บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

เห็ดนางรม

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kummer (Kong, 2004)

ชื่อสามัญ Oyster mushroom

Subdivision Basidiomycotina

Class Hymenomycetes

Subclass Holobasidiomycetidae

Order Agaricales (Agarics)

Family Pleurotaceae

Genus *Pleurotus* (Kirk *et al*., 2001, 2008)

เห็ดนางรม (Oyster mushroom) จัดเป็นเห็ดที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางถิ่นประเทศแถบยุโรป เห็ดพวกนี้ สามารถเจริญเติบโตได้ทั่วไปในเขตอบอุ่น ต่อมาได้มีการนำเข้ามาทดลองเพาะเลี้ยงในประเทศไทย พบว่าเห็ดชนิดนี้สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดี และสามารถเพาะเลี้ยงได้กับวัสดุหลายชนิด เช่น ขี้เลื่อยไม้ฉำฉา ชานอ้อย หรือ ฟางข้าว และขี้เลื่อยไม้ยางพารา เป็นต้น (ดำเกิง, 2552) ต่อมาจึงได้มีการเผยแพร่วิธีการเพาะเห็ดชนิดนี้จนเป็นที่รู้จักของประชาชนทั่วไป

เห็ดนางรมจัดเป็นเห็ดที่คนไทยนิยมรับประทานกันมาก ทั้งนี้เนื่องจากเห็ดนางรมมีลักษณะคล้ายเห็ดมะม่วงหรือเห็ดขอนขาวที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติบนตอไม้ที่ผุพัง คนท้องถิ่นทั่วไปนิยมบริโภคอยู่แล้ว ประกอบกับเห็ดนางรมเป็นเห็ดสีขาวสะอาด มีคุณค่าทางอาหารสูงและมีรสชาติดี นอกจากนี้เนื้อหมวกดอกของเห็ดนางรมมีความนุ่มและเหนียวเล็กน้อย ก้านมีความเหนียวมากกว่าส่วนหมวกดอก แต่ไม่เหนียวมากอย่างเห็ดมะม่วงหรือเห็ดขอนขาว และที่สำคัญก็คือ เห็ดนางรมมีสรรพคุณเป็นสมุนไพรไม่แพ้เห็ดชนิดอื่นๆ จึงทำให้เป็นที่นิยม

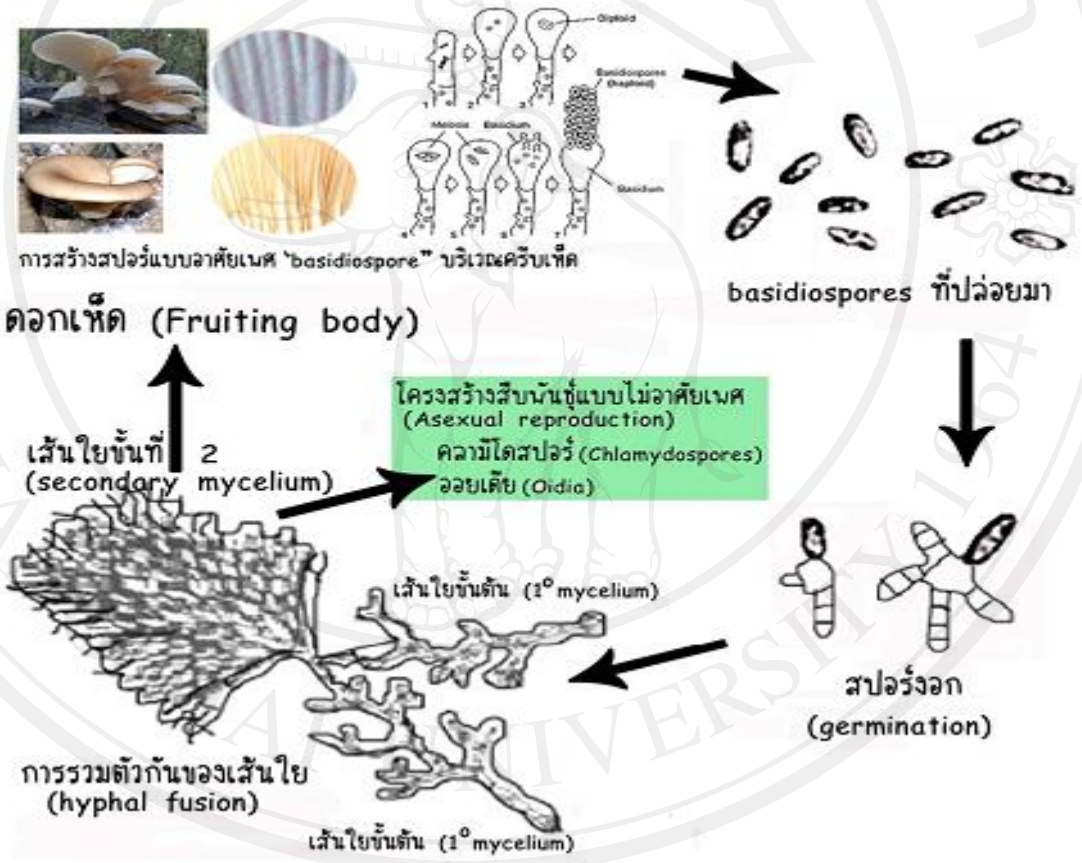
เห็ดนางรมจัดเป็นเห็ดที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงเพราะมีโปรตีนสูงกว่าพืชผักอื่นให้พลังงานน้อย มีไขมัน และกรดอมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย มีวิตามินหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วิตามิน บี 1 บี 2 วิตามินซี ไนอาซิน มีส่วนประกอบของเส้นเยื่อ (fiber) และคาร์โบไฮเดรต เป็นแหล่งแร่ธาตุที่สำคัญ เช่น โปตัสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม และในเห็ดสกุลนางรมจะมีกรดโฟลิคสูงกว่าพืชผัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และเนื้อสัตว์ กรดนี้ช่วยป้องกันรักษาโรคโลหิตจางได้จึงเหมาะสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง และยังเหมาะต่อผู้ที่ต้องการลดน้ำหนักเพราะมีปริมาณของไขมันน้อยและมีปริมาณโซเดียมต่ำจึงเหมาะที่จะใช้เป็นอาหารสำหรับผู้ที่เป็นโรคหัวใจและโรคไตอักเสบ เป็นต้น (นิดดาและคณะ, 2550; Chang and Miles, 2004; Regula and Siwulski, 2007)

วงชีวิตของเห็ดนางรม (อุราภรณ์ และคณะ, 2552)

เห็ดนางรมมีวงจรชีวิตแบบ heterothallic (ภาพ 2.1)



ภาพ 2.1 รูปวงชีวิตของเห็ดนางรม

ดอกเห็ดนางรมที่เจริญเติบโตเต็มที่ มีการสร้าง เบสิดิโอสปอร์ เมื่อสปอร์ปลิวไปตกในบริเวณที่เหมาะสมจะงอกเส้นใยขั้นที่ 1 (primary mycelium) ซึ่ง มีนิวเคลียสเพียงอันเดียวต่อเซลล์ จากนั้นเส้นใยขั้นที่ 1 ที่เจริญมาจากสปอร์ที่มีลักษณะทางพันธุกรรมอีก 1 สปอร์ จะรวมตัวกันแล้วพัฒนาเป็นเส้นใยขั้นที่ 2 (secondary mycelium) ซึ่งมีนิวเคลียส 2 อัน เส้นใยขั้นที่ 2 นี้อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

dikaryotic เส้นใยขั้นที่ 2 จะเจริญเติบโต อย่างรวดเร็ว และในแต่ละเซลล์จะมีท่อเชื่อมระหว่างเซลล์ (clamp connection) เส้นใยจะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน พร้อมที่จะสร้างดอกเรียก เส้นใยระยะนี้ว่า เส้นใยขั้นที่ 3 (tertiary mycelium) จากนั้นเส้นใยจะค่อยๆ พัฒนาไปเป็น fruiting body หรือเจริญเป็นดอกเห็ดต่อไป (Kirk *et al*., 2008)

ชนิดของเห็ดนางรม (ดำเกิง, 2552**)**

เห็ดนางรมที่นิยมเพาะโดยทั่วไปแบ่งตามสีมีอยู่ 2 พันธุ์ ได้แก่

1. เห็ดนางรมสีขาว (White type หรือ Florida type) (ภาพ 2.2)

เจริญเติบโตได้ในสภาพอุณหภูมิสูง จึงนำมาเพาะเลี้ยงในช่วงฤดูร้อน เห็ดชนิดนี้จะออกดอกได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 20 ˚C หมวกดอกมีสีขาว และมีน้ำหนักมากกว่าเห็ดนางรมสีเทา แต่หมวกดอกจะมีขนาดเล็กและบางกว่านางรมสีเทา

2. เห็ดนางรมสีเทา (Grey type หรือ Winter type) (ภาพ 2.3)

เจริญได้ดีในสภาพอุณหภูมิต่ำ จึงเพาะเลี้ยงในช่วงฤดูหนาว เห็ดจะออกดอกได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20˚C หมวกดอกหนาและมีขนาดใหญ่ แต่ผลผลิตต่ำกว่าชนิดแรก

ภาพ 2.2 เห็ดนางรมพันธุ์สีขาว เพาะบนก้อนขี้เลื่อย (สุธีรา, 2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 2.3 เห็ดนางรมพันธุ์สีเทา (อุราภรณ์ และคณะ, 2552)

รูปร่างลักษณะของเห็ดนางรม (ดำเกิง, 2552)

เนื่องจากเห็ดนางรมมีรูปร่างเหมือนหอยนางรมจึงเรียกเห็ดนี้ว่า Oyster mushroom ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. หมวกดอก (cap หรือ pileus) มีลักษณะคล้ายหอยนางรม หมวกดอกมีลักษณะแบนราบไม่เหมือนเห็ดฟาง กลางหมวกดอกมีลักษณะเว้าเป็นแอ่ง มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5-15 เซนติเมตร มีสีขาวหรือสีขาวนวล มีขนละเอียดสีขาวปกคลุมคล้ายขนกำมะหยี่ ด้านล่างของหมวกดอกจะเชื่อมติดกับก้านดอกหรือเป็นเนื้อเดียวกัน

2. ก้านดอก (stalk) เป็นส่วนชูดอกขึ้นไปในอากาศ ก้านดอกค่อนข้างสั้นและเจริญเข้าหาแสงสว่าง ก้านดอกเห็ดอยู่ค่อนไปข้างหนึ่ง ไม่อยู่กึ่งกลางของหมวกเห็ด ก้านโค้งงอเหมือนพัด เล็กน้อยมีความกว้างประมาณ 0.5-2 เซนติเมตร ยาวประมาณ 1-3 เซนติเมตร

3. ครีบดอก (gill) มีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ สีขาวหรือสีเทา บริเวณครีบดอกเป็นแหล่งสร้างสปอร์ สปอร์มีสีขาวอมม่วงอ่อน รูปร่างกลมรี มีติ่งเล็กๆ ที่ปลายข้างหนึ่ง ขนาด 3x4 - 8x12 ไมโครเมตร

เห็ดนางรมขึ้นอยู่เป็นกลุ่ม มีโคนก้านดอกติดกันและมีหมวกเห็ดซ้อนกันเป็นชั้นๆ และสามารถงอกออกมาจากขอนไม้ หรือกิ่งไม้ผุบนต้นไม้ยืนต้นได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณภาพของเห็ดนางรม

มาตรฐานเห็ดนางรมต้องมีคุณภาพคือ เป็นเห็ดนางรมทั้งดอก ดอกเห็ดมีความสด สะอาดและปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้ ไม่มีศัตรูเห็ดที่มีผลกระทบต่อรูปลักษณ์ทั่วไปของดอกเห็ดนางรม ไม่มีรอยช้ำ เน่าเสีย ที่ทำให้ไม่เหมาะสมกับการบริโภค ไม่มีความเสียหายที่เกิดจากการทำลายของศัตรูเห็ด และปราศจากสิ่งแปลกปลอม (ชาญยุทธ์, 2549)

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพดอกเห็ดสกุลนางรม (ศราวุฒิ, 2552)

คุณภาพทีดีของดอกเห็ดสกุลนางรมที่เพาะได้ ขึ้นอยู่ปัจจัยต่างๆ ที่สำคัญดังนี้

1. อาหารสำหรับเห็ด เห็ดไม่สามารถสร้างอาหารเองได้เหมือนพืช แต่ต้องได้รับอาหารและพลังงานจากการย่อยสลายสลายอินทรีย์สารเท่านั้น (heterotroph) แหล่งคาร์บอน และแหล่งพลังงานที่เห็ดสามารถใช้ได้ง่าย คือ กลูโคส เพื่อให้ได้ดอกเห็ดสกุลนางรมที่สมบูรณ์ดีขึ้น ทำได้โดยการเติมน้ำตาลทรายหรือกากน้ำตาลในวัสดุเพาะ คือ ขี้เลื่อยหรือฟางข้าว (ศราวุฒิ, 2546)

2. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) เห็ดสกุลนางรมเจริญได้ดีในสภาพเป็นกลาง (pH ประมาณ 7) หรือกรดเล็กน้อย และเห็ดราจะทนความเป็นกรดได้ดีกว่าความเป็นด่าง ในอาหารที่เป็นกรด เห็ดจะเจริญเฉพาะเส้นใยเท่านั้น และมีการสร้างดอกได้ยาก เห็ดจะเกิดดอกได้ดีในสภาพที่เป็นกลาง เนื่องจากการสลายตัวของอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อเห็ดจะเกิดขึ้นได้มากเมื่ออาหารเป็นกลางนั่นเอง

3. อากาศ เห็ดต้องการออกซิเจนค่อนข้างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะเปิดดอก โดยธรรมชาติเห็ดต้องการออกซิเจนตั้งแต่ระยะเส้นใย แต่ระยะเส้นใยเห็ดสามารถทนต่อการขาดออกซิเจนได้มากกว่าระยะเปิดดอก (อภิชาต, 2551; ณัฐภูมิและคมสัน, 2552) โรงเพาะเห็ดส่วนใหญ่มักจะพบปัญหาเรื่องการถ่ายเทอากาศเสมอ เนื่องจากขบวนการหมักของวัสดุเพาะหรือการหายใจของเส้นใยและดอกเห็ด เกิดการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ซึ่งปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพียงเล็กน้อยจะช่วยกระตุ้นการสร้างตุ่มเห็ด โดยปกติในสภาพธรรมชาติ คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมี 0.03 % หากเพิ่มเป็น 0.1-0.2 % จะกระตุ้นการเจริญของเส้นใยแต่หากเพิ่มสูงเป็น 1% จะทำให้ดอกเห็ดน้อยลงหรือไม่เกิดดอกเห็ด นอกจากนี้อาจทำให้ดอกเห็ดมีอาการผิดปกติ คือ มีลำต้นยืดยาวและดอกเห็ดหุบ ไม่ยอมบานออกโดยเฉพาะเห็ดสกุลนางรม ดังนั้นในโรงเรือนขนาดใหญ่จึงจำเป็นต้องจัดระบบหมุนอากาศ (ventilation) ให้ดี โดยอาจใช้พัดลมเข้าช่วย

4. อุณหภูมิ เห็ดสกุลนางรมส่วนใหญ่เจริญได้ดีในอุณหภูมิประมาณ 25-30^{o}C แต่ระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในระยะเจริญเส้นใยควรสูงกว่าระยะเกิดดอกเห็ดประมาณ 3-5^{o}C นอกจากนี้ดอกเห็ดที่อยู่ในสภาพอุณหภูมิสูงจะบานและโรยเร็วกว่าสภาพอุณหภูมิต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5. ความชื้น เห็ดสามารถทนแล้งได้ดีกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ความชื้นในการเพาะเห็ดจึงแบ่งได้เป็น 2 อย่าง คือ ความชื้นในวัสดุเพาะ (moisture content) และความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ (relative humidity)

5.1 ความชื้นในวัสดุเพาะ สามารถควบคุมได้โดยการให้น้ำแต่ต้องระวังไม่ให้มากเกินไป เพราะจะทำให้จุลินทรีย์อื่นๆ เช่น แบคทีเรีย เจริญได้ดีกว่าเส้นใยเห็ด อีกทั้งยังทำให้วัสดุเพาะขาดออกซิเจน เส้นใยเห็ดจะเจริญได้ไม่ดีหรือชะงักการเจริญได้ แต่ถ้าทิ้งให้แห้งจนเกินไปจะเกิดอาการขาดน้ำจนสารอาหารไม่ละลายหรือมีการสูญเสียน้ำออกไปจากเส้นใยเห็ดทำให้เส้นใยชะงักการเจริญเติบโต (บุญส่ง, 2543)

5.2 ความชื้นในบรรยากาศ เพิ่มได้โดยการพ่นละอองน้ำในอากาศ หากความชื้นมากเกินไปจะเกิดเส้นใยบริเวณโคนดอกเห็ด ดอกเห็ดที่ได้จะมีคุณภาพต่ำ คือฉ่ำน้ำและการเกิดดอกเห็ดลดลงมาก แต่หากความชื้นในอากาศมีน้อย จะเกิดการระเหยน้ำออกจากดอกเห็ด ทำให้ดอกเห็ดแห้ง และชะงักการเจริญเติบโต ความชื้นสัมพัทธ์ทั่วไปควรอยู่ระหว่าง 80-90 % จึงไม่เกิดความเสียหาย (บุญส่ง, 2543; บรรณ, 2547; ณัฐภูมิและคมสัน, 2552)

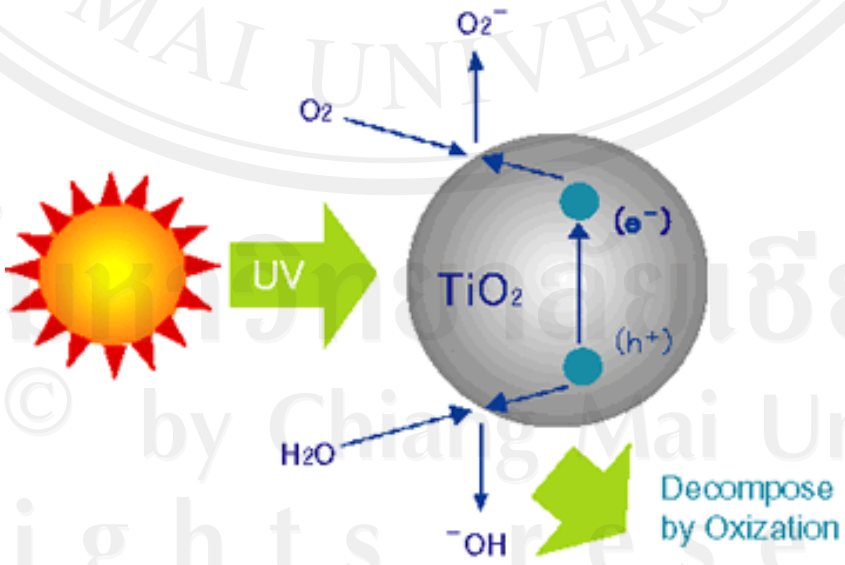
6. แสง เห็ดหลายชนิดแม้ไม่จำเป็นต้องใช้แสงในการเจริญเติบโตโดยเฉพาะในระยะเส้นใย แต่อย่างไรก็ตามแสงก็มีความจำเป็นในการกระตุ้นให้เส้นใยรวมตัวกันเพื่อให้เกิดดอกเห็ดได้เร็วขึ้น ในระยะเปิดดอกเมื่อให้แสงเห็ดจะเจริญเข้าหาแสง แสงที่พอเหมาะคือ มีแสงระดับที่พออ่านหนังสือออกได้ และแสงสีน้ำเงินจะมีผลต่อการออกดอกของเห็ดมากกว่าสีอื่น (บุญส่ง, 2543) เห็ดสกุลนางรมเมื่อได้รับแสงมากจะปล่อยสปอร์ได้ดี หรืออาจกล่าวได้ว่าเห็ดบานเร็วขึ้นหากมีแสงในโรงเรือนมาก

7. การปนเปื้อนหรือการเข้าทำลายโดยศัตรูเห็ด ความเสียหายของผลผลิตเห็ดสกุลนางรมอาจเกิดจากการปนเปื้อนของศัตรูเห็ดในหลายขั้นตอนของการเพาะเห็ด ตั้งแต่การแยกเชื้อเห็ดจากดอกเห็ดจนถึงระยะเจริญเป็นดอกเห็ดใหม่อีกครั้งหนึ่ง จุดวิกฤติหรือปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ในแต่ละขั้นตอนของการเพาะเห็ด ทั้งในเห็ดสกุลนางรมและเห็ดสกุลอื่นๆ มีดังนี้ ศัตรูเห็ดที่มักพบในระยะแยกเชื้อเห็ดจนถึงระยะเปิดดอก และมักจะทำให้ผลผลิต คุณภาพและอายุหลังการเก็บเกี่ยวของดอกเห็ดลดลง คือ การปนเปื้อนของเชื้อรา แบคทีเรียบางชนิด หนอนและไร ซึ่งอาจเกิดจากการนึ่งฆ่าเชื้อที่ไม่สมบูรณ์ การแตกรั่วของถุงเห็ด ตลอดจนสถานที่ที่ใช้ในการทำงานแต่ละขั้นตอนไม่สะอาดหรือมีสภาพไม่เหมาะสม ทำให้ง่ายต่อการปนเปื้อนของศัตรูเห็ด ในการผลิตเห็ดสกุลนางรมมักเผชิญปัญหาจากเชื้อราหลายชนิด เช่น *Aspergillus, Botrytis, Coprinus, Fusarium, Penicillium, Trichoderma* และ *Verticillium* เป็นต้น (อภิรัชต์, 2547; ศูนย์เห็ดล้านนาเชียงใหม่, 2550; อภิชาต, 2551) นอกจากนี้ยังมีการปนเปื้อนของราเมือกและแบคทีเรียชนิดต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (photocatalyst)

โฟโตคาตาลิสต์ เป็นคำที่ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ โฟโต (photo) ที่ใช้นำหน้าคำที่แสงมาเกี่ยวข้องด้วย และคาตาลิสต์ที่เป็นกระบวนการที่อนุภาคของสารมีส่วนร่วมในการทำให้เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยที่ตัวเองไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อสิ้นสุดกระบวนการ และเรียกสารที่เพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีโดยการลดพลังงานกระตุ้น (the activation energy) ว่าสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง การเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงคือปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการใช้แสงไปกระตุ้นสสารที่เปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีโดยที่ไม่เกี่ยวข้องกับตัวมันเอง คลอโรฟิลล์ของพืชเป็นสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงในธรรมชาติแบบหนึ่ง ความแตกต่างระหว่างคลอโรฟิลกับนาโนโฟโตคาตาลิสต์ ที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นซึ่งในที่นี้จะเป็นไททาเนียมไดออกไซด์ กล่าวคือ คลอโรฟิลล์จะจับแสงอาทิตย์ไปเปลี่ยนน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นออกซิเจนและกลูโคส แต่การฉายแสงอุลตราไวโอเลต (UV) จากดวงอาทิตย์หรือจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ไปยังไททาเนียมไดออกไซด์จะทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radical: $^{\cdot}OH$) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide: H_2O_2) และประจุลบของซุปเปอร์ออกไซด์ (superoxide anions: O_2^-) ซึ่งสารตระกูลออกซิเจนที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเหล่านี้สามารถทำลายโครงสร้างและยับยั้งชีวเคมีของแบคทีเรียและเซลล์ที่ติดเชื้อไวรัส การเกิดอนุมูล ไฮดรอกซิลและโมเลกุลของออกซิเจนจะทำให้สารประกอบอินทรีย์ถูกทำเป็นออกไซด์จนในที่สุดจะกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ รวมทั้งจะเข้าไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันสลายก๊าซพิษต่างๆ และสารก่อมะเร็ง เช่น acetaldehyde, benzene และ formaldehyde (สรรค์, 2552; อัศวิน, 2544) (ภาพ 2.4)

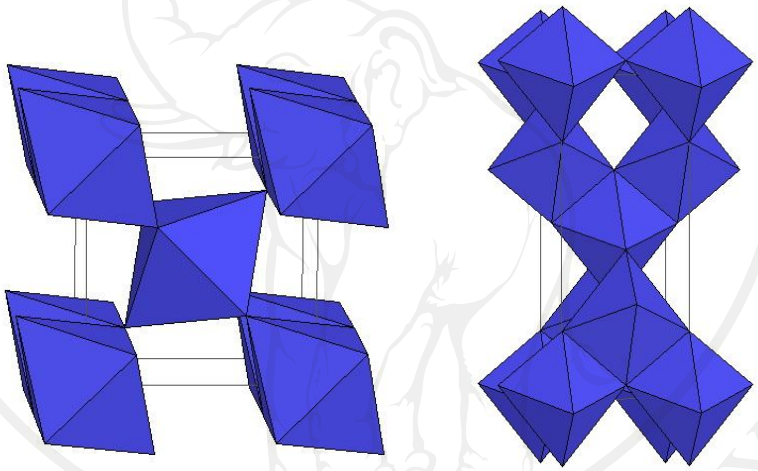


ภาพ 2.4 โฟโตคาตาไลติกของไททาเนียมไดออกไซด์ (นิรนาม, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารเก่าแก่ชนิดหนึ่งเท่าๆกับโลกของเรา และเป็นหนึ่งใน 50 ชนิดของสารที่ผลิตมากที่สุดทั่วโลก ลักษณะโดยทั่วไปมีสีขาว ทึบแสง เกิดเองตามธรรมชาติมี 2 รูปแบบ ใหญ่ คือ รูไทล์ และ อานาเทส (ภาพ 2.5) ทั้ง 2 รูปแบบมีไททาเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์อยู่กับสารปนเปื้อน ต้องผ่านกระบวนการทางเคมีจึงจะนำสารปนเปื้อนออกได้ เหลือไว้แต่ไททาเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์ ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารสีขาว มีประโยชน์สำหรับการใช้งานได้หลากหลาย เนื่องจากไม่มีกลิ่นและมีความสามารถในการดูดซับ เราสามารถพบไททาเนียมไดออกไซด์ได้ในหลายผลิตภัณฑ์ตั้งแต่สีทาบ้านไปถึงอาหารและเครื่องสำอาง (Stryker, 2007)



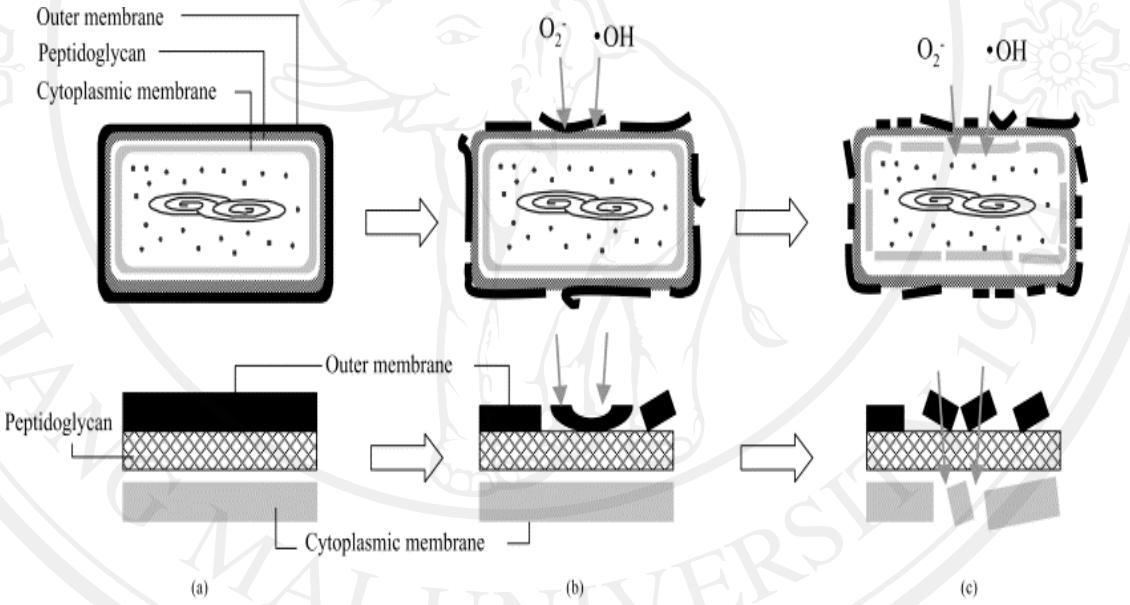
ภาพ 2.5 โครงสร้าง รูไทล์ และอานาเทส (Anonymous, 2009)

ไททาเนียมไดออกไซด์ที่อยู่ในรูปปกติถูกจัดอยู่ในกลุ่มของสารสีที่ปลอดภัย ไม่ใช่สารที่อยู่ในกลุ่มของสารก่อมะเร็ง สารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ (US FDA, 2007) สารที่ทำให้ตัวอ่อนในครรภ์เกิดความผิดปกติ หรือสารที่มีพิษต่อผิวหนังของมนุษย์ (Chen *et al*., 2010) ในปัจจุบันได้มีการนำไททาเนียมไดออกไซด์ มาใช้ในการช่วยกำจัดมลพิษกันอย่างกว้างขวางเพราะไททาเนียมไดออกไซด์มีคุณสมบัติฆ่าเชื้อโรคโดยกระบวนการใช้แสง UV ฉายลงไปยังไททาเนียมไดออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาโฟโตคาตาลิติก (photocatalytic) ที่สามารถใช้กำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำหรืออากาศที่สัมผัสกับพื้นผิวของไททาเนียมไดออกไซด์ ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงได้ (สรรค์, 2552)

Kumazawa *et al*., (2002) พบว่านอกจากนี้ขนาดอนุภาคของไททาเนียมไดออกไซด์ยิ่งขนาดอนุภาคเล็กความเป็นพิษก็ยิ่งมากขึ้น โดยขนาด 70 นาโนเมตร สามารถแทรกผ่านถุงลมในปอดได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขนาด 50 นาโนเมตร สามารถแทรกผ่านเซลล์ได้ และขนาด 30 นาโนเมตร สามารถแทรกเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลางได้ เพราะยิ่งไททาเนียมไดออกไซด์มีอนุภาคขนาดเล็กอาจสามารถแทรกผ่านเซลล์ได้ง่าย และอาจนำไปสู่การเกิดกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสภายในเซลล์ได้และอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่ DNA เมื่อได้รับแสง (Powell *et al*., 1996) และเป็นที่น่ากลัวว่าจะก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนัง ผิวหนังสามารถดูดซับอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดเล็กได้ โดยพบอนุภาคเหล่านี้ได้ในชั้นของผิวหนังภายใต้แสงอุลตร้าไวโอเลตสำหรับอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาดใหญ่มีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพในการสะท้อนหรือดูดกลืนแสงอุลตร้าไวเลตได้ (Stryker, 2007)



ภาพ 2.6 การเข้าทำลายเชื้อ *E. coli* ของประจุลบที่เกิดจากไททาเนียมไดออกไซด์ แถวบนเป็นขั้นตอนการทำงานของประจุลบในการฆ่าเชื้อ *E. coli* และแถวล่างแสดงภาพขยายของการเข้าทำลาย (Sunada *et al*., 2003)

Sunada *et al*. (2003) เคลือบผิวของฟิล์มด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่าเมื่อฟิล์มได้ ดูดซับแสง UV ฟิล์มจะแสดงความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย ดับกลิ่น และทำความสะอาดตัวเองได้ (ภาพ 2.6) ทั้งแสง UV และโฟโตคาตาไลซิส สามารถฆ่าเชื้อ *Penicillium citrinum* ได้เช่นเดียวกัน แต่สำหรับเชื้อ *Bacillus subtilis* นั้นพบว่าแสง UV สามารถฆ่าได้ดีกว่าโฟโตคาตาไลซิส (Lin and Li, 2003b)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้ methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) ทดสอบความสามารถ ในการยับยั้งเชื้อเมื่อมี photocatalysis ของไททาเนียมไดออกไซด์โดยใส่สารละลาย MRSA ลงในจานเพาะเชื้อที่เคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ จากนั้นทำการให้แสง UVA แล้วนำมานับจำนวนเซลล์ที่รอดชีวิต พบว่าการยับยั้งแบคทีเรียจะปรากฏชัดหลังจากรับโฟโตคาตาไลซิส เป็นเวลา 60 นาที และโฟโตคาตาไลซิส ยังสามารถยับยั้งการเกิดโคโลนีของแบคทีเรียได้ด้วย (Oka *et al*., 2008) โดย Jacoby *et al*. (1998) พบว่าการกระตุ้นด้วยโฟโตคาตาไลซิส ที่ผิวของไททาเนียมไดออกไซด์สามารถนำมาใช้เป็นตัวยับยั้งแบคทีเรียและเป็นตัวทำความสะอาดอากาศและดินได้ Mitoraj *et al*. (2006) ได้ทดลองเคลือบผิวจานเพาะเชื้อพลาสติกด้วยไททาเนียมไดออกไซด์และไททาเนียมไดออกไซด์ที่ถูกดัดแปลงด้วย platinum (modified TiO2 with photocatalyst platinum (IV) chloride complex (4%H [PtCl]/TH-0)) แล้วให้อยู่ภายใต้ช่วงแสงที่ตามองเห็นได้ พบว่าจานเพาะเชื้อที่เคลือบทั้งด้วยไททาเนียมไดออกไซด์และไททาเนียมไดออกไซด์ที่ถูกดัดแปลงด้วย platinum สามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ได้โดยไททาเนียมไดออกไซด์ที่ถูกดัดแปลงด้วย platinum จะสามารถยับยั้งได้ดีกว่าการเคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์อย่างเดียว เช่นเดียวกับ Otaki *et al*. (2000) ทำการทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อของไททาเนียมไดออกไซด์ภายใต้หลอดไฟที่ให้แสง UV และ black light (BL) ทดลองโดยมีการปรับให้หลอดทั้งสองชนิดมีอัตราโฟโตคาตาไลซิสเท่าๆ กัน โดยวัดจากการสลายตัวของ methylene blue การทดลองแรกทดลองโดยให้ *E. coli* อยู่ภายใต้แสง UV และ BL และให้เชื้อ bacteriophage QI^2 อยู่ภายใต้แสง UV พบว่าแสงทั้งสองชนิดไม่มีผลต่อเชื้อ *E. coli* และพบว่าแสง UV ไม่มีผลต่อเชื้อ bacteriophage QI^2 การทดลองที่สองทดลองโดยให้เชื้อสามชนิดอยู่ภายใต้แสง UV และ BL โดยมีการเติมไททาเนียมไดออกไซด์ด้วย พบว่า bacteriophage QI^2 ถูกยับยั้งโดยไททาเนียมไดออกไซด์ภายใต้แสง black light และ *Cryptosporidium parvum* ถูกยับยั้งโดยไททาเนียมไดออกไซด์ภายใต้หลอดไฟที่ให้แสง UV และ black light โดยสังเกตจากวงใสที่เกิดขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Kim *et al*. (2003) ทำการทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อ *Salmonella cholearesui* subsp., *Vibrio parahaemolyticus* และ *Listeria monocytogenes* ของไททาเนียมไดออกไซด์โดยเปรียบเทียบการใช้จานเพาะเชื้อที่เคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์และไม่เคลือบใส่สารละลายเชื้อข้างต้นลงไปแล้วนำไปให้แสง UV พบว่าจานเพาะเชื้อที่เคลือบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์นั้นมีความสามารถในการยับยั้งและฆ่าเชื้อได้ดีกว่าจานเพาะเชื้อที่ไม่เคลือบ และยังพบว่า *S. cholearesuis* subsp. และ *V. parahaemolyticus* จะถูกฆ่าตายหมดภายในเวลา 3 ชั่วโมง ในขณะที่ *L. monocytogenes* ตายเพียง 87% เท่านั้น

โดยทั่วไป free radical เช่น O_2^- และ ^-OH จะทำลายโปรตีน กรดนิวคลิอิก ไขมัน กรดอะมิโน และกรดไขมัน (ศักดิ์ชัย, 2541) ซึ่งกลไกการทำลายเซลล์โดยกระบวนการโฟโตคาตาไลซิส ของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไททาเนียมไดออกไซด์ต่อเชื้อ *E.coli* ภายใต้แสง near-UV พบว่าผนังเซลล์ของเชื้อ *E.coli* จะถูกทำลายภายในเวลา 20 นาที หลังจากนั้นก็จะถูกทำลายเยื่อ cytoplasmic และองค์ประกอบภายในตามลำดับ (Huang *et al*., 1999)

Maneerat *et al.* (2003) ทำการทดลองเคลือบลูกแก้วด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ แล้วใส่ในภาชนะของผลมะเขือเทศทั้งในระบบเปิดและระบบปิดและให้แสงโดยใช้หลอด black light พบว่ากระบวนการโฟโตคาตาไลซิส ของไททาเนียมไดออกไซด์สามารถลดความเข้มข้นของ ethylene gas ได้ และหากเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์ บนฟิล์ม oriented-polypropylene (OPP) โดยให้แสง black light แล้วเปรียบเทียบกับฟิล์มที่ไม่เคลือบไททาเนียมไดออกไซด์ พบการเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์ พร้อมกับให้แสง black light ช่วยลดปริมาณของเชื้อ *E. coli* ได้ดีกว่าฟิล์มที่ไม่เคลือบ (Chawengkijwanich and Hayata, 2007) การใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่มีผู้ทำการทดสอบไว้ได้สรุปไว้ในตาราง 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 การใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

ชื่อผู้ทดลอง/ปี	ใช้ร่วมกับ	เชื้อที่ยับยั้งได้
Huang *et al*./ 1999	near-UV	*E.coli*
Otaki *et al*./ 2000	UV และ black light	*E.coli*
Lin and Li/ 2003	UV	*Penicillium citrinum* and *Bacillus subtilis*
Kim *et al*./ 2003	UV	*Salmonella cholearesui* subsp., *Vibrio parahaemolyticus, Listeria monocytogenes*
Vohra *et al*./ 2005	UV	*Bacillus cereus, Staphylococcus aureus, E. coli, and Aspergillus niger*
Sunada *et al*./ 2003	UV	*and E.coli*
Mitoraj *et al*./ 2006	visible light	*E.coli*
Maneerat and Hayata/ 2006	UVA	*Penicillium expansum*
Hong and Otaki/ 2006	UV and fluorescent light	*Chroococcus* sp.
Chawengkijwanich and Hayata/ 2007	black light	*E.coli*
Oka *et al*./ 2008	UVA	*Staphylococcus aureus*
Chen *et al*./ 2010	UV	*Staphylococcus aureus, E. coli, Pseudomonas aeruginosa, Micrococcus luteus* and *Aspergillus niger*

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved