บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

1. พฤกษศาสตร์ของลำไย

ลำไยจัดเป็นไม้ผลกึ่งเมืองร้อน (subtropical fruit) อยู่ในตระกูล Sapindaceae จำแนกได้ 2 สายพันธุ์ คือ ลำไยต้น มีชื่อวิทยาศาสตร์หลายชื่อ ได้แก่ *Euphoria longana* Lamk., *Dimocarpus longan* Lour. (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542), *E. longan* Sternd หรือ *Nephelium longana* Combess (พาวิน, 2543) เป็นต้น มีชื่อสามัญว่า Longan, Longun, Longyen หรือ Lumkeny ลำไยในกลุ่มนี้จัดเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และอีกสายพันธุ์หนึ่งก็คือ ลำไยเถา มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Euphoria scandens* Winit. Kerr หรือ *Dimocarpus longan* var. obtusus ซึ่งใช้เป็นไม้ประดับหรือไม้กันลม (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

จำนวนโครโมโซม ลำไยมีจำนวนโครโมโซม 2n = 30 (พาวิน, 2543)

ลำต้น มีขนาดลำต้นสูงปานกลางจนถึงขนาดใหญ่ ต้นที่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดมีลำต้นตรง เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่มีความสูง 12-15 เมตร และถ้าหากเป็นต้นที่ขยายพันธุ์ด้วยการตอนกิ่งจะแตกกิ่งก้านสาขาใกล้กับพื้น และถ้าไม่ได้รับการตัดแต่งในขณะที่ต้นยังเล็ก มักแตกลำต้นเทียมกลางต้น ลำต้นที่เกิดขึ้นไม่ค่อยเหยียดตรง มักเอนหรือโค้งงอ เปลือกลำต้นขรุขระมีสีเทาหรือสีเทาปนน้ำตาล แตกเป็นสะเก็ด (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

ใบ เป็นใบรวมที่ประกอบด้วยใบย่อยอยู่บนก้านใบร่วมกัน (pinnately compound leaves) มีปลายใบเป็นคู่ มีใบย่อย 3-5 คู่ ความยาวใบ 20-30 เซนติเมตร ใบย่อยเรียงตัวสลับหรือเกือบตรงข้าม ความกว้างของใบย่อย 3-6 เซนติเมตร ยาว 7-15 เซนติเมตร รูปร่างใบเป็นรูปรีหรือหอก ส่วนปลายใบและฐานใบค่อนข้างป้าน ใบด้านบนมีสีเขียวเข้มกว่า ด้านล่างสากเล็กน้อย ขอบใบเรียบไม่มีหยัก ใบเป็นคลื่นเล็กน้อย และเห็นเส้นแขนง (vein) แตกออกจากเส้นกลางใบชัดเจน และมีจำนวนมาก (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

ช่อดอก ส่วนมากจะเกิดจากตาที่ปลายยอด (terminal bud) บางครั้งอาจเกิดจากตาข้างของกิ่ง ช่อดอกยาว 15-60 เซนติเมตร (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542) มีช่อดอกแบบ panicle และ thryse (วิรัตน์, 2543)

ดอก มีสีขาวหรือขาวอมเหลืองมีขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 6-8 มิลลิเมตร มีกลิ่นหอม ช่อดอกหนึ่งอาจมีดอกทั้ง 3 ชนิด (polygamo-monoecious) ได้แก่ ดอกตัวผู้ (staminate flower)

ดอกตัวเมีย (pistillate flower) และดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) ลักษณะที่คล้ายคลึงกันของดอกทั้ง 3 ชนิด คือ มีกลีบดอกบาง 5 กลีบ สีขาว กลีบเลี้ยงหนาแข็ง 5 กลีบ มีสีเขียวปนน้ำตาล (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

ก. ดอกตัวผู้ มีเกสรตัวผู้ 6-8 อัน เรียงเป็นชั้นเดียวอยู่บนจานรองดอก (disc) ซึ่งมีสีน้ำตาลอ่อนและมีลักษณะอุ้มน้ำ ก้านชูเกสรตัวผู้มีขน เกสรตัวผู้มีความยาวสม่ำเสมอ คือ ยาว 3-5 มิลลิเมตร อับเรณูมี 2 หยัก และเมื่อแตกจะแตกตามยาว (longitudinal dehiscence) (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

ข. ดอกตัวเมีย ประกอบด้วยรังไข่ที่มี 2 พู (bicarpellate) ตั้งอยู่ตรงกลางจานรองดอกเป็นแบบ superior ovary ด้านนอกของรังไข่มีขนปกคลุมอยู่ แต่ละพูมีเพียง 1 ช่อง (locule) เท่านั้น ที่เจริญเติบโตและพัฒนาจนเป็นผล ส่วนอีกพูหนึ่งจะค่อย ๆ ฝ่อ ในบางกรณีอาจพบไข่ในพูทั้งสองเจริญจนเป็นผลได้ เกสรตัวเมียอยู่ตรงกลางระหว่างพู ก้านชูเกสรตัวเมีย (style) ยาวประมาณ 2.5 มิลลิเมตร ตรงปลายยอดเกสร (stigma) แยกออกเป็น 2 แฉก เห็นได้ชัดเมื่อดอกบานเต็มที่ เกสรตัวผู้มีประมาณ 8 อัน ก้านเกสรตัวผู้เป็นแบบ semi-sessile filament สั้นเพียง 1 มิลลิเมตร อับเรณูของเกสรตัวผู้ไม่มีการแตกและละอองเรณูไม่งอก แต่จะค่อย ๆ แห้งตายไปหลังดอกบาน (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

ค. ดอกสมบูรณ์เพศ มีทั้งเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน รังไข่พองเป็นกระเปาะค่อนข้างกลม ขนาดเล็กกว่ารังไข่ของดอกเพศเมีย ยอดเกสรตัวเมียสั้นกว่าและตรงปลายแยกเพียงเล็กน้อยเมื่อดอกบาน ก้านชูอับละอองเรณูของดอกสมบูรณ์เพศมีความยาวไม่สม่ำเสมอกันคือ มีความยาวอยู่ระหว่าง 1.5-3.0 มิลลิเมตร ดอกสมบูรณ์เพศสามารถติดผลได้เช่นเดียวกับดอกตัวเมีย (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

ผล จัดเป็นผลเดี่ยว (วิรัตน์, 2543) มีรูปร่างเป็นทรงกลมหรือเบี้ยว เปลือกสีน้ำตาลปนเหลืองหรือปนเขียว ผลสุกมีเปลือกสีเหลืองหรือสีน้ำตาลอมแดง ผิวเปลือกเรียบหรือเกือบเรียบมีตุ่มแบน ๆ ปกคลุมที่ผิวเปลือกด้านนอก เนื้อลำไยเป็นเนื้อเยื่อพาเรนไคมาที่เจริญล้อมรอบเมล็ด (outer integument) และอยู่ระหว่างเปลือกกับเมล็ด มีสีขาวคล้ายวุ้น มีสีขาวขุ่น ใส หรือสีชมพูเรื่อ ๆ มีกลิ่นหอม รสหวานแตกต่างกันไปตามพันธุ์ (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

เมล็ด มีลักษณะกลมจนถึงกลมแบน เมื่อยังไม่แก่มีสีขาวแล้วค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีดำมัน ส่วนของเมล็ดที่ติดกับขั้วผล (placenta) เป็นเนื้อเยื่อสีขาว ๆ บนเมล็ด placenta นี้จะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ต่างกันไปตามพันธุ์ เมื่อผลแก่จัดถ้ายังไม่เก็บเกี่ยว placenta จะใหญ่ขึ้นเนื่องจาก placenta ดูดอาหารไปเลี้ยงเมล็ด ทำให้เนื้อมีรสชาติจืดลง (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

2. องค์ประกอบทางเคมีของลำไย

จากการศึกษาองค์ประกอบของเนื้อลำไยสดและแห้ง พบว่า ในเนื้อลำไยมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อลำไยสดและแห้ง (พาวิน, 2543 และ ธีรนุช, 2543)

ส่วนประกอบ	เนื้อลำไยสด	เนื้อลำไยแห้ง
ความชื้น (%)	81.10	17.80
ไขมัน (%)	0.11	0.40
เส้นใย (%)	0.28	1.60
โปรตีน (%)	0.97	4.60
เถ้า (%)	0.56	2.86
คาร์โบไฮเดรต (%)	16.98	72.70
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (มก/ก)	184.00	-
- ซูโครส (มก/ก)	72.00	-
- กลูโคส (มก/ก)	22.00	-
- ฟรุกโตส (มก/ก)	28.00	-
ค่าพลังงานความร้อน (กิโลแคลอรี/100 ก)	72.79	311.80
แคลเซียม (มก/100 ก)	5.70	27.70
เหล็ก (มก/100 ก)	0.35	2.39
ฟอสฟอรัส (มก/100 ก)	35.30	159.50
วิตามินซี (มก/100 ก)	69.20	137.80
โซเดียม (มก/100 ก)	-	4.50
โปแตสเซียม (มก/100 ก)	-	2,012.00
ไนอาซีน (มก/100 ก)	-	3.03
กรดแทนโธนิค (มก/100 ก)	-	0.57
วิตามินบี (มก/100 ก)	-	0.375

นอกจากสารดังกล่าวแล้ว เนื้อลำไยยังประกอบด้วยกรดอินทรีย์อีกหลายชนิด เช่น กรดกลูโคมิค กรดมาลิก และกรดซิตริก ฯลฯ รวมทั้งกรดอะมิโนอีก 9 ชนิด และเกลือแร่ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น ทองแดง สังกะสี แมงกานีส เป็นต้น (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

3. ปัจจัยที่ทำให้ลำไยออก

3.1 พันธุ์ ลำไยแต่ละพันธุ์มีความยากง่ายของการออกดอกที่แตกต่างกัน (วิรัตน์, 2543) มีทั้งพันธุ์หนักและพันธุ์เบา ลำไยพันธุ์เบา เช่น พันธุ์อีดอ มีโอกาสที่จะติดดอกได้มากกว่า เพราะมีระยะเวลาในการสะสมอาหารภายในต้นมากกว่าพันธุ์หนักซึ่งฟื้นตัวช้ากว่าพันธุ์เบา (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

3.2 สภาพภูมิอากาศ

3.2.1 อุณหภูมิ ลำไยจะออกดอกได้ดีภายหลังผ่านช่วงระยะเวลาของความหนาวเย็น ซึ่งอาจจะสั้นหรือยาวหลายวัน หรืออาจต่ำมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ที่ใช้ปลูก ว่าเป็นกลุ่มพันธุ์ที่ต้องการความหนาวเย็นสั้น หรือต้องการช่วงความหนาวเย็นที่มีอุณหภูมิที่ต่ำนานมาก พันธุ์ลำไยที่ออกดอกง่ายส่วนใหญ่ต้องการช่วงความหนาวเย็นสั้น และไม่ต้องต่ำมาก เช่น พันธุ์อีดอ และพันธุ์ใบดำ เป็นต้น (วิรัตน์, 2543) โดยทั่วไปแล้วลำไยต้องการอุณหภูมิต่ำประมาณ 10-15 องศาเซลเซียส ระยะเวลาหนึ่ง เพื่อกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาของตาดอก (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

3.2.2 ปริมาณน้ำฝน ลำไยจะออกดอกเมื่ออยู่ในสภาพแล้งภายหลังจากฤดูฝนผ่านพ้นไปแล้ว ดังนั้นในช่วงระหว่างการชักนำให้เกิดการสร้างตาดอก ลำไยจึงไม่ต้องการน้ำแต่อย่างใด จุดที่เกิดภาวะวิกฤติอย่างมากจึงอยู่ในช่วงระหว่างที่ตายอดเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงจากตาใบ (vegetative bud) ไปเป็นตาดอก (flower bud) ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาที่สั้นมาก หากในช่วงดังกล่าวเกิดฝนตกมาในปริมาณค่อนข้างสูง ตายอดที่อยู่ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงเป็นตาดอกก็จะเป็นยอดอ่อนของใบต่อไป (วิรัตน์, 2543)

3.2.3 ความชื้นสัมพัทธ์ ในช่วงระหว่างก่อนการออกดอกความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง โดยสัมพันธ์กับการลดลงของปริมาณน้ำฝนและลมในฤดูหนาวที่แห้งและเย็น รวมทั้งความเร็วลมที่มากขึ้นด้วย ทำให้ความชื้นในดินลดลงส่งผลให้ปริมาณน้ำที่รากพืชจะดูดขึ้นไปใช้ลดลง ขบวนการเมตาโบลิซึม (metabolism) ของการใช้คาร์โบไฮเดรตลดลง การสะสมอาหารจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (วิรัตน์, 2543)

3.2.4 แสงแดด โดยปกติลำไยจะออกดอกที่ปลายยอดบริเวณที่ได้รับแสง ส่วนกิ่งที่ไม่ได้รับแสงจะออกดอกน้อย แสงแดดเกี่ยวข้องกับขบวนการสังเคราะห์แสง ทำให้เพิ่มปริมาณคาร์โบไฮเดรตในต้น ซึ่งพบว่า ก่อนการออกดอกของลำไยปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (total nonstructural carbohydrate, TNC) ในยอดของลำไยจะสูง จากนั้น TNC จะลดลงเมื่อเริ่มแทงช่อดอก และมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จนถึงช่วงของการเก็บเกี่ยว (วิรัตน์, 2543)

3.3 ความชื้นในดิน ในช่วงระหว่างการออกดอกนั้น ความชื้นในดินจะต้องลดต่ำลงถึงระดับหนึ่ง ซึ่งจะทำให้พืชดูดน้ำได้น้อยลงและเป็นการลดอัตราการดูดธาตุไนโตรเจนด้วย เพราะหากพืชดูดไนโตรเจนมากจะส่งเสริมการแตกใบและจะไปลดการออกดอก นอกจากนี้แล้ว ความชื้นต่ำยังมีผลต่อการสร้างฮอร์โมน abscisic acid ซึ่งเป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโต จึงส่งผลลดการเจริญเติบโตทางกิ่งใบ โอกาสที่ลำไยจะออกดอกก็มีมากด้วย (วิรัตน์, 2543) เชื่อกันว่าสภาวะเครียดจากการขาดน้ำ (water stress) จะช่วยส่งเสริมการออกดอกของลำไย โดยจะมีบทบาทร่วมกับการได้รับอุณหภูมิต่ำของต้นลำไย (พาวิน, 2543)

3.4 ความสมบูรณ์ของต้นและใบ โดยทั่วไปลำไยจะต้องมีการแตกใบอ่อนประมาณ 2-3 รุ่น หลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งจะทำให้มีโอกาสสร้างตัวและสะสมอาหารภายในต้นเพื่อที่จะติดดอกออกผลในปีต่อไป (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542) นอกจากนี้แล้วความสมบูรณ์ของต้นยังขึ้นกับการจัดการกับต้นลำไยก่อนการออกดอก เช่น การให้น้ำปุ๋ย ให้ปุ๋ย เพื่อบำรุงต้นให้สมบูรณ์ การป้องกันโรคและแมลง และการตัดแต่งกิ่งหลังการเก็บเกี่ยว เป็นต้น (วิรัตน์, 2543)

3.5 ฮอร์โมนภายในต้น (plant hormones) มีรายงานถึงการศึกษาปริมาณฮอร์โมนที่คาดว่าเกี่ยวข้องกับการออกดอกของลำไย โดย จงรักษ์ (2544) รายงานว่า จิบเบอเรลลินในยอดลำไยพันธุ์ดอมีปริมาณลดลงในช่วงก่อนออกดอก Chen *et al.*(1997) ศึกษาไซโตไคนินที่ยอดลำไยในระยะต่าง ๆ พบว่า ในระยะแตกใบอ่อนมักจะพบไซโตไคนินในรูป zeatin และ zeatin riboside แต่เมื่อตาเข้าสู่ระยะพักตัวจะพบในรูปของ zeatin-*O*-glucoside และ zeatin riboside-*O*-glucoside และเมื่อลำไยเริ่มสร้างตาดอกพบว่าปริมาณของ zeatin-*O*-glucoside และ zeatin riboside-*O*-glucoside ลดลง ในขณะที่ปริมาณของ zeatin, zeatin riboside, isopentnyladenosine (2iPA) และ isopentenyldenine (2iP) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และวันทนา (2543) รายงานว่า ความเข้มข้นของเอทธิลีนในยอดลำไยเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วง 2 สัปดาห์ก่อนออกดอก

4. บทบาทของสารประกอบคลอเรตในพืช

คุณสมบัติของโซเดียมคลอเรต

โซเดียมคลอเรต ($NaClO_3$) เป็นสารที่มีลักษณะเป็นผงสีขาวคล้ายน้ำตาลทรายมีรสเค็ม มีคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นจากบรรยากาศได้ดี มีมวลโมเลกุล 106.44 มีจุดหลอมเหลว 255 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี คือ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีความสามารถละลายน้ำ 1 กิโลกรัมในน้ำ 1 ลิตร เมื่อละลายน้ำโซเดียมคลอเรตจะแตกตัวให้อนุมูลโซเดียมอิออน (Na^+) 21.6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และให้อนุมูลคลอเรตอิออน

(ClO_3^-) 78.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โซเดียมคลอเรตจัดเป็นสารออกซิไดซ์ (oxidizimg agent) สำหรับสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ (organic and inorganic compound) (ธนะชัย, 2542)

คุณสมบัติของโปแตสเซียมคลอเรต

โปแตสเซียมคลอเรต เป็นสารที่มีลักษณะเป็นผงสีขาวคล้ายแป้งแต่ไม่มีความมันวาว ไม่ดูดซับความชื้นจากบรรยากาศ มีมวลโมเลกุล 122.55 มีจุดหลอมเหลว 356 องศาเซลเซียส สามารถละลายได้ 73 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตรที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เมื่อละลายน้ำโปแตสเซียมคลอเรตจะแตกตัวให้อนุมูลโปแตสเซียมอิออน (K^+) 31.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอนุมูลคลอเรตอิออน (ClO_3^-) 68.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ธนะชัย, 2542)

ผลทางสรีรวิทยาของคลอเรตต่อพืช

พืชสามารถดูดซึมอนุมูลคลอเรตได้ทั้งทางใบและราก ซึ่งการเคลื่อนที่จากรากสู่บนต้นนั้นจะเคลื่อนที่ผ่าน xylem ซึ่งเป็นส่วนที่ประกอบด้วยเซลล์ที่ตายแล้ว ทำให้คลอเรตเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ส่วนการเคลื่อนที่จากใบลงสู่ด้านล่างของลำต้นนั้นคลอเรตจะเคลื่อนที่ผ่านทาง cuticle และไปฆ่าเซลล์ที่มีชีวิตใน phloem โดยไม่ต้องรอให้ปากใบเปิด การเคลื่อนที่ผ่านทาง phloem นั้นเป็นไปอย่างช้า ๆ (Klingman, 1961) หลังจากที่คลอเรตเข้าสู่ต้นพืชแล้วคลอเรต (chlorate, ClO_3^-) จะถูกลดรูปเป็นคลอไรต์ (chlorite, ClO_2^-) และไฮโปคลอไรต์ (hypochlorite, ClO^-) ซึ่งทั้งสองต่างก็เป็นพิษต่อเซลล์ของพืช (รวี, 2542)

ผลทางสรีรวิทยาของสารประกอบคลอเรตที่มีต่อต้นพืชพอสรุปได้ดังนี้ คือ

1. เนื่องจากคลอเรตมีความคล้ายคลึงกับไนเตรต (analog) (Deane-Drummond and Glass, 1982) และเป็นคู่แข่งในการจับกับเอนไซม์ไนเตรตรีดักเตส (nitrate reductase, NR) (Harper, 1981) เมื่ออนุมูลคลอเรตเข้าสู่ต้นพืชแล้วจะไปเกาะกับเอนไซม์ไนเตรตรีดักเตสเกิดเป็นอนุมูลคลอไรต์ ซึ่งไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไนเตรตรีดักเตส และเนื่องจากเอนไซม์ไนเตรตรีดักเตสจัดเป็นเอนไซม์กลุ่มที่ถูกสร้างขึ้นโดยการกระตุ้นของสารตั้งต้น (substrate inducible enzyme) ดังนั้น อนุมูลคลอเรตจึงมีส่วนกระตุ้นการสร้างไนเตรตรีดักเตส เอ็ม อาร์ เอ็น เอ (nitrate reductase mRNA) ซึ่งเป็นรหัสทางพันธุกรรมในการสร้างเอนไซม์ไนเตรตรีดักเตสด้วย เมื่อวัดปริมาณของ nitrate reductase mRNA จึงมีเพิ่มขึ้น แต่เมื่อวัดปริมาณของเอนไซม์ไนเตรตรีดักเตสกลับพบว่าไม่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย (La Brie *et al.*, 1991)

2. ลดการทำงานของเอนไซม์แคตตาเลส (catalase) ทำให้มีการสะสมของสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H_2O_2) ภายในเซลล์เพิ่มขึ้น (Audus, 1976) หากพืชมีการสะสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากขึ้นจะเป็นพิษต่อพืช (Klingman, 1961)

3. คลอเรตความเข้มข้นต่ำ เพียง 0.01 M (โมล่าร์) สามารถทำให้เซลล์พืชฝ่อได้เนื่องจากการสูญเสียน้ำ (Plasmolysis) (Audus, 1976)

4. กระตุ้นให้พืชมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นชั่วคราว ทำให้อาหารสะสมภายในต้นพืชลดลง (Klingman, 1961)

5. ทำให้การกลไกการไหลเวียนภายในเซลล์ลดลง (La brie *et al.*, 1991)

6. ทำให้พืชอ่อนแอต่อการเกิดความเสียหายจากน้ำค้างแข็ง (frost) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากต้นที่ได้รับคลอเรตอยู่ในสภาพที่อ่อนแอมากกว่าปกติ จึงทำให้อ่อนแอต่อความเย็นเพิ่มขึ้นซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการลดลงของอาหารสำรองในต้นพืช (Klingman, 1961)

7. คลอเรตทำให้พืชแสดงอาการแผ่นใบเหลืองระหว่างเส้นใบ (interveinal chlorosis) ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง (Harper, 1981)

8. คลอเรตสามารถกระตุ้นการออกดอกของต้นลำไยได้ แต่ยังไม่ทราบกลไกการทำงานของคลอเรตในกิจกรรมดังกล่าว (ธนะชัย, 2542)

5. สารประกอบคลอเรตกับการออกดอกของลำไย

การใช้โปแตสเซียมคลอเรตหรือโซเดียมคลอเรตในการกระตุ้นให้ลำไยออกดอกนั้น อนุมูลคลอเรต (ClO^-_3) เป็นตัวไปกระตุ้นการออกดอกของลำไยมิใช่ในส่วนของโปแตสเซียมอิออน (K^+) หรือโซเดียมอิออน (Na^+) (ธนะชัย, 2542) นอกจากสารประกอบคลอเรตแล้ว ยังพบว่าสารอื่นสามารถกระตุ้นการออกดอกของลำไยได้เช่นกัน โดย สันติ และคณะ (2542) รายงานว่า ทั้งโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ก็สามารถชักนำการออกดอกของลำไยได้

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของสารประกอบคลอเรตในต้นลำไย (ธนะชัย, 2542)

1) พันธุ์ของลำไย พบว่า พันธุ์อีดอ แห้ว และสีชมพู มีความไวต่อการตอบสนองต่อสารประกอบคลอเรตเพิ่มขึ้นตามลำดับ

2) ช่วงของการเจริญเติบโตของต้นพืช การให้สารประกอบคลอเรตแก่ต้นลำไยในระยะแตกใบอ่อน จะทำให้ลำไยจะออกดอกน้อยกว่าการให้สารแก่ต้นลำไยที่อยู่ในระยะใบแก่ ส่วนการให้สารประกอบคลอเรตแก่ต้นกล้าลำไยอายุ 1 ปี ที่ได้จากการเพาะเมล็ด พบว่า

ไม่สามารถกระตุ้นให้ต้นกล้าออกดอกได้ ในขณะที่การให้สารประกอบคลอเรตในปริมาณเท่ากันแก่ต้นกิ่งตอนอายุ 1 ปี สามารถกระตุ้นให้ลำไยออกดอกได้

3) ความสมบูรณ์ของพืช การให้สารประกอบคลอเรตแก่ต้นลำไยที่มีสภาพสมบูรณ์จะสามารถชักนำให้ออกดอกได้มากกว่าต้นลำไยที่ไม่สมบูรณ์

4) ปริมาณและความเข้มของแสง แสงเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมการทำงานของสารประกอบคลอเรตภายในต้นพืช

5) ชนิดของดิน ในกรณีที่ให้สารประกอบคลอเรตทางดินแก่พืช ชนิดของดินมีผลอย่างมากในแง่ของการชะล้างของสารประกอบคลอเรต และระยะเวลาที่สารตกค้างในดิน โดยสารประกอบคลอเรตสามารถตกค้างในดินเหนียวได้นานกว่าดินร่วนหรือดินทราย

6) ความอุดมสมบูรณ์ของดิน การทำงานของสารประกอบคลอเรตจะเพิ่มขึ้นในดินที่เป็นกรด ส่วนในดินที่มีอินทรียวัตถุ และสารประกอบไนเตรตสูง การดูดซึมสารประกอบคลอเรตของรากพืชลดลง เพราะสารประกอบคลอเรตส่วนหนึ่งทำปฏิกิริยากับอินทรียวัตถุในดินและไนเตรตอิออน ซึ่งเป็นคู่แข่งในการดูดซึมคลอเรตอิออนของราก

7) ปริมาณน้ำฝนหรือการให้น้ำแก่ต้นพืช ปริมาณน้ำฝนมีผลอย่างมากต่อการชะล้างสารประกอบคลอเรตในดิน โดยพบว่า ต้นลำไยที่ได้รับสารประกอบคลเรตจะอ่อนไหวต่ออาการขาดน้ำมากกว่าต้นที่ไม่ได้รับสารประกอบคลอเรต นอกจากนี้ต้นลำไยที่ได้รับสารประกอบคลอเรตไม่นานยังอ่อนแอต่อสภาพน้ำท่วมขังมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากการที่รากเก่าถูกทำลายไป และยังไม่สามารถสร้างรากใหม่ขึ้นมาทดแทนได้ทัน

8) จุลินทรีย์ในดิน จุลินทรีย์ในดินบางชนิดมีความสามารถในการย่อยสลายสารประกอบคลอเรตในดิน นอกจากนั้นถ้าอุณหภูมิของดินสูงก็จะส่งเสริมการทำงานของจุลินทรีย์ในดินด้วย

9) วิธีการให้สารประกอบคลอเรตแก่ต้นพืช การให้สารประกอบคลอเรตแก่ต้นลำไยโดยการฉีดเข้าที่ลำต้น พบว่าสามารถกระตุ้นการออกดอกได้เฉพาะกิ่งที่ได้รับสารเท่านั้น ซึ่งอาจเป็นเพราะสารประกอบคลอเรตไม่เคลื่อนย้ายไปสู่กิ่งอื่น ส่วนการให้สารประกอบคลอเรตทางดินจะสามารถกระตุ้นการออกดอกของต้นลำไยได้ทั้งต้น แม้ว่าจะใส่สารเพียงด้านเดียวของต้นพืชก็ตาม

10) ช่วงเวลาในการให้สารประกอบคลอเรต ฤดูกาลมีผลต่อการตอบสนองของต้นลำไยต่อสารประกอบคลอเรต โดยพบว่า การให้สารประกอบคลอเรตในช่วงฤดูฝนจะทำให้เปอร์เซ็นต์การออกดอกของต้นลำไยน้อยกว่าการให้สารในฤดูอื่น เพราะในฤดูฝนมีเมฆมากทำให้ต้นลำไยได้รับแสงแดดน้อย ประสิทธิภาพการทำงานของคลอเรตจึงลดลง

อาการของต้นลำไยที่ได้รับสารประกอบคลอเรต (ธนะชัย, 2542)

ต้นลำไยที่ได้รับสารประกอบคลอเรตในปริมาณมากอาจแสดงอาการความเป็นพิษของคลอเรตได้ในลักษณะต่าง ๆ กัน ตามวิธีการที่ได้รับสารและความเข้มข้นของสารที่ได้รับ อาการเริ่มต้นภายหลังจากการได้รับสารประกอบคลอเรต คือ อาการทางราก พบว่ารากจะถูกทำลาย แห้ง กรอบ ผิวร่อนเป็นแผ่น อาการทางใบได้แก่ ใบเหลือง ใบไหม้ ใบมีสีน้ำตาล ใบเหี่ยว และใบร่วง อาการที่ตา พบว่าตาจะแห้งตาย ถ้าต้นพืชได้รับสารประกอบคลอเรตในปริมาณที่สูงมาก ต้นจะยืนต้นตาย โดยใบจะยังไม่ร่วง เนื่องจากเซลล์เนื้อเยื่อพืชตายก่อนที่จะสร้างชั้นของเซลล์ที่ทำให้เกิดการร่วงของใบขึ้น ซึ่งเรียกชั้นของเซลล์นี้ว่า ชั้นแอบซิสชั่น (abscission layer) ดังนั้นใบจึงไม่ร่วงจากต้น เมื่อผ่าลำต้นของต้นที่ตายแล้ว พบว่า ลำต้นในส่วนของท่อน้ำมีอาการเป็นรอยไหม้สีน้ำตาล–ดำ ในกรณีที่รุนแรงใบของลำไยอาจร่วงจนหมดต้น แต่ต้นลำไยก็สามารถแตกใบอ่อนออกมาได้ใหม่ในภายหลัง นอกจากนั้นแล้วต้นลำไยที่ได้รับสารประกอบคลอเรตจะอ่อนแอต่อน้ำท่วมรากมากกว่าต้นลำไยที่ไม่ได้รับสารประกอบคลอเรต ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากการที่สารประกอบคลอเรตมีฤทธิ์ในการทำลายรากของต้นลำไย หลังจากนั้นต้นลำไยจะมีการสร้างรากใหม่ขึ้นมาทดแทน ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยช่วงเวลาระยะหนึ่ง ถ้าหากว่าเกิดภาวะน้ำท่วมต้นลำไยจะไม่สามารถสร้างรากใหม่มาทดแทนรากเก่าได้ อีกสาเหตุหนึ่งก็คือ ในสภาวะน้ำท่วมรากนั้นต้นลำไยจะอยู่ในสภาวะขาดน้ำ เนื่องจากการปิดของปากใบทำให้ระบบการคายน้ำของใบลำไยหยุดไปด้วย ซึ่งเป็นผลทำให้รากไม่สามารถดูดน้ำขึ้นไปเลี้ยงส่วนลำต้นและใบได้อย่างเพียงพอ ความเป็นพิษของสารประกอบคลอเรตในส่วนของใบและยอดจึงเพิ่มมากขึ้น เพราะในสภาวะขาดน้ำดังกล่าวทำให้ความเข้มข้นของสารประกอบคลอเรตในชิ้นส่วนของพืชเพิ่มขึ้นด้วย ต้นลำไยที่ได้รับสารประกอบคลอเรตจึงอาจตายได้

6. ความเป็นพิษของสารประกอบคลอเรตและอนุพันธ์

6.1 ความเป็นพิษต่อมนุษย์

สารประกอบคลอเรตเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ ผิวหนัง และตา โดยจะทำให้เกิดความระคายเคืองต่อเยื่อเมือกของทางเดินหายใจ ผิวหนังอ่อนและตา (ธนะชัย, 2542) หากมนุษย์รับสารประกอบคลอเรตเข้าสู่ร่างกาย จะทำให้ผู้ป่วยเกิดอาการกระเพาะอาหารอักเสบ โดยผู้ป่วยจะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน และปวดท้อง หลังจากนั้นผู้ป่วยจะขาดออกซิเจน ซึ่งจะแสดงอาการ คือ ผิวหนังเปลี่ยนเป็นสีเขียว (น้ำเงิน) หมดสติ และชัก อาการขั้นที่สอง คือ เลือดมีการสร้างเมทธิโมโกลบิน (methemoglobin) ซึ่งเกิดจากการที่ฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับคลอเรต และอาจทำให้เกิดไตอักเสบได้ โดยผู้ป่วยจะมีอาการปวดที่บั้นเอว

นอกจากนั้นแล้วผู้ป่วยยังมีความผิดปกติ คือ ความดันโลหิตต่ำลง จังหวะการเต้นของหัวใจผิดปกติ ตับและม้ามโตและนิ่ม ปัสสาวะมีสีน้ำตาลหรือดำ เมื่อตรวจเลือดจะพบว่ามีจำนวนเม็ดโลหิตแดงต่ำมากและเม็ดโลหิตขาวสูง อาการดังกล่าวอาจแสดงภายใน 12 ชั่วโมง หลังจากรับประทานสารประกอบคลอเรต ส่วนการตายอาจเกิดภายหลังการรับประทานสารประกอบคลอเรต 4 ถึง 34 วัน อาการเกิดพิษจากสารประกอบคลอเรตดังกล่าวนั้นจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อรับประทานสารประกอบคลอเรตเข้าไปเป็นจำนวนมาก โดยหากได้รับสารประกอบคลอเรต 10 กรัม จะทำให้เกิดพิษ และหากได้รับสารประกอบคลอเรต 15-20 กรัม จะทำให้เสียชีวิตได้ อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่าสามารถช่วยเหลือผู้ป่วยที่บริโภคสารประกอบคลอเรตเข้าไป 40 กรัม ให้รอดชีวิตได้ (Hays and Laws, 1991)

6.2 ความเป็นพิษต่อสัตว์ทดลอง

ความเป็นพิษของโซเดียมคลอเรตต่อสัตว์ทดลองเมื่อให้ทางปาก มีค่า LD_{50} ในหนู 1,200 มก/กก ในกระต่าย 7,000 มก/กก และในสุนัข 700 มก/กก และความเป็นพิษของโปแตสเซียมคลอเรตต่อสัตว์ทดลองเมื่อให้ทางปาก ในหนูมีค่า LD_{50} 1,870 มก/กก ในกระต่าย 2,000 มก/กก และในหมู 419 มก/กก (อนันต์, 2542)

ความเป็นพิษของโซเดียมคลอไรต์ต่อสัตว์ทดลองเมื่อให้ทางปาก มีค่า LD_{50} ในหนู 165 มก/กก (Aldrich Chemical Co., Inc.,1997) ในเป็ดป่า 490-1,000 มก/กก และในนกกระทา 660 มก/กก ส่วนความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ มีค่า LC_{50} ในปลา Bluegill 265-310 มก/ล และในปลา Rainbow 290 มก/ล (Saf-T-Chlor, Nodate)

ความเป็นพิษของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ต่อหนูเมื่อให้ทางปาก มีค่า LD_{50} 5,800 มก/กก (Lewis, 1996)

ความเป็นพิษของโซเดียมคลอไรด์ต่อสัตว์ทดลองเมื่อให้ทางปาก มีค่า LD_{50} ในหนู 4,000 มก/กก และกระต่าย 8,000 มก/กก (Salt institute, Nodate) และความเป็นพิษของโปแตสเซียมคลอไรด์ในหนูเผือกพันธุ์ Wistar ที่ได้รับทางปาก มีค่า LD_{50} ประมาณ 3,200 มก/กก (Expert Group on Vitamins and Minerals Secretariat, 2001)

7. ความสัมพันธ์ระหว่างธาตุโปแตสเซียมกับร่างกายมนุษย์

7.1 บทบาทของธาตุโปแตสเซียม

โปแตสเซียมมีบทบาทสำคัญต่อการรักษาสมดุลของอิเลคโตรไลต์ (electrolyte) ภายในเซลล์ร่างกายมนุษย์ โดยจะมีเอนไซม์อะดีโนซีนไตรฟอสฟาเตส (adenosine triphosphatase) เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่เข้า-ออกของโปแตสเซียมภายในเซลล์ และมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในรูปไกลโคเจน เพื่อเก็บสะสมไว้ที่กล้ามเนื้อและตับ นอกจากนี้แล้วโปแตสเซียมยังมีบทบาทในการควบคุมการเต้นของหัวใจ การหดตัวของกล้ามเนื้อ และการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารเข้าสู่เซลล์ การรักษาปริมาณน้ำในเซลล์และเนื้อเยื่อในร่างกายให้สมดุล และควบคุมการทำงานของเซลล์ประสาท เซลล์หัวใจ เซลล์กล้ามเนื้อ ไต และการขับของเหลวออกจากท้อง (Griffith, 2000)

จากงานวิจัยพบว่า สัดส่วนของการรับประทานโปแตสเซียมต่อโซเดียมมีความสำคัญกว่าปริมาณที่ได้รับ โดย American Heart Association ให้ความเห็นว่า ควรได้รับโปแตสเซียมต่อโซเดียม ในอัตรา 1 ต่อ 1 หรือในสัดส่วนเท่า ๆ กัน การได้รับโปแตสเซียมในปริมาณน้อย และโซเดียมในปริมาณมากอาจเป็นสาเหตุของโรคความดันโลหิตสูง ส่วนนักกีฬาก็ควรได้รับโปแตสเซียมมากขึ้นเพื่อไปทดแทนการสูญเสียโปแตสเซียมจากกล้ามเนื้อในระหว่างออกกำลังกายและจากเหงื่อ การได้รับโปแตสเซียมในปริมาณน้อยอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดตะคริวและความผิดปกติเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือดหัวใจ (Anderson and Endo, 1998)

7.2 ความเป็นพิษของธาตุโปแตสเซียม (Expert Group on Vitamins and Minerals Secretariat, 2001)

หากมนุษย์ได้รับโปแตสเซียมเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากจะแสดงอาการคือ เหงื่อออกมาก หายใจช้าลง แน่นหน้าอก วิงเวียนศรีษะ อาเจียน และท้องร่วง หลังจากนั้นกระเพาะอาหารจะขยายตัวและเกิดการอักเสบ เยื่อบุกระเพาะอาหารจะตายและลอกคราบ นอกจากนี้ยังพบว่าอาการหัวใจห้องล่างซ้ายล้มเหลว ทำให้เกิดอาการขาดออกซิเจน ร่างกายจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว (น้ำเงิน) และอาการจะลามไปยังปอด ทำให้ปอดเกิดการฉีกขาด

จากการศึกษาในสัตว์ทดลอง พบว่า ในลูกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่มีน้ำหนักตัวประมาณ 260 กิโลกรัม ที่ได้รับโปแตสเซียมทางปากในอัตราต่าง ๆ นั้น สามในห้าของสัตว์ที่ได้รับ 1,700 มก โปแตสเซียม/กก สามในสี่ของสัตว์ที่ได้รับ 2,300 มก โปแตสเซียม/กก และตัวที่ได้รับ 2,880 มก โปแตสเซียม/กก ทั้งหมด เสียชีวิต

การศึกษาในหนู Sprague Dawley ที่มีน้ำหนักตัว 150-200 กรัม พบว่า หากหนูได้รับโปแตสเซียม 256 mEq/กก ทำให้หนูตายขดรึ่งหนึ่ง ส่วนในหนูเผือกพันธุ์ Wistar ที่ได้รับโปแตสเซียมคลอไรด์จากการให้ทางปากนั้น มีค่า LD_{50} ประมาณ 3,200 มก/กก นอกจากนั้นยังพบว่าหนูที่ได้รับโปแตสเซียมโบรเมตจากการให้ทางปากในอัตรา 1,200 มก/กก จะทำให้หนูตายทั้งหมด และหากหนูได้รับในอัตรา 600 มก/กก จะทำให้หนูตายสี่ในห้า ภายในเวลา 24 ชั่วโมง

การศึกษาในสุนัข พบว่า หากสุนัขได้รับโปแตสเซียมไอโอเดตจากการให้ทางปากในอัตราขั้นต่ำ 200-250 มก/กก จะทำให้เสียชีวิตได้

8. การรมลำไยด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide, SO_2)

เนื่องจากลำไยเป็นผลไม้ที่ปริมาณน้ำตาลสูงมาก ทำให้ผลลำไยสดมีอายุการเก็บรักษาสั้นด้วยเหตุที่น้ำตาลเป็นอาหารชั้นเยี่ยมแก่เชื้อโรคต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อโรคหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของลำไยให้นานขึ้น ซึ่งการรมลำไยด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก็เป็นวิธีการหนึ่งที่เป็นที่นิยมมากที่สุด เพราะวิธีนี้จะทำให้ลำไยมีสีเหลืองสวย และมีอายุการเก็บรักษาที่นานถึง 4-6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 0-2 องศาเซลเซียส (ธีรนุช, 2543)

คุณสมบัติของซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 64.06 และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีน้ำหนักเท่ากับ 2.618 มิลลิกรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) เท่ากับ 2.262 ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส สามารถอยู่ในรูปของก๊าซและของเหลว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดัน เมื่ออยู่ในบรรยากาศปกติซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะอยู่ในรูปของก๊าซที่ไม่มีสี ไม่ติดไฟ มีกลิ่นฉุน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในรูปของก๊าซสามารถเปลี่ยนสถานะไปเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในรูปของเหลวได้ เมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำกว่า –10.1 องศาเซลเซียส หรือเมื่อเพิ่มความดันของก๊าซที่ระดับ 2.5 atm ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่อยู่ในสถานะของเหลวจะมีลักษณะเป็นของเหลวที่ไม่มีสี มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.434 ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ดังนั้น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในรูปของเหลว 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จึงสามารถเปลี่ยนสถานะไปเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในรูปของก๊าซได้ประมาณ 0.5 ลิตร (สดศรี, 2535)

บทบาทของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอาหาร

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide, SO_2) เป็นสารเคมีกันเสีย (preservative) ซึ่งถูกจัดอยู่ในกลุ่มสารเจือปน (food additive) ในอาหารชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการถนอมอาหาร (ลักขณา, 2535) ซึ่งมีบทบาทในอาหารดังนี้

1. ควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็น inorganic microbial antagonist ซึ่งมีผลต่อสปอร์ของรา แบคทีเรียและยีสต์ โดยจะมีประสิทธิภาพสูงเมื่ออยู่ในสภาวะอิสระที่ไม่ได้แตกตัวออกเป็นอิออน (undissociate form) เท่านั้น และความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของอาหารที่ใช้ก็มีความสำคัญมาก (ลักขณา, 2535) ถ้าอาหารมีค่า pH ต่ำหรือสูงมาก ๆ จะทำให้มีประสิทธิภาพในการควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อสูง แต่หากอาหารมีค่า pH = 7 หรืออยู่ในสภาวะเป็นกลางซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะไม่มีผลแต่อย่างใด (เพ็ญศรี และคณะ, 2541) เพราะจุลินทรีย์มากมายสามารถทนทานต่อซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ดี (ลักขณา, 2535) และหากอาหารมีน้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบ (หรืออัลดีไฮด์อื่น ๆ) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะไปรวมกับน้ำตาลกลูโคสนั้นจะกลายเป็นซัลโฟเนต ซึ่งไม่มีฤทธิ์ต่อจุลินทรีย์

2. ยับยั้งปฏิกิริยาการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ และไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ โดยที่ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์นี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นกับผักและผลไม้สด ซึ่งเมื่อถูกหั่นหรือตัดและพื้นผิวสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น เปลี่ยน phenolic compound ซึ่งไม่มีสีไปเป็นสารที่มีสี ทำให้อาการมีสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ เช่น phenolase, tyrosinase, catecholase, phenoloxidase และ ascorbinase เป็นต้น ส่วนปฏิกิริยาที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์นั้น หากอาหารต้องผ่านกรรมวิธีที่ใช้ความร้อน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะไปรวมตัวกับน้ำตาลหรือโปรตีน ทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดจากการรวมตัวของน้ำตาลกับโปรตีน (เพ็ญศรี และคณะ, 2541)

3. เนื่องจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีคุณสมบัติเป็น antioxidant และ reducing agent ทำให้มีบทบาทในการป้องกันการสูญเสียวิตามินซีในผักและผลไม้ ป้องกันการเหม็นหืนของไขมัน (เพ็ญศรี และคณะ, 2541) และเป็นสารฟอกสี (bleaching) (สดศรี, 2535)

ความเป็นพิษของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Toxicity of sulfur dioxide)

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นก๊าซที่มีฤทธิ์เป็นกรด (สดศรี, 2535) สามารถกัดกร่อน (corosive gas) และเป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ หากได้รับความเข้มข้น 8 ส่วนต่อล้าน (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542) มนุษย์สามารถทนอยู่ในสภาวะที่มีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้นานหลายชั่วโมงที่ความเข้มข้นสูงสุด 10 ส่วนต่อล้าน โดยไม่ก่อให้เกิดการระคาย

โดยปริมาณความเข้มข้นที่ทำให้เกิดการระคายเคืองตาเท่ากับ 20 ส่วนต่อล้าน นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า ถ้าบรรยากาศมีซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 200 ส่วนต่อล้าน (0.02 เปอร์เซ็นต์) หากได้รับนานเกินกว่า 1 นาที จะมีผลทำให้ตา เยื่อบุจมูก คอหอย ปอด เป็นอันตรายได้ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า ถ้าในบรรยากาศมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 500 ส่วนต่อล้าน (0.05 เปอร์เซ็นต์) จะเป็นอันตรายต่อคน ถ้าสูดดมนานกว่า 30-60 นาที ถ้าในบรรยากาศมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกินกว่า 1,000-2,000 ส่วนต่อล้าน (0.1-0.2 เปอร์เซ็นต์) จะทำอันตรายถึงตายได้ (สดศรี, 2535) ส่วนอาการเกิดพิษในผู้ป่วยนั้น ผู้ป่วยจะแสดงอาการหายใจติดขัดเจ็บหน้าอก ปวดท้อง เวียนศรีษะ คลื่นไส้ อาเจียน อุจจาระร่วง เป็นลมพิษ ปวดศรีษะ อ่อนเพลีย ความดันโลหิตต่ำ การได้ยินเสื่อม และโลหิตจาง ในผู้ป่วยที่เกิดอาการอย่างรุนแรงจะปรากฏอาการช็อค หมดสติและเสียชีวิต โดยเฉพาะผู้ป่วยที่เป็นโรคหืด (เพ็ญศรี และคณะ, 2541)

ดังนั้น การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับอาหารจึงต้องระมัดระวังในเรื่องของอัตราความเข้มข้น ระยะเวลาที่ใช้ ตลอดจนเทคนิคการใช้งาน เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน หรือเกิดผลตกค้างในผลิตภัณฑ์อาหารในระดับที่สูงจนเกินไป อย่างไรก็ตาม องค์การอนามัยโลก (FAO/WHO) ได้กำหนดค่า ADI (Acceptable Daily Intake) ของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไว้ที่ระดับ 0.7 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม/วัน (สดศรี, 2535)

สำหรับปริมาณที่อนุญาตให้ใช้ได้ในอาหารนั้น ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 นั้น อนุญาตให้ใช้ sulfurous acid หรือ sodium metabisulfite หรือ potassium metabisulfite หรือ sodium bisulfite หรือ potassium metabisulfite หรือ sulfur dioxide โดยคิดคำนวณเป็น sulfur dioxide โดยอนุญาตให้ใช้ในผลไม้แห้งและผักแห้งได้ในปริมาณสูงสุดไม่เกิน 2,500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในอาหารชนิดอื่นเว้นแต่เนื้อสัตว์และน้ำตาลทรายดิบได้ในปริมาณสูงสุดไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ศิวาพร, 2529) นอกจากนั้น บางประเทศยังกำหนดปริมาณสูงสุดของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอาหารที่ยอมให้ตรวจพบดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณสูงสุดของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ยอมให้ตรวจพบ (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2542)

ประเทศ	ปริมาณสูงสุดของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ยอมให้ตรวจพบ (ส่วนต่อล้าน)
สิงคโปร์	0 (ในเนื้อผลไม้สด)
ฮ่องกง	0 (ในเนื้อผลไม้) และ
	350 (ในเปลือกผลไม้)
มาเลเซีย	0
แคนาดา	0
เนเธอร์แลนด์	0 (ในเนื้อผลไม้) และ
	100 (ในเปลือกผลไม้) โดยจากต้นทางไม่เกิน 300
สหราชอาณาจักร	0 (อนุญาตให้ตรวจพบในองุ่นสดได้ไม่เกิน 15)
ฝรั่งเศส	30 (ในลิ้นจี่สด)
สหรัฐอเมริกา	10 (ในองุ่นสด)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University