)

2) ธาตุอาหารรอง (micro nutrients elements) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณที่น้อยกว่า 100 ไมโครกรัม เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืช มีอยู่ 7 ธาตุ ได้แก่ เหล็ก (Fe) โบรอน (Bo) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) โมลิบดินัม (Mo) และคลอรีน (Cl) (วิจิตร, 2545)

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชส่วนใหญ่รากดูดขึ้นมาจากดินในรูปเกลือที่สามารถละลายน้ำได้ ยกเว้น ธาตุคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน ที่พืชได้จากอากาศและน้ำ (วิจิตร, 2545)

3. แอนโธไซยานิน (Anthocyanins)

ดอกอัญชันมีสารแอนโธไซยานินมีคุณสมบัติเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) (ชัยเนตร, 2544) ช่วยลดการเสี่ยงจากการเกิดโรคหัวใจ ช่วยยับยั้งการเกิดโรคมะเร็ง ป้องกันภาวะเลือดออกของกล้ามเนื้อหัวใจ ช่วยลดความเปราะบางของเส้นเลือดฝอย ช่วยลดการติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะ (ธิติพร, 2547) และบำรุงสมอง (Talanalli and Cheeramkuzhy, 2003) แอนโธไซยานิน เป็นสารประกอบ flavonoids มีโครงสร้างพื้นฐาน คือ $C_6C_3C_6$ แอนโธไซยานินเป็นอนุพันธ์ polyhydroxy และ polymetoxy ของสาร flavylium หรือ 2-phenylebenzopyrylium โมเลกุลประกอบด้วยแอนโธไซยานิดิน ที่เรียกว่า aglycone จับตัวกับน้ำตาลด้วยพันธะ β-glycosidic และมักมีโมเลกุลของน้ำตาลเกาะที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 (จริงแท้, 2538) น้ำตาลที่จับกับแอนโธไซยานิดินอาจเป็นโมโนแซกคาไรด์ เช่น arabinose, xylose, galactose, ramnose และ glucose โดยเรียงจากมากไปน้อย (ธิติพร, 2547) หรือไดแซกคาร์ไรด์ เช่น rutinose, gentiobiose, sophorose และ sambubiose (โสระยา, 2544) โมเลกุลของน้ำตาล esterified ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ด้วยกรดอินทรีย์บางชนิด เช่น *p*-coumaric acid, caffeic และ ferrulic ซึ่งช่วยให้แอนโธไซยานินในพืชมีความเสถียรมากขึ้น (ปราถนา, 2542) สามารถพบได้โดยทั่วไปในอาณาจักรพืช มีมากกว่า 6,000 ชนิด ส่วนมากพบในพืชชั้นสูง (Harborne and Williams, 2000) ในvacuole ของเซลล์พืช (Bohm, 1998) anthocyanins เป็น polyphenol ดังนั้นจะทำปฏิกิริยาให้สีแดงกับ (Fe_3^+) และ (Al_3^+) ซึ่งมีอยู่ในเซลล์แซป (cell sap) เนื่องจาก pH ในเซลล์แซปมีค่าต่าง ๆ กัน จึงทำให้สีของดอกไม้แปรเปลี่ยนได้มากออกไป เช่น hydrangeas ที่ปลูกในดินที่เติมด้วย alum จะมีสีน้ำเงิน (เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ Al_3^+) และที่ปลูกในดินที่เติมด้วย $(NH_4)_2\ SO_4$ จะมีสีแดง (pH น้อยกว่า) ทั้งนี้ขึ้นกับกรรมพันธุ์ของดอกไม้ว่ามีสีอะไร เช่น สีขาว เหลือง หรือ แดงสีของดอกไม้นอกจากขึ้นอยู่กับชนิดของ anthocyanins แล้วยังขึ้นกับ pigment flavonol และ tannins (พิเชษฐ์ และ แจ็ค, 2527) โดย flavonol ทำหน้าที่เป็นรงควัตถุในพืช มีสีชมพูอมม่วง-น้ำเงิน โดยทั่วไปแอนโธไซยานินมีคุณสมบัติสามารถละลายน้ำและแอลกอฮอลล์ได้ แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายประเภท non-hydroxyl เช่น acetone, benzene, chloroform และ ether เป็นต้น (เกียรติศักดิ์, 2535) แอนโธไซยานินสามารถแบ่งได้ออกเป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ pelargonidin, cyaniding, malvidin, peonidin, delphinidin และ petunidin (Mazza and Miniati, 1993) (ดังภาพที่ 1) แอนโธไซยานินชนิด pelargonidin จะให้สีส้ม cyanidin ให้สีแดง delphinidin ให้สีม่วง เป็นต้น (โสระยา, 2544)

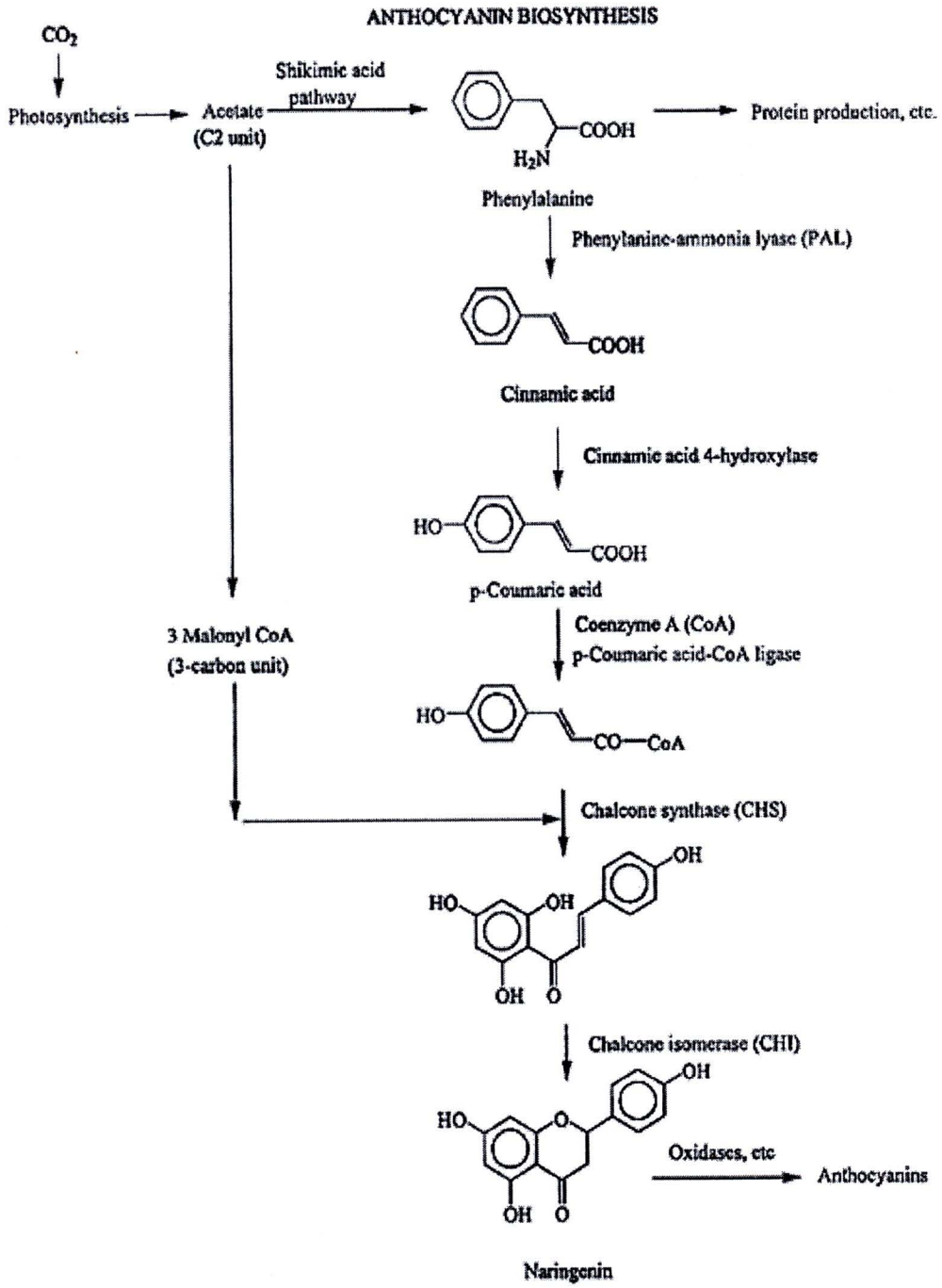


ภาพที่ 1 โครงสร้างของ anthocyanins

ที่มา : Stevin (2009)

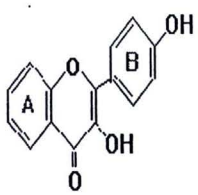
3.1 การสังเคราะห์สารแอนโธไซยานิน

เริ่มจากกระบวนการการสังเคราะห์แสงและเข้าสู่กระบวนการ glycolysis และ pentose phosphate pathway เพื่อให้ได้คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) เพื่อเข้าสู่กระบวนการ Shikimic acid pathway โดยเริ่มจาก (C_2unit) จากนั้นจะได้ aromatic amino acids 3 ชนิด คือ phenylalanine, tyrosine และ tryptophan (Hermann and Weaver, 1999) และสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารแอนโธไซยานินคือ phenylalanine จากนั้น phenylalanine จะมีการเคลื่อนย้าย ammonia โดยมีเอนไซม์ phenylanine-ammonia lyase (PAL) มาเร่งปฏิกิริยาช่วยให้ได้สาร cinnamic acid จากนั้น cinnamic acid จะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็น *p*-coumaric acid โดยเอนไซม์ cinnamic acid 4 – hydroxylase จากนั้น *p*-coumaric acid จะถูกย่อยอีกครั้งโดยเอนไซม์ coenzyme A (CoA) *p*-coumaric acid-CoA lingase ได้มาเป็น chalcone จากนั้น chalcone จะถูกย่อยด้วยมีเอนไซม์ Chalcone synthase (CHS) โดยมี 3 malonyl CoA มาร่วมเร่งปฏิกิริยา และถูกย่อยอีกครั้งโดยเอนไซม์ chalcone isomerase (CHI) ออกมาเป็น naringenin จากนั้น naringenin จะถูก oxidases ออกมาเป็น anthocyanins (Jack, 1998) (ภาพที่ 2)

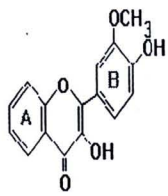


ภาพที่ 2 การสังเคราะห์สารแอนโธไซยานิน

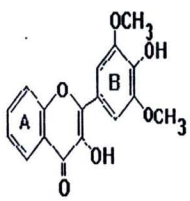
ที่มา: Jack (1998)



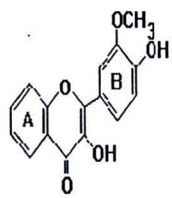
pelargonidin



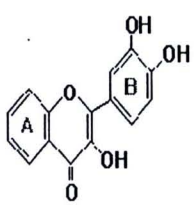
petunidin



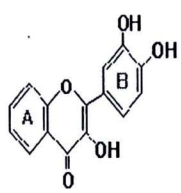
malvidin



peonidin



cyanidin



delphinidin

ภาพที่ 3 โครงสร้างของสารแอนโธไซยานินแบบต่าง ๆ

ที่มา: Francis (1989)

ตารางที่ 1 ตำแหน่งการจับตัวของกลุ่มเมทิล (H) และกลุ่มไฮดรอกซิล (OH) ในตำแหน่ง R1, R2 และ R3 ของสารแอนโธไซยานินแบบต่าง ๆ

Anthocyanidin	R1	R2	R3	color
Pelargonidin (Pg)	H	OH	H	Orange
Cyanidin (Cy)	OH	OH	H	Red / Orange
Delphinidin (Dp)	OH	OH	OH	Red / blue
Peonidin (Pn)	OMe	OH	H	Red / Orange
Ptunidin (Pt)	OMe	OH	OH	Red / blue
Malvidin (Mv)	OMe	OH	OMe	Red / blue

ที่มา: Hikal (2008)

4. ความสำคัญของสารแอนโธไซยานินในทางเภสัชวิทยา

4.1 ยับยั้งการเกิดโรคมะเร็ง (Anti-cancer)

แอนโธไซยานินและโปรแอนโธไซยานินจะยับยั้งการเกิดมะเร็งและพบว่าเป็นส่วนหนึ่งของเอนไซม์ quinine reductase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ช่วยทำให้ความเป็น electrophile ของเซลล์มะเร็งหมดไป ทำให้ยับยั้งกระบวนการสร้างเซลล์มะเร็งได้ นอกจากนี้แอนโธไซยานินยังเกี่ยวข้องกับ onithine decarboxylase (ODC) ซึ่งเป็น rate limiting enzyme ในการสังเคราะห์ polyminde ซึ่งเป็นรูปแบบที่พบมากในเซลล์ที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วที่พบในส่วนหนึ่งของเซลล์มะเร็ง (ธิติพร, 2547)

4.2 ลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจ (Cardiovascular disease) (CVD)

แอนโธไซยานินจะสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจ cardiovascular disease (CVD) ได้โดยป้องกันการเกิด oxidation ของ plasma LDL ซึ่งถ้า LDL เกิด oxidation ก็จะเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะนำไปสู่การมีไขมันอุดตันตามเส้นเลือดและทำให้เกิด CVD ซึ่ง CVD เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการตายของหญิงและชายสูงอายุในสหรัฐอเมริกา แอนโธไซยานินสามารถลดการเกิดการรวมตัวกันของเกล็ดเลือดในการทดลองในสภาพ *in vitro* และปกป้องหลอดเลือดซึ่งมีประสิทธิภาพเทียบได้กับยาป้องกันโรคหัวใจ ความดันไขมันที่เกาะตามหลอดเลือด (ธิติพร, 2547)

4.3 ช่วยลดความเปราะบางของเส้นเลือดฝอย (Microcirculation)

สารสกัดแอนโธไซยานินช่วยลดความเปราะบางของเส้นเลือดฝอยและช่วยทำให้เส้นเลือดฝอยแข็งแรงขึ้น ทำให้ระบบหมุนเวียนเลือดดีขึ้น นำไปใช้ในการรักษาโรคที่เกิดจาก

เลือดไปเลี้ยงไม่พอ (peripheral vascular disease) จะใช้ได้ทั้งก่อนและหลังผ่าตัด ในคนที่เป็นเส้นเลือดดำโป่งพองและริดสีดวงทวาร (ธิติพร, 2547)

4.4 ช่วยเพิ่มความสามารถในการมองเห็น (Improve Vision)

แอนโธไซยานินจะช่วยทำให้การมองเห็นตอนกลางคืนดีขึ้น ดังนี้

1) ช่วยเพิ่มการสร้าง retina pigment ซึ่งจะสร้างได้น้อยลงในคนที่มีอายุมากขึ้น

2) เพิ่มการไหลเวียนเลือดภายในหลอดเลือดฝอยที่ retina

3) ยับยั้ง Maillard reaction ในเลนส์ตาซึ่งช่วยลดการเกิดต้อกระจกโดยช่วยป้องกันอัตรายจากรังสี UV (ธิติพร, 2547)

5. ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์สารแอนโธไซยานิน

5.1 ผลของแสงต่อการสังเคราะห์สารแอนโธไซยานิน

ปรารถนา (2542) กล่าวว่า แสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืชเนื่องจากแสงมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโต การพัฒนาและการเปลี่ยนแปลงไปทำหน้าที่จำเพาะของเซลล์ รวมทั้งการสังเคราะห์สารแอนโธไซยานินโดยแสงไปมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ phenylanine ammonia-lyase, chalcone synthase และ chalacone isomerase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีผลต่อการสังเคราะห์สารแอนโธไซยานิน (Ozeki and Komamine,1981) ในการเปลี่ยนแปลงปริมาณสี พบว่าถ้ามีการให้แสง จะมีการกระตุ้นการสังเคราะห์ flavonoid ในเซลล์ epidermis และนอกจากนี้ยังพบว่ารูปร่าง ขนาดของเซลล์ยังมีผลต่อการรับแสงด้วย พบว่าคุณสมบัติในการรับแสงของเซลล์ใน vacuole มีผลต่อ pigment ส่วนใหญ่ ผลของแสงจะทำให้มีการสร้างสารแอนโธไซยานินโดยอยู่ระหว่างแสงสีน้ำเงินจนถึงแสงสีม่วง มีความยาวคลื่นแสงประมาณ 650 นาโนเมตร และ 430-480 นาโนเมตร โดยแสงสีน้ำเงินมีผลต่อการสร้างสารแอนโธไซยานินมากที่สุด (Gorton and Vogelmann, 1996) นอกจากนี้ในการสังเคราะห์สารแอนโธไซยานินถูกควบคุมโดยกิจกรรมของเอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase (PAL) ซึ่งเอนไซม์ชนิดนี้มีการเปลี่ยนกลับไปทำงานใหม่โดยแสง แม้ว่า PAL จะไม่ใช่เอนไซม์สำคัญในการสังเคราะห์สารแอนโธไซยานินแต่ก็เป็นตัวควบคุมในกระบวนการนี้ (Siegeman and Hendricks,1957)

5.2 ผลของ pH ต่อการสังเคราะห์สารแอนโธไซยานิน

โดย pH มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์ มีผลต่อการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต การเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร และความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของอาหารเพาะเลี้ยง ในการสังเคราะห์แอนโธไซยานินขึ้นอยู่กับระดับ pH ภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ ภายในเซลล์ได้แก่ pH ในไซโตพลาสซึม และในแวคิวโอล ซึ่งเป็นแหล่ง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

เคลื่อนย้ายและสะสมแอนโธไซยานิน ในวิถีการสังเคราะห์แอนโธไซยานิน มีเอนไซม์หลายตัวต้องการช่วง pH ระหว่าง 6-8 ซึ่งเป็นช่วงที่เอนไซม์ทำงานได้ดีที่สุด

5.3 อิทธิพลของน้ำตาลต่อการสังเคราะห์สารแอนโธไซยานิน

ปริมาณน้ำตาลเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สามารถจำกัดการสะสมแอนโธไซยานิน โดยแสดงผลร่วมกับปัจจัยอื่นๆ ในระหว่างที่ผลไม้สุก และบทบาทของน้ำตาลต่อการสร้างแอนโธไซยานินที่ผิว แอปเปิ้ล พบว่า น้ำตาลซูโครส กลูโคส แลคโตส มอลโตส และฟรุกโตส กระตุ้นการสังเคราะห์สารแอนโธไซยานินโดยไปเพิ่มสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์ในกระบวนการ pentose phosphate phatway (PPP) (Macheix and Fleuriet, 1990) ซึ่ง PPP เริ่มจาก erythrose-4-phosephate รวมตัวกับ phosphoenolpyruvate เข้าสู่ shikimate pathway (Whiting, 1970) โดยน้ำตาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าออสโมติกโพเทลเชียล ค่าความเป็นกรดและด่างในอาหาร Marino *et al.*, (1993, อ้างถึงโดย อัญจนา, 2547) และน้ำตาลยังสนับสนุนการทำงานของยีนในขบวนการสังเคราะห์แอนโธไซยานินด้วย (Hara *et al.*, 2003) ในพืชหลายชนิด พบว่า น้ำตาลซูโครส และน้ำตาลกลูโคสเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรทที่เหมาะสมที่สุด (Staba, 1980) เช่น ในแครอท Narayan and Venkataraman (2002) ได้ศึกษา น้ำตาลทั้งหมด 5 ชนิด คือ น้ำตาลซูโครส กลูโคส กา แลคโตส ฟรุกโตส และมอลโตส ต่อการเกิดแอนโธไซยานิน พบว่า น้ำตาลซูโครสให้ปริมาณแอนโธไซยานินสูงสุด รองลงมาคือน้ำตาลกลูโคส ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันในการเพาะเลี้ยงสตรอบอรี โดย Mori and Sakurai (1994) รายงานว่า น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลซูโครส ส่งเสริมการสังเคราะห์แอนโธไซยานินในการเพาะเลี้ยงสตรอบอรี ทั้งนี้นอกจากน้ำตาลจะเป็นแหล่งพลังงานให้แก่เซลล์แล้วยังสามารถนำไปใช้ในการเติมหมู่น้ำตาลให้กับสาร aglycone ในกระบวนการ glycosylation ซึ่งเป็นปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายของกระบวนการสังเคราะห์แอนโธไซยานิน (Sato *et al.*, 1996) แต่หากเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลลงในอาหารเพาะเลี้ยงมากเกินไป การเจริญเติบโตของเซลล์และการสังเคราะห์แอนโธไซยานินจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากอาหารเพาะเลี้ยงมีปริมาณน้ำตาลมากเกินพอไปขัดขวางกระบวนการเมแทบอลิซึมโดยเกิดภาวะ osmotic effect ทำให้สมดุลของเซลล์เสียไป เมื่อความดันออสโมติกของเซลล์เปลี่ยนไปทำให้อัตราการเคลื่อนย้ายเอนไซม์และสารต่าง ๆ ภายในเซลล์ช้าลงเป็นอุปสรรคต่อกระบวนการสังเคราะห์แอนโธไซยานิน (Mori and Sakurai, 1994; Do and Cormier, 1991)

5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความมีเสถียรภาพของสารแอนโธไซยานินภายหลังจากการเก็บเกี่ยว

ความเสถียรภาพของสารแอนโธไซยานินขึ้นกับปัจจัยภายนอกและภายใน เช่น ชนิดของพืช อุณหภูมิ สภาพความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มแสง คาร์โบไฮเดรต เป็นต้น (Mazza and Miniati, 1993: Fransis, 1989)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 20 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 219679
เลขเรียกหนังสือ

5.5 อิทธิพลของ pH ที่มีผลต่อการเสื่อมสลายของสารแอนโธไซยานิน

โดย pH เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความคงตัวของสารแอนโธไซยานิน เมื่อค่า pH สูงขึ้นจะส่งผลให้สารแอนโธไซยานินเปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้น เนื่องจากเกลือ flavylium จะมีความคงตัวเมื่ออยู่ในสภาพที่เป็นกรดสูงเท่านั้น เกลือ flavylium จะปลดปล่อยโปรตรอนออกมา โปรตรอนจะเคลื่อนที่ไปยัง quinoidal base ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ไม่เสถียร เมื่อเกิดพันธะกับน้ำเป็นสารประกอบไม่มีสีเรียกว่า chomanol นอกจากนี้ระดับสีของแอนโธไซยานินขึ้นอยู่กับ pH ซึ่งถ้าอยู่ในสภาวะที่เป็นกรดจะมีสีแดง และสีจะค่อยเปลี่ยนไปเป็นสีม่วงหรือสีน้ำเงินเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกลางหรือเป็นด่าง (พวงขวัญ และยุทธจักร, 2542) โดยแอนโธไซยานินในกลุ่ม pelargonine ในสารละลาย pH ระหว่าง 1-3 จะมีความเสถียรภาพโดยอยู่ในรูป oxonium ion I จะมีสีแดงเข้ม ถ้า pH สูงขึ้น ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปอยู่ในรูปที่ไม่มีสี โดยในสารละลายที่มี pH สูงกว่า 7 แอนโธไซยานินจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงในรูป anthobase V และสีของแอนโธไซยานินจะจางลงเมื่อ pH ต่ำกว่า 7 เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปของ pseudobase II และ alfa-diketone IV ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ pH มีผลทำให้มีการเปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นสีม่วงสดจนถึงสีน้ำเงินที่ pH 10 และการที่สีเข้มขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอิออนใน anhydrobase VI ในสภาวะที่เป็นด่าง (Mazza and Miniati, 1993) จากการศึกษาสารสกัดแอนโธไซยานินจากผลเบอร์รี่ 4 ชนิด โดยมีค่า pH ที่ต่างกันคือ Berberis *intergerima*, B. *vulgaris*, B. *khorasanica* และ B. *orthobotrys* เก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 84 ชั่วโมง พบว่าสารสกัดเบอร์รี่ 4 ชนิด ในสภาพ pH สูง (pH 3) มีเปอร์เซ็นต์การสลายตัวของสารแอนโธไซยานินสูงสุด คือ 94%, 64%, 81.69% และ 88.94% ตามลำดับ

แอนโธไซยานินในสารละลาย pH อยู่ระหว่าง 1-3 จะมีสภาพเสถียรโดยอยู่ในรูปของ oxonium ion I ซึ่งมีสีแดงเข้ม ถ้า pH สูงขึ้น ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอยู่ในรูปที่ไม่มีสี ในรูปของ pseudobase II ซึ่งต่อมาโครงสร้างนี้มีการเปลี่ยนตัวเองให้สมดุลโดยเปลี่ยนรูปเป็น keto III และสามารถก่อให้เกิดโครงสร้างใหม่เป็น α diketone IV (ring opening) ในสารละลาย pH 3-7 ส่วนสารละลายที่มี pH สูงกว่า 7 แอนโธไซยานินจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงอยู่ในรูป anthobase V สีของแอนโธไซยานินจะเริ่มจางลงที่สภาวะ pH ต่ำกว่า 7 เนื่องมาจากการเปลี่ยนรูปของ pseudobase II และ α diketone IV ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของ pH มีผลทำให้มีการเปลี่ยนสีจากม่วง (purple) และสีม่วงสด (maure) จนถึงสีน้ำเงินที่ pH 10 และการที่สีเข้มข้น เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของอิออนใน anhydrobase VI ในสภาวะที่เป็นด่าง anhydrobase จะอยู่ในรูปที่เสถียร และไม่มีการเปลี่ยนรูปในโครงสร้าง จนกระทั่งที่ pH 12.8 (Mazza and Miniati, 1993; Eskin, 1979)

จากการรายงานของ Morris *et al* (1986) พบว่าในขณะเก็บเกี่ยวองุ่นถ้าอยู่ในสภาพ pH สูงจะทำให้การเก็บน้ำองุ่นมีสีจางลง นอกจากนี้ได้มีการศึกษาในผลสตอเบอร์รี่ โดยนำแยมที่มีสภาพ pH ต่างกัน คือ pH น้อยกว่า 1, pH 1.5, pH 3 พบว่าสารแอนโธไซยานินมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างมากเมื่อ pH สูงขึ้น

นอกจากนี้มีการศึกษาของ Palamadis and Markakis (1975) ถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อความคงตัวของสารแอนโธไซยานินในเครื่องดื่มพบว่าในอุณหภูมิที่เก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็นการเร่งให้สารแอนโธไซยานินที่อยู่ในเครื่องดื่มนั้นสลายตัวเร็วขึ้น

อีกการศึกษาหนึ่งของ (Maccarone *et al.*, 1985) ได้ทำการศึกษาความเสถียรภาพของสารแอนโธไซยานินในน้ำส้มสีแดง ที่ทำการเก็บในสภาพอุณหภูมิที่ต่างกัน คือ 15, 25 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา15 วัน พบว่าให้ผลเช่นเดียวกัน คือ อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งการสลายตัวของสารแอนโธไซยานินเร็วขึ้น

5.6 ผลของแสงที่มีต่อความเสถียรภาพของสารแอนโธไซยานิน

แสงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความคงตัวของสารแอนโธไซยานิน โดยแสงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารแอนโธไซยานิน ในการสกัดสารแอนโธไซยานินจากผลเบอร์รี่ 4 ชนิด ซึ่งเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีสภาพ pH 1.5 เป็นเวลา 84 ชั่วโมง พบว่าในสภาพที่มีแสงมีเปอร์เซ็นต์การสลายตัวของสารแอนโธไซยานินสูงกว่าในสภาพที่ไม่มีแสง

จากผลที่มีต่อความเสถียรของสารแอนโธไซยานินในน้ำองุ่นของ Palamadis และ Markakis (1975) พบว่าแสงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของรงควัตถุอย่างรวดเร็ว หลังจากวางผลไม้ที่มีสารแอนโธไซยานินไว้ในที่มืดเป็นเวลา 135 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่า 30% ของรงควัตถุมีการสลายตัว นอกจากนี้การวางตัวอย่างในสภาพที่ไม่มีแสงพบว่ามีการสลายตัวของรงควัตถุ 50% ของรงควัตถุถูกทำลาย