

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

พริก

พริก เป็นพืชที่มีแหล่งกำเนิดในอเมริกาใต้ โดยเชื่อว่า *Capsicum annuum* มีแหล่งกำเนิดอยู่ในเม็กซิโก ขณะที่อีก 4 ชนิด (species) พบโดยทั่วไปในอเมริกาใต้ โดยชนอินเดียนพื้นเมืองรู้จักนำมาปรุงแต่งรสชาติอาหารมานานกว่า 7,000 ปี ก่อนคริสตกาล และเริ่มปลูกพริกใช้เองเมื่อประมาณ 5,200-3,400 ปีก่อนคริสตกาล (Heiser, 1969) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ มนุษย์ใช้ประโยชน์จากพริกในด้านการเป็นพืชเครื่องเทศนานกว่า 9,000 ปี และรู้จักเพาะปลูกนานกว่า 7,000 ปีแล้ว และเมื่อประมาณ 500 ปีที่ผ่านมา (ค.ศ. 1492) โคลัมบัสได้ค้นพบพืชนี้ ในการเดินทางค้นหาแหล่งผลิตพริกไทย จึงตั้งชื่อว่า peppers (ซึ่งต่อมาเปลี่ยนเป็น *Capsicum peppers* เพื่อลดความสับสน) และนำไปปลูกในสเปนและยุโรป โดยชนิดที่ถูกเผยแพร่ออกไปมากที่สุดคือ *Capsicum annuum* และ *Capsicum frutescens* ขณะที่ *Capsicum* อีก 3 ชนิด (species) ไม่ได้รับความนิยม และมีความสำคัญทางเศรษฐกิจในระดับนานาชาติน้อยกว่า *Capsicum annuum* และ *Capsicum frutescens* มาก จึงเพาะปลูกแพร่หลายอยู่เฉพาะในแหล่งกำเนิดเท่านั้น

ก่อนหน้าปี ค.ศ. 1542 พริกถูกนำไปเผยแพร่ในแอฟริกาและเอเชียจนได้รับความนิยมบริโภคมาก โดยแอฟริกาและเอเชียมีการพัฒนาพันธุ์ที่มุ่งเน้นรสชาติความเผ็ด ในขณะที่การพัฒนาพันธุ์พริกในยุโรปและอเมริกาจะเน้นสีมากกว่า ในปี ค.ศ. 1542 มีรายงานการค้นพบพริกในอินเดีย 3 ชนิด และในปี ค.ศ. 1548 มีการนำพริกไปปลูกในอังกฤษ ต่อมาราวปี ค.ศ. 1700 มีรายงานการปลูกพริกในประเทศจีน การกระจายพันธุ์ของพริกดังกล่าวเกิดจากคนแต่เชื่อกันว่า “นก” อาจเป็นพาหะสำคัญในการกระจายพันธุ์ของพริกได้เช่นกัน เพราะเมล็ดพริกสามารถคงความงอกได้ดีมาก และยิ่งงอกได้ดีแม้ผ่านระบบย่อยอาหารของนกแล้วก็ตาม นอกจากนี้พริกยังเป็นพืชที่มีโอกาสผสมข้ามพันธุ์ได้ง่าย จึงทำให้มีความหลากหลายของสายพันธุ์มากทั้งที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ และที่มีการผสมพันธุ์เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณลักษณะจำเพาะ เช่น ในกรณีของพริกยักษ์ที่นำมารับประทานเป็นผัก มีผลขนาดใหญ่ สีน้ำตาล เช่น สีแดง สีเหลือง สีเขียว และสีม่วง ไม่เน้นรสชาติเผ็ด ในขณะที่ผลพริกในกลุ่ม *Capsicum frutescens* จะมีปริมาณสาร capsaicin ที่ให้รสเผ็ดจำนวนมากเพื่อนำไปทำเป็นเครื่องเทศหรือใช้เป็นวัตถุดิบสกัดสาร capsaicin เพื่อใช้ทำเป็นยา เป็นต้น

ความสำคัญทางเศรษฐกิจของพริกในประเทศไทย (พิทยา, 2551)

ถึงแม้จะไม่ใช่พืชที่มีแหล่งกำเนิดในประเทศไทย แต่พริกก็เป็นพืชที่มีประวัติการใช้ประโยชน์ในอาหารไทยและยาพื้นบ้านมานาน และแพร่หลายในทุกภาคของประเทศ ดังนั้นจึงเป็นพืชเครื่องเทศที่คนไทยบริโภคทุกวัน ทำให้พริกมีความสำคัญทางเศรษฐกิจตั้งแต่ระดับครัวเรือน ระดับตลาดชุมชนท้องถิ่น จนถึงระดับการส่งออก ปัจจุบันไม่มีสถิติการเพาะปลูก และปริมาณผลผลิตรวมทั้งมูลค่าของพริกในประเทศไทยที่ชัดเจน แต่ในกรณีของการส่งออก ประเทศไทยนับเป็นผู้ส่งออกหลักรายหนึ่งในตลาดโลก โดยในปี พ.ศ. 2546 ประเทศไทยส่งพริกแห้งออกจำหน่ายได้ 548 ตัน มูลค่าประมาณ 57 ล้านบาท และเพิ่มมากขึ้นเกือบเท่าตัวเป็น 1,081 ตัน มูลค่าประมาณ 73 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2547 แม้จะส่งออกได้มากพอสมควร แต่ก็ต้องนำเข้าพริกแห้งจากต่างประเทศ ปีละ 151 ตัน และ 26 ตัน ในปี พ.ศ. 2546 และ พ.ศ. 2547 ตามลำดับ ทำให้สูญเสียเงินตราออกนอกประเทศ 459 และ 615 ล้านบาท ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในรายละเอียดไทยนำเข้าพริกแห้งที่มีรสเผ็ดน้อย แต่มีสีเข้มเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ในขณะที่เราส่งออกพริกแห้งที่มีรสชาติเผ็ด เช่น พริกขี้หนูพันธุ์จินดา และพริกขี้หนูพันธุ์ห้วยสีทน เป็นต้น โดยแหล่งผลิตพริกเพื่อการส่งออกอยู่ในจังหวัดภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นหลัก

ลักษณะการใช้ประโยชน์ในอดีตและปัจจุบัน

ในกรณีที่เป็นพริกยักษ์ที่มีความเผ็ดน้อยมาก นิยมนำไปใช้รับประทานเป็นผัก หรือบรรจุกระป๋องทั้งผลหรือหั่นเป็นชิ้น แต่ถ้าพริกที่มีความเผ็ดมักจะนำไปใช้ในรูปของเครื่องเทศ คือเครื่องปรุงแต่งรสชาติของอาหารในรูปแบบต่างๆ เช่น นำไปบดเป็นพริกป่น ทำซอสต่างๆ หรือสกัดเอาสารสำคัญภายในมาใช้ปรุงแต่งรสชาติอาหาร หรือใช้ทำยา พริกบางชนิดที่มีสีเข้มมากๆ จะใช้เป็นวัตถุสีในอุตสาหกรรมสกัดเอาสารให้สีมาใช้ประโยชน์

การใช้ประโยชน์จากพริกในเชิงอุตสาหกรรม อาจจำแนกได้เป็น 2 ด้าน คือ

- 1) เพื่อประโยชน์ทางด้านสี ในกรณีนี้มักจะเลือกพริกที่มีความเผ็ดน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งพริกชนิด *Capsicum annum*
- 2) เพื่อประโยชน์ทางด้านรสชาติและประโยชน์ทางยา มักเลือกพริกที่มีความเผ็ดมาก ได้แก่ พริกชนิด *Capsicum frutescens* คุณภาพของพริกชนิดนี้ในส่วนที่เกี่ยวกับความเผ็ดจะวัดจากปริมาณ

สารกลุ่ม capsaicinoids ซึ่งถ้ามีมากพริกจะเผ็ดมากด้วย (ค่าความเผ็ดของพริกวัดเป็นหน่วย Scoville unit)

ลักษณะประจำพันธุ์ของพริก (พิทยา, 2551)

ในการจัดจำแนกพันธุ์พริกในทางวิทยาศาสตร์พบว่า นักวิทยาศาสตร์มีความคิดเห็นในการจัดจำแนกแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้เนื่องจากพริกมีความแตกต่างกันทั้งทรงต้น ใบ ดอก และผล โดยเฉพาะรูปร่างของผล ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมากมายังไปกว่านั้นยังมีการผสมข้ามตามธรรมชาติที่ทำให้เกิดรูปร่างใหม่ๆ ขึ้นมาอีก เป็นผลให้มีความยุ่งยากในการจัดจำแนก (ภาพ 1) เนื่องจากในปัจจุบันมีพริกเพียง 2 species เท่านั้นที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในตลาดโลก คือ *Capsicum annum* L. และ *Capsicum frutescens* L.

Capsicum frutescens L. เป็นพืชที่มีการปลูกแพร่หลายในเขตศูนย์สูตรของโลก รวมทั้งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พันธุ์ที่มีชื่อเสียงของพริกชนิดนี้คือพันธุ์ Tabasco ซึ่งมีปลูกมากในสหรัฐอเมริกา และในประเทศเขตร้อนของโลก รวมทั้งพริกชี้หนู จะมีลักษณะเป็นพุ่มไม้ขนาดเล็ก อายุยืนสามารถให้ผลผลิตได้ 2-3 ปี ลักษณะทรงพุ่มโดยทั่วไปคล้ายกับ *Capsicum annum* แต่จะแตกต่างกันที่ลักษณะการเจริญเติบโตของผล ซึ่งในกรณีของ *Capsicum frutescens* กลีบดอกสีขาวอมเขียว ขนาดยาวประมาณ 6-10 มิลลิเมตร และส่วนผลจะเจริญเป็นช่อ ประกอบด้วย 2-3 ผลต่อช่อ ปลายผลชี้ขึ้น มีขนาดเล็กและเรียวยาว ขนาดประมาณ 0.3-1.0x0.7-0.3 เซนติเมตร ผลของพริกชนิดนี้ จะมีความเผ็ดมาก มีสีเขียว หรือสีเหลืองขณะยังอ่อนอยู่ แต่จะเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อแก่ เมล็ดมีสีเหลืองอ่อน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5-3.5 มิลลิเมตร

Capsicum annum L. เป็นพริกที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุด เป็นพุ่มไม้ขนาดเล็ก ลำต้นตั้งตรง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น 1 เซนติเมตร มีกิ่งข้างมาก ทรงพุ่มสูงประมาณ 50-150 เซนติเมตร มักจะปลูกเป็นแบบพืชฤดูเดียว ส่วนใหญ่มีระบบรากเป็นแบบรากฝอย ซึ่งจะมีดอกเป็นดอกเดี่ยวเกิดที่ยอดกิ่ง ก้านดอกอาจชี้ขึ้นหรือโค้งลง ขนาดยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร กลีบเลี้ยงจะติดกันเป็นรูประฆังซึ่งจะเจริญติดอยู่กับผลแก่ กลีบดอกมี 5-6 กลีบ แยกกันเป็นอิสระจากกัน และจะมีผลเป็นแบบ indehiscent berry ภายในมีเมล็ดมากมาย มีรูปร่าง ขนาด และสีของผลไม่แน่นอน ขึ้นกับพันธุ์ปลูก ซึ่งรูปร่างของผลจะมีทั้งชนิดกลมและยาว รูปกรวยหรือกลม ขนาดผลยาวระหว่าง

0.8-30.0 เซนติเมตร ผลขณะอ่อนจะมีสีเขียว เหลืองหรือม่วง แต่เมื่อแก่จะมีสีแดง ส้ม เหลือง น้ำตาลหรือม่วงแดง



Capsicum annuum L.



Capsicum frutescens L.

ภาพ 1 ลักษณะของพริกชนิด *Capsicum annuum* L. และชนิด *Capsicum frutescens* L.

ที่มา : สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร, 2553

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพริก (สุชีลา, 2549)

พริกจัดอยู่ในตระกูล Solanaceae (Nightshade family) เช่นเดียวกับ มะเขือ มะเขือเทศ มันฝรั่ง และยาสูบ พืชในตระกูลนี้มีอยู่ประมาณ 90 สกุล (genera) หรือ 2,000 ชนิด (species) โดยทั่วไปเป็นไปได้ทั้งพืชล้มลุก ไม้พุ่มและไม้ยืนต้นขนาดเล็ก ซึ่งกระจายอยู่ทั่วโลก แต่ส่วนใหญ่อยู่ในเขตร้อน พริกจัดอยู่ในสกุล *Capsicum* มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ดังต่อไปนี้ (ภาพ 2)

ราก

พริกมีระบบรากแตกต่างกันไประหว่างพันธุ์ แต่เนื่องจากพันธุ์พริกส่วนใหญ่อายุยืน มีระบบรากหากินลึกมาก ต้นพริกที่โตเต็มที่จะมีรากฝอยแผ่ออกไปหากินด้านข้างในรัศมีเกินกว่า 1 เมตร และหยั่งลึกลงไปดินเกินกว่า 1.20 เมตร รากฝอยหากินของพริกจะพบอยู่อย่างหนาแน่นมาก บริเวณรอบๆ ต้นใต้ผิวดินลึกประมาณ 60 เซนติเมตร

ลำต้น

พริกมีลำต้นตั้งตรงหรือเป็นพุ่ม และมีการแตกกิ่งก้านสาขาแบบ dichotomous โดยแตกออกเป็น 2 กิ่ง และเพิ่มเป็น 4 กิ่ง 8 กิ่ง 16 กิ่ง ไปเรื่อยๆ และมักจะพบว่าต้นพริกที่สมบูรณ์จะมีกิ่งแตกขึ้นมาจากต้นที่ระดับดินหลายกิ่งจนคล้ายกับว่ามีหลายต้นอยู่รวมที่เดียวกัน ดังนั้นจึงมักไม่พบลำต้นหลัก แต่จะพบเพียงกิ่งหลักๆ เท่านั้น ทั้งลำต้นและกิ่งนั้นในระยะต้นอ่อน ลำต้นมีลักษณะเป็นไม้เนื้ออ่อน เมื่อมีอายุมากขึ้น ลำต้นและกิ่งจะยิ่งแข็งเหมือนไม้เนื้อแข็งมากขึ้น แต่กิ่งหรือต้นพริกยังคงเปราะและหักง่าย ลำต้นเมื่อยังอ่อนมีลักษณะเป็นเหลี่ยมมีสีเขียว และจะกลมเรียบเมื่ออายุมากขึ้น และมีสีเทาน้ำตาลหรือบางพันธุ์มีสีม่วงที่ข้อกิ่งหรือใบ

ใบ

ใบเป็นแบบใบเดี่ยว มีลักษณะแบนเรียบ มีขนบ้างเล็กน้อย มีรูปร่างตั้งแต่รูปไข่ไปจนกระทั่งเรียวยาว ขนาดใบมีต่างๆ กัน ใบพริกหวานมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ใบพริกขี้หนูโดยทั่วไปมีขนาดเล็กในระยะเป็นต้นกล้า แต่เมื่อต้นโตเต็มวัยใบส่วนล่างๆ จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ใบมีสีเขียวอ่อนไปจนเขียวเข้ม ในบางพันธุ์อาจมีสีม่วงหรือซีดขาวปน

ดอก

โดยปกติมักพบเป็นดอกเดี่ยว เกิดที่ข้อตรงมุมที่เกิดใบหรือกิ่ง แต่ก็อาจพบมีหลายดอกเกิดตรงจุดเดียวกัน ดอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.2-3.5 เซนติเมตร ส่วนประกอบของดอกประกอบด้วย กลีบรองดอก (calyx) 5 พู กลีบดอก 5 กลีบ มีสีขาว ครีมน้ำตาล ไปจนถึงเขียวอ่อน แต่บางพันธุ์อาจมีสีม่วงและอาจมีจำนวนกลีบดอกตั้งแต่ 4, 5, 6 หรือ 7 กลีบ มีเกสรตัวผู้ (stamen) 5-6 อัน แยกออกจากตรงโคนของชั้นกลีบดอก (corolla) อับเกสรตัวผู้ (anther) มีสีน้ำเงิน ม่วง หรือเหลืองน้ำตาล แยกตัวเป็นกระเปาะเล็กๆ ยาวๆ เกสรตัวเมียชูขึ้นไปเหนือเกสรตัวผู้ ปลายเกสรตัวเมีย (stigma) มีรูปร่างเหมือนกระบอกหุ้มมัน รังไข่มี 3 พู แต่ก็อาจพบ 2 หรือ 4 พูก็ได้ โดยมักออกดอกและติดผลในสภาพวันสั้น หากในระหว่างการเจริญเติบโตได้รับสภาพวันยาวหรือมีการใช้แสงไฟฟ้าในกลางคืน เพื่อเพิ่มความยาวของช่วงแสงพริกจะออกดอกล่าช้าออกไปอีก

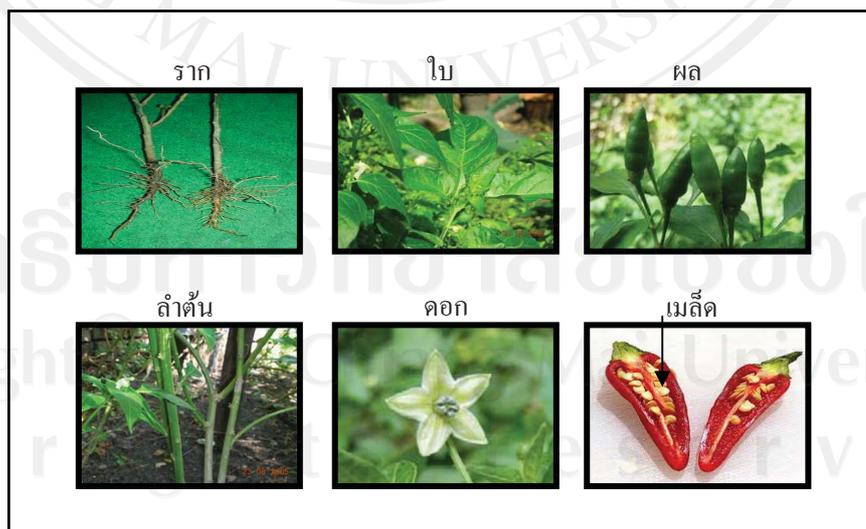
ผล

ผลพริกเป็นประเภท berry ที่มีลักษณะเป็นกระเปาะ มีฐานข้อผล (peduncle) สั้นและหนาโดยปกติผลอ่อนมักชี้ขึ้น เมื่อเป็นผลแก่พันธุ์ที่มีลักษณะข้อผลอ่อนจะให้ผลที่ห้อยลง อย่างไรก็ตามพันธุ์พริกส่วนใหญ่ทั้ง *Capsicum annum*, *C. chinense*, *C. baccatum* และ *C. pubescens* มีทั้งผลที่

ช่อดอกและผลที่ห้อยลง ส่วน *C. frutescens* นั้นมักมีผลช่อดอก ผลมีลักษณะตั้งแต่แบนๆ กลมยาว จนถึง พอง อ้วน สั้น ขนาดผลมีตั้งแต่ขนาดผลเล็กๆ (0.9 เซนติเมตร) ไปจนกระทั่งมีผลขนาดใหญ่ (33.02 เซนติเมตร) ผนังผล (pericarp) มีตั้งแต่บางไปจนถึงหนาขึ้นกับพันธุ์และสิ่งแวดล้อม เมื่อผลสุกแก่ อาจเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นแดงหรือเหลืองพร้อมๆ กับการแก่ของเมล็ด ผลพริกมีความแตกต่าง กันไปบางพันธุ์เผ็ดจัด บางพันธุ์ไม่เผ็ดเลย ฐานของผลอาจแบ่งออกได้เป็น 2-4 ห้อง ซึ่งจะเห็นได้ ชัดเจนในพริกหวานทั่วไป แต่พริกที่มีขนาดผลเล็กอาจจะสังเกตได้ยาก ในบางพันธุ์อาจดูเหมือนว่า ภายในมีเพียงห้องเดียวโดยตลอด เนื่องจาก septae ไม่เจริญยาวตลอดถึงปลายผล เมล็ดจะเกิดเกาะ รวมกันอยู่ที่รก (placenta) ซึ่งมีตั้งแต่โคนจนถึงปลายผล ในระหว่างการเจริญเติบโตของผล หาก อุณหภูมิในเวลากลางวันสูง และความชื้นในบรรยากาศต่ำ จะทำให้พริกมีการเจริญเติบโตผิดปกติ (off-type) มีรูปร่างบิดเบี้ยวและมีขนาดเล็ก นอกจากนี้การติดเมล็ดก็ยังต่ำกว่าปกติอีกด้วย

เมล็ด

เมล็ดพริกมีขนาดค่อนข้างใหญ่กว่าเมล็ดมะเขือเทศ โดยมีขนาดประมาณ 2.5-5 มิลลิเมตร โดยพริกผลใหญ่จะมีเมล็ดขนาดใหญ่กว่าพริกผลเล็ก แต่มีรูปร่างคล้ายกัน คือ มีลักษณะ รูปกลม-แบน มีสีเหลืองไปจนถึงสีน้ำตาล และผิวเมล็ดพริกไม่ค่อยมีขนเหมือนเมล็ดมะเขือเทศ โดยทั่วไปเมล็ดพริกหวาน 1 กรัม ควรมีเมล็ดพันธุ์ 166 เมล็ดขึ้นไป ส่วนพริกเผ็ดที่มีขนาดเล็ก เช่น พริกพันธุ์ห้วยสีทัน เบอร์ 1 น้ำหนักเมล็ด 1 กรัม มีจำนวนเมล็ดถึง 256 เมล็ด



ภาพ 2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพริก

ที่มา : <http://www.shc.ac.th/learning/botanical-garden/153.html>

องค์ประกอบที่สำคัญและคุณค่าทางอาหาร (พิทยา, 2551)

1) องค์ประกอบทางเคมีของพริก

องค์ประกอบสำคัญในพริก อาจจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ สารให้ความเผ็ด (capsaicinoids) และสารสี (pigment) ซึ่งมีรายละเอียดและโครงสร้างทางเคมี ดังนี้

ก) **Capsaicinoids** จะพบในปริมาณแตกต่างกันระหว่าง 0.1-1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นกลุ่มของสารที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งชนิดที่สำคัญที่สุดคือ capsaicin รายละเอียดของชื่อและโครงสร้างของสารในกลุ่มนี้ ได้แสดงไว้ในตาราง 1 และภาพ 3 ซึ่งสารทั้งกลุ่มนี้เป็นองค์ประกอบสำคัญที่กำหนดความเผ็ดของผลพริก ซึ่งจากการศึกษาพบว่าโดยแท้จริงแล้วแต่ละส่วนของผลจะมีปริมาณสารให้ความเผ็ดของผลพริกซึ่งแตกต่างกัน ในขณะที่เปลือกผลจะมีอยู่น้อยมากหรือไม่มีเลย สารเคมีกลุ่มนี้จะมีอยู่มากในส่วนแกนกลางของผลที่เมล็ดเกาะอยู่ (ภาพ 4)

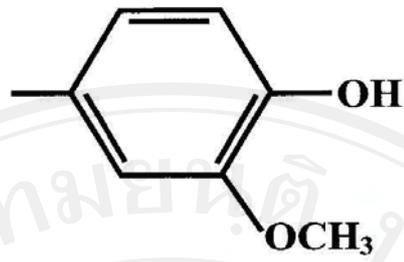
ข) **สารสี** ชนิดและปริมาณของสารให้สีในผลจะขึ้นอยู่กับชนิด (species) พันธุ์ (varieties) และอายุของผล ในผลแก่จะมีองค์ประกอบสำคัญคือ สารในกลุ่ม carotenoids ที่มีโครงสร้างทางเคมีใกล้เคียงกันมาก และ xanthophylls ซึ่งจากการศึกษาพบว่ามากกว่า 30 ชนิด ที่สำคัญที่สุดใน *Capsicum annuum* ชนิดผลแดง ได้แก่ capsanthin และ capserubin นอกจากนี้ก็มีพบ β -carotene zeaxanthin บ้างเล็กน้อย (ภาพ 5)

ตาราง 1 ชนิดของสารอินทรีย์สำคัญในกลุ่ม capsaicinoides ที่พบในพริก

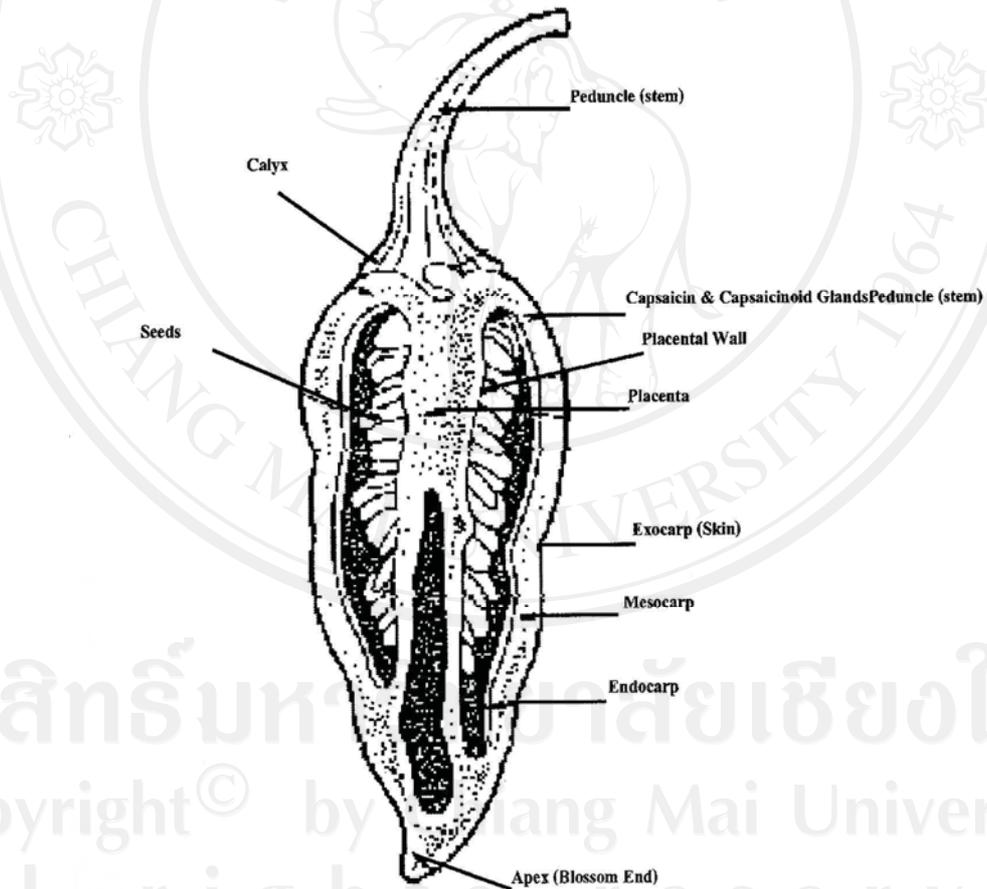
โครงสร้างพื้นฐาน	ชื่อสาร
$(\text{CH}_3)_2\text{CH.CH} = \text{CH}(\text{CH}_2)_4 - \text{CO} - \text{R}^1/$	Capsaicin
$(\text{CH}_3)_2\text{CH}(\text{CH}_2)_6 - \text{CO} - \text{R}$	Dihydrocapsaicin
$(\text{CH}_3)_2\text{CH}(\text{CH}_2)_3 - \text{CO} - \text{R}$	Nordihydrocapsaicin
$(\text{CH}_3)_2\text{CH}(\text{CH}_2)_9 - \text{CO} - \text{R}$	Homodihydrocapsaicin
$(\text{CH}_3)_2\text{CH.CH} = \text{CH}(\text{CH}_2)_3 - \text{CO} - \text{R}$	Homocapsaicin
$\text{CH}_3 \cdot (\text{CH}_2)_3 \cdot \text{CO} - \text{R}$	Nonanoic acid vanillylamide
$(\text{CH}_3)_2\text{CH}(\text{CH}_2)_8 \cdot \text{CO} - \text{R}$	Decanoic acid vanillylamide

$\text{R}^1/$ คือ $-\text{NH} - \text{CH}_3$

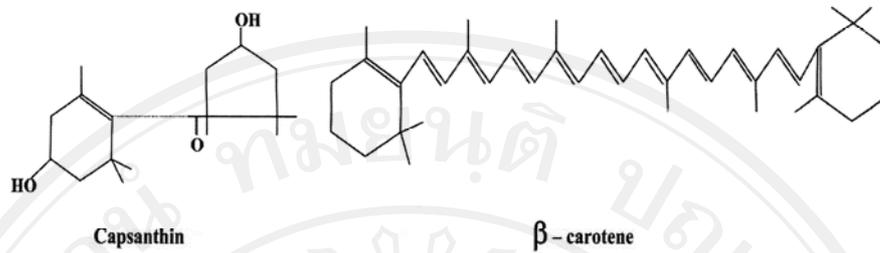
ที่มา : พิทยา, 2551



ภาพ 3 โครงสร้างทางเคมีของสารสำคัญที่ทำให้รสเผ็ดในผลพริก
ที่มา: Tyler, 1988



ภาพ 4 ส่วนของผลที่มีการสะสมสารให้ความเผ็ดมากคือบริเวณแกนผลที่เมล็ดเกาะอยู่ (placenta)
ที่มา : Zarc International, Inc, 2005



ภาพ 5 โครงสร้างทางเคมีของสาร Capsanthin และ β -carotene ในผลพริก

ที่มา : Trease and Evans, 1978

2) คุณค่าทางอาหารของพริก

คุณค่าทางอาหารของผลพริกจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพริก ดังแสดงในตาราง 2 ซึ่งแสดงถึงคุณค่าทางอาหารของพริก โดยเฉพาะอย่างยิ่งแร่ธาตุและวิตามิน ซึ่งมีอยู่ในปริมาณที่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุแคลเซียม ฟอสฟอรัส และ โปแทสเซียม รวมทั้งวิตามินเอและวิตามินซี ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อร่างกายอย่างมาก

ตาราง 2 คุณค่าทางอาหารของผลพริกสด หนัก 100 กรัม

องค์ประกอบสำคัญ	<i>Capsicum pepper</i> (พริกเผ็ด)	<i>Sweet capsicum pepper</i> (พริกยักษ์)
ความชื้น (กรัม)	80	92
โปรตีน (กรัม)	1.9	1.2
ไขมัน (กรัม)	1.9	0.35
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	9.2	5.4
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.2	0.6
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	14.4	9.0
วิตามินเอ (IU)	700–21,600	429–5,700
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	242	163
พลังงาน (kJ)	257	109

ที่มา : De Guzman and Siemonsma, 1999

การเก็บเกี่ยวและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวของผลพริก (พิทยา, 2551)

การเก็บเกี่ยว

ต้นพริกจะเริ่มให้ผลผลิตเมื่อมีอายุได้ 3 เดือนครึ่ง หลังจากเพาะเมล็ดหรือประมาณ 2 เดือน หลังจากย้ายปลูก การเก็บเกี่ยวจะขึ้นกับวัตถุประสงค์ที่จะจำหน่าย ถ้าต้องการขายผลสดจะเก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่แต่ยังมีสีเขียวอยู่ โดยใช้มือเก็บทั้งก้านผล แต่ถ้าเก็บเพื่อทำพริกแห้งหรือเพื่อไว้ทำพันธุ์ก็จะเก็บเมื่อผลเปลี่ยนเป็นสีแดง ผลของพริกจะทยอยสุกไปเรื่อยๆ ดังนั้นถ้าปลูกจำนวนน้อยต้องเข้าเก็บเกี่ยวทุกสัปดาห์ แต่ถ้าปลูกเป็นแปลงใหญ่จะต้องเข้าเก็บทุกวัน เก็บเกี่ยวโดยปลิดผลให้มีก้านติด เพราะเป็นมาตรฐานที่ตลาดกำหนด

ช่วงระยะเวลาของการเก็บเกี่ยวอาจนานถึง 6 เดือน หลังจากนั้นผลผลิตจะลดลง เกษตรกรมักจะรื้อต้นออกแล้วปลูกใหม่ แต่ในกรณีที่ปลูกในสวนหลังบ้าน อาจทำการตัดแต่งเมื่อต้นพริกโทรมมากแล้ว และบำรุงดินให้ดี ต้นพืชจะให้ผลผลิตได้อีก แต่ก็ไม่เหมือนกับทำให้ผลผลิตรอบแรก ปกติพริกจะให้ผลผลิตประมาณ 500-1,000 กิโลกรัมพริกสดต่อไร่ หรือ 200-400 กิโลกรัมพริกแห้งต่อไร่

การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อทำพริกแห้ง (พิทยา, 2551)

1. การคัดคุณภาพ

พิจารณาจากความตรงตามพันธุ์ การปลอมปนของพริกพันธุ์อื่นๆ และการสุกของผล การปราศจากรอยตำหนิจากโรคและแมลง ดังนั้นขั้นตอนการคัดแยกผลพริกก่อนนำไปทำพริกแห้งจึงมีความสำคัญมาก

2. การทำความสะอาดผลพริก

ทำโดยนำผลไปล้างน้ำสะอาด อาจเป็นน้ำบ่อ น้ำประปา หรือน้ำฝน เพื่อล้างเศษดิน-ทราย และวัสดุปลอมปนอื่นๆ เช่น เศษใบ ดอก วัชพืชออก หลังจากนั้นนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 50-100 ส่วนต่อล้าน แช่นาน 30 นาที เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ติดอยู่ที่ผิวผลหรือส่วนก้านผล

3. การลวกผล

ทำการลวกผลเพื่อหยุดกิจกรรมเอนไซม์ในผลและฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ โดยลวกในน้ำเดือดประมาณ 10 นาทีต่อน้ำหนักพริก 1 กิโลกรัม และลวกนานขึ้นทุก 1-2 นาทีต่อน้ำหนักพริกที่เพิ่มขึ้นอีก 1 กิโลกรัม

4. การทำพริกแห้ง

คุณภาพของพริกแห้งที่ตลาดต้องการทั้งเพื่อการบริโภคภายในและการส่งออกจำหน่ายยังต่างประเทศจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพันธุ์พริก

เชื้อรา *Colletotrichum capsici*

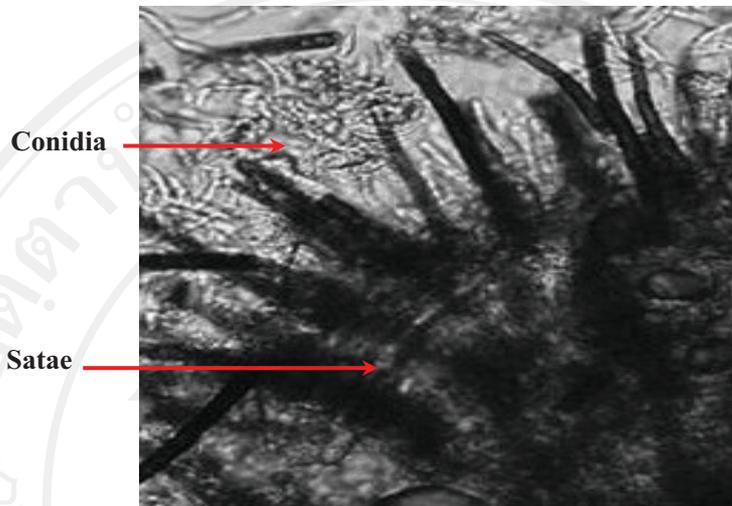
Colletotrichum capsici หรือชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Colletotrichum capsici* (Syd.) Butler & Bisby ซึ่งสามารถจัดจำแนกกลุ่มของเชื้อ *Colletotrichum capsici* ตั้งแต่ระดับ Kingdom จนถึง Species ได้ดังนี้ (George, 1997)

Kingdom	Fungi	
Phylum	Ascomycota	
Class	Sordariomycetes	
Subclass	Incertae sedis	
Order	Phyllachorales	
Family	Phyllachoraceae	
Genus	<i>Colletotrichum</i>	
Species	<i>capsici</i>	

ลักษณะทั่วไปของเชื้อรา

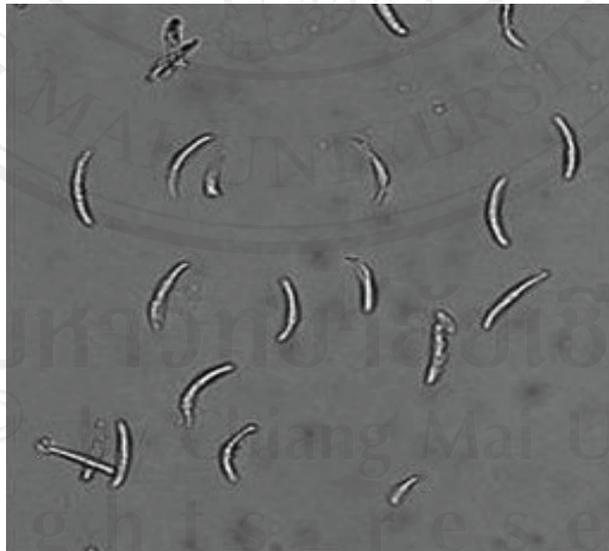
เชื้อรา มีระยะการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ และสร้าง conidia เชลล์เดี่ยว ใส รูปร่างทรงกระบอกหัวท้ายมน หรือโค้งคล้ายพระจันทร์ครึ่งเสี้ยว ภายในโครงสร้างที่ให้กำเนิดสปอร์ (fruiting body) มีลักษณะแบบ acervulus ซึ่งเชื้อรา *Colletotrichum capsici* ก่อให้เกิดแผลสีน้ำตาลเข้มถึงดำ ขนาดและรูปร่างของแผลไม่แน่นอนเรียงซ้อนกันเป็นวงอยู่ในบริเวณแผล conidia เชลล์เดี่ยว มีขนาดเฉลี่ย 9-14x6.5-11.5 ไมโครเมตร และมี setae มากซึ่งเป็นหน่วยขยายพันธุ์ที่เกิดจากการแบ่งเซลล์ และแปรเปลี่ยนรูปร่างจาก vegetative cells โดยไม่มีการผสมพันธุ์ทางเพศ สปอร์ชนิดนี้อาจสร้างขึ้นบนเส้นใยธรรมชาติ โดยส่วนหนึ่งของเส้นใยเปลี่ยนไปเป็นก้านชูสปอร์ (conidiophore) และเรียกสปอร์นั้นว่า conidia สปอร์บางชนิดจะสร้างอยู่ในถุงหุ้ม เรียกว่า sporangium บางชนิดอาจสร้างอยู่ในอวัยวะรูปร่างคล้ายถ้วย หรือคนโท เรียกว่า pycnidia

เชื้อราหลายชนิดอาจเปลี่ยนบางส่วนของเส้นใยให้มีผนังหนาขึ้น โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างอื่น สปอร์ที่เกิดในลักษณะนี้ เรียกว่า chlamydospores (ภาพ 6 และ 7) (ศศิธร, 2545)



ภาพ 6 Setae และ Conidia ของ *Colletotrichum capsici*

ที่มา : Shenoy *et al.*, 2007



ภาพ 7 Conidia ของ *Colletotrichum capsici*

ที่มา : Shenoy *et al.*, 2007

โรคหลังการเก็บเกี่ยว (พืทยา, 2551)

โรคแอนแทรกโนส (Anthracnose)

จากการสำรวจในไทย พบว่ามีเชื้อราสาเหตุ 3 ชนิด คือ

1. *Colletotrichum piperatum* เป็นเชื้อที่ทำให้เกิดแผลวงกลมหรือวงรีรูปไข่ แผลมีสีไม่ดำมาก ซึ่งเป็นเชื้อที่พบเป็นส่วนใหญ่ในพริกพันธุ์ต่างๆ ของไทย
2. *Colletotrichum capsici* เป็นเชื้อที่ทำให้เกิดแผลขยายกว้าง ไม่มีขอบเขต เป็นแผลขนาดใหญ่
3. *Colletotrichum gloeosporioides* เป็นเชื้อที่ทำให้เกิดแผลคล้ายคลึงกับ *C. piperatum* แต่ต่างกันตรงที่ไม่มีเส้นใยสีดำที่งอกออกมาจากแผลเหมือน 2 เชื้อแรก

ลักษณะอาการ

อาการของโรคเห็นได้ชัดเจนบนผลพริกที่แก่จัดหรือผลสุก โดยเฉพาะพริกใหญ่มากกว่าพริกเล็ก ระยะที่พริกติดโรคได้ง่าย คือระยะที่ผลพริกเจริญเติบโตเต็มที่หรือก่อนที่ผลพริกจะเปลี่ยนสี อาการเริ่มแรกผลพริกจะมีแผลจุดข้ำน้ำ เนื้อเยื่อบุ่มลึกลงจากเดิมเล็กน้อย ต่อมาแผลจะขยายเป็นวงกว้างขึ้นเป็นรูปวงกลมหรือวงรี ซึ่งเมื่อมองเห็นลักษณะของเชื้อราที่เจริญขยายออกไปในรูปวงสีดำเรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ และเมื่อเนื้อเยื่อบริเวณแผลแห้งยุบตัวลงจะทำให้ผลพริกหงิกงอคล้ายกุ้งแห้ง จึงเรียกว่า “โรคงู้งแห้ง” ถ้าแผลที่เกิดมีขนาดใหญ่จะทำให้ผลพริกเน่าทั้งผลและร่วงก่อนที่จะเก็บเกี่ยว และเมื่อนำผลที่เป็นโรคไปตากแดดมักทำให้เกิดการเน่ามากขึ้น ไปจนถึงการเก็บรักษา จนทำให้พริกที่เก็บรักษาเสียหายทั้งหมด ทั้งนี้เพราะเชื้อรานั้นยังมีชีวิตอยู่ในแผลจึงไม่ควรนำพริกที่เป็นโรคไปทำพันธุ์อีก

การป้องกันกำจัด

- ก. ควรใช้เมล็ดพันธุ์ที่สมบูรณ์ สะอาด ปราศจากเชื้อโรค หรือพันธุ์ต้านทานโรคโดยถ้าเป็นเมล็ดพันธุ์ที่เก็บเอง ต้องเลือกมาจากต้นที่ไม่เป็นโรค หรือถ้าเป็นเมล็ดพันธุ์ที่ซื้อมาควรคลุกสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา เช่น แมนโซคาบ ก่อนหว่าน
- ข. ควรปลูกพืชตระกูลอื่นหมุนเวียน รวมทั้งกำจัดวัชพืช และเศษซากพืชในแปลงปลูก
- ค. เมื่อผลพริกเริ่มติดผล ควรฉีดพ่นด้วยสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา พวกคาร์เบนดาซิม หรือเบนโนมิล ทุก 7-15 วัน



ภาพ 8 แสดงการเกิดโรคแอนแทรคโนสบนผลพริก

ที่มา : สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร, 2553

รูปแบบของยาฆ่าแมลงที่พบในประเทศไทย (พันทิพา, 2549)

1. Aerosol

เป็นการบรรจุของเหลวใส่ลงในกระป๋องอัดความดัน ซึ่งจะมีปริมาณสารออกฤทธิ์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และจะถูกปล่อยออกมาในรูปของสเปรย์หรือหมอกควัน รูปแบบนี้สะดวกในการใช้ เพราะสามารถใช้ได้ทันที แต่ในการเก็บรักษานั้น ควรเก็บอย่างระมัดระวังเพราะหากกระป๋องบรรจุมีรอยร้าว หรือถูกไฟเผาอาจเกิดการระเบิดกลายเป็นเศษโลหะชิ้นเล็กๆ ได้

2. Bait

เป็นการผสมของสารออกฤทธิ์กับสิ่งที่แมลงกิน ซึ่งเมื่อแมลงกินเข้าไปก็จะเกิดผลต่อร่างกายทันที ดังนั้นควรจัดเก็บให้ปลอดภัยจากเด็ก และสัตว์ที่ไม่ได้เป็นเป้าหมายที่จะกำจัด

3. Chalk

เป็นการผสมสารออกฤทธิ์กับผงแป้ง ซึ่งจะเกิดผลต่อแมลงด้วยการสัมผัส

4. ยาจุดกันยุง

เป็นการผสมสารออกฤทธิ์กับขี้เถ้า เมื่อจุดยากันยุงจะเกิดความร้อน และส่งผลให้สารออกฤทธิ์ที่ผสมอยู่กลายเป็นไอ ระเหยออกมาพร้อมควัน และทำหน้าที่กำจัดแมลง

5. แผ่นกำจัดยุงไฟฟ้า

ใช้ความร้อนในการทำให้สารออกฤทธิ์ระเหยเป็นไอออกมา ทำหน้าที่กำจัดแมลง เช่นเดียวกับยาจุดกันยุง ต่างกันตรงที่ใช้ไฟฟ้าเป็นการทำให้เกิดความร้อน

กลุ่มของยาฆ่าแมลงที่นิยมใช้ในปัจจุบัน (พันทิพา, 2549)

1. Organophosphates Insecticides

กลุ่มยาฆ่าแมลงในประเภทนี้จะมีฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นสารพิษโดยการสัมผัสแล้วสามารถซึมผ่านเข้าทางผิวหนังได้ เพราะตัวยาคจะสามารถยับยั้งเอนไซม์อะเซทิลโคลีนเอสเตอเรสที่ส่งผลกระทบต่อระบบประสาท เนื่องจากมันสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายและส่งผลอย่างรวดเร็วต่อระบบประสาททำให้มันทำหน้าที่ฆ่าแมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่สารประเภทนี้ไม่ถูกสะสมในเนื้อเยื่อของคน และสารเคมีประเภทนี้จะสลายตัวภายใน 72 ชั่วโมงในสภาวะแวดล้อมปกติ ยาฆ่าแมลงในกลุ่มนี้ที่พบตามท้องตลาดคือ chlorpyrifos, dichlorvos ซึ่งพบในสเปรย์กำจัดยุงและแมลงสาบสเปรย์กำจัดแมลงสาบ และสเปรย์กำจัดปลวก มด มอด แมลงสาบ เช่น chlorpyrifos ซึ่งมีความเป็นพิษสูงมาก เป็นอันตรายเมื่อรับประทานหรือหายใจเข้าไป อาจทำให้เกิดการระคายเคืองที่ผิวหนัง และถ้าได้รับสารเป็นระยะเวลานานอาจมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ทำลายอวัยวะภายในอย่าง ตับหรือไต และยังคงก่อให้เกิดการระคายเคืองบริเวณตา ทำให้น้ำตาไหล ตาบวม แดง และมองเห็นภาพไม่ชัดเจน chlorpyrifos มีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะเซทิลโคลีนเอสเตอเรส ซึ่งพบในเนื้อเยื่อประสาท เซลล์เม็ดเลือดแดง และพลาสมา และถ้าได้รับสารมากเกินไป จะทำให้เกิดอาการภายใน 24 ชั่วโมง จะมีอาการปวดศีรษะ เวียนศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง ม่านตาหดตัว เห็นภาพไม่ชัดเจน มีน้ำมูกหรือน้ำลาย เหนือออกมาก ปวดท้องเกร็งและถึงขั้นร้ายแรง อาจทำให้หมดสติ ชัก หายใจติดขัด และอาจตายได้ เนื่องจากระบบหายใจและหัวใจล้มเหลว ซึ่งสารพิษชนิดนี้มีความเป็นพิษมากต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตในน้ำ

2. Carbamate Insecticides

ยาฆ่าแมลงในประเภทนี้จะมีไนโตรเจน และซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบ และสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยการสัมผัส การรับประทานอาหาร และสามารถซึมผ่านเข้าสู่ชั้นผิวหนังได้ ซึ่งมีหน้าที่ในการทำงานโดยยับยั้งเอนไซม์อะเซทิลโคลีนเอสเตอเรส และไปกระตุ้นให้ระบบประสาทของแมลงนั้นมีการทำงานที่มากเกินไป ซึ่งสารเคมีประเภทนี้ไม่สะสมอยู่ในสภาวะแวดล้อมเพราะสามารถหมักดักในสภาพที่เป็นต่างอย่างรวดเร็ว ชนิดของสารเคมีที่ใช้ในท้องตลาดส่วนใหญ่คือ propoxur จะพบในสเปรย์กำจัดยุงและแมลงสาบ สเปรย์กำจัดปลวก มด มอด แมลงสาบ และ bendiocarb เป็นผงกำจัดแมลงสาบ ซึ่งยาฆ่าแมลงที่มี bendiocarb ผสมอยู่มักจะอยู่ในรูปของฝุ่นผงหรือแป้งที่เปียกน้ำได้ ความอันตรายของ bendiocarb มีค่า lethal dose fifty หรือ LD₅₀ (หนู) 46-156 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงถึงความเป็นพิษมาก ซึ่ง bendiocarb มีความเป็นพิษสูงมาก ถ้ารับประทานเข้าไปหรือดูดซึมผ่านผิวหนัง จะทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย เห็นภาพไม่ชัดเจน น้ำตาไหล ปวดศีรษะ วิงเวียน ปวดท้องเกร็ง เจ็บหน้าอก ม่านตาแข็ง เหงื่อออก กล้ามเนื้อทำงานไม่ประสานกัน ซึ่พจรลดลง แต่ถ้ามีการสัมผัสบริเวณตา จะให้เกิดอาการระคายเคือง เจ็บตา เห็นภาพไม่ชัดเจน น้ำตาไหล กล้ามเนื้อตาซั้กกระตุก รูม่านตาไม่ตอบสนองต่อแสง และในกรณีที่รุนแรงอาจทำให้ตายได้เนื่องจากหัวใจเต้นไม่สม่ำเสมอ ส่งผลกระทบให้ระบบกล้ามเนื้อและระบบหายใจไม่สามารถทำงานได้

3. Botanicals and Pyrethroid Insecticides

สารเคมีในประเภทนี้นิยมนำมาใช้ในการกำจัดแมลง เช่น ยาจุดกันยุงที่มีสารออกฤทธิ์ คือ d-allethrin ซึ่งอาจใช้ในชื่ออื่น (pynamin forte หรือ esbiothrin) Botanicals มีอีกชื่อ เรียกว่า pyrethrins จัดเป็นสารประกอบของสารเคมีหลายชนิดที่ได้จากพืชเป็นพิษโดยการสัมผัสหรือรับประทานเข้าไป แต่ส่วนใหญ่แล้วไม่คงอยู่ในสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ยังมีความเป็นพิษสูงจึงควรใช้ในปริมาณน้อย และนี่ยังมีผลต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำคือ cypermenthrin จะมีพิษมาก ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจบริเวณส่วนบนและส่วนล่าง ต่อตา และต่อผิวหนัง ทำให้เกิดอาการชาที่ผิวหนัง คัน ร้อนไหม้ได้ และยังทำให้ไม่สามารถควบคุมการทำงานของกระเพาะปัสสาวะ และระบบร่างกายทำงานไม่ประสานกัน ทำให้หมดสติ และอาจเสียชีวิตได้ นอกจากนี้ถ้ารับประทานเข้าไปอาจทำให้เกิดอาการปวดท้อง ท้องร่วง และถ้ารับได้เป็นเวลานานจะทำให้ตับทำงานผิดปกติ ซึ่ง cypermenthrin มีความเป็นพิษสูงมากต่อปลาและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังอีกด้วย

4. Insecticidal Bait Toxicants

สารเคมีประเภทนี้ใช้เป็นสารออกฤทธิ์ที่ผสมกับสิ่งที่แมลงสามารถรับประทานเข้าไปได้ ดังนั้นในการป้องกันควรเก็บให้เป็นที่ ป้องกันไม่ให้เด็ก สัตว์เลี้ยงหรือสัตว์ชนิดอื่นๆ เข้าใกล้ได้ สารเคมีประเภทนี้ที่ใช้ในท้องตลาดคือ hydramethynon ซึ่งจัดเป็นยาฆ่าแมลงชนิดหนึ่งที่มีความเป็นพิษน้อย และก่อให้เกิดอาการระคายเคืองบริเวณผิวหนังและตา และจะมีอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ เป็นต้น ซึ่งหน้าที่ส่วนใหญ่ใช้ในการกำจัดมดเท่านั้น เนื่องจากมีความเป็นพิษน้อย

5. Inorganic Insecticides

สารประเภทนี้ไม่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ มักจะพบในรูปที่เป็นผลึกคล้ายเกลือ จะมีความคงตัวและสามารถละลายน้ำได้ เช่น boric acid จะพบมากในสเปรย์กำจัดแมลงสาบ ซึ่งมีความเป็นพิษปานกลาง ถ้าหากมีการหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อเมือกของระบบทางเดินหายใจ และอาจทำให้มีการดูดซึมของสารผ่านเยื่อเมือก ทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง เชื้องซึม และเป็นผื่นแดงบนผิวหนัง นอกจากนี้ยังทำให้อุณหภูมิภายในร่างกาย ความดันโลหิตต่ำลง และอาจทำให้ไตได้รับอันตรายด้วย และถ้าเกิดภาวะที่ผิวหนังเป็นสื่อน้ำเงินจะมีสาเหตุมาจากการขาดออกซิเจน ทำให้หมดสติ และเสียชีวิตได้ ซึ่งการที่ไปสัมผัสกับสารประเภทนี้จะมีการดูดซึมอย่างรวดเร็วทำให้ไปทำลายชั้นผิวหนังและเป็นแผลไหม้ จะทำให้มีอาการคล้ายกับการที่หายใจเข้าและรับประทานเข้าไป ซึ่งถ้าในผู้ใหญ่ถ้าได้รับปริมาณสารประเภทนี้เข้าไปเกิน 30 กรัม อาจทำให้เสียชีวิตได้ ซึ่งถ้าได้รับสารประเภทนี้เป็นเวลานานติดต่อกันจะทำให้หน้าหนักลดลง มีอาการอาเจียน ท้องร่วง เป็นผื่นแดงบนผิวหนัง ชักกระตุกอย่างแรง และอาจทำให้เกิดโรคโลหิตจางได้ ซึ่ง boric acid สามารถทำลายอวัยวะภายในอย่างตับ ไต ระบบทางเดินอาหาร และยังเป็นอันตรายต่อหญิงที่มีครรภ์ได้ นอกจากนี้ยังมีสารเคมีบางชนิดที่ไม่ได้ใช้ฆ่าแมลงโดยตรงแต่สามารถใช้ร่วมกับสารในกลุ่มประเภทอื่นได้ เช่น Botanicals and Pyrethroid Insecticides เพื่อไปเพิ่มประสิทธิภาพการออกฤทธิ์ของสาร จะพบมากในพวกยากำจัดยุงประเภทใช้ไฟฟ้า และสารเคมีที่พบในกลุ่มนี้คือ piperonyl butoxide

ตาราง 3 สารพิษตกค้าง: ปริมาณสารพิษตกค้างในพริก ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช)

สินค้า	วัตถุอันตรายทางการเกษตร	ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (Maximum Residue Limit: MRL) (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
พริก	คลอไพริฟอส (chlorpyrifos)	0.5
	คาร์บาริล (carbaryl)	0.5
	คาร์เบนดาซิม/เบนโนมิล (carbendazim/benomyl)	2
	คาร์โบซัลแฟน (carbosulfan)	0.5
	ไซเพอร์เมทริน (cypermethrin)	1
	เดลตาเมทริน (deltamethrin)	0.5
	ไดไทโอคาร์บาเมต (dithiocarbamates)	2
	โพรทีโอฟอส (prothiofos)	3
	โพรฟีโนฟอส (profenofos)	5
	โฟซาลอน (phosalone)	1
	มาลาไทออน (malathion)	0.1
	เมโทมิล (methomyl)	0.7
	อะบาเมคติน (abamectin)	0.02
	อีไทออน (ethion)	3

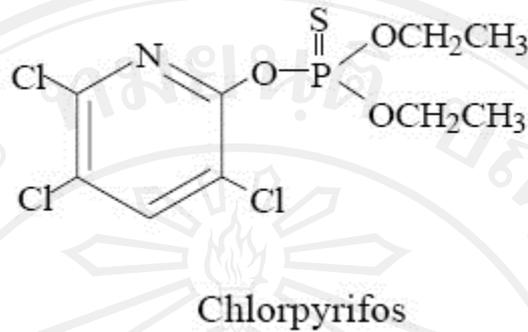
ที่มา : มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2551

ตาราง 4 ชนิดของสารเคมีที่ใช้ฆ่าแมลงในประเทศไทย และความเป็นอันตราย

ชนิด	ชื่อสารเคมี	ค่า LD ₅₀ ทางปาก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ค่า LD ₅₀ ทางผิวหนัง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
Organophosphate Insecticides	Dichlorvos, DDVP	28-500	75-107
	Chlorpyrifos	82-270	2,000
Carbamate Insecticides	Bendiocarb	46-156	566-800
	propoxur	83-104	>1,000-2,400
Botanicals and Pyrethroid Insecticides	Deltamethrin	129-139	>2,000
	Cypermethrin	247	>2,000
	Cyphenothrin	310-419	>2,500
	Alphacypermethrin	400	>5,000
	Fenvalerate	451	>2,000
	d-trans-allethrin	425-860	>2,500
	Cyfluthrin	500-800	>2,000
	Bifenthrin	632	>4,000
	Allethrin	685	>15,000
	Imiprothrin	900-1,800	
Permethrin	2,000-4,000		
Tetramethrin	>4,600		
Insecticidal Bait Toxicants	Hydramethylnon	543	>5,000
Inorganic Insecticides	Boric acid	2,660	

ที่มา : พันทิพา, 2549

คลอไพริฟอส (Chlorpyrifos)



ภาพ 9 สูตรโครงสร้าง Chlorpyrifos

ที่มา : Australian Government Department of Health and Aging, 2000

Chlorpyrifos เป็นวัตถุมีพิษทางการเกษตรกลุ่ม organophosphorous ที่องค์การอนามัยโลก (WHO) จัดให้เป็นสารที่มีระดับความเป็นพิษ Moderately hazard class II ประเภทป้องกันกำจัดแมลง เป็นพิษโดยการกิน และการสัมผัส มีค่า LD₅₀ 82-163 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในหนูขาวใหญ่ทางปาก (Hartley and Kidd, 1991) มีความเป็น พิษรุนแรงต่อผึ้ง ตัวห้ำ ตัวเบียน และสัตว์ป่าทั่วไป เป็นสารพิษที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะเซทิลโคลีนเอสเทอเรส (Acetylcholinesterase Activity; AChE Activity) ที่มีบทบาทในกระบวนการสื่อสารประสาทถ่ายทอดสัญญาณจากเซลล์ประสาทหนึ่งไปสู่อีกเซลล์หนึ่ง เกิดอาการกล้ามเนื้อเกร็ง ชักกระตุก ถ้ารุนแรงอาจเสียชีวิต (วิภา, 2541) ประเทศไทยมีการนำเข้า chlorpyrifos เพื่อจำหน่ายในปี 2549 มากถึง 1,613 ตัน จากรายงานสรุปการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตร ปี 2549 ของ สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร จึงกำหนดการใช้อย่างกว้างขวางกับพืชทั่วไป แม้ว่าฉลากวิธีใช้สารกำจัดแมลงชนิด chlorpyrifos แนะนำการใช้กับพืชชนิด ถั่วลิสง ถั่วเหลือง มันเทศ ข้าว ฯลฯ ซึ่งเป็นพืชไร่เท่านั้นเนื่องจากผลผลิตของพืชไร่ที่ใช้บริ โภคส่วนมากปลอดภัยจากสารพิษตกค้างชนิดนี้ เพราะมีเปลือกหุ้ม และใช้เวลาเก็บในโรงเก็บนานก่อนการบริโภค ซึ่งแตกต่างจากผักและผลไม้ที่ส่วนมากบริโภคได้ทันทีหลังการเก็บเกี่ยวจึงพบรายงานข้อมูลการตรวจพบสารพิษตกค้างในพืชผักผลไม้ และปี 2546-2548 จากศูนย์บริการทางวิชาการแบบเบ็ดเสร็จ กรมวิชาการเกษตร รายงานชนิดสารเคมีที่ถูกตรวจพบมากที่สุดได้แก่ methamidophos, cypermethrin, chlorpyrifos และ triazophos

ตาราง 5 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารคลอไพริฟอส

คุณสมบัติ	ค่า
มวลโมเลกุล	350.59 g/mol
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	N/A *
จุดเดือด/ช่วงการเดือด	N/A *
จุดหลอมเหลว/ช่วงการหลอมเหลว	42.4-42.6°C
จุดเยือกแข็ง	N/A *
ความดันไอ	2.49×10^{-3} Pa
ความหนาแน่นของไอ	N/A *
ความเข้มข้นไอระเหยเมื่ออิ่มตัว	N/A *
ความถ่วงจำเพาะ/ความหนาแน่น	43.5°C
สัมประสิทธิ์การแบ่งส่วน	Log Kow: 4.3
อุณหภูมิสลายตัว	N/A *
จุดวาบไฟ	> 100°C
การละลาย	1.398 mg/L

* N/A หมายถึง ไม่มีข้อมูล

ที่มา : พันทิพา, 2549

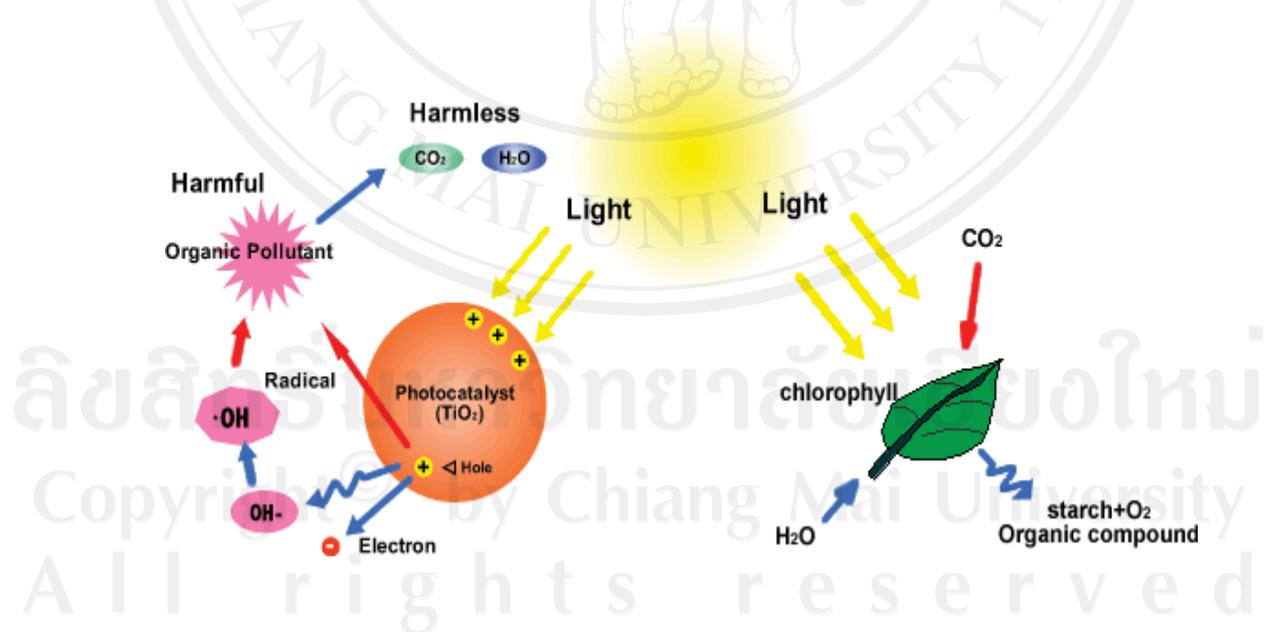
ตาราง 6 ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ

วัตถุอันตรายทางการเกษตร	ชนิดสารพิษตกค้าง	สินค้า	ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (Maximum Residue Limit: MRL) (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
คลอไพริฟอส (chlorpyrifos)	คลอไพริฟอส	กระเจียบเขียว	0.5
		กล้วย	2
		ข้าว	0.1
		เงาะ	0.5
		ถั่วเหลือง	0.05
		พริก	0.5
		มะพร้าว	0.05
		มันเทศ	0.05
		ลำไย	0.5
		ข้าวโพดฝักอ่อน	0.1
		ลิ้นจี่	0.5
		เนื้อโค กระบือ	1.0
		เนื้อสุกร	0.02
		ไข่	0.01
นม	0.02		

ที่มา : สถาบันอาหาร, 2549

โฟโตแคตาไลซิส (Photocatalysis)

กระบวนการโฟโตแคตาไลติก (Photocatalytic Process) เป็นการเร่งปฏิกิริยาโฟโตเคมี (Photochemistry) โดยใช้ตัวแคตาลิสต์ คำว่า โฟโตแคตาไลซิส เป็นการรวมกันระหว่างคำว่า โฟโต (Photo) และแคตาไลซิส (Catalysis) ซึ่งหมายถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยการใช้แสงและตัวแคตาลิสต์เป็นตัวกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา ต่างจากคำว่า โฟโตไลซิส (Photolysis) ซึ่งหมายถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการใช้แสงเป็นตัวกระตุ้น โดยไม่มีตัวแคตาลิสต์ ตัวแคตาลิสต์นี้จะทำหน้าที่ลดพลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยา พลังงานกระตุ้น (Activation Energy; E_a) ของปฏิกิริยาที่ไม่มีตัวแคตาลิสต์ซึ่งมีค่ามากและพลังงานของผลิตภัณฑ์จะต่ำกว่าพลังงานของสารอินทรีย์ พลังงานกระตุ้นนี้จะลดลงในปฏิกิริยาที่มีตัวแคตาลิสต์ ถึงแม้ว่าพลังงานของสารอินทรีย์และผลิตภัณฑ์ยังคงเท่าเดิม ตัวแคตาลิสต์นี้จะเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยา โดยการลดพลังงานกระตุ้นอีกทั้งตัวมันเองยังตอบสนองต่อแสง กล่าวคือจะเกิดการกระตุ้นได้โดยการถ่ายทอดพลังงานแสงที่มีค่า ดังนั้นองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิสจึงประกอบด้วย พลังงานแสง และตัวแคตาลิสต์ (รวมทั้งน้ำและออกซิเจนเพื่อใช้ในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดซ์) (ภาพ 10)



ภาพ 10 การเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิส

ที่มา : พิมพวัลค์, 2551

โฟโตแคตาไลซิส ประกอบด้วย

1. พลังงานแสง

การฉายแสงในกระบวนการโฟโตแคตาไลติกนั้น เป็นการให้พลังงานกับระบบในรูปของพลังงานโฟตอน (Photon Energy) ที่มากพอจะทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ ซึ่งพลังงานดังกล่าวเรียกว่าพลังงานกระตุ้น (Activation Energy) ซึ่งแสงสเปกตรัมของคลื่นแสงซึ่งมีขอบเขตอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 100-1000 นาโนเมตร ซึ่งเป็นที่น่าสนใจในกระบวนการโฟโตแคตาไลติก UV นี้จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 100-400 นาโนเมตร รังสี UV นี้จะถูกแบ่งเป็นองค์ประกอบหลักๆ 3 องค์ประกอบ คือ

- ก. ความยาวคลื่นแสง (Long Wave UV) อยู่ในช่วง 400-320 นาโนเมตร
- ข. คลื่นกลาง (Middle Wave UV) อยู่ในช่วง 320-280 นาโนเมตร
- ค. คลื่นสั้น (Short Wave UV) อยู่ในช่วง 280-200 นาโนเมตร

ความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 200 นาโนเมตร มีความสำคัญน้อยมาก เพราะรังสีอยู่ในช่วง Vacuum UV ซึ่งจะถูกลดคลื่นในอากาศจนหมดในช่วงระยะทางสั้นๆ ที่แสงเดินทาง แสงอาทิตย์นี้จะมีช่วงความยาวคลื่นที่กว้างมาก และความเข้มข้นของแสง UV สูง แต่เมื่อแสงส่องลงมายังพื้นผิวโลกจะถูกทำให้ลดลงอย่างมากในชั้นบรรยากาศ จากการดูดกลืนและการกระเจิงของแสง ที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 320 นาโนเมตร ความเข้มของแสงจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการดูดกลืนโดยโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ และที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 288 นาโนเมตร มีรังสีที่แผ่ลงมาถึงพื้นโลกน้อย ดังนั้นแสง UV ที่ส่องลงมายังพื้นโลกจึงมีจำกัด

ในโฟโตแคตาไลซิสที่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นตัวแคตาลิสต์นั้น เนื่องจาก TiO_2 มีพลังงานแบนด์แก๊ป ประมาณ 3.2 eV ดังนั้นในการให้พลังงานกับระบบจึงต้องใช้พลังงานมากกว่าพลังงานแบนด์แก๊ป ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกเกิดขึ้นได้ ซึ่งช่วงของแสง UV ที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 400 นาโนเมตร จะให้ค่าพลังงานที่มากกว่าหรือเท่ากับพลังงานแบนด์แก๊ปของ TiO_2 ดังนั้นจึงทำให้แสง UV เป็นที่น่าสนใจในกระบวนการโฟโตแคตาไลติก และเนื่องจากแสง UV ส่องลงมายังพื้นโลกมีปริมาณน้อย (Muszkat, 1998) จึงต้องมีการใช้หลอดไฟที่ให้แสง UV เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการโฟโตแคตาไลติกต่อไป

2. แคตตาลิสต์ (Catalyst)

สารที่นำมาใช้เป็นตัวแคตตาลิสต์ในปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ

- ก. โลหะทรานซิชัน (Transition Metal) เช่น ทองแดง โคโรเนียม และนิกเกิล
- ข. สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เช่น CdS, TiO_2 , ZnS, ZnO, Fe_2O_3 และ SrTiO_3

เนื่องจากในโลหะทรานซิชัน อิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานกระตุ้นให้อยู่ในระดับสถานะกระตุ้น (Excited State) จะกลับเข้าสู่สถานะพื้น (Ground State) ได้ง่ายและรวดเร็วกว่าในสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นจึงนิยมใช้สารกึ่งตัวนำที่เป็นตัวแคตตาลิสต์ในปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก

สารกึ่งตัวนำมีมากมายหลายชนิดและหนึ่งในจำนวนของสารกึ่งตัวนำหลายๆ ชนิดที่นิยมใช้ในปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกคือ ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์มีราคาไม่แพง ไม่เป็นพิษ ความสามารถในการละลายต่ำ แต่มีความเสถียรสูงและทนทานต่อการกัดกร่อน นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดกลิ่นและเชื้อโรค รวมทั้งเชื้อราที่ขอบขึ้นตามผนังอาคารที่ชื้น และทำให้อากาศสะอาด โดยการกำจัดแก๊สพิษต่างๆ ที่เกิดจากเขม่า ควันท่อยนต์หรือโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น และยังทำให้น้ำสะอาด และป้องกันคราบสกปรกที่ติดอยู่ตามผนังภายในและภายนอกอาคารได้

การประยุกต์ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ โฟโตแคตาไลซิส (สุเมธ, 2550)

1. ที่อยู่อาศัย

สามารถกำจัดสารที่มีกลิ่นเหม็น และมีพิษ เช่น ฟอรั่มลดีไฮด์ สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ (Volatile Organic Compounds; VOCs) อีกทั้งยังช่วยกำจัดกลิ่นขยะ กลิ่นในตู้เย็น หรือตู้เก็บรองเท้าได้

2. สถานที่ทำงาน

ช่วยในการกำจัดกลิ่นในสถานที่สูบบุหรี่ และป้องกันคราบสกปรกจากนิโคติน อีกทั้งยังกำจัดกลิ่นในห้องน้ำได้เช่นกัน

3. โรงพยาบาล

สามารถฆ่าเชื้อและกำจัดกลิ่น และเชื้อโรคภายในห้อง และสามารถเข้าทำลายเชื้อแบคทีเรีย และไวรัสให้หมดได้ โดยยังสามารถกำจัดสิ่งต่างๆ ได้อีก เช่น กำจัดกลิ่นในห้องน้ำ เชื้อโรคต่างๆ ในห้องผ่าตัดหรือห้องปลอดเชื้อ

4. สถานที่สาธารณะและสภาพแวดล้อม

สามารถกำจัดแก๊สพิษต่างๆ ในบรรยากาศ ได้แก่ ไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น รวมทั้งป้องกันคราบสกปรก หรือเชื้อราที่เกาะตามราวจับ อุโมงค์ ผนังเก็บเสียงตามทางด่วน ป้ายประกาศ โคมไฟและสัญญาณไฟตามท้องถนน อีกทั้งผนังภายนอกและภายในอาคาร

5. อื่นๆ

ช่วยรักษาความสดของผักผลไม้และเนื้อสัตว์ และรักษาคุณภาพน้ำในอ่างอาบน้ำ หรือสระว่ายน้ำ โดยสารโฟโตแคตาลีซิสจะช่วยกำจัดพวกเชื้อโรค และตะไคร่น้ำ และกำจัดกลิ่นของสัตว์เลี้ยง และป้องกันการติดเชื้อในสัตว์

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปฏิกิริยาโฟโตแคตาลีซิส

1. ความเข้มของแสง (Light Intensity)

การเพิ่มความเข้มของแสงจะเป็นการเพิ่มจำนวนโฟตอนให้มากขึ้น จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยามากขึ้นตามไปด้วย

2. ปริมาณตัวแคตาลีสต์ (Catalyst Dosage)

เนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์ไม่เพียงแต่จะทำหน้าที่เป็นตัวแคตาลีสต์เท่านั้น ยังมีหน้าที่ในการเป็นสารดูดติด ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาโฟโตแคตาลีติกเกิดขึ้นที่บริเวณผิวของไททาเนียมไดออกไซด์ ดังนั้นในการเพิ่มปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ก็จะทำให้พื้นที่ผิวของการดูดติดเพิ่มขึ้น และอัตราการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาลีติกเพิ่มขึ้นเช่นกัน

3. ออกซิเจน (O₂)

ออกซิเจนและตัวรับอิเล็กตรอนตัวอื่นๆ จะจับตัวกับอิเล็กตรอนทำให้การกลับมารวมตัวกันของอิเล็กตรอนและอิเล็กตรอนโฮลนั้นไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เพราะออกซิเจนจะรวมตัวกับอิเล็กตรอนเกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัล และซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัลอาจจะทำปฏิกิริยาต่อกับไฮโดรเจนไอออนเกิดเป็นเปอร์ไฮดรอกซิลเรดิคัล ซึ่งตามปกติแล้วออกซิเจนมีความสำคัญมาก

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เนื่องจากสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างสมบูรณ์และไม่เข้าไปแย่งพื้นที่ของสารอินทรีย์ในการดูดซับบนผิวของตัวแคตาลิสต์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของไททาเนียมไดออกไซด์ในการควบคุมโรคและลดสารตกค้าง

ปฏิกิริยาเคมีที่ใช้แสงเป็นตัวเร่ง (photocatalysis) ที่ผิวของไททาเนียมไดออกไซด์เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่นำมาใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ทำความสะอาดน้ำดื่ม ดินและอากาศได้โดยไม่ต้องใช้สารเคมี (Otaki *et al.*, 2000; Goswami *et al.*, 2004; Jacoby *et al.*, 1998) United States of America Food and Drug Administration; US FDA ได้ยอมรับว่า ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) เป็นสารที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค โดยทั่วไปจะมีความปลอดภัยในการใช้กับอาหาร ยา สี และเครื่องสำอาง ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมได้ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหารทั้งหมด (US FDA, 2007) ปฏิกิริยาเคมีที่ใช้แสงเป็นตัวเร่งของ TiO₂ ได้ถูกใช้เป็นตัวฆ่าเชื้อบนพื้นผิวต่างๆ โดยไม่สร้างความเสียหายให้กับพื้นผิวนั้นๆ TiO₂ เป็นสารเคมีที่ดูดซับรังสีจากแสงอาทิตย์ หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์แล้วอิเล็กตรอนจะถูกรบกวนด้วยรังสี UV เกิด negative electron (e⁻) และ positive hole (h⁺) ขึ้น เมื่ออิเล็กตรอนทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของออกซิเจน จะเกิดเป็น super oxide anion สามารถจะออกซิไดซ์คาร์บอนในสารอินทรีย์เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (Rajeswari and Kanmani, 2009) ส่วน h⁺ จะทำให้โมเลกุลของน้ำแตกตัวเป็นแก๊สไฮโดรเจน และไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH⁻) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนในองค์ประกอบของสารอินทรีย์เกิดเป็นน้ำ ด้วยเหตุนี้ปฏิกิริยาโฟโตแคตาลิส จึงสามารถทำลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำซึ่งไม่เป็นอันตรายกับสิ่งแวดล้อม เพราะรังสี UV สามารถสลายทำลายสารอินทรีย์ได้อย่างซ้ำๆ โดยธรรมชาติ (พิมพ์วัลคุ์, 2551)

Fujishima *et al.* (2000) พบว่าเมื่อนำ TiO₂ มาเคลือบบนผิววัตถุก่อนทำการล้าง เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของ TiO₂ โดยให้แสงไปกระตุ้นที่ผิวของ TiO₂ เพื่อใช้เป็นตัวยับยั้งแบคทีเรียและเป็นตัวทำความสะอาดอากาศและดินได้ดี เช่นเดียวกับ Kim *et al.* (2003) ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของ TiO₂ ในการยับยั้งเชื้อ *Salmonella choleraesuis*, *Vibrio parahaemolyticus* และ *Listeria monocytogenes* โดยเปรียบเทียบกับงานเพาะเชื้อที่เคลือบและไม่เคลือบด้วย TiO₂ ใส่สารละลายเชื้อข้างต้นลงไปแล้วนำไปให้แสง UV พบว่างานเพาะเชื้อที่เคลือบด้วย TiO₂ นั้นมีความสามารถในการยับยั้งและฆ่าเชื้อได้ดีกว่างานเพาะเชื้อที่ไม่เคลือบ TiO₂ และยังพบว่า *S. choleraesuis* และ *V. parahaemolyticus* จะถูกทำลายภายในเวลา 3 ชั่วโมง แต่ *L. monocytogenes* จะตายเพียง 87 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น นอกจากนี้ยังมีการนำ TiO₂ เคลือบบนแท่งเหล็กสแตนเลสใน

การใช้เป็นขั้ว electrodes เพื่อใช้ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Escherichia coli* (*E. coli*) และ *Clostridium perfringens* ในน้ำได้อีกเช่นกัน (Dunlop *et al.*, 2008) ซึ่ง Mitoraj *et al.* (2007) ได้ทดลองเคลือบผิวจานเพาะเชื้อพลาสติกด้วย TiO_2 และ TiO_2 ที่ถูกดัดแปลงด้วย platinum แล้วให้อยู่ภายใต้ช่วงแสงที่ตามองเห็นได้ พบว่าจานเพาะเชื้อที่เคลือบด้วย TiO_2 และที่ถูกดัดแปลงด้วย platinum สามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ได้โดย TiO_2 ที่ถูกดัดแปลงด้วย platinum จะสามารถยับยั้งได้ดีกว่าการเคลือบด้วย TiO_2 อย่างเดียว Manerat and Hayata (2006) ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาเคมีที่ใช้แสงเป็นตัวเร่งของ TiO_2 ด้วยการใส่ TiO_2 แบบผง ในการต่อต้านเชื้อ *Penicillium expansum* ในจานเพาะเชื้อ และได้ทำการเคลือบ TiO_2 บนถุงพลาสติกฟิล์มใส ปรากฏว่าสามารถลดปริมาณการงอกของเชื้อที่เกิดโรคได้โดยที่ผสม TiO_2 10 มิลลิกรัม ลงไป และน่าจะมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการควบคุมการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวได้ ส่วนขนินฐาและคณะ (2551) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคในมนุษย์ ได้แก่ เชื้อจุลินทรีย์ทั่วไป และ *E. coli* โดยการฉายแสง UVA ที่ความยาวคลื่นแสง 365 นาโนเมตร ลงบนแบคทีเรียที่กระจายตัวบนกระจกที่ไม่เคลือบและเคลือบ TiO_2 พบว่าที่ระยะเวลาฉายแสง 30 นาที ความสามารถในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ทั่วไป และ *E. coli* มีค่าเท่ากับ 8.23-19.95 เปอร์เซ็นต์ และ 10.18-14.85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อแสงมีความเข้มมากขึ้นก็มีความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียมากขึ้น (Kim *et al.*, 2003) นอกจากนี้ Sunada *et al.* (2003) พบว่าจากการที่ฟิล์มได้อุดซับแสง UV ซึ่งทำการเคลือบผิวของฟิล์มด้วย TiO_2 นั้นสามารถยับยั้งแบคทีเรียและทำความสะอาดได้ดี เช่นเดียวกัน เมื่อนำ TiO_2 ไปผสมกับน้ำและสปอร์แขวนลอยของเชื้อ *Bacillus cereus* สามารถยับยั้งและลดจำนวนสปอร์ของเชื้อ *B. cereus* ลงได้ (Krishna *et al.*, 2005) ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำมาประยุกต์ในการควบคุมในอาหาร และหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลให้ไม่มีการปนเปื้อนจากเชื้อที่ก่อให้เกิดโรค เช่น *E. coli* และจากการปล่อยสารพิษของเชื้อจากผลิตผลที่เสียหาย โดยนำมาใช้ทั้งในรูปแบบที่เป็นผง เป็นส่วนผสมกับสารละลายต่างๆ หรือทำการเคลือบบนวัสดุต่างๆ (Kikuchi *et al.*, 1997)

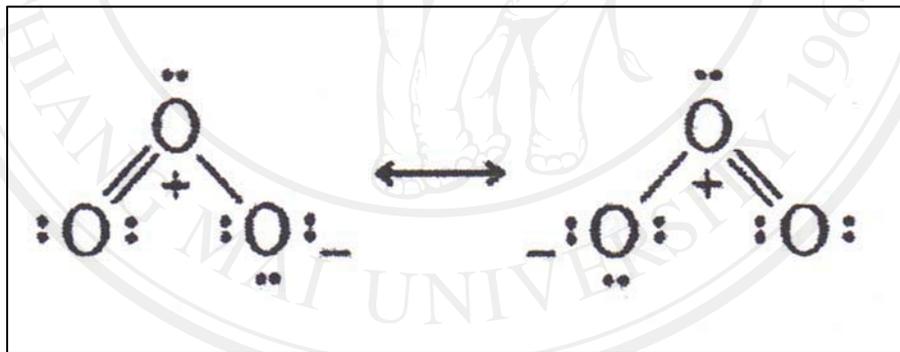
ปฏิกิริยาเคมีที่ใช้แสงเป็นตัวเร่งสามารถลดสารตกค้างที่ปนเปื้อนจากในน้ำดื่ม (Coleman *et al.*, 2000) และสามารถลดสารเคมีที่เป็นพิษจากอุตสาหกรรมยาได้อีกเช่นกัน (Doll and Frimmel, 2004) ซึ่ง Rajeswari and Kanmani (2009) ได้ทำการศึกษาผลของการทำงานร่วมกันของปฏิกิริยาที่ใช้แสงเป็นตัวเร่งร่วมกับการใช้โอโซน ($\text{TiO}_2/\text{UV}/\text{O}_3$) ในการลดสารตกค้าง carbaryl ในน้ำเสียที่มาจาก การทำการเกษตร โดยสามารถลดได้ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ และจากปฏิกิริยาเคมีที่ใช้แสงเป็นตัวเร่งของ TiO_2 มาใช้ในการฆ่าเชื้อโรค และบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการปลูกถั่วอกแบบหมุนเวียน สามารถสลายสารอินทรีย์ได้ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ และยับยั้งการเจริญของโรคได้ (Hur and Koh, 2002) ซึ่งกระบวนการของปฏิกิริยาเคมีที่ใช้แสงเป็นตัวเร่งของ TiO_2 นั้นสามารถนำเอาพลังงานจาก

ธรรมชาติมาใช้ควบคู่กับตัวเร่งปฏิกิริยา หรือตัวแคตาไลสต์ได้ดี ซึ่ง Li *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษาถึงผลของปฏิกิริยาเคมีที่ใส่แสงเป็นเร่งของ TiO_2 ร่วมกับโอโซน โดยนำ TiO_2 ไปทำเป็นแผ่นเจล พบว่าสามารถกำจัดสาร dibutyl phthalate ได้ดี และภายหลังจากกระบวนการนี้แล้วสามารถนำสารกลับมาใช้ได้ใหม่ (จรรยาศักดิ์, 2545) และ Harada *et al.* (1990) ได้ศึกษาถึงปัจจัยของไททานเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของยาฆ่าแมลงประเภทสารอินทรีย์ฟอสฟอรัส 2 ชนิด คือ dimethyl-2,2-dichlorovinyl phosphate (DDVP) และสารละลาย Dimethyl-2,2,2-trichloro-1-hydroxyethyl phosphate (DEP) ซึ่งจากผลปรากฏว่า DDVP สามารถถูกย่อยสลายได้ที่เวลา 90 นาที ส่วน DEP สามารถถูกย่อยสลายได้ที่เวลา 35 นาที นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการเติมไททานเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจากในตอนแรก 4.5 เท่า เป็น 6.0 เท่า จะทำให้มีผลต่อปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิสได้ และจากการรายงานของ Sopajaree *et al.* (1998) พบว่าการใช้ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก ในการบำบัดน้ำเสียที่ใช้สีย้อมผ้าที่มีความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการสลายสีย้อมได้ 50-60 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงระยะเวลา 240 นาที ซึ่งจากการใช้ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก ในการบำบัด 2,4-dichlorophenoxy (2,4-D) และ propoxur ที่มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าทั้ง 2,4-D และ propoxur เกิดการสลายตัวหลุดออกไปที่เวลา 7 ชั่วโมงของการทำปฏิกิริยา ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลาย 2,4-D เท่ากับ 96.8 เปอร์เซ็นต์ และ propoxur เท่ากับ 73.4 เปอร์เซ็นต์ (Lu and Chen, 1997) นอกจากนี้ได้มีการนำไททานเนียมไดออกไซด์ไปทำการเคลือบบนวัสดุและนำมาใช้ในปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิส ในการสลายสาร 17- β -oestradiol พบว่าในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยาจะมีอัตราการสลายตัวได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 40 นาที และเมื่อทำการให้ปฏิกิริยาไปจนถึงเวลา 3.5 ชั่วโมง ความเข้มข้นของสาร 17- β -oestradiol นั้นสามารถสลายตัวได้ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ (Coleman *et al.*, 2000)

จากรายงานการวิจัยพบว่าการใช้ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก ในการนำไปสลายสารประเภทอะโรมาติกที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนได้ เช่น benzene, toluene, xylene (Maira *et al.*, 2001; Duan *et al.*, 2002; Sun *et al.*, 2005) ซึ่งจากการศึกษาของ Hur *et al.* (2005) ในการใช้โอโซนและปฏิกิริยาเคมีที่ใส่แสงเป็นตัวเร่งของ TiO_2 เพื่อลดสารกำจัดเชื้อราตกค้างในผลกีวีฟรุต พบว่าเกิดการแตกตัวของสารประกอบอินทรีย์ และยับยั้งการงอกของเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคได้ และ Tanaka *et al.* (1996) ได้ศึกษาการลดสารอินทรีย์ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และกำจัดแร่ธาตุที่เป็นสารพิษปนเปื้อนในน้ำ พบว่าการทำงานร่วมกันของโอโซนและปฏิกิริยาเคมีที่ใส่แสงเป็นตัวเร่งให้ผลที่ดีว่าการใช้โอโซนหรือปฏิกิริยาเคมีที่ใส่แสงเป็นตัวเร่งอย่างเดียว นอกจากนี้ Wist *et al.* (2002) ได้นำ TiO_2 ไปใช้ในการฆ่าเชื้อโรคและลดสารพิษตกค้างในน้ำดื่มด้วย

โอโซน

โอโซน คือ ออกซิเจนในสถานะที่ถูกกระตุ้น หรือรับพลังงานไว้ใน โมเลกุล ซึ่งเกิดจากการแผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ต หรือประจุไฟฟ้าบน โมเลกุลของออกซิเจน โอโซนเป็นแก๊สที่ไม่มีสีแต่จะมีสีน้ำเงินเมื่อมีความเข้มข้นสูง มีกลิ่นคล้ายฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Horvath *et al.*, 1985) มีน้ำหนักโมเลกุล 48 ซึ่งมีสูตรทางเคมีว่า O_3 ประกอบด้วย ชาติออกซิเจน (O) 3 อะตอม มีลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างโมเลกุลเป็นรูปสามเหลี่ยม ซึ่งแต่ละอะตอมเกาะกันด้วยพันธะเดี่ยวอย่างเดียวหรือเกาะด้วยพันธะคู่ร่วมกันพันธะเดี่ยว โครงสร้างแต่ละแบบจะมีการเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลงไปมาอยู่ตลอดเวลา (ภาพ 11) ซึ่งโอโซนเป็นแก๊สที่ไม่คงที่สามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นออกซิเจนได้ในเวลาอันสั้น คือ โอโซนในอากาศและในน้ำจะเปลี่ยนเป็นออกซิเจนได้ภายในเวลา 1 วินาที ถึง 50 นาที (ชมภูศักดิ์และเทพพนม, 2540) ซึ่งโอโซนจะมีค่าครึ่งชีวิตในน้ำที่อุณหภูมิห้องประมาณ 20 นาที แล้วโอโซนจะสลายตัวไปเป็นออกซิเจนธรรมดา



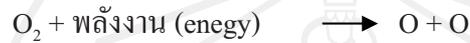
ภาพ 11 สูตรโครงสร้างของโอโซน

ที่มา : สุรพล, 2543

การผลิตโอโซน

การผลิตโอโซน มีส่วนประกอบหลักอยู่ 3 ส่วนคือ 1. การเตรียมแก๊สที่จะใช้ผลิต (gas preparation) 2. เครื่องกำเนิดโอโซน (ozone generator, ozonator) และ 3. กระแสไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องกำเนิดโอโซน โอโซนสามารถผลิตได้ทั้งจากอากาศและออกซิเจนบริสุทธิ์ โดยผ่านเข้าไปใน

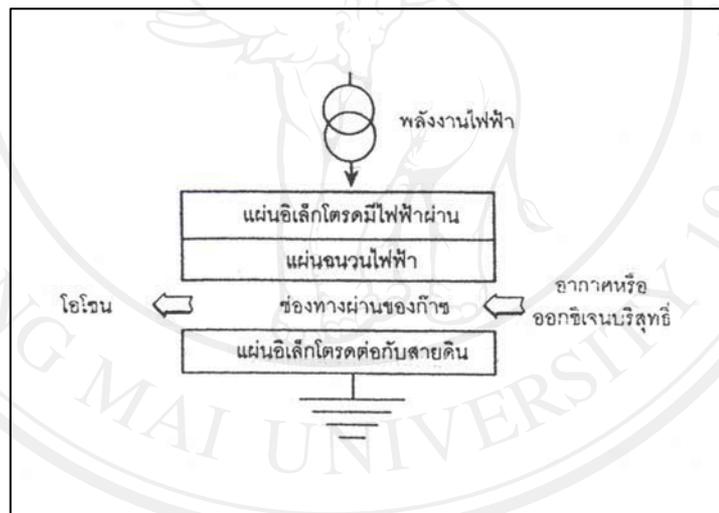
ช่องแคบๆ ที่มีแผ่นอิเล็กโทรด (electrode) ที่มีกระแสไฟฟ้ากระแสสลับแรงสูง 4,000-15,000 โวลต์ (ภาพ 12) ทำให้เกิดการแตกตัวของออกซิเจน (O_2) เป็นอะตอมเดี่ยว (O) และเมื่อให้ออกซิเจนอย่างเหลือเฟือ โมเลกุลออกซิเจนจะรวมตัวกับออกซิเจนอะตอมเดี่ยวกลายเป็นโอโซน (O_3) (ภาพ 13) ซึ่งเรียกวธีการผลิตเช่นนี้ว่า วิธีการเร่่งประจุไฟฟ้า หรือโคโรนาดิสชาร์จ (corona discharge) สมการ 1 และ 2 (ชมภูศักดิ์และเทพพนม, 2540) ซึ่งการผลิตโอโซนด้วยวิธีนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการละลายน้ำของโอโซนได้เป็น 5.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งในการผลิตที่ดี ควรทำในสภาพที่มีอากาศแห้ง เพราะความชื้นจะทำให้ผลิตแก๊สโอโซนได้น้อยลง และเกิดแก๊สพิษออกมาด้วย



สมการ 1

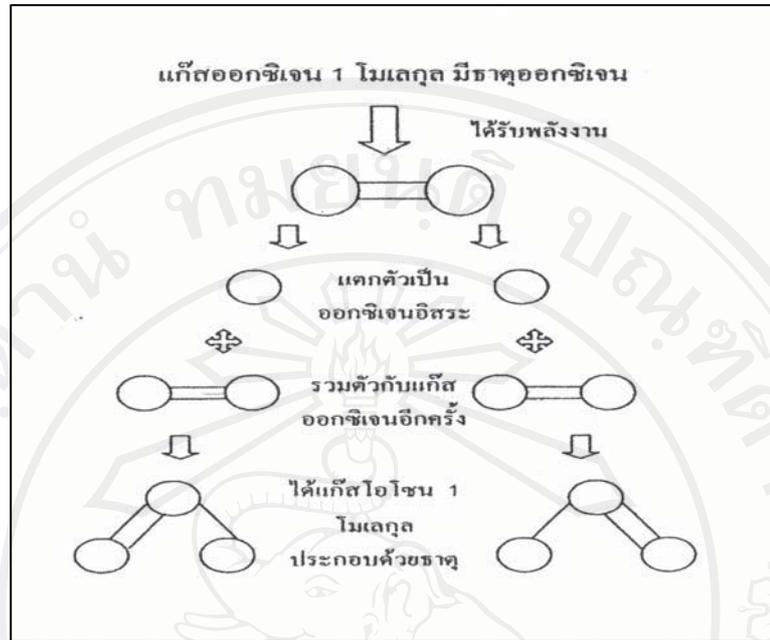


สมการ 2



ภาพ 12 การผลิตโอโซนด้วยวิธีโคโรนาดิสชาร์จ

ที่มา : สุรพล, 2543



ภาพ 13 การรวมตัวของออกซิเจนเป็นโอโซน
ที่มา : สุรพล, 2543

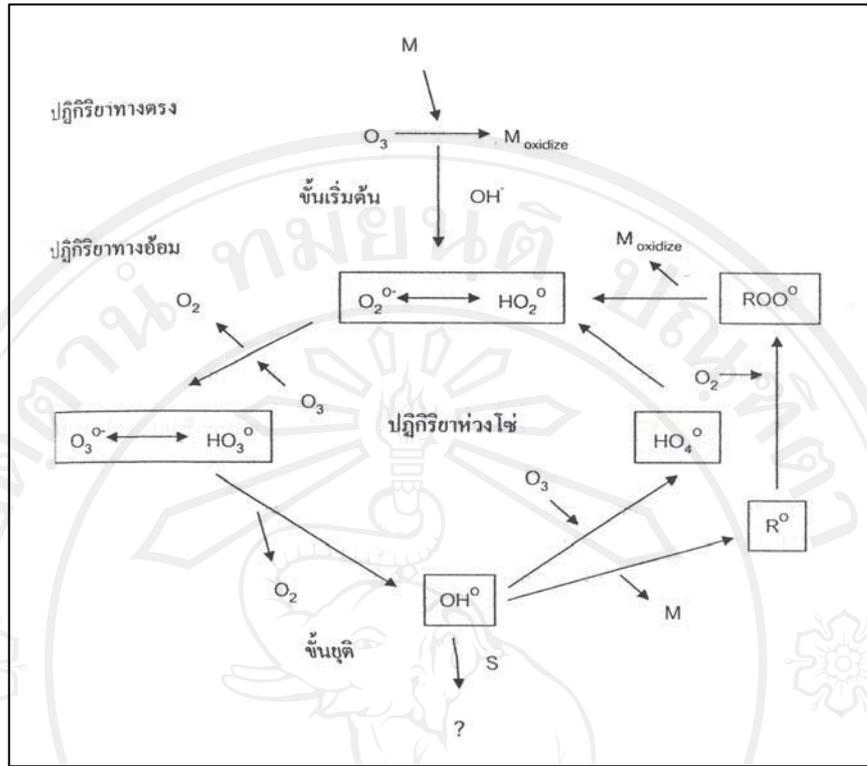
แก๊สโอโซนมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมีทั้งในน้ำ สารละลาย และอากาศ มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนจากสารอื่นๆ เพิ่มเข้ามาได้อีก ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยตัวเองทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidizing agent) อย่างแรง ในการทำปฏิกิริยาของโอโซนกับสารต่างๆ มีตัวออกซิไดซ์ที่มีบทบาทสำคัญที่สุดอยู่ 2 ชนิดคือ โอโซน และอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (hydroxyl radical; OH) ซึ่งโอโซนสามารถทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ได้โดยตรงหรือสามารถให้อนุมูลอิสระไฮดรอกซิล เพื่อไปทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ แทน (Gottschalk *et al.*, 2000) และในบรรดาตัวออกซิไดซ์ทางเคมีนั้นมีอยู่มากมาย ซึ่งนับว่าโอโซนมีความสามารถสูงเป็นอันดับสองรองจากโมเลกุลของแก๊สฟลูออรีน (F_2) และเป็นอันดับที่สี่ ถ้าวรวมอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล และอะตอมเดี่ยวของออกซิเจน

การทำปฏิกิริยาเคมีของโอโซนกับสารฆ่าแมลง

การทำปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับสารต่างๆ เรียกว่า โอโซนเนชัน (ozonation) ซึ่งเมื่อนำสารฆ่าแมลงมาทำปฏิกิริยากับโอโซนที่ละลายในน้ำนั้น สารฆ่าแมลงจะถูกออกซิไดซ์ด้วยโอโซนเกิดเป็นปฏิกิริยาโอโซนไลซิส (ozonolysis) ซึ่งเกิดจาก 2 กลไกคือ การเกิดปฏิกิริยาทางตรง (direct reaction) และการเกิดปฏิกิริยาทางอ้อม (indirect reaction) ซึ่งแต่ละปฏิกิริยาจะได้ผลผลิตที่แตกต่างกัน อันเนื่องมาจากถูกควบคุมด้วยกลไกที่แตกต่างกัน (Gottschalk *et al.*, 2000) และการเกิดปฏิกิริยาทั้งทางตรงและทางอ้อมของโอโซนที่ละลายในน้ำ (ภาพ 14) จะเกิดปฏิกิริยาแบบใดขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-เบส ในสถานะที่เป็นกรด ($\text{pH} < 4$) มักจะเกิดปฏิกิริยาทางตรง ส่วนถ้าในสถานะที่เป็นเบส ($\text{pH} = 10$) จะเกิดปฏิกิริยาทางอ้อม แต่ถ้าในสถานะที่เป็นกลาง (pH ประมาณ 7) จะเกิดปฏิกิริยาทั้งทางตรง และทางอ้อม ซึ่งแต่ละปฏิกิริยาจะให้ผลปฏิกิริยาที่ต่างกัน

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของโอโซนกับสารฆ่าแมลง

1. ความเข้มข้นของตัวออกซิแดนท์ (concentration of oxidants) ถ้ามีความเข้มข้นของตัวออกซิแดนท์สูง อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับสารฆ่าแมลงก็สูงตามไปด้วย
2. อุณหภูมิ (temperature) ถ้าอุณหภูมิในน้ำสูงขึ้น ความสามารถในการละลายน้ำของโอโซนจะลดลง ซึ่งทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง
3. ค่าความเป็นกรด-เบส ถ้าค่าความเป็นกรด-เบสสูงขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับสารฆ่าแมลงก็สูงตามไปด้วย คาร์บอนอนินทรีย์ (inorganic carbon) จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ถ้ามีคาร์บอนอนินทรีย์สูง จะทำให้อนุมูลอิสระไฮดรอกซิล มีโอกาสทำปฏิกิริยากับสารฆ่าแมลงได้ลดลง
4. ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นจะช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารพิษตกค้างสูงขึ้นด้วย (วราภรณ์, 2540)



- | | | |
|----------------------|-----|---|
| S (scavenger) | คือ | ตัวทำลายโอโซน |
| R (reaction product) | คือ | ผลปฏิกิริยา |
| M (micropollutant) | คือ | สารมลพิษ เช่น สารฆ่าแมลง |
| Inhibitor | คือ | ตัวยับยั้งปฏิกิริยา เช่น คาร์บอนेट และไบคาร์บอนेट |

ภาพ 14 การเกิดปฏิกิริยาของโอโซนที่ละลายในน้ำ

ที่มา : Gottschalk *et al.* (2000)

การประยุกต์ใช้โอโซนในอุตสาหกรรม

1. การฆ่าเชื้อในน้ำที่ใช้ในกระบวนการ

โดยทั่วไปน้ำที่ใช้ในกระบวนการได้รับการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน แต่คลอรีนไม่สามารถลดระดับสารประกอบอินทรีย์และยังก่อให้เกิดสารประกอบคลอรีนขึ้น โอโซนได้รับการยอมรับว่าสามารถนำมาใช้แทนคลอรีนในการทำลายจุลินทรีย์ในน้ำที่ใช้ในกระบวนการได้ และโอโซนยัง

สามารถทำลายผลพลอยได้จากคลอรีน สารฆ่าแมลง และสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นการทำลาย จุลินทรีย์ในน้ำโดยไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างที่เป็นพิษ (อัมพวัน, 2544)

2. การล้างผักและผลไม้

การใช้น้ำที่ละลายด้วยโอโซนล้างผักและผลไม้จะช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้กับผักและผลไม้สด ซึ่งจากการศึกษา อัมพวัน (2544) โดยใช้น้ำที่ละลายด้วยโอโซนความเข้มข้น 1.3 มิลลิโมล ต่ออัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที ล้างผักกาดขาว (Chinese cabbage) เป็นเวลา 3 นาที พบว่าสามารถลดปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดลองจะเห็นได้ว่าโอโซนมีประสิทธิภาพสูงในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง *Escherichia coli* ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคในอาหารได้

3. การเก็บรักษาผักและผลไม้

โอโซนใช้ในการเก็บรักษาผักและผลไม้ เช่น แอปเปิล มันฝรั่ง มะเขือเทศ สตรอเบอร์รี่ ส้ม ข้าวโพด และถั่วเหลือง เป็นต้น พบว่าโอโซนสามารถช่วยลดอัตราการสุกของผลไม้โดยระหว่างการสุกของผลไม้จะปลดปล่อยแก๊สเอทิลีนเพื่อเร่งปฏิกิริยาการสุก โอโซนจะกำจัดแก๊สเอทิลีนโดยทำปฏิกิริยาทางเคมีกับแก๊สเอทิลีน ทำให้ยืดอายุการเก็บของผลไม้ สมการ 3



ข้อดีและข้อเสียในการใช้โอโซน

ข้อดี

1. มีความปลอดภัยกว่าแก๊สชนิดอื่นๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไนโตรเจน (N_2) และออกซิเจน (O_2)
2. มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่รวดเร็ว
3. มีค่าครึ่งชีวิตต่ำ
4. สามารถสลายตัวเป็นออกซิเจนได้ 2 อะตอม หลังจากการแตกตัว
5. ไม่จัดเป็นสารที่ก่อมะเร็ง (carcinogen) และไม่สะสมในเนื้อเยื่อที่มีไขมัน (fatty acid)
6. ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบแบบเรื้อรัง ถ้ามีการใช้ในระบบเป็นเวลานาน

ข้อเสีย

1. แก๊สโอโซนที่ไม่บริสุทธิ์อาจทำให้เป็นภูมิแพ้ในผู้ที่ไวต่อแก๊สโอโซน ซึ่งจะทำให้มีอาการตั้งแต่มีผื่นคันตามผิวหนัง น้ำตาไหล จาม มีน้ำมูก ไปจนถึงหอบหืด แต่ที่ร้ายแรงที่สุดก็ยังไม่ถึงแก่ชีวิต แต่ถ้ามีการสะสมของแก๊สโอโซนมากเกินไปจะไปทำปฏิกิริยาเคมีกับเยื่อในทางเดินหายใจ
2. แก๊สโอโซนที่ไม่บริสุทธิ์ในระดับความเข้มข้น 0.01-0.02 ppm ในเวลา 1 ชั่วโมง จะมีผลต่อวัตถุและพันธุ์พืช อุปกรณ์และผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยยาง เช่น ยางรถยนต์ ฉนวนยาง จะถูกออกซิไดซ์จนเสียหาย กัดกร่อนสายไฟฟ้าทำให้ไฟฟาลัดวงจร
3. แก๊สโอโซนที่มีความเข้มข้นสูงจะทำปฏิกิริยากับเซลลูโลส ทำให้ความเหนียวของสิ่งของลดลงและมีสีซีดลง ทำให้เกิดการกัดกร่อนของสีทาผนัง ภาพเขียนและวัตถุโบราณในพิพิธภัณฑ์ ทำให้ใบพืชเป็นจุดสีน้ำตาล และรอยด่างขาว พืชจะเจริญเติบโตช้าและขยายพันธุ์ช้า ป่าไม้เสียหาย เป็นต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโอโซนในการควบคุมโรคและลดสารตกค้าง

จากรายงานการศึกษาของ Sarig *et al.* (1996) พบว่าโอโซนสามารถใช้ทดแทนแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้โดยใช้ที่ความเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง เป็นเวลา 20 นาที ช่วยลดการเกิดโรคบนผิวของผลองุ่น ซึ่งโอโซนจะกระตุ้นให้มีการสร้าง phytoalexins, resveratrol และ pterostillbene ทำให้ผลองุ่นต้านทานการเข้าทำลายของเชื้อได้ และ Perez *et al.* (1999) รายงานการทำให้โอโซน 0.35 ppm กับผลสตรอเบอร์รี่ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส สามารถช่วยลดการเน่าเสียและทำให้กลิ่นลดลงได้ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง Khan and Khan (1999) ได้รายงานว่าการใช้โอโซนที่ความเข้มข้น 50, 100 และ 200 ppm เพื่อควบคุมโรค powdery mildew ในแตงกวา พบว่าที่ระดับความเข้มข้นสูงถึง 200 ppm สามารถลดการงอกของสปอร์ *Sphaerotheca fuliginea* ที่เลี้ยงบนแผ่นสไลด์ได้ Palou *et al.* (2003) ได้ศึกษาถึงการใช้อโอโซนในการควบคุมการงอกของสปอร์เชื้อ *Penicillium digitatum* และ *P. italicum* โดยการปลูกเชื้อทั้งสองลงบนผิวส้ม และรมด้วยโอโซน 0.72 ppm แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12.8 องศาเซลเซียส ในภาชนะบรรจุต่างๆ กันเป็นเวลา 14 วัน พบว่าโอโซนสามารถควบคุมการงอกของสปอร์ทั้งสองชนิดได้ และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อทั้งสองเมื่อใช้ภาชนะบรรจุแบบตะกร้าพลาสติก ซึ่งเป็นภาชนะที่แก๊สสามารถทะลุผ่านได้ดี ฉันทวรรณและคณะ (2545) ได้ศึกษาการล้างถ่วงอกด้วยการใช้น้ำโอโซนที่ไหลผ่านในการลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยมีอัตราสัดส่วนการไหลผ่านของน้ำโอโซน 3 ลิตรต่อนาที นาน 10 นาที โดยล้างน้ำซ้ำถึง 2 ครั้ง แล้วทำการสะเด็ดน้ำด้วยการนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง

ความเร็ว 800 รอบต่อนาที นาน 3 นาที ปรากฏว่าสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ถึง 0.7-1.0 log CFU/g และลดแบคทีเรียโคลิฟอร์มได้ 1.0-2.0 log CFU/g ซึ่งในขณะที่ทำการล้างด้วยน้ำประปาสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้เพียง 0.6-0.7 log CFU/g และ 0.1-0.8 log CFU/g ตามลำดับ และจากรายงานของ อัมพวัน (2544) ได้ใช้น้ำที่ละลายด้วยโอโซนล้างผักกาดแก้ว (shredded lettuce) โดยการใช้ออกซิเจนเข้มข้น 1.3 มิลลิโมล มีอัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที ซึ่งมีอัตราส่วน 1:20 โดยน้ำหนักต่อผักกาดแก้ว และมีการกวนด้วยความเร็วสูงเป็นเวลา 3 นาที พบว่าสามารถลดปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (total plate count) ได้ถึง 2 log CFU/g และจากประโยชน์ของโอโซน Barth *et al.* (1995) ได้ศึกษาการใช้ออกซิเจนในการเก็บรักษาแบล็คเบอร์รี่ โดยเริ่มตั้งแต่การเก็บเกี่ยวจนถึงการเก็บรักษา โดยทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของโอโซน 0.3 ppm พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นได้ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ทำให้เกิดตำหนิและไม่ทำให้สีเปลือกของผลเปลี่ยนแปลงจากการเก็บรักษาเป็นเวลานานถึง 12 วัน

Hapemen and Torrents, (1998) รายงานว่าปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับสารฆ่าแมลงในน้ำนั้นจะมีประสิทธิภาพลดลง หากเกิดปฏิกิริยาในน้ำดิบ (raw water) ดังนั้นในการทดลองส่วนใหญ่จึงมักจะใช้สารฆ่าแมลงบริสุทธิ์ทำปฏิกิริยากับโอโซนในน้ำบริสุทธิ์สูง (high pure water) และนอกจากนี้สารจำพวกฮิวมิก (humic) คาร์บอเนต (carbonate) และโบรมไนด์ (bromide) ก็จะไปลดประสิทธิภาพของโอโซนในการลดปริมาณสารฆ่าแมลงในน้ำได้เช่นกัน และจากการศึกษาของ ชมภูศักดิ์และเทพพนม (2540) ยังพบอีกว่าโอโซนจะสลายสารพวกไฮโดรคาร์บอนให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ทำให้สารพิษดีดีที (DDT) เสื่อมสลายลงได้ และเมื่อผสมโอโซนลงในน้ำเสียที่มีสารประกอบพวกออร์แกนโนฟอสเฟต และออร์แกนโนคลอรีนปนเปื้อนอยู่ จะให้สารประกอบเหล่านี้ลดลงได้เช่นกัน วัฒนสิทธิ์ (2544) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของโอโซนในการลดปริมาณสารพิษตกค้างเอ็นโดซัลแฟนในผักกาดขาว โดยล้างผักกาดขาวในน้ำที่ปล่อยโอโซนผ่านเป็นเวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 นาที ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำที่มีการปล่อยโอโซนผ่านสามารถลดปริมาณสารพิษตกค้างเอ็นโดซัลแฟนในผักกาดขาวได้ โดยเมื่อทำการล้างผักกาดขาวด้วยน้ำที่มีโอโซนผ่านเป็นเวลา 25 นาที และสามารถลดสารตกค้างเอ็นโดซัลแฟนในผักกาดขาวได้สูงสุดคือ ร้อยละ 71.93 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารพิษตกค้างเอ็นโดซัลแฟนในผักกาดขาวที่ไม่ผ่านการล้าง ในขณะที่ผักกาดขาวที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่นสามารถลดปริมาณสารพิษตกค้างเอ็นโดซัลแฟนในผักกาดขาวได้เพียงร้อยละ 34.34 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารพิษตกค้างเอ็นโดซัลแฟนในผักกาดขาวที่ไม่ได้ผ่านการล้าง และ Whangchai *et al.* (2004) ได้รายงานว่โอโซนสามารถใช้ในการลดค่าความเป็นพิษของสารต่างๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้ง เช่น การลดปริมาณแอมโมเนีย และทำให้ค่า alkalinity ลดลง เนื่องจากโอโซนทำปฏิกิริยากับ bromide ที่อยู่ใน

น้ำทะเลได้ hypobromous acid (HOBr) นอกจากนี้โอโซนทำให้ค่า nitrite ลดลง โดยทำให้ H^+ แตกตัวออกมา โดยทำให้เกิดการออกซิเดชันของ nitrite โดยโอโซน เช่นเดียวกับ Ong *et al.* (1996) พบว่าการล้างผลแอปเปิลในน้ำที่ผ่านก๊าซโอโซน (0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร) จะช่วยลดปริมาณสาร szinphos-methyl, captan และ fometanate hydrochloride ได้ 50-100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกานดาและคณะ (2547) ได้ศึกษาการลดสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในผลลำไยสด พบว่าการแช่น้ำโอโซนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีแนวโน้มลดสารตกค้างทั้งในเปลือกและเนื้อได้ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับ การล้างด้วยน้ำเปล่า ซึ่ง Ince and Gokce (2001) ได้ศึกษาถึงปฏิกิริยาที่ตอบสนองของการเสื่อมสลายของสี้อมโดยใช้โอโซน พบว่าโอโซนมีประสิทธิภาพในการกระตุ้นให้สารละลายสี้อมมีสีจางลง และ Martins *et al.* (2006) ได้ศึกษาการสลายตัวของสี้อม pararosaniline โดยโอโซน พบว่าการใช้โอโซนมีประสิทธิภาพในการทำลายโครงสร้างของสี้อม ส่วน Ku *et al.* (1998) ศึกษาการสลายของสาร diazinon ในสารละลายน้ำโอโซน พบว่าโอโซนในน้ำสามารถออกซิไดซ์สาร diazinon ภายใน 1 ชั่วโมง เช่นเดียวกับ Cataldo (2008) ศึกษาการใช้โอโซนเพื่อสลายสารพิษ patulin และการปนเปื้อนของอาหารในน้ำสาลีและน้ำแอปเปิล พบว่าโอโซนสามารถสลายหรือลดสารพิษ patulin ในน้ำแอปเปิลได้ นอกจากนี้ Benitez *et al.* (2002) ศึกษาการสลายตัวของ carbofuran โดยใช้โอโซนและรังสี UV พบว่าโอโซนและที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารฆ่าแมลง โดยพิจารณาจากการสลายตัวของสาร hydroxyl radicals นอกจากนี้เรายังพบว่าการใช้โอโซนร่วมกับรังสี UV ทำให้มีอัตราการสลายตัวของสาร hydroxyl radicals เพิ่มและมีประสิทธิภาพในการลดสาร carbofuran ได้