บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

1. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสตรอเบอรี่
(http://www.doae.go.th/library/html/detail/stawbery/borry2.htm)

1.1 ลักษณะโดยทั่วไป

สตรอเบอรี่จัดเป็นพืชหลายปี แต่โดยทั่วไปจะปลูกปีเดียวแล้วจะมีการปลูกใหม่ในปีถัดไป ลักษณะการเจริญเติบโตจะแตกกอเป็นพุ่มเตี้ย สูงจากพื้นดิน 6 - 8 นิ้ว ทรงพุ่มกว้าง 8 -12 นิ้ว ระบบรากส่วนใหญ่อยู่ระดับลึกประมาณ 12 นิ้วจากผิวดิน ลำต้นปกติยาว 1 นิ้ว ความยาวของก้านใบขึ้นกับพันธุ์ ขอบใบหยัก ใบส่วนใหญ่ประกอบด้วย 3 ใบย่อย ตาที่โคนของก้านใบจะพัฒนาเป็นตาดอก ลำต้นสาขา ไหล หรือพักตัว โดยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ดอกจะออกเป็นช่อ มีกลีบรองดอกสีเขียว กลีบดอกสีขาวหรือชมพู เกสรตัวผู้สีเหลืองและเกสรตัวเมียเรียงอยู่บนฐานรองดอก ซึ่งฐานรองดอกนี้จะพัฒนาเป็นเนื้อของผล ส่วนเมล็ดอยู่ติดกับผิวนอกของผล ผลมีหลายรูปทรง เช่น ทรงกลม ทรงกลมแป้น ทรงกลมปลายแหลม ทรงแหลม ทรงแหลมยาว ทรงลิ่มยาว และทรงลิ่มสั้น มีหลายขนาดขึ้นอยู่กับพันธุ์ ผลจะมีสีเขียวในระยะแรก และค่อยๆเปลี่ยนเป็นสีขาว เมื่อผลแก่จะเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้ม รสเปรี้ยวอมหวาน กลิ่นหอมน่ารับประทาน

1.2 สภาพดินและดินฟ้าอากาศที่เหมาะสมกับการปลูกสตรอเบอรี่

ดินที่ปลูกสตรอเบอรี่ควรเป็นดินร่วนปนทราย มีการระบายน้ำดี ถ้าน้ำขังจะทำให้รากเน่า ดินควรมีความเป็นกรดเล็กน้อยมี pH อยู่ระหว่าง 5.5 - 6.5 ในสภาพอากาศหนาวเย็นหรือฤดูหนาวที่มีอุณหภูมิ 13 - 15 ^{0}C (รวมทั้งในสภาพวันสั้นกว่า 12 ชั่วโมง) สตรอเบอรี่จะเริ่มสร้างตาดอก สำหรับพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำตอนกลางคืนเป็นเวลาค่อนข้างยาวนาน หลังจากปลูกต้นสตรอเบอรี่ลงแปลงแล้ว จะมีความต่อเนื่องของการออกดอกชุดต่อๆมามากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

1.3 พันธุ์

พันธุ์สตรอเบอรี่ มีความแตกต่างกันมากในการตอบสนองต่ออุณหภูมิ และช่วงแสง สำหรับการสร้างตาดอก ซึ่งแบ่งออกเป็น 1 ประเภทดังนี้

1. ประเภทที่ต้องการอุณหภูมิต่ำ ความยาวของวันสั้นกว่า 11 ชั่วโมง (ชั่วโมงกลางวัน) ในประเทศไทยใช้ปลูกบนที่สูง ได้แก่ พันธุ์พระราชทานเบอร์ 16, พันธุ์พระราชทานเบอร์70, เบอร์ 35 และเนียวโฮ เป็นต้น (พันธุ์สตรอเบอรี่ในประเภทนี้ เรียกว่า Junebearing cultiver)
2. ประเภทที่ต้องการช่วงแสงของวันยาวเกิน 12 ชั่วโมงขึ้นไป ส่วนใหญ่ปลูกนอกฤดู ได้แก่ พันธุ์เจนีวา โอซาค บิวตี้ พันธุ์สตรอเบอรี่ในกลุ่มนี้ เรียกว่า Everbearing cultivar
3. ประเภทที่ออกดอกได้ทั้งสภาพวันสั้นและสภาพวันยาว แต่มีปัญหา เรื่องการผลิตไหลได้น้อย ได้แก่ พันธุ์เซลวา ทริบิวเต้ และทริสตาร์ เป็นต้น พันธุ์สตรอเบอรี่ในประเภทนี้ เรียกว่า Dayneutral cultiver

พันธุ์ที่ใช้ปลูกในปัจจุบันในประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์พระราชทาน เบอร์ 16, 20, 50, 70 เนียวโฮ และเซลวา เป็นต้น ซึ่งแต่ละพันธุ์มีลักษณะที่แตกต่างกัน สำหรับการผลิตเป็นการค้านั้น จะผลิตเพื่อจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภคทั้งตลาดภายในประเทศและต่างประเทศในลักษณะของผลรับประทานสดและผลผลิตเพื่อส่งโรงงานแปรรูป

- สำหรับพันธุ์เพื่อการบริโภคสด ได้แก่ พันธุ์พระราชทานเบอร์ 70 เบอร์ 50 และเบอร์ 20 เป็นต้น
- ส่วนพันธุ์เพื่อการแปรรูป ได้แก่ พันธุ์พระราชทานเบอร์ 16 และเซลวา

1.4 การขยายพันธุ์

การขยายพันธุ์สตรอเบอรี่ ทำได้หลายวิธีโดยขึ้นกับวัตถุประสงค์และลักษณะประจำพันธุ์ ได้แก่

1. การใช้ไหล ขยายต้นไหลจากพันธุ์ที่สามารถให้ไหลได้ดี
2. การแยกต้น แยกต้นจากพันธุ์ที่ออกไหลไม่ดี ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกพันธุ์ป่า
3. การใช้เมล็ด ใช้ในกรณีที่มีการผสมพันธุ์เพื่อให้ได้พันธุ์ใหม่เกิดขึ้น
4. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เป็นกระบวนการผลิตต้นไหลที่ปลอดโรค และสามารถขยายพันธุ์ให้มีปริมาณต้นไหลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

การขยายพันธุ์ที่นิยมปฏิบัติจะใช้ตาที่เจริญเติบโตมาจากต้นแม่ตรงซอกของก้านใบ ซึ่งเรียกว่าไหล โดยใช้ไหลจากต้นแม่ที่ปลอดโรคจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมาปลูกเป็นต้นใหม่ ต้นไหลที่จะนำมาปลูกควรมีขนาดพอเหมาะ ไม่แก่หรืออ่อนเกินไป การใช้ต้นไหลที่ผ่านการเกิดตาดอกบนพื้นที่สูงมาแล้ว จะทำให้ผลผลิตเร็วและมีช่วงการเก็บเกี่ยวยาวนานขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2. พื้นที่การผลิตสตรอเบอรี่ในประเทศไทย (ณรงค์ชัย, 2543)

พื้นที่การปลูกสตรอเบอรี่ของประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 เป็นต้นมา เนื่องมาจากการขยายตัวของตลาด ทั้งภายในและภายนอกประเทศโดยเฉพาะในด้านการนำมาแปรรูปพื้นที่การผลิตส่วนใหญ่จะอยู่ในท้องที่จังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย เพราะมีอากาศเย็นที่สตรอเบอรี่สามารถให้ผลผลิตได้ในระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคมรวมพื้นที่การผลิตทั้งประเทศประมาณ 2,600-3,000 ไร่ต่อปี

สำหรับพื้นที่ผลิตในจังหวัดเชียงใหม่ สามารถแบ่งพื้นที่ปลูกออกมาตามอำเภอต่าง ๆ ได้ดังนี้ คือ ฝาง แม่ริม สะเมิง จอมทอง (บนดอยอินทนนท์) และพื้นที่รอบ ๆ ตัวเมือง ผลผลิตส่วนใหญ่ของพื้นที่ปลูกในอำเภอแม่ริม ดอยอินทนนท์และพื้นที่รอบ ๆ เมืองเชียงใหม่จะจำหน่าย ในรูปของผลรับประทานสดแก่นักท่องเที่ยว และขนส่งเข้าตลาดที่กรุงเทพมหานครเป็นหลัก ส่วนผลผลิตที่อำเภอสะเมิงและฝางจะส่งจำหน่าย ให้แก่โรงงานใกล้เคียงเพื่อทำการแปรรูป ปัจจุบันในปี พ.ศ. 2539-2541 พื้นที่ปลูกสตรอเบอรี่ในอำเภอสะเมิงมีประมาณ 2,000 - 2,500 ไร่ ในขณะที่อำเภอฝางมีประมาณ 200 ไร่

ในจังหวัดเชียงราย พื้นที่หลักในการผลิตสตรอเบอรี่อยู่ที่อำเภอแม่สาย และอาจมีกระจายบ้างอยู่ทั่วไปในบริเวณใกล้เคียง ผลผลิตส่วนใหญ่ประมาณ 60 % จะส่งเข้ากรุงเทพมหานครเพื่อจำหน่ายเป็นผลรับประทานสด นอกนั้นจะทำการส่งเข้าโรงงานเพื่อแปรรูป ประมาณ 20 % และเกษตรกรจะจำหน่ายเองให้กับนักท่องเที่ยวอีก 20 % เนื่องจากมีโรคระบาดและต้นตายมากหลังปลูกจึงทำให้ พื้นที่ปลูกในปี พ.ศ. 2535 ประมาณ 800 ไร่ ลดลงเหลือ 350 ไร่ ใน พ.ศ. 2537 และ 250 ไร่ใน พ.ศ. 2540

นอกจากจังหวัดเชียงใหม่และเชียงรายแล้วยังมีการปลูกสตรอเบอรี่โดยทั่วไปบนที่สูงในหลายจังหวัดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ และอำเภอภูเรือ จังหวัดเลย ทางด้านตะวันตกของประเทศไทย เช่น เทือกเขาในอำเภอทองผาภูมิ และอำเภอสังขละ จังหวัดกาญจนบุรี ก็มีการปลูกสตรอเบอรี่เช่นกัน และคาดว่าอาจจะเป็นแหล่งผลิตที่สำคัญต่อไปในอนาคตสำหรับการปลูกสตรอเบอรี่ของประเทศไทย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ฮอร์โมนพืช (www.thai.net/happyhort/PPHY12.htm)

ฮอร์โมนพืชเป็นสารเคมีภายในพืชซึ่งเกี่ยวข้องกับการเจริญของพืชทั้งต้น และการเจริญของพืชในแต่ละส่วน มีทั้งชนิดที่กระตุ้นการเจริญเติบโต และระงับการเจริญเติบโต สำหรับฮอร์โมนพืชที่พบ

ในปัจจุบันได้แก่ ออกซิน (Auxin), จิบเบอเรลลิน (Gibberellins), ไซโตไคนิน (Cytokinins) กรดแอบซิสิค (Abscisic acid) หรือ ABA และ เอทธิลีน (Ethylene) ซึ่งมีสภาพเป็นก๊าซ

3.1 ออกซิน ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติมีด้วยกัน 3 ชนิด (นพดล, 2537)

สำหรับ IAA (indole – 3 – acetic acid) หรือ indoleacetic acid เป็นสารที่พบในธรรมชาติมากที่สุด บางครั้งจึงเรียก IAA ว่าเป็น ออกซินที่แท้จริงเพียงชนิดเดียว

ส่วน 4 – chloro IAA (4 – chloro – indoleacetic acid) และ PAA (phenylacetic acid) ก็เป็น IAA ประเภทหนึ่ง

นอกจากออกซินที่พบในธรรมชาติยังมีออกซินที่สังเคราะห์ขึ้น เช่น เอ็นเอเอ (NAA), ไอบีเอ (IBA), 4-ซีพีเอ (4-CPA) และ2,4-ดี (2,4-D)

การตอบสนองของพืชต่อออกซินมีทั้งการตอบสนองในระดับเซลล์และในระดับอวัยวะหรือพืชทั้งต้น ดังต่อไปนี้ (www.thai.net/happyhort/PPHY12.htm)

1) การตอบสนองในระดับเซลล์ ออกซินทำให้เกิดการขยายตัวของเซลล์ (cell enlargement) เช่น ทำให้เกิดการขยายตัวของใบ ทำให้ผลเจริญเติบโต เช่น กรณีของสตรอเบอรี่ ถ้าหากกำจัดแหล่งของออกซิน ซึ่งคือส่วนของเมล็ดที่อยู่ภายนอกของผล (ผลแห้งแบบ Achene) จะทำให้เนื้อเยื่อของผลบริเวณที่ไม่มีเมล็ดรอบนอกไม่เจริญเติบโต ออกซินยังทำให้เกิดการแบ่งเซลล์ได้ในบางกรณี เช่น กระตุ้นการแบ่งเซลล์ของแคมเบียม และกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพ เช่น กระตุ้นให้เกิดท่อน้ำและท่ออาหาร กระตุ้นให้เกิดรากจากการปักชำพืช และยังกระตุ้นให้เกิดแคลลัส (callus) ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ แต่การตอบสนองในระดับเซลล์ที่เกิดเสมอคือ การขยายตัวของเซลล์

2) การตอบสนองของอวัยวะหรือพืชทั้งต้น ออกซินทำให้มีการตอบสนองในด้านต่างๆ ดังนี้

2.1) เกี่ยวข้องกับการตอบสนองของพืชต่อแสง (phototropism)

2.2) การที่ตายอดข่มไม่ให้ตาข้างเจริญเติบโต (apical dominance)

2.3) การติดผล เช่น กรณีของมะเขือเทศ ออกซินในรูปของ 4 CPA จะเร่งให้เกิดผลแบบ pathenocarpic และในเงาะถ้าใช้ NAA 4.5 % จะเร่งการเจริญของเกสรตัวผู้ทำให้สามารถผสมกับเกสรตัวเมียได้ ในดอกที่ได้รับ NAA เกสรตัวเมียจะไม่เจริญเพราะได้รับ NAA ที่มีความเข้มข้นสูงเกินไป แต่เกสรตัวผู้ยังเจริญได้ ทำให้การติดผลเกิดมากขึ้น

2.4) ป้องกันการร่วงของผลโดยออกซินจะยับยั้งไม่ให้เกิด abcission layer ขึ้นมา เช่น การใช้ 2,4-D ป้องกันผลส้มไม่ให้ร่วง หรือ NAA สามารถป้องกันการร่วงของผลมะม่วง

2.5) ป้องกันการร่วงของใบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6) ในบางกรณีออกซินสามารถทำให้สัดส่วนของดอกตัวเมีย และตัวผู้เปลี่ยนไปโดยออกซินจะกระตุ้นให้มีดอกตัวเมียมากขึ้น

3.2 จิบเบอเรลลิน สารธรรมชาติในกลุ่มนี้คือ Gibberellic acid (GA_3) ซึ่งปัจจุบันพืชมีฮอร์โมนกลุ่มนี้ถึง 72 ชนิด (www.thai.net/happyhort/PPHY12.htm)

จิบเบอเรลลินมีบทบาทต่อพืช ดังต่อไปนี้

1) กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชทั้งต้น จิบเบอเรลลินมีคุณสมบัติพิเศษ ซึ่งสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชทั้งต้นได้โดยทำให้เกิดการยืดตัวของเซลล์ ซึ่งผลนี้จะต่างจากออกซินซึ่งสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของชิ้นส่วนของพืชได้ พืชบางชนิดอาจจะไม่ตอบสนองต่อจิบเบอเรลลิน อาจจะเป็นเพราะว่าในพืชชนิดนั้นมีปริมาณจิบเบอเรลลินเพียงพอแล้ว จิบเบอเรลลินสามารถกระตุ้นการยืดยาวของช่อดอกไม้บางชนิดและทำให้ผลไม้มีรูปร่างยาวออกมา เช่น องุ่น และแอปเปิล

กะหล่ำปลีซึ่งเจริญในลักษณะต้นเตี้ยเป็นพุ่ม (rosette) มีปล้องสั้นมาก เมื่อให้ GA_3 กับต้นกะหล่ำปลีดังกล่าว จะทำให้สูงขึ้นถึง 2 เมตรได้ ถั่วพุ่มที่ได้รับ GA_3 จะกลายเป็นถั่วเลื้อยได้ พืชซึ่งมีต้นเตี้ยทางพันธุกรรม เช่น ข้าว ข้าวโพด ถั่ว แตงกวา และแตงโมสามารถแสดงลักษณะปกติได้เมื่อได้รับ GA_3 ในข้าวโพดแคระนั้นพบว่าความผิดปกติเกิดจากยีนส์ควบคุม ซึ่งอาจจะเกี่ยวพันกับวิถีในการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน ส่วนข้าวโพดปกติหากได้รับจิบเบอเรลลิน จะไม่สามารถสูงขึ้นได้อีก ดังนั้นในกรณีข้าวโพดการแคระเกิดจากมีปริมาณจิบเบอเรลลินในต้นน้อยเกินไป แต่อาการแคระของพืชบางชนิด เช่น Japanese Morning Glory พบว่า มีจิบเบอเรลลินมากพอแล้ว แต่เมื่อได้รับจิบเบอเรลลินเพิ่มก็จะสูงขึ้นได้ ในกรณีนี้อาจจะเป็นเพราะในต้นมีปริมาณของสารระงับการเจริญเติบโตอยู่สูง

2) กระตุ้นการงอกของเมล็ดที่พักตัวและตาที่พักตัว ตาของพืชหลายชนิดที่เจริญอยู่ในเขตอบอุ่นจะพักตัวในฤดูหนาว เมล็ดของพืชหลายชนิดมีพฤติกรรมเช่นนี้ด้วย ซึ่งการพักตัวจะลดลงจนหมดไป เมื่อได้รับความเย็นเพียงพอ การพักตัวของเมล็ดและตา อันเนื่องมาจากต้องการอุณหภูมิต่ำวันยาว และต้องการแสงสีแดงจะหมดไปเมื่อได้รับจิบเบอเรลลิน

3) การแทงช่อดอก การออกดอกของพืชเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อายุ และสภาพแวดล้อม จิบเบอเรลลินสามารถแทนความต้องการวันยาวในพืชบางชนิดได้ และยังสามารถทดแทนความต้องการอุณหภูมิต่ำ (vernalization) ในพืชพวกกะหล่ำปลี และแครอท

4) จิบเบอเรลลิน สามารถกระตุ้นการเคลื่อนที่ของอาหารในเซลล์สะสมอาหาร หลังจากที่เมล็ดงอกแล้ว เพราะรากและยอดที่ยังอ่อนตัวเริ่มใช้อาหาร เช่น ไขมัน แป้ง และโปรตีน จากเซลล์สะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อาหาร จิบเบอเรลลินจะกระตุ้นให้มีการย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก เช่น ซูโครสและกรดอะมิโน ซึ่งเกี่ยวพันกับการสังเคราะห์เอนไซม์หลายชนิดดังกล่าวข้างต้น

5) กระตุ้นให้เกิดผลแบบ parthenocarpic ในพืชบางชนิด เปลี่ยนรูปร่างของใบพืชบางชนิด เช่น English Ivy และทำให้พืชพัฒนาการเพื่อทนความเย็นได้

6) พืชที่มีดอกตัวผู้ และตัวเมียแยกกันไม่ว่าจะต้นเดียวกัน หรือแยกต้นก็ตาม จิบเบอเรลลินสามารถเปลี่ยนเพศของดอกได้ จิบเบอเรลลินมักเร่งให้เกิดดอกตัวผู้ ส่วนออกซิน เอทธิลีน และไซโตไคนิน มักจะเร่งให้เกิดดอกตัวเมีย ในแตงกวาดอกล่าง ๆ มักเป็นดอกตัวผู้ และดอกบนเป็นดอก ตัวเมีย การให้สารอีธีฟอนจะเร่งให้เกิดดอกตัวเมียขึ้น

3.3 ไซโตไคนิน สารธรรมชาติในกลุ่มนี้คือ kinetin ซึ่งพบใน น้ำมะพร้าว และ zeatin ซึ่งพบในข้าวโพด (www.thai.net/happyhort/PPHY12.htm)

สำหรับบทบาทของไซโตไคนินที่มีต่อพืช มีดังต่อไปนี้

1) กระตุ้นให้เกิดการแบ่งเซลล์และการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพใน tissue culture โดยต้องใช้ร่วมกับออกซินในการเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชนั้นหากให้ฮอร์โมน ไซโตไคนินมากกว่าออกซิน จะทำให้เนื้อเยื่อนั้นเจริญเป็น ตา ใบ และลำต้น แต่ถ้าหากสัดส่วนของออกซินมากขึ้นกว่าไซโตไคนินจะทำให้เนื้อเยื่อนั้นสร้างรากขึ้นมาในการ differentiate ของตาในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจาก callus จากส่วนของลำต้นนั้น ออกซินจะมีบทบาทในการระงับ ส่วนไซโตไคนินจะมีผลกระตุ้นการเกิด และต้องมีความสมดุลระหว่างไซโตไคนินและออกซินชิ้นเนื้อเยื่อจึงจะสร้างตาได้

2) ชะลอกระบวนการเสื่อมสลาย เช่น กรณีของใบที่เจริญเต็มที่แล้วถูกตัดออกจากต้น คลอโรฟิลล์ RNA และโปรตีนจะเริ่มสลายตัวเร็วกว่าใบที่ติดอยู่กับต้น แม้จะมีการให้อาหารกับใบเหล่านี้ก็ตาม ถ้าหากเก็บใบเหล่านี้ไว้ในที่มืดการเสื่อมสลายยิ่งเกิดเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามหากใบเหล่านี้เกิดรากขึ้นที่โคนใบหรือก้านใบ จะทำให้การเสื่อมสลายเกิดช้าลง เพราะไซโตไคนินผ่านขึ้นมาจากรากทางท่อน้ำ อย่างไรก็ตามการให้ไซโตไคนินกับใบพืชเหล่านี้จะชะลอการเสื่อมสลายได้เหมือนกับรากเช่นกัน นอกจากนั้นไซโตไคนินยังทำให้มีการเคลื่อนย้ายอาหารจากส่วนอื่นมายังส่วนที่ได้รับไซโตไคนินได้ เช่น กรณีของใบอ่อนซึ่งมีไซโตไคนินมากกว่าใบแก่จะสามารถดึงอาหารจากใบแก่ได้ ในกรณีเชื้อราที่ทำให้เกิดโรคราสนิม ซึ่งทำให้เกิดการตายของเนื้อเยื่อและทำให้บริเวณเนื้อเยื่อที่ตายเกิดสีเขียวล้อมรอบขึ้นมาในบริเวณสีเขียวนี้มีแป้งสะสมมากแม้กระทั่งส่วนอื่นๆ ของใบตายไปแล้ว ส่วนสีเขียวอาจจะยังคงอยู่ ลักษณะนี้เรียกว่า green island ซึ่งบริเวณนี้จะมี ไซโตไคนินสูง คาดว่าเชื้อราสร้างขึ้นมาเพื่อดึงอาหารมาจากส่วนอื่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3) ทำให้ตาข้างแตกออกมาหรือกำจัดลักษณะ apical dominance ได้ การเพิ่มไซโตไคนินให้กับตาข้างจะทำให้แตกออกมาเป็นใบได้ ทั้งนี้เพราะตาข้างจะดึงอาหารมาจากส่วนอื่นทำให้ตาข้างเจริญได้ เชื้อจุลินทรีย์บางชนิดสามารถสร้างไซโตไคนินกระตุ้นให้พืชเกิดการแตกตาจำนวนมากมีลักษณะผิดปกติ เช่น โรค Fascination นอกจากนั้นยังเร่งการแตกหน่อของพืช เช่น บอน และโกสน

4) ทำให้ใบเลี้ยงคลี่ขยายตัว กรณีเมล็ดของพืชใบเลี้ยงคู่งอกในความมืด ใบเลี้ยงจะเหลืองและเล็ก เมื่อได้รับแสงจึงจะขยายตัวขึ้นมา ซึ่งเป็นการควบคุมของไฟโตโครม แต่ถ้าหากให้ไซโตไคนินโดยการตัดใบเลี้ยงมาแช่ในไซโตไคนิน ใบเลี้ยงจะคลี่ขยายได้เช่นกัน ลักษณะดังกล่าวพบกับ แรดิช ผักสลัด และแตงกวา ซึ่งออกซินและจิบเบอเรลลินจะไม่ให้ผลดังกล่าว

5) ทำให้เกิดการสร้างคลอโรพลาสต์มากขึ้น ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพอย่างหนึ่ง เช่น เมื่อ callus ได้รับแสงและไซโตไคนิน callus จะกลายเป็นสีเขียว เพราะ plastic เปลี่ยนเป็นคลอโรพลาสต์ได้ โดยการเกิดการจะถูกกระตุ้นโดยไซโตไคนิน

6) ทำให้พืชทั้งต้นเจริญเติบโต

7) กระตุ้นการงอกของเมล็ดพืชบางชนิด

3.4 เอทธิลีน (www.thai.net/happyhort/PPHY12.htm)

ผลของเอทธิลีนต่อพืช

1) กระตุ้นให้ผลไม้สุก ดังนั้นอาจจะเรียกเอทธิลีนว่า Ripening hormone และใช้ในการบ่มผลไม้ในทางการค้า

2) กระตุ้นการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพ เช่น กระตุ้นให้เกิด abcission zone ขึ้น ทำให้ใบและกลีบดอกร่วงได้ กระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพของราก และลำต้น รวมทั้งกระตุ้นการออกดอกของพืช เช่น สับปะรด กระตุ้นให้เกิด adventitious root

3) กระตุ้นให้พืชออกจากการพักตัว เช่น กรณีของมันฝรั่ง

4) กระตุ้นให้เกิดดอกตัวเมียมากขึ้นในพืช Dioecious

3.5 แอบซิสสิค แอซิด (Abscisic acid) ; ABA (www.thai.net/happyhort/PPHY12.htm)

ผลของ ABA ต่อพืช

1) ลดการคายน้ำโดยกระตุ้นให้ปากใบปิด ซึ่งพืชตอบสนองได้ภายใน 1-15 นาที หลังจากได้รับ ABA ในพืชที่ขาดน้ำจะมีปริมาณ ABA เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการลดการคายน้ำของพืช

2) กระตุ้นให้เกิดการพักตัวของตา ซึ่งจะเกิดกับพืชเขตอบอุ่น พบว่าเมื่อให้ ABA กับตาที่กำลังเจริญเติบโต จะทำให้ตาชะงักการเจริญเติบโตและเข้าสู่การพักตัวตามปกติ การให้ GA จะลดผลของ ABA ที่ทำให้ตาพักตัวได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3) การร่วงของใบและดอก เช่น ในฝ้าย ผลแก่ที่ร่วงเองจะมี ABA สูงมาก

4) เร่งกระบวนการเสื่อมสภาพของใบ

4. การวัดปริมาณออกซิน วิธีการวัดปริมาณออกซินมีหลายวิธี ดังนี้ (www.thai.net/happyhort/PPHY12.htm)

4.1 Bioassay คือ การวัดปริมาณออกซินโดยใช้ชิ้นส่วนของพืช เช่น โคลีออพไทล์ของข้าวโอ๊ตหรือพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอื่นๆ แล้ววัดความโค้งของยอดโดยการวางออกซินที่ต้องการวัดปริมาณลงบนส่วนของโคลีออพไทล์ซึ่งตัดยอดออกแล้ว มุมที่โค้งจะบอกปริมาณของออกซินได้โดยเปรียบเทียบจากเส้นมาตรฐาน (Standard Curve)

4.2 การวัดจากคุณสมบัติทางฟิสิกส์ คือ การวัดปริมาณของออกซินโดยใช้การดูดกลืนแสงของ IAA ซึ่งเมื่อมีความเข้มข้นต่างกันจะดูดกลืนแสงได้ต่างกัน โดยใช้ความยาวคลื่นแสงที่ 280 nm หรือสกัดจนเป็นสารบริสุทธิ์แล้วจึงใช้เครื่อง Gas Chromatograph ร่วมกับ Mass Spectrometry ในการจำแนกและหาปริมาณ

4.3 การวัดโดยวิธีเคมี โดยให้ออกซินทำปฏิกิริยากับ Salkowski's Reagent (acidified ferric chloride) หรือใช้ Ehrllch's Reagent ซึ่งจะเกิดสีขึ้นมา จากนั้นวัดความเข้มของสีแล้วเปรียบเทียบกับเส้นมาตรฐาน (Gordon และคณะ,1951)

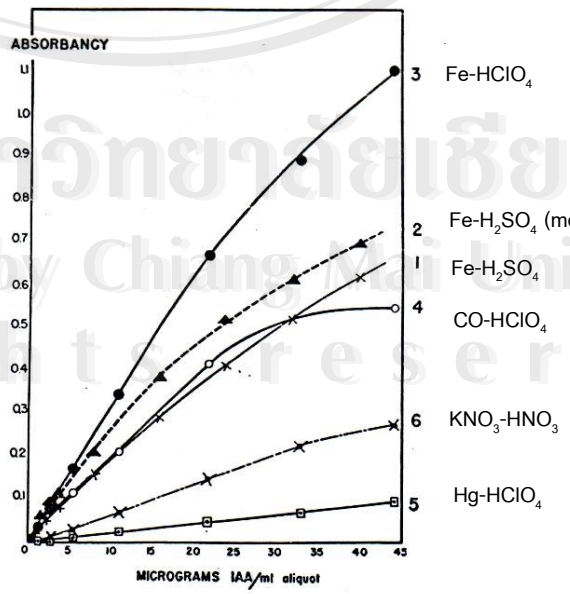
ในการวัดปริมาณออกซินด้วยวิธีทางเคมีโดยวัดความเข้มของสี Mitchell และ Brunstetter (1939) อ้างโดย Gordon และคณะ (1951) แนะนำให้ใช้ nitrite method โดยใช้ nitrite และ ferric chloride – sulphuric acid ในการทดสอบปริมาณ IAA ในสารละลาย ซึ่งวิธีการดังกล่าว สามารถวัด IAA ได้ในระดับความเข้มข้นถึง 10 μg IAA/ml และพัฒนาสีเป็นสีแดง ซึ่งมีความเสถียร (stable) หลังการพัฒนาสีแล้ว 2 ชั่วโมง แต่จากการศึกษาของ Gordon และคณะ (1951) พบว่า เมื่อใช้ IAA ซึ่งมีความเข้มข้นถึง 20 - 45 μg IAA/ml มีการพัฒนาเป็นสีชมพู และสีจะจางลงเป็นสีส้มหรือสีเหลืองอย่างรวดเร็ว ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ IAA โดยจะเกิดภายในเวลาครึ่งชั่วโมง แต่ถ้าความเข้มข้นของ nitrite ลดลง จะทำให้เกิดสีแดงขึ้น ในทำนองเดียวกันถ้า indole เข้มข้น ก็จะให้สีแดงที่มีความเสถียร ปฏิกิริยานี้บางครั้งใช้ทดสอบ indole (Nitroso – Indole reaction) ต่อมา Tang และ Bonner (1947) ปรับปรุงวิธี ferric chloride – sulphuric acid method โดยวิธี ferric chloride โดยการนำ iron และ sulphuric acid มาผสมกันเป็น reagent แต่สีที่เกิดขึ้นยังไม่เสถียร แม้ว่ามีการพัฒนาสีเกิดขึ้นเร็ว นอกจากนี้สีที่เกิดขึ้นจางลงด้วย การจางของสีที่เกิดขึ้นทำให้สามารถนำมาใช้เป็นพื้นฐานด้านการกำหนดเวลา ในการเติม reagent อ่านค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) หรือ การยอมให้แสงผ่าน (transmittance)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ทั้งสองวิธีนี้ยังมีข้อเสีย คือ ขาดความเฉพาะเจาะจง, ขาดความไวในการตรวจวัด (sensitivity) หรือ ความแน่นอนของรูปแบบของสี มีการปรับปรุงวิธีของ Tang และ Bonner โดยการอ่านค่าที่ 15 นาที หลังจากใส่ reagent แทนที่จะอ่านที่ 30 นาที ตามที่ได้แนะนำไว้ และพบว่า ค่าสูงสุดของการดูดกลืนแสงเกิดขึ้นที่ 530 nm ส่วนความเข้มข้นและความเสถียรของสี เกิดจากปริมาณ reagent ที่ใส่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของ IAA ซึ่งค้นพบว่าสีจะมีความหนาแน่นสูงสุดเมื่ออัตราส่วนของ reagent ต่อ สารละลาย IAA เท่ากับ 1.5 : 1.0 นอกจากนั้นอัตราส่วนนี้ยังทำให้สีมีความเสถียร ได้ถึง 50 – 80 นาที หลังจากใส่ reagent ลงไป และ λ_{max} คือ 525 nm แต่ถ้าใช้ perchloric acid แทน sulphuric acid ใน reagent ของ Tang และ Bonner จะช่วยเพิ่มความเข้มข้นของสี สำหรับสัดส่วนที่เหมาะสมของ reagent ที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ 0.01 M $FeCl_3$ ใน 35 % $HClO_4$ 2 ส่วน ต่อ สารละลาย IAA 1 ส่วน สีที่เกิดขึ้นจะมีความหนาแน่นสูงสุดเมื่อทิ้งไว้ประมาณ 20 – 25 นาที และจะคงที่อย่างน้อย 3 ชั่วโมง มีการทดสอบ metallic salt ชนิดต่างๆที่จะใช้ทดสอบ IAA ซึ่งได้แก่ $SrCl_2$ $TiSO_4$, $SnCl_2$, $Cu(NO_3)_2$, $Ce(HSO_4)_4$, CsCl, $NiCl_2$, $UO_2(NO_3)_2$, $CdCl_2$, $Hg(NO_3)_2$ และ CoF_6 โดยใช้สารละลายของ metallic salt ที่มีความเข้มข้น 0.5 M 1 ส่วน ต่อ $HClO_4$ ซึ่งมีความเข้มข้น 35 % 50 ส่วน พบว่า มีเพียง Co และ Hg เท่านั้นที่ให้ปฏิกิริยาที่เกิดสี อย่างไรก็ตามธาตุทั้งสองธาตุก็ไม่สามารถจะใช้กับวิธี ferric chloride – perchloric acid ได้ โดยรูปที่ 1 แสดง concentration-absorbance curves และรายละเอียดของวิธีการแสดงไว้ในตารางที่ 1 ส่วนตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง absorbancy กับ indole อื่นๆ ตามวิธีการในตารางที่ 1

รูปที่ 1 แสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง concentration ของ IAA และ absorbance curves เมื่อใช้วิธีวิเคราะห์วิธีต่างๆ

ที่มา : Gordon และคณะ (1951)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 1 แสดง reagent และรายละเอียดของวิธีการหา indole-3-acetic acid โดยวิธี colorimetric

Reagent	IAA solution (ml)	reagent (ml)	λ_{max} (nm)	Remarks
1. Fe-H_2SO_4 1.0 ml 0.5 M $FeCl_3$ 50 ml Dist. H_2O 30 ml H_2SO_4 Sp. Gr. 1.84	1.0	4.0	530	Read at 15 min.
2. Fe-H_2SO_4 (modified) Components same as above	1.0	1.5	525	Read after 75 min.
3. Fe-$HClO_4$ 1.0 ml 0.5 M $FeCl_3$ 50 ml 35% $HClO_4$	1.0	2.0	530	Read after 25 min.
4. Co-$HClO_4$ 1.0 ml 0.5 M $Co_2F_6.7H_2O$ 50 ml 35% $HClO_4$	1.0	2.0	528	Boil 10 min. ,cool and read
5. Hg-$HClO_4$ 1.0 ml 0.5 M Hg-$HClO_4$ 50 ml 35% $HClO_4$	1.0	2.0	555	Read at 15min.
6. KNO_2-HNO_3 0.05 ml 2.5 % Gum arabic 0.025 ml 0.5 % KNO_2 0.04 ml conc. HNO_3	5.0	Reagent components added individually to IAA aliquot	527	Read at 8 min. after add of HNO_3

ที่มา : Gordon และคณะ (1951)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์ absorbance ของ IAA กับ indole อื่นๆตามวิธีการในตารางที่ 1

	1 **$Fe\text{-}H_2SO_4$**	**2** **$Fe\text{-}H_2SO_4$ (modified)**	**3** **$Fe\text{-}HClO_4$**	**4** **$Co\text{-}HClO_4$**	**5** **$Hg\text{-}HClO_4$**	**6** **$KNO_2\text{-}HNO_3$**
Indole…	12.4	20.6	9.86	16.9	25.0	325
Skatole…	13.4	26.0	10.9	40.8	25.0	24.2
Indole-3-aldehyde	3.22	3.65	0.86	23.1	8.35	1.96
Indole-3-carboxylic acid…	6.20	9.90	4.03	27.0	16.6	10.4
Indole-3-propionic acid…	0.74	0.52	0.00	0.96	6.25	8.50
Indole-3-butylic acid…	14.4	26.9	11.9	28.9	2.85	11.1
Tryptophan	0.74	0.42	0.00	1.91	4.17	5.88

ที่มา : Gordon และคณะ (1951)

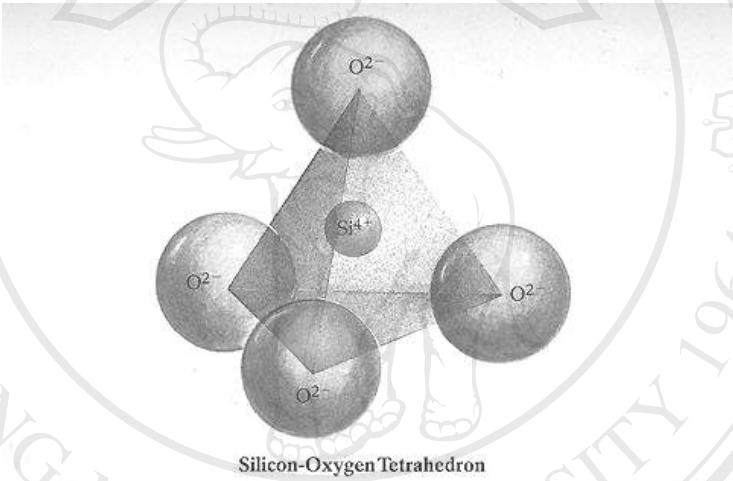
จะเห็นว่า $FeCl_3 – HClO_4$ reagent ไม่เพียงแต่มีความไวต่อความเข้มข้นของ IAA เท่านั้น แต่ในขณะเดียวกันก็มีผลกับสารประกอบ indole อื่นๆ น้อยเช่นกัน ฉะนั้นจึงได้มีการนำเอาวิธีวัดความเข้มของสีมาใช้หา IAA ในสารละลายในช่วงความเข้มข้น 0.2 – 45 μg /ml โดยใช้วิธีการดังนี้ นำสารละลายตัวอย่างมา 1 ml ใส่ $FeCl_3 – HClO_4$ reagent 2 ml (reagent เตรียมจาก 0.5 M $FeCl_3$ 1 ml ผสมกับ 35 % $HClO_4$ 50 ml) อ่านหลังจาก 25 นาที ที่ 530 nm

วิธีการนี้มีข้อดีคือ มีความไวในการตรวจวัด มีความจำเพาะเจาะจง และสีมีความเสถียรสูงกว่าวิธีการอื่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

5. หน่วยโครงสร้างพื้นฐานของแร่ซิลิเกต

แร่ซิลิเกตทุกประเภทมีหน่วยโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญ คือ หน่วยของซิลิกาเตตระฮีดรอล (silica tetrahedral unit, SiO_4) ซึ่งประกอบด้วยซิลิกอนแคทไอออน (Si^{4+}) อยู่ใจกลางแล้วล้อมรอบด้วยออกซิเจนแอนไอออน (O^{2-}) สี่ไอออนในลักษณะที่สมมาตรโดย O^{2-} แต่ละแอนไอออนอยู่ห่างจากซิลิกอนเป็นระยะทางเท่าๆกันและถ้าลากเส้นตรงระหว่างจุดศูนย์กลางของออกซิเจนแต่ละแอนไอออนจะทำให้เกิดด้านหน้าตัดสามเหลี่ยมด้านเท่าเหมือนกันทั้งสี่ด้านรอบซิลิกอนที่อยู่ใจกลางเกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่ารูปทรงสี่หน้า (tetrahedral) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างพื้นฐานของแร่ซิลิเกต

ที่มา : www.gpc.edu/~janderso/physical/geo101.htm

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

5.1 สินแร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ

สินแร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบมี 2 ประเภท ได้แก่ แร่เฟลด์สปาร์ (feldspar) และไมก้า (mica) ซึ่งแต่ละประเภทประกอบด้วยแร่ชนิดต่างๆหลายชนิด ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สินแร่ชนิดต่างๆ ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ

Feldspar		**Mica**			
		Dioctahedral		**Trioctahedral**	
Microcline	$KAlSi_3O_8$	Aluminoceladonite	$KAl(Mg,Fe^{2+})Si_4O_{10}(OH)_2$	Anadite(Anandite)	$(Ba,K)(Fe^{2+},Mg)_3(Si,Al,Fe)_4O_{10}(S,OH)_2$
Sanidine	$(K,Na)(Si,Al)_4O_8$	Boromuscovite	$KAl_2(Si_3B)O_{10}(OH,F)_2$	Biotite	$K(Fe^{2+},Mg)_3AlSi_3O_{10}(F,OH)_2$
Orthoclase	$KAlSi_3O_8$	Chromphyllite	$(K,Ba)(Cr,Al)_2[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$	Eastonite	$KMg_2Al[Al_2Si_2O_{10}](OH)_2$
		Celadonite	$K(Mg,Fe^{2+})(Fe^{3+},Al)[Si_4O_{10}](OH)_2$	Hendricksite	$K(Zn,Mg,Mn)_3Si_3AlO_{10}(OH)_2$
		Ferro-aluminoceladonite	$K_2Fe^{2+}Al_2(Si_8O_{20})(OH)_4$	Lepidolite	$K(Li,Al)_3(Si,Al)_4O_{10}(F,OH)_2$
		Ferro celadonite	$K_2Fe^{2+}Fe^{3+}(Si_8O_{20})(OH)_4$	Masutomilite	$K(Li,Al,Mn^{2+})_3[(Si,Al)_4O_{10}](F,OH)_2$
		Glauconite	$(K,Na)(Fe^{3+},Al,Mg)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$	Montdorite	$(K,Na)(Fe^{2+},Mn^{2+},Mg)_{2.5}[Si_4O_{10}](F,OH)_2$
		Illite	$(K,H_3O)(Al,Mg,F)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$	Norrishite	$K(Mn^{3+}{}_2Li)Si_4O_{12}$
		Muscovite	$Kal_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$	Polylithionite	$KLi_2AlSi_4O_{10}(F,OH)_2$
		Roscoelite	$K(V,Al,Mg)_2AlSi_3O_{10}(OH)_2$	Phlogopite	$KMg_3(Si_3Al)O_{10}(F,OH)_2$
				Siderophylite	$KFe^{2+}{}_2Al(Al_2Si_2)O_{10}(F,OH)_2$
				Tainiolite	$KLiMg_2Si_4O_{10}F_2$
				Tetra – Ferri -annite	$K(Fe^{2+},Mg)_3(Fe^{3+},Al)Si_3O_{10}(OH)_2$
				Tetra-ferriphlogopite	$KMg_3Fe^{3+}Si_3O_{10}(OH)_2$
				Trilithionite	$KLi_{1.5}Al_{1.5}AlSi_3O_{10}F_2$

ที่มา : http://www.webmineral.com/

แร่เฟลด์สปาร์เป็นแร่ซิลิเกตประเภทเทคโทซิลิเกต แต่ละหน่วยของซิลิก้าเตทตระฮีดรอนในแร่เทคโทซิลิเกตจะนำออกซิเจนทั้งสี่ตัวใช้ร่วมกับหน่วยข้างเคียง ดังนั้น ซิลิก้าเตทตระฮีดรอลจะเชื่อมโยงต่อกันไปเรื่อยๆทั้ง 3 มิติ อัตราส่วนของ Si : O = 4 : 8 หรือ 1 : 2 เทคโทซิลิเกตเป็นแร่ที่มีความแข็งแรงมากที่สุดในบรรดาแร่ซิลิเกตด้วยกันเนื่องจากซิลิก้าเตทตระฮีดรอนในโครงสร้างมีการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

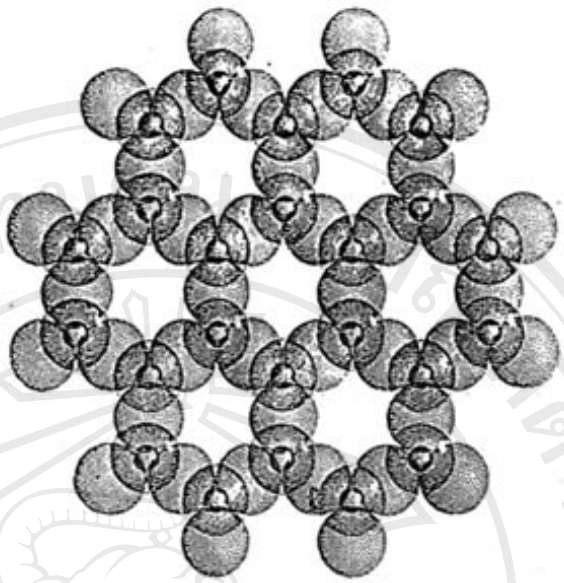
เชื่อมโยงกันโดยใช้ออกซิเจนร่วมกันมากที่สุด แต่ความคงทนและเสถียรภาพของเทคโทซิลิเกตจะลดลง ถ้า silicon ในโครงสร้างของเตทตระฮีดรอลถูกแทนที่ด้วยแคทไอออนอื่นๆที่มีประจุน้อยกว่าและมีขนาดใหญ่กว่า เช่น แร่ feldspar ซึ่งประมาณ 25-50 % ของ silicon ในโครงสร้างถูกแทนที่ด้วย Al^{3+} และประจุที่เกิดขึ้นจะถูกทำให้สะเทินด้วยแคทไอออนต่างๆที่สำคัญ คือ K^+ , Na^+ และ Ca^{2+}

ความยากง่ายในการสลายตัวผุพังของแร่ feldspar ขึ้นอยู่กับปริมาณของการแทนที่ของซิลิกอนด้วยอะลูมินั่มและชนิดของแคทไอออนที่ทำหน้าที่สะเทินประจุลบ (ไพบูลย์, 2546)

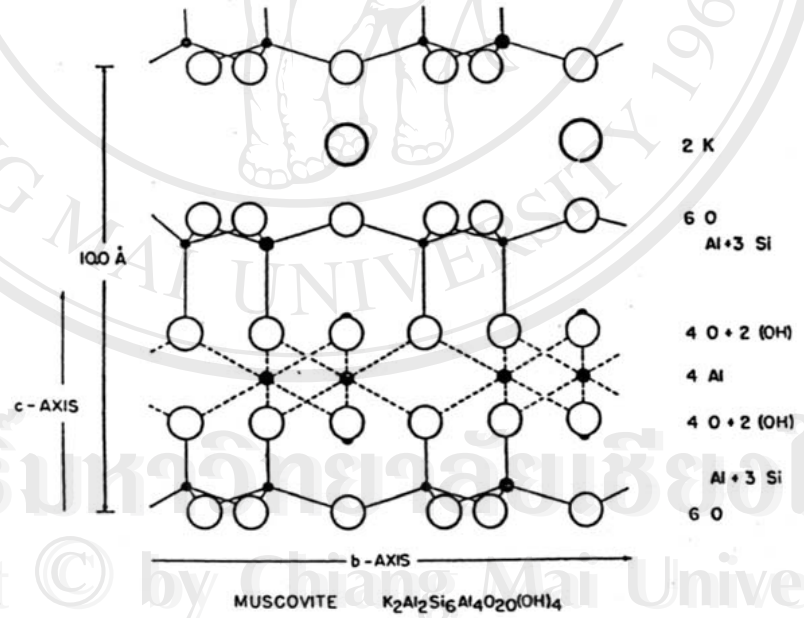
ไมก้าเป็นแร่ซิลิเกตประเภท phyllosilicate แต่ละหน่วยของซิลิก้าเตทตระฮีดรอลนำออกซิเจน 3 ตัวมาใช้ร่วมกับ เตทตระฮีดรอล หน่วยอื่นๆ อีก 3 หน่วย ที่อยู่ข้างเคียง ส่วนออกซิเจนตัวที่ 4 จะชี้ขึ้นข้างบนโดยไม่มีการใช้ร่วมกันการเชื่อมโยงลักษณะดังกล่าวทำให้มีโครงสร้างเป็นแผ่น

คุณลักษณะที่สำคัญของแร่ไมก้าคือ การเกิดประจุลบมากในแผ่นเตทตระฮีดรอล ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ผิวนอกทั้งด้านบนและด้านล่างของแผ่นเตทตระฮีดรอลแต่ละชั้น (Layer) ที่ซ้อนทับกัน ทำให้เกิดไอโอนิคบอนด์ดูดยึดกับ K^+ ไว้ด้วยแรงที่สูง ทั้งนี้เนื่องจากระยะทางระหว่างประจุลบ (ของแผ่นเตทตระฮีดรอล) และประจุบวก (K^+) อยู่ใกล้ชิดกันมาก (ตามกฎของคูลอมบ์) นอกจากนั้น K^+ (รัศมี 1.33 A^o) มีขนาดที่พอเหมาะกับช่องว่างหกเหลี่ยมของออกซิเจนที่ประกอบกันขึ้นเป็นแผ่นเตทตระฮีดรอล (รูปที่ 3) ลักษณะเช่นนี้จะทำให้โพแทสเซียมฝังตัวอย่างพอดีในช่องว่างดังกล่าวดังรูปที่ 4 ซึ่งแสดงการจัดเรียงตัวกันอย่างใกล้ชิดที่สุด (Packing model) ของอะตอมหรือไอออนต่างๆโพแทสเซียมที่ว่านี้จะอยู่ในสภาพที่ดูดตรึง (K-fixation) ไว้ใน interlayer ยากที่จะหลุดออกมาหรือยากที่จะแลกเปลี่ยนที่ (Unexchangeable) กับแคทไอออนอื่นๆที่อยู่นอกโครงสร้างได้จากคุณลักษณะดังกล่าว โพแทสเซียมจะทำหน้าที่คล้ายกลอนสลักดูดยึดชั้นต่างๆ (layers) ที่ซ้อนทับกันไว้อย่างเหนียวแน่นทำให้การยืดหดขยายตัวเป็นไปได้ยากจึงเรียกแร่ประเภทนี้ (ไมก้า) ว่าเป็นพวกที่ไม่มีการขยายตัว (non-expanding) ความกว้างระหว่างชั้นหนึ่งถึงอีกชั้นหนึ่ง (c-spacing) ประมาณ 10.0 A^o โดยเฉลี่ย (ไพบูลย์ , 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3 แผ่นซิลิก้าเตทตระฮีดรอล (มองด้านบน)
ที่มา:Hurlbut,1971 อ้างโดย ไพบูลย์, 2546



รูปที่ 4 โครงสร้างของมัสโคไวท์ (muscovite)
ที่มา: Jackson,1964 อ้างโดย ไพบูลย์, 2546

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

5.2 การสลายตัวผุพังของแร่เฟลด์สปาร์และไมก้า (ไพบูลย์, 2546)

ตัวการ (agents)ที่สำคัญที่ทำให้สินแร่เฟลด์สปาร์และไมก้าสลายตัวผุพัง ได้แก่ น้ำซึ่งแตกตัวให้ H^+และ OH^- ออกซิเจน และสารบางอย่างที่ปลดปล่อยออกมาจากกิจกรรมของพืชและจุลินทรีย์ดิน เมื่อแร่เฟลด์สปาร์ทำปฏิกิริยากับน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพที่เป็นกรด ทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปอย่างรวดเร็ว เกิดเป็นแร่ชนิดใหม่ดังสมการต่อไปนี้

$$3KAlSi_3O_8 + 2H^+ + 12H_2O \rightleftharpoons KSi_3Al_3O_{20}(OH)_2 + 6Si(OH)_4 + 2K^+$$

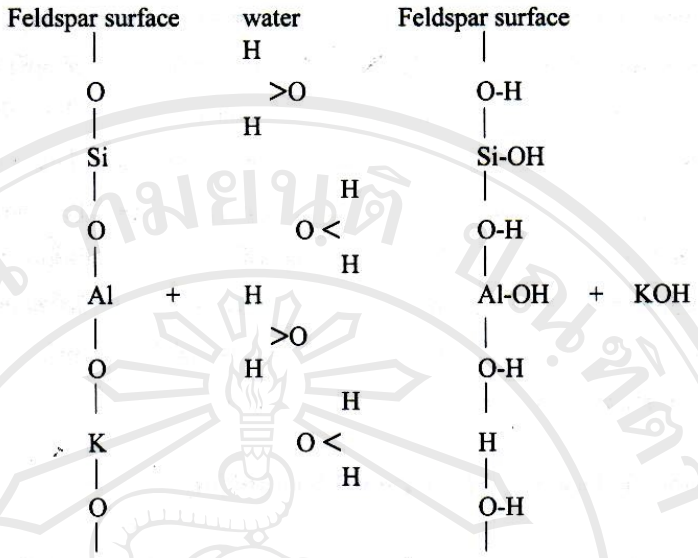
(Potash feldspar) Mica (half-cell)

ที่มา:ไพบูลย์,2546

ถ้าไม่มีการสูญหายของ K^+ ไปจากระบบ แร่ที่เกิดใหม่ก็คือไมก้ารวมทั้งเฟลด์สปาร์ที่ยังหลงเหลืออยู่ ดังสมการข้างบน แต่ถ้า K^+ ถูกกำจัดออกไปจากระบบตลอดเวลา เช่น ถูกชะล้างโดยน้ำฝน เฟลด์สปาร์จะสลายตัวผุพังเป็นแร่ไมก้าเพิ่มขึ้น ในเวลาเดียวกันไมก้าก็จะสลายตัวต่อเนื่องกลายเป็นแร่ชนิดอื่นๆ ตามมา

สำหรับการสลายตัวของแร่โพแทสเฟลด์สปาร์อันเนื่องมาจากกระบวนการไฮเดรชั่นหรือกระบวนการที่แร่ดูดซึมโมเลกุลของน้ำ เกิดได้เพราะ ผิวของแร่เฟลด์สปาร์ประกอบด้วยออกซิเจนซึ่งมีอิเล็กโตรเนกกะติวิตี้สูง เรียงรายอยู่รอบนอก ในเวลาเดียวกันน้ำซึ่งมีคุณสมบัติเป็นไดโพล (dipoles) เมื่อถูกดูดซับบนผิวแร่จะเรียงตัวโดยพยายามหัน H^+ ในโมเลกุลของน้ำเข้าหาออกซิเจนของผิวแร่ ส่วน OH^- ในโมเลกุลของน้ำ ก็พยายามหันเข้าหาแคทไอออน (เช่น K^+, Al^{3+}, และ Si^{4+}) บนผิวของแร่เฟลด์สปาร์ ผลจากกระบวนการไฮเดรชั่นจะทำให้ออกซิเจนบนผิวแร่รวมตัวกับ H^+ เป็น –OH และแคทไอออนในโครงสร้างรวมตัวกับ OH^- เป็นแคทไอออนไฮดรอกไซด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง KOH ซึ่งละลายน้ำได้ง่าย ซึ่งจะถูกปลดปล่อยออกมาในสารละลายทำให้เกิดช่องว่างในโครงสร้าง แร่เฟลด์สปาร์จึงขาดเสถียรภาพและง่ายต่อการสลายตัวผุพัง ดังรูปที่ 5 (Jenny, 1950 อ้างโดย ไพบูลย์, 2546)

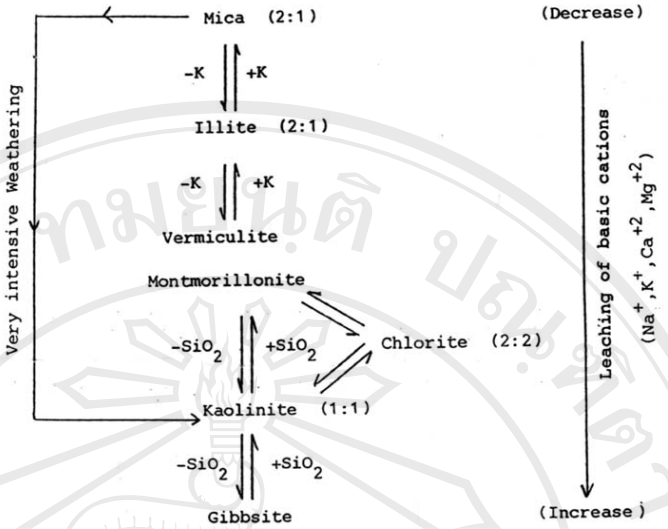
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 5 ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นบนผิวโพแทสเฟลด์สปาร์
ที่มา: Loughnan,1969 อ้างโดย ไพบูลย์, 2546

สำหรับการสลายตัวผุพังของแร่ไมก้าเกิดจากกระบวนการไฮดรอกซิลเลชั่น โดย H^+ ซึ่งมีขนาดเล็กมาก นอกจากจะดูดซับอยู่บนผิวแร่ ยังเคลื่อนเข้าไป (diffusion) รวมตัวกับ Apical oxygen เป็นกลุ่ม –OH ซึ่งเชื่อมยึดระหว่างแผ่นเตทตระและออกตะฮีดรอนเป็นผลทำให้ประจุลบในโครงสร้างลดลง (หรือประจุบวกเพิ่มขึ้น) ทำให้แรงดูดยึดระหว่างชั้นต่างๆ (Layers) กับ K^+ ใน Interlayer อ่อนลง และทำให้ K^+ หลุดออกมาจาก Interlayer ได้ง่าย ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้แร่ไมก้าสลายตัวผุพังในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดและมีการชะล้างสูง อัตราการสลายตัวผุพังจะเร็วและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น (Jackson *et al.*,1952 อ้างโดย ไพบูลย์, 2546) จากการสลายตัวผุพังของแร่ดังกล่าว Al^{3+} และ Si^{4+} อาจถูกปลดปล่อยออกมาจากแผ่นเตทตระฮีดรอลและทำให้โครงสร้างในชั้นดังกล่าวถูกทำลายกลายเป็นแร่ดินเหนียว ประเภท 1 : 1 เช่น Kaolinite ในที่สุด ลำดับขั้นตอนของการสลายตัวผุพังของไมก้าแสดงไว้ในรูปที่ 6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 6 ลำดับขั้นตอนของการสลายตัวผุพังของแร่ดินเหนียว ตัวเลขในวงเล็บแสดงอัตราส่วนของแผ่นเตทตระฮีดรอล ต่อแผ่นออกตระฮีดรอล
ที่มา: ดัดแปลงจาก Jackson,1964 อ้างโดยไพบูลย์, 2546

การแลกเปลี่ยนที่ของไอออนนอกจากจะทำให้องค์ประกอบทางเคมีของแร่เปลี่ยนแปลงแล้ว ยังทำให้เสถียรภาพของแร่ลดลงง่ายต่อการสลายตัวผุพัง ในสภาพที่เป็นกรด H^+ เป็นแคทไอออนที่สำคัญซึ่งมีขนาดเล็ก สามรถเคลื่อนที่โดยการแพร่เข้าไปในโครงสร้างของแร่ได้ง่าย และอาจเกิดการแลกเปลี่ยนไล่ที่ Al^{3+} หรือ Mg^{2+} ออกมาจากโครงสร้างทำให้เสถียรภาพของแร่ลดลง นอกจากนั้น H^+ ยังสามารถแพร่เข้าไปอยู่ตามช่องว่างในโครงสร้าง ทำให้แร่มีประจุบวกเกินมาและเป็นสาเหตุที่สำคัญประการหนึ่งในการปลดปล่อย K^+ ออกมาจากหลืบ (interlayer) ของแร่ไมก้า ทั้งนี้เพื่อที่จะรักษาความเป็นกลางทางประจุไฟฟ้าของแร่ นอกจากนั้น H^+ สามารถแลกเปลี่ยนที่กับ K^+ ออกมาจากหลืบได้โดยตรง ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญของการสลายตัวผุพังของแร่ไมก้า และในสภาพแวดล้อมที่มี Mg^{2+} และ Ca^{2+} ที่พอเพียงอาจทำให้เกิดแร่เวอร์มิคิวไลต์ หรือสเม็คไทต์ดังสมการ

$$K - Muscovite\ (s) + H^+\ (aq) \rightleftharpoons H - Muscovite\ (s) + K^+\ (aq)$$

$$\downarrow\ Mg^{2+}\ (aq),\ Ca^{2+}\ (aq)$$

$$Vermiculite\ (s),\ Smectite\ (s)$$

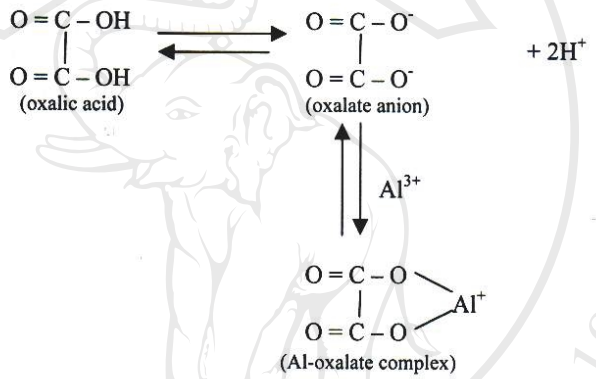
ที่มา : ไพบูลย์, 2546

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การเกิดสารเชิงซ้อนและคีเลต มีบทบาทสำคัญต่อการสลายตัวผุพังของแร่ โดยที่อินทรีย์สารสามารถทำหน้าที่เป็นลิแกนด์แอนไอออน (anion ligand) ทำปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับแคทไอออนซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างของแร่ดังปฏิกิริยา (Sposito, 1989 ; อ้างโดย ไพบูลย์, 2546)

$$\underset{\text{(muscovite)}}{K_2[Si_6Al_2]Al_4O_{20}(OH)_4(s)} + \underset{\text{(oxalic acid)}}{6C_2O_4H_2(aq)} + 4H_2O(l) \rightleftharpoons 2K^+(aq) + 6C_2O_4Al^+(aq) + 6Si(OH)_4(aq) + 8OH^-(aq)$$

จากปฏิกิริยากรดออกซาลิก ($C_2O_4H_2$) จะมีการแตกตัวให้ oxalate anion ($C_2O_4^{2-}$) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นลิแกนด์ในการทำปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับ Al^{3+} ซึ่งเป็นองค์ประกอบของมัสโคไวต์ ดังปฏิกิริยา



สารประกอบเชิงซ้อน Al - oxalate (C_2O_4Al) มีความเสถียรและละลายน้ำได้ดี ซึ่งจะช่วยทำให้แร่มัสโคไวต์ละลายน้ำและเร่งให้การสลายตัวผุพังของแร่เร็วขึ้น สารเชิงซ้อน $C_2O_4Al^+$ อยู่ในรูปของคีเลตเนื่องจาก oxalate anion ทำหน้าที่เป็นลิแกนด์ให้อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวสองคู่กับ Al^{3+}

5.3 การละลายของซิลิกาในดิน ซึ่งซิลิกาสามารถละลายน้ำได้เล็กน้อยดังปฏิกิริยา

$$SiO_2(s) + 2H_2O(l) \rightleftharpoons H_4SiO_4(aq)$$

ในช่วง pH ต่ำกว่า 8 ซิลิกาในสารละลายส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของกรดซิลิซิก [silicic acid, H_4SiO_4 หรือ $Si(OH)_4$] ซึ่งเป็นรูปที่ไม่มีประจุ ส่วนในรูปของแอนไอออนอื่นๆที่ได้จากการแตกตัวของกรดซิลิซิกจะมีมากก็ต่อเมื่อสารละลายมี pH สูงกว่า 8 ดังนั้นในช่วงความเป็นกรดเป็นด่างของดินโดยทั่วไป pH จะมีอิทธิพลน้อยมากต่อการละลายของซิลิกา

การละลายได้ของซิลิกาส่วนใหญ่จะขึ้นกับลักษณะของโครงสร้าง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือขึ้นอยู่กับการจัดเรียงอะตอมของซิลิกอนและออกซิเจนในโครงสร้างของ SiO_2 เช่นถ้ามีการจัดเรียงตัวดีและแน่นหนาเช่น แร่ควอตซ์ ความสามารถในการละลายได้จะต่ำสุด นอกจากการจัดเรียงตัวของซิลิกอนและออกซิเจนอะตอมในโครงสร้างแล้ว การละลายได้ของซิลิกาในดินยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สำคัญเช่น การเกิดสารเชิงซ้อนและการถูกเคลือบบนผิว (surface coating) ของซิลิกาโดยอินทรีย์วัตถุและเซสควิออกไซด์ (ไพบูลย์, 2546)

5.4 กลไกในการย่อยสลายแร่ซิลิเกตโดยจุลินทรีย์

เนื่องจากแร่ซิลิเกตชนิดต่างๆสลายตัวผุพังได้มีรายงานว่าจุลินทรีย์มีบทบาทในการสลายตัวผุพังของแร่ซิลิเกตและทำให้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกจากสินแร่เหล่านี้ กลไกที่จุลินทรีย์ใช้ในการกระตุ้นการสลายตัวของสินแร่มีดังต่อไปนี้

5.4.1 จุลินทรีย์เข้าไปอาศัยอยู่บนผิวหน้าของสินแร่และทำให้สภาพแวดล้อมที่จุลินทรีย์อาศัยอยู่ (microenvironment) แตกต่างจากสภาพแวดล้อมในบริเวณที่ห่างออกไปซึ่งมีผลต่อการละลายของสินแร่ จากรายงานของ Rogers และคณะ (1998) ซึ่งได้ศึกษาการสลายตัวของ feldspar โดยจุลินทรีย์และใช้ scanning electron microscope ตรวจสอบลักษณะผิวหน้าของแร่ feldspar ชนิดต่างๆที่ใช้ศึกษา พบว่าในตัวอย่างแร่ anorthoclase และ microcline จากมลรัฐ Dakota ที่ฝังในสภาพสนามเป็นเวลา 14 เดือน มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆอยู่บนผิวหน้าของสินแร่ในขณะที่แร่ plagioclase และ microcline จากเมือง Ontario ไม่มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์อยู่เลย สำหรับแร่ที่มีการเจริญของจุลินทรีย์บนผิวหน้ามีการสลายตัวเกิดขึ้น ในขณะที่แร่ที่ไม่มีการเจริญของจุลินทรีย์บนผิวหน้าไม่มีการสลายตัวเลย อัตราการสลายตัวของสินแร่ที่ใช้ศึกษาภายใต้สภาพการทดลองในสนามสูงกว่าอัตราการสลายตัวที่ตรวจสอบจากห้องปฏิบัติการ จุลินทรีย์ที่เจริญอยู่บนผิวหน้าของสินแร่ที่มีการสลายตัวประกอบด้วย แบคทีเรียที่มีรูปร่างเป็นแท่งและทรงกลมในกรณีของแร่ anorthoclase ที่ถูกฝังเป็นเวลานานถึง 14 เดือน พบว่าจุลินทรีย์ที่เจริญอยู่ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมคล้ายกับแบคทีเรีย *Dipplococcus*

5.4.2 จุลินทรีย์ผลิตกรดอินทรีย์ซึ่งสามารถส่งเสริมการละลายของสินแร่โดยกรดอินทรีย์จะทำหน้าที่เป็นสารประกอบคีเลท ซึ่งสามารถรวมกับธาตุที่มีประจุบวกซึ่งกลไกดังกล่าวเรียกว่า ligand promote mechanism นอกจากนี้ H^+ หรือ proton จากกรดก็สามารถทำให้สินแร่ละลายได้โดยตรง สำหรับสารประกอบคีเลทชนิดต่างๆที่สามารถรวมตัวกับ cation ที่เป็นธาตุอาหารเสริม (micronutrient) ซึ่งพบในธรรมชาติ (Stevenson ,1994) แสดงไว้ใน ตารางที่ 4 สารอินทรีย์ที่พบในธรรมชาติซึ่งสามรถเกิดปฏิกิริยาคีเลทกับธาตุอาหารเสริม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4 สารอินทรีย์ที่พบในธรรมชาติซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาคีเลทกับธาตุอาหารเสริม

compound	Occurrence
Citric, tartaric, lactic and malic acids	Produced by bacteria in the rhizosphere and during decay of plant remains. Identified in root exudates, aqueous extracts of forest litter and canopy drippings
Oxalic acid	Produced by fungi in forest soils, including mycorrhizal fungi. Particularly abundant in acid soils
Hydroxamate siderophores	Produced in the rhizosphere and by extomycorrhizal fungi. Greater amounts may be produced when organisms are under Fe stress
Phenolic acids	Formed through decay of plan residues (lignin). Abundant in canopy drippings and leachates of forest litter. Involved in the mobilization and transport of Fe in acid soils
Polymeric phenols	Present in high amounts in leachates of forest litter. Produced by lichens growing on rock surfaces
2-Ketogluconic acid	Synthesized by bacteria living on rock surfaces and in the rhizosphere. Particularly abundant in habitats rich in decaying organic matter

ที่มา : Stevenson ,1994

ในกรณีของแร่เฟลด์สปาร์พบว่ากลไกในการละลายสินแร่ชนิดนี้โดยการเกิดคีเลทจากกรดอินทรีย์ขึ้นกับชนิดและความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ pH และองค์ประกอบของแร่ (Welch ,1991 ; Welch และ Ulman; 1992, 1993, 1996 อ้างโดย Ullman และคณะ 1996) โดยสารละลายที่เป็นกรดสารประกอบพวก oxalate ,succinate และ citrate ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารประกอบคีเลท หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ligand สามารถละลายสินแร่ได้ดีกว่า acetate และ propionate จากการสลายตัวของสินแร่พวก tectosilicate เช่น quartz และ feldspar โดยการเกิดคีเลทและ H^+ จากกรดอินทรีย์ในตำแหน่งของ Al บนผิวของแร่ทำให้ โครงสร้างของแร่ถูกทำลาย และมีการปลดปล่อย Si ออกสู่สารละลาย (Ullman และคณะ, 1996) แบคทีเรียหลายชนิดสามารถสังเคราะห์กรดอินทรีย์ได้จากกระบวนการ fermentation ซึ่งกรดอินทรีย์ที่พบได้แก่ กรด acetic , lactic และ butyric (Gollschalk, 1986 อ้างโดย Ullman และคณะ, 1996) นอกจากนี้จากการย่อยสลายสารประกอบพวกโปรตีนและ polysaccharide และ cellulose lignin-cellulose ในสภาวะที่ขาดออกซิเจนก็เกิดกรดอินทรีย์ด้วย ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเรียกว่ากระบวนการ catabolism ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้เกิดกรดอะมิโน และ aromatic organic by product หลายชนิด เกิดขึ้นได้ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ (Thurman, 1985 อ้างโดย Ullman และคณะ, 1996) สำหรับแบคทีเรียพวกที่ต้องการออกซิเจน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่าสามารถขับกรดอินทรีย์ออกมานอกเซลล์ เมื่อในสภาพแวดล้อมที่แบคทีเรียเจริญอยู่มีสภาพขาดแคลนธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต (Neijssel และ Tempest, 1975 ; Tempest และ Neijssel,1992 อ้างโดย Ullman และคณะ, 1996)

จากการศึกษาของ Ullman และคณะ (1996) พบว่าในสภาวะที่มีออกซิเจนแบคทีเรียนี้อาศัยอยู่ใต้ผิวโลกหลายสายพันธุ์สามารถผลิตกรดอินทรีย์หรือบางตัวผลิต polymer ได้ เมื่ออาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงมี glucose แต่ขาดแร่ธาตุ ดังตารางที่ 5 ซึ่งแสดงกรดอินทรีย์ที่พบใน glucose medium ซึ่งขาดแร่ธาตุที่เกิดจากการสังเคราะห์ของแบคทีเรียที่เจริญอยู่ใต้ผิวโลก

ตารางที่ 5 กรดอินทรีย์ที่พบใน glucose medium ซึ่งขาดแร่ธาตุที่เกิดจากการสังเคราะห์ของแบคทีเรียที่เจริญอยู่ใต้ผิวโลก (ที่มา : Ullman และคณะ,1996)

Bacterium	Gluconate	Lactate	Formate	α-Keto acid	Acetate	Butyrate
B0377 (SMCC)[a]	+	+				
B0665 (SMCC)[a]	+	+	+	+		
C0564 (SMCC)[a]	+	+	+	+		
B0693-CAP[b]	+	+	+	+		
Z ramigera (ATCC19623)	+	+	+			
Consortium[c]					+	+

" + " indicates detection in the spent culture medium.

[a] Subsurface Microbial Culture Collection. Florida State University (U.S. Department of Energy).

[b] Subclone of strain B0693 (SMCC) that produces a distinct polysaccharide capsule.

[c] Consortium of naturally occurring bacteria from the Columbia aquifer. Sussex County. Delaware. Acids produced as a result of fermentation.

ในสภาพแวดล้อมที่เริ่มขาดออกซิเจน จุลินทรีย์เหล่านี้ก็ผลิตกรดอินทรีย์จากกระบวนการ fermentation ได้เช่นกัน อัตราการปลดปล่อยสารอินทรีย์ที่เป็นสารประกอบพวกคีเลทผันแปรในทางผกผันกลับกับอุณหภูมิ คือการปลดปล่อยสารจะมีมากขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ (5 ^{o}C) มากกว่าที่อุณหภูมิสูง (20 ^{o}C และ 35 ^{o}C) แต่แบคทีเรียก็อาจจะสังเคราะห์สารอินทรีย์ที่ยับยั้งการสลายตัวของสินแร่ได้เช่นกัน (Berthelin , 1986 อ้างโดย Ullman และคณะ ,1996) นอกจากนี้เมื่อความเป็นประโยชน์ของสารประกอบเปลี่ยนไป สารประกอบคีเลทที่แบคทีเรียสร้างขึ้นมาก็อาจจะถูกย่อยสลายไป (Berthelin , 1986 อ้างโดย Ullman และคณะ ,1996)

5.4.3 ผนังเซลล์และ polymer ที่แบคทีเรียขับออกมานอกเซล สามารถรวมตัวกับโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Beveridge และ Fyfe, 1985 ; Mittelman และ Geesay, 1985 ; Geesay และคณะ, 1987 อ้างโดย Ullman และคณะ, 1996) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะส่งเสริมให้สินแร่ละลายได้ดีขึ้น แต่ในบางกรณี สารประกอบเหล่านี้ก็อาจยับยั้งการละลายในแร่ โดยสารอินทรีย์ที่เป็น metabolic by product ของจุลินทรีย์จะถูกดูดยึดไว้บนผิวของสินแร่ ทำให้การสัมผัสระหว่างผิวสินแร่กับสารละลายต่างๆรอบข้างลดลง เป็นผลทำให้มีการสลายตัวช้า ผลกระทบของ polymer ต่อการละลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ของสินแร่เป็นไปในทางบวกหรือทางลบขึ้นกับปฏิสัมพันธ์ระหว่าง polymer กับผิวสินแร่ ความเข้มข้นของสาร polymer และ pH (Welch และ Vandevivere, 1995 อ้างโดย Ullman และคณะ, 1996) สำหรับ แป้ง, cellulose, polysucrose และ gum xanthum และ polymer ของ neutral sugar ทุกชนิด ไม่มีผลยับยั้งต่อการละลายของสินแร่เฟลด์สปาร์แม้ว่าจะมีความเข้มขึ้นถึง 1 g / l ส่วน alginate ยับยั้งการละลายของสินแร่เมื่อความเข้มข้น เข้มข้นมากกว่า 0.1 g / l สำหรับ 6 KD polyaspartate ไม่มีผลยับยั้งการละลายของ feldspar เมื่อมีความเข้มข้น 0.5 g / l แต่ 26 KD polyaspartate มีผลยับยั้งเนื่องจากโมเลกุลย่อยของ polyaspartate คือ aspartic acid ส่วน mannuronic และ guluronic acid ซึ่งเป็นโมเลกุลย่อยของ alginate มี acidic functional group ที่มีแรงยึดเหนี่ยวสูง ดังนั้นเมื่อสารประกอบอินทรีย์เหล่านี้เกาะยึดติดกับผิวสินแร่หรือมีบริเวณที่ถูกเกาะยึดมาก polymer เหล่านี้จะมีผลยับยั้งการละลายของสินแร่ (Ullman และคณะ, 1996)

การขับสาร polysaccharide ออกมานอกเซลของแบคทีเรียเกิดขึ้นเมื่อสภาพแวดล้อมขาดแคลนธาตุอาหารในรูปสารอนินทรีย์ (เช่น NH_4 และ phosphate) (Neijssel และ Tempest, 1975 อ้างโดย Ullman และคณะ, 1996) แต่ก็อาจผันแปรตามชนิดของสารประกอบคาร์บอน และผันแปรตามชนิดของแบคทีเรียด้วย Sutherland, 1972 อ้างโดย Ullman และคณะ, 1996) นอกจากนี้ยังมีการสังเคราะห์สารประกอบเหล่านี้เพิ่มขึ้นเมื่อแบคทีเรียเกาะยึดกับผิวสินแร่ (Vandevivere และ Kirchman, 1993 อ้างโดย Ullman และคณะ, 1996)

5.4.4 แบคทีเรียพวก *Arthrobacter sp.* และ *Streptomyces sp.* สามารถสร้าง biofilm ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดและขับสาร siderophore เมื่อเจริญอยู่บนผิวสินแร่ซิลิเกตบางชนิด เช่น hornblende ซึ่งจะเป็นผลทำให้ Fe ละลายออกมาจาก hornblende Liermann และคณะ (1999) จากการใช้ microelectrode วัด pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่ hornblende และ pH บริเวณผิวของแร่สัมผัสกับอาหารเหลวพบว่า pH แตกต่างกันถึง 0.6 โดยเชื้อ *Arthrobacter* ทำให้ความแตกต่างของ pH มีมากกว่า *Streptomyces* ถึง 10 เท่า ภายใน 1 สัปดาห์แรก เชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดทำให้การปลดปล่อย Fe จากแร่ hornblende มากกว่าการไม่ใส่เชื้อ 5 ถึง 10 เท่า นอกจากนี้สารประกอบที่เชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดสร้างขึ้น คือ catecholate siderophore ก็สามารถทำให้ Fe ถูกปลดปล่อยออกจากสินแร่ hornblende ได้ด้วย สำหรับ *Streptomyces* ยังสามารถสร้าง hydroxamate sidero-phore derivative ซึ่งเรียกว่า defer-oxamine mesylate (DFAM) สารประกอบดังกล่าวกระตุ้นการละลายของแร่ hornblende ได้เช่นกัน ในกรณีของเชื้อ *Arthrobacter sp.* พบว่าจากการละลายของแร่ hornblende โดยแบคทีเรียชนิดนี้ทำให้ผิวของแร่มี Fe / Si ratio ลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

5.4.5 ในสภาวะที่ pH เป็นกลางแบคทีเรียสามารถส่งเสริมการละลายของแร่ซิลิเกตโดยผลิตสารประกอบพวก gluconate ซึ่งเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำ สารประกอบดังกล่าวสามารถทำให้สินแร่ hytownite ละลายได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสระหว่างแบคทีเรียกับสินแร่โดยตรงซึ่งการละลายของสินแร่ดังกล่าวเกิดจากปฏิกิริยา chelation gluconate ยังส่งเสริมการละลายของแร่ซิลิเกตอื่นๆ เช่น albite, quartz และ kaolinite (Vandevivere และคณะ, 1994)

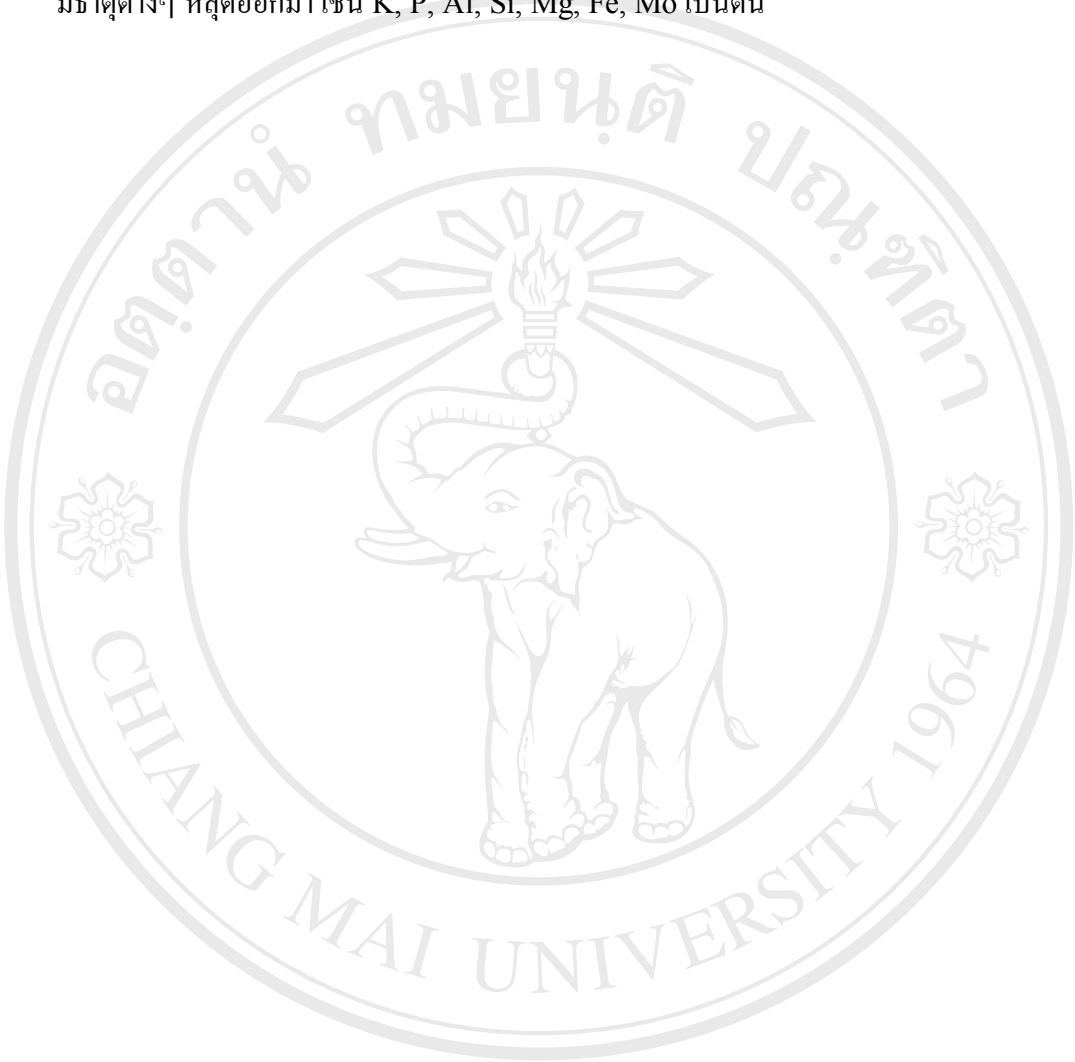
จากรายงานของ Welch และ Ullman (1992) ซึ่งได้ศึกษาผลของกรดอินทรีย์ที่ละลายน้ำต่อการละลายของแร่เฟลด์สปาร์พบว่า แร่ plagioclase ในสารละลายที่มีกรดอินทรีย์มีผลต่อการละลายสูงกว่าสารละลายที่มีกรดอนินทรีย์ที่มี pH เท่ากันถึง 10 เท่า อัตราการละลายของแร่ดังกล่าวคำนวณได้จากอัตราการปลดปล่อย Si ซึ่งพบว่าวิธีการประเมินอัตราการละลายด้วยวิธีดังกล่าวมีความแม่นยำและความคงที่เป็นเวลาถึง 19 วัน ในสารละลายที่มี pH 3 อัตราการละลายสูงสุด (1.3×10^{-8} mole/m^2/sec) แต่เมื่อ pH เพิ่มขึ้นการละลายลดลง (1×10^{-11} mole/m^2/sec) กรดที่มีประสิทธิภาพการละลายได้แก่ oxalate, citrate, succinate, pyruvate และ 2-ketoglutarate ถึงแม้ acetate และ propionate จะไม่มีประสิทธิภาพเท่ากรดอินทรีย์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นแต่ก็มีประสิทธิภาพสูงกว่ากรด อนินทรีย์ สำหรับกลไกในการละลายสินแร่โดยปฏิกิริยา chelation หรือ ligand-promote mechanism มีความสำคัญเมื่อการละลายโดย proton promoted mechanism ลดลง เมื่อ plagioclase feldspar เกิดการละลาย Na และ Ca จะถูกปลดปล่อยออกมาจากแร่ทันที ทำให้ผิวของแร่มี Si และหรือ Al เพิ่มขึ้น

6. หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ละลายสินแร่ซิลิเกต

Stoklasa และ Bassalik (1991) อ้างโดย Hebei Academy of Science (1996) พบว่า *Bacillus exlorguen* สามารถละลายแร่ซิลิเกต เช่น pegmatolite และ kietyoite ได้ และ Alekcahegopol และ Zak (1950) อ้างโดย Hebei Academy of Science พบว่า *Bacillus circulans* สามารถย่อยสลายแร่ pegmatolite ให้โพแทสเซียมออกมาในรูป K_2O ได้ 27 %, อะลูมิเนียมในรูป Al_2O_3 ได้ 23 % และ ซิลิกอนในรูป Si_2O_3 ได้ 13 % ส่วน mica ให้โพแทสเซียมออกมาในรูป K_2O ได้ 51.3 %, อะลูมิเนียมในรูป Al_2O_3 ได้ 57.8 % และ ซิลิกอนในรูป Si_2O_3 ได้ 50.3 % จากประสิทธิภาพดังกล่าวจึงทำให้ประเทศจีนผลิตเชื้อนี้ในรูปของหัวเชื้อปุ๋ยชีวภาพ โดยหัวเชื้อที่ผลิตได้นี้สามารถเจริญในระบบราก หรือบริเวณรอบรากได้ โดยซิลิเกตแบคทีเรียสามารถผลิตสารที่ไปช่วยกระตุ้นให้พืชเจริญเติบโต เช่น gibberellins และฮอร์โมนพืชตัวอื่นๆ และยังสามารถป้องกันและควบคุมโรคพืชได้ เช่น โรค corn spotblight, cotton yellow-wilt, rice blast, wheat rust และ stem rot โดยที่ซิลิเกตแบคทีเรียยังช่วยให้พืชทนแล้งได้ ซึ่งปุ๋ยชีวภาพโพแทสเซียม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

(Biological potassium fertilizer ; BPF) ทำมาจากซิลิเกตแบคทีเรีย และซิลิเกตแบคทีเรีย สามารถละลายและ oxidize silicate-alumina และ phosphorite และทำลายโครงสร้าง lattice ของแร่ ทำให้มีธาตุต่างๆ หลุดออกมา เช่น K, P, Al, Si, Mg, Fe, Mo เป็นต้น



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved