

# การประยุกต์ใช้ความรู้ด้านชีวเคมีพืชในการเกษตร

## Application of Plant Biochemistry Knowledge in Agriculture

### บทคัดย่อ

ชีวเคมีพืชเป็นศาสตร์ที่ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ปฏิกิริยาเมแทบอลิซึม และกระบวนการควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในระดับโมเลกุล ความรู้ดังกล่าวมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาการเกษตรสมัยใหม่ เนื่องจากช่วยอธิบายว่าพืชสร้างอาหาร ดูดใช้ธาตุอาหาร ตอบสนองต่อฮอร์โมน และปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้อย่างไร การประยุกต์ใช้ความรู้ด้านชีวเคมีพืชครอบคลุมตั้งแต่การเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง การจัดการปุ๋ย การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโต การปรับปรุงคุณภาพผลผลิต การสร้างความทนทานต่อความแห้งแล้ง ความเค็ม โรค และแมลง ตลอดจนการพัฒนาสารชีวภัณฑ์และการเกษตรแม่นยำ บทความนี้นำเสนอหลักการสำคัญของชีวเคมีพืชและตัวอย่างการประยุกต์ใช้ในการผลิตพืชเพื่อเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุน ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสนับสนุนระบบเกษตรที่ยั่งยืน

คำสำคัญ: ชีวเคมีพืช, การเกษตร, เมแทบอลิซึมของพืช, ฮอร์โมนพืช, ความเครียดของพืช, เกษตรยั่งยืน

### 1. บทนำ

การผลิตพืชไม่ได้ขึ้นอยู่กับพันธุ์พืช ดิน น้ำ และสภาพอากาศเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์พืชอย่างต่อเนื่อง พืชต้องรับพลังงานแสง ดูดน้ำและแร่ธาตุจากดิน สังเคราะห์สารอินทรีย์ สร้างโครงสร้างของเซลล์ และตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม กระบวนการทั้งหมดนี้ถูกควบคุมโดยเอนไซม์ ฮอร์โมน ยีน และสารสัญญาณหลายชนิด

ชีวเคมีพืชช่วยให้เข้าใจกลไกที่อยู่เบื้องหลังลักษณะที่สังเกตได้ในแปลงเกษตร เช่น เหตุใดพืชจึงเจริญเติบโตช้าเมื่อขาดไนโตรเจน เหตุใดใบจึงเหลืองเมื่อขาดแมกนีเซียม เหตุใดพืชบางชนิดทนแล้งได้ดีกว่าพืชชนิดอื่น หรือเหตุใดผลไม้บางชนิดสุกเร็วหลังได้รับเอทิลีน

เมื่อเข้าใจกระบวนการเหล่านี้ เกษตรกรและนักวิชาการสามารถจัดการพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ไม่จำเป็นต้องอาศัยการทดลองแบบลองผิดลองถูกเพียงอย่างเดียว ความรู้ทางชีวเคมีจึงเป็นพื้นฐานสำคัญของการปรับปรุงพันธุ์ การจัดการธาตุอาหาร การพัฒนาสารชีวภัณฑ์ เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว และการเกษตรแม่นยำ

## 2. การเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง

การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการที่พืชเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเคมี โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในการสร้างน้ำตาล กระบวนการนี้เกิดขึ้นในคลอโรพลาสต์และเกี่ยวข้องกับคลอโรฟิลล์ ระบบถ่ายเทอิเล็กตรอน เอนไซม์ และโปรตีนจำนวนมาก

น้ำตาลที่เกิดจากการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นแหล่งพลังงานและวัตถุดิบสำหรับการสร้างแป้ง เซลลูโลส โปรตีน ไขมัน กรดนิวคลีอิก และสารประกอบอื่น ๆ ดังนั้นประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ด้วยแสงจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการสะสมชีวมวลและผลผลิตของพืช

ความรู้ด้านชีวเคมีพืชสามารถนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงได้หลายแนวทาง เช่น

1. การจัดการธาตุอาหารที่เกี่ยวข้องกับคลอโรฟิลล์และเอนไซม์  
แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ ขณะที่ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของโปรตีนและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ การให้ธาตุอาหารอย่างสมดุลจึงช่วยรักษาพื้นที่ใบและความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสง
2. การจัดการน้ำ  
เมื่อพืชขาดน้ำ ปากใบจะปิดเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ส่งผลให้คาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ใบได้น้อยลงและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง การให้น้ำตามความต้องการของพืชจึงช่วยรักษาการทำงานของระบบสังเคราะห์ด้วยแสง
3. การเลือกพันธุ์พืชที่มีประสิทธิภาพการใช้แสงสูง  
พืชแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันในด้านโครงสร้างใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ การเปิดปิดปากใบ และกิจกรรมของเอนไซม์ การคัดเลือกพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพสูงช่วยเพิ่มผลผลิตภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน
4. การลดการหายใจเชิงแสง  
การหายใจเชิงแสงเป็นกระบวนการที่ทำให้พืชสูญเสียคาร์บอนและพลังงาน โดยเฉพาะในพืชกลุ่ม C3 เช่น ข้าว ข้าวสาลี และถั่วเหลือง การปรับปรุงเอนไซม์หรือเส้นทางเมแทบอลิซึมเพื่อลดการสูญเสียดังกล่าวเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาพืชที่ให้ผลผลิตสูงขึ้น

---

## 3. การจัดการธาตุอาหารพืชอย่างมีประสิทธิภาพ

พืชต้องการธาตุอาหารหลายชนิดเพื่อใช้เป็นองค์ประกอบของสารชีวโมเลกุลและเป็นตัวช่วยในการทำงานของเอนไซม์ ตัวอย่างเช่น ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนและโปรตีน ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของ ATP และกรดนิวคลีอิก ส่วนโพแทสเซียมเกี่ยวข้องกับการควบคุมสมดุลน้ำและการทำงานของเอนไซม์

ความรู้ด้านชีวเคมีช่วยอธิบายอาการที่เกิดจากการขาดธาตุอาหาร เช่น

- การขาดไนโตรเจนทำให้ใบแก่มีสีเหลืองและพืชเจริญเติบโตช้า เพราะพืชสร้างคลอโรฟิลล์และโปรตีนได้น้อยลง

- การขาดฟอสฟอรัสทำให้การถ่ายทอดพลังงานภายในเซลล์ลดลง พืชอาจเจริญเติบโตช้าและสะสมสารสีม่วงบางชนิด
- การขาดแมกนีเซียมทำให้การสร้างคลอโรฟิลล์ลดลง เกิดอาการเหลืองระหว่างเส้นใบ
- การขาดเหล็กส่งผลต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และระบบถ่ายทอดอิเล็กตรอน แม้ว่าเหล็กจะไม่ได้เป็นองค์ประกอบโดยตรงของคลอโรฟิลล์ก็ตาม

การวิเคราะห์ดินร่วมกับการวิเคราะห์ใบพืชช่วยให้สามารถประเมินสถานะธาตุอาหารได้แม่นยำกว่าการสังเกตอาการภายนอกเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ การตรวจวัดเอนไซม์ สารเมแทบอไลต์ หรือรงควัตถุภายในใบยังสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ภาวะขาดธาตุอาหารในระยะเริ่มต้นได้

การใช้ปุ๋ยตามความต้องการทางชีวเคมีของพืชช่วยลดการใช้ปุ๋ยเกินความจำเป็น ลดต้นทุน และลดการสูญเสียธาตุอาหารสู่สิ่งแวดล้อม เช่น การชะล้างไนเตรตลงสู่ลำน้ำใต้ดิน หรือการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากดิน

## 4. การประยุกต์ใช้ฮอร์โมนพืชและสารควบคุมการเจริญเติบโต

ฮอร์โมนพืชเป็นสารอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้นในปริมาณน้อย แต่มีผลต่อการแบ่งเซลล์ การยืดตัว การสร้างราก การออกดอก การติดผล การสุก และการตอบสนองต่อความเครียด ฮอร์โมนสำคัญ ได้แก่ ออกซิน จิบเบอเรลลิน ไซโทไคนิน เอทิลีน กรดแอบไซซิก บราสซิโนสเตอรอยด์ และจัสโมเนต

### 4.1 ออกซิน

ออกซินช่วยกระตุ้นการยืดตัวของเซลล์และการเกิดรากแขนงหรือรากพิเศษ จึงมีการนำสารที่ออกฤทธิ์คล้ายออกซินมาใช้ในการเร่งการออกรากของกิ่งปักชำ นอกจากนี้ยังใช้ควบคุมการติดผล ลดการร่วงของผลอ่อน และใช้เป็นสารกำจัดวัชพืชบางประเภท

### 4.2 จิบเบอเรลลิน

จิบเบอเรลลินช่วยกระตุ้นการยืดตัวของลำต้น การงอกของเมล็ด และการขยายขนาดของผล ในการเกษตรสามารถใช้เพิ่มขนาดผล ลดความแน่นของช่อองุ่น กระตุ้นการงอกของเมล็ดที่มีการพักตัว และช่วยควบคุมการออกดอกในพืชบางชนิด

### 4.3 ไซโทไคนิน

ไซโทไคนินมีบทบาทในการกระตุ้นการแบ่งเซลล์ ชะลอความแก่ของใบ และส่งเสริมการแตกยอด ความรู้เกี่ยวกับสัดส่วนระหว่างออกซินและไซโทไคนินมีความสำคัญอย่างมากต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช โดยสัดส่วนฮอร์โมนที่ต่างกันสามารถกระตุ้นให้เนื้อเยื่อสร้างราก ยอด หรือกลุ่มเซลล์ที่ยังไม่พัฒนาเป็นอวัยวะ

### 4.4 เอทิลีน

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนในรูปก๊าซที่เกี่ยวข้องกับการสุกของผลไม้ การหลุดร่วงของใบและผล และการตอบสนองต่อบาดแผล การควบคุมเอทิลีนสามารถนำมาใช้ในการเร่งให้ผลไม้สุกพร้อมกัน หรือชะลอการสุกระหว่างการเก็บรักษาและขนส่ง

#### 4.5 กรดแอบไซซิก

กรดแอบไซซิกมีบทบาทสำคัญในการตอบสนองต่อความแห้งแล้ง โดยกระตุ้นให้ปากใบปิดเพื่อลดการสูญเสียน้ำ และเกี่ยวข้องกับการพักตัวของเมล็ด ความเข้าใจเส้นทางการสร้างและการส่งสัญญาณของกรดแอบไซซิกช่วยในการพัฒนาพืชที่ใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตต้องพิจารณาความเข้มข้น ระยะเวลาที่ใช้ อายุของพืช และสภาพแวดล้อม เพราะสารชนิดเดียวกันอาจให้ผลแตกต่างกันในพืชแต่ละชนิดหรือในระยะเวลาการเจริญเติบโตที่ต่างกัน

### 5. การเพิ่มความทนทานต่อความเครียดจากสิ่งแวดล้อม

พืชมักเผชิญความเครียดจากความแห้งแล้ง ความเค็ม อุณหภูมิสูง อุณหภูมิต่ำ น้ำท่วม และโรคห้ำหั่น ความเครียดเหล่านี้รบกวนสมดุลน้ำ โครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ การทำงานของเอนไซม์ และการสังเคราะห์ด้วยแสง

เมื่อเกิดความเครียด พืชมักสร้างอนุมูลอิสระหรือสารออกซิแดนต์ที่มีความไวต่อปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น หากสะสมมากเกินไปจะทำลายโปรตีน ไขมัน และกรดนิวคลีอิก พืชจึงมีระบบป้องกันโดยใช้เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ดีสมิวเทส คาทาเลส และเปอร์ออกซิเดส รวมทั้งสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น แอสคอร์เบต กลูตาไธโอน แอลฟาโทกอล และสารประกอบฟีนอลิก

พืชยังสะสมสารที่ช่วยรักษาสมดุลออสโมซิส เช่น โพรลีน น้ำตาลที่ละลายน้ำได้ และไกลซีนบีเทน สารเหล่านี้ช่วยให้เซลล์รักษาน้ำ ป้องกันโปรตีน และรักษาเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์

ความรู้ดังกล่าวนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายแนวทาง ได้แก่

- การคัดเลือกพันธุ์ที่มีระบบต้านอนุมูลอิสระประสิทธิภาพสูง
- การปรับปรุงพันธุ์ให้สะสมสารป้องกันความเครียดได้มากขึ้น
- การใช้สารกระตุ้นชีวภาพเพื่อเตรียมความพร้อมของพืชก่อนเผชิญความเครียด
- การเคลือบหรือแช่เมล็ดด้วยสารที่ช่วยเพิ่มความทนทานก่อนปลูก
- การใช้จุลินทรีย์บริเวณรากเพื่อช่วยให้พืชทนแล้งหรือทนเค็ม

การวิเคราะห์ระดับของโพรลีน สารต้านอนุมูลอิสระ คลอโรฟิลล์ และผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ สามารถใช้เป็นเครื่องมือประเมินความทนทานของพันธุ์พืชได้

## 6. การป้องกันโรคและแมลงศัตรูพืช

พืชไม่มีระบบภูมิคุ้มกันแบบสัตว์ แต่สามารถตรวจจับเชื้อโรคและกระตุ้นระบบป้องกันได้ เมื่อพืชรับรู้โมเลกุลจากเชื้อโรค จะเกิดการส่งสัญญาณภายในเซลล์ การสร้างสารออกซิเจนแอคทีฟ การเพิ่มความแข็งแรงของผนังเซลล์ และการสร้างโปรตีนหรือสารต้านจุลชีพ

สารสัญญาณที่สำคัญในการป้องกันโรคและแมลง ได้แก่ กรดซาลิไซลิก กรดจัสโมนิก และเอทิลีน โดยทั่วไป กรดซาลิไซลิกมีบทบาทสำคัญต่อการป้องกันเชื้อที่อาศัยเซลล์พืชที่ยังมีชีวิต ขณะที่จัสโมนิกและเอทิลีนมีบทบาทต่อการป้องกันแมลงกินพืชและเชื้อโรคที่ทำลายเซลล์พืช

พืชหลายชนิดสร้างสารเมแทบอไลต์เฉพาะทางเพื่อป้องกันศัตรู เช่น

- สารประกอบฟีนอลิก
- เทอร์ปีนอยด์
- แอลคาลอยด์
- กลูโคซิโนเลต
- ไฟโตอะเล็กซิน
- โปรตีนยับยั้งเอนไซม์ย่อยอาหารของแมลง

ความรู้เกี่ยวกับเส้นทางการสร้างสารเหล่านี้สามารถพัฒนาพันธุ์พืชที่ต้านทานศัตรูพืชได้ดีขึ้น รวมถึงใช้พัฒนาสารสกัดจากพืชเป็นสารกำจัดแมลงหรือสารยับยั้งเชื้อโรคทางชีวภาพ

อีกแนวทางหนึ่งคือการกระตุ้นภูมิคุ้มกันของพืชล่วงหน้า โดยใช้สารกระตุ้นหรือจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ ทำให้พืชตอบสนองต่อเชื้อโรคได้รวดเร็วขึ้น วิธีนี้ช่วยลดการพึ่งพาสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและลดการตกค้างในผลผลิต

## 7. การปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการของผลผลิต

ชีวเคมีพืชมีบทบาทสำคัญต่อการปรับปรุงคุณภาพของอาหารจากพืช เนื่องจากคุณค่าทางโภชนาการ สี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัสล้วนเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีและกระบวนการเมแทบอลิซึม

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ได้แก่

### 7.1 การเพิ่มวิตามินและสารต้านอนุมูลอิสระ

การคัดเลือกหรือปรับปรุงพันธุ์ให้พืชสะสมวิตามิน แคโรทีนอยด์ แอนโทไซยานิน หรือสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น ช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของผลผลิต

## 7.2 การปรับปรุงคุณภาพโปรตีน

พืชบางชนิดมีกรดอะมิโนจำเป็นบางชนิดต่ำ ความเข้าใจการสังเคราะห์และสะสมโปรตีนในเมล็ดช่วยให้สามารถคัดเลือกหรือพัฒนาพันธุ์ที่มีองค์ประกอบกรดอะมิโนเหมาะสมยิ่งขึ้น

## 7.3 การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันพืช

การควบคุมเส้นทางการสังเคราะห์กรดไขมันสามารถเปลี่ยนสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในเมล็ดพืชน้ำมัน ทำให้ได้น้ำมันที่เหมาะสมต่อการบริโภคหรือใช้ในอุตสาหกรรม

## 7.4 การลดสารต้านโภชนาการและสารพิษ

พืชบางชนิดมีสารต้านโภชนาการ เช่น ไฟเตต แทนนิน หรือสารยับยั้งเอนไซม์ย่อยโปรตีน การศึกษาชีวเคมีของสารเหล่านี้ช่วยในการพัฒนาพันธุ์หรือกระบวนการแปรรูปที่ลดปริมาณสารดังกล่าว โดยยังรักษาคุณค่าทางอาหารไว้

## 8. การจัดการการสุกและการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว

หลังจากเก็บเกี่ยวแล้ว ผลผลิตพืชยังคงมีการหายใจ การสร้างและสลายสารเมแทบอไลต์ รวมถึงการตอบสนองต่อฮอร์โมน การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีเหล่านี้มีผลต่ออายุการเก็บรักษา

ระหว่างการสุกของผลไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายประการ เช่น

- แป้งถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ทำให้ผลไม้มีรสหวานขึ้น
- คลอโรฟิลล์สลายตัวและมีการปรากฏของแคโรทีนอยด์หรือแอนโทไซยานิน
- เพกทินและองค์ประกอบของผนังเซลล์ถูกย่อย ทำให้เนื้อผลไม้นุ่มลง
- สารระเหยถูกสร้างขึ้น ทำให้เกิดกลิ่นเฉพาะ
- กรดอินทรีย์บางชนิดลดลง ทำให้รสเปรี้ยวลดลง

การควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีน สามารถชะลอการหายใจและการเสื่อมคุณภาพได้ การเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมหรือบรรยากาศดัดแปลงจึงเป็นการประยุกต์ใช้ความรู้ด้านการหายใจระดับเซลล์และการทำงานของเอทิลีนโดยตรง

นอกจากนี้ การใช้สารยับยั้งการรับรู้เอทิลีน การเคลือบผิวผลผลิต และการลดความเสียหายจากอนุมูลอิสระ ยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและลดการสูญเสียอาหารหลังการเก็บเกี่ยวได้

## 9. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและการขยายพันธุ์พืช

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่ออาศัยหลักการที่ว่าเซลล์พืชที่ยังมีชีวิตจำนวนมากสามารถพัฒนาเป็นต้นใหม่ได้ หากได้รับธาตุอาหาร น้ำตาล โซรโมน และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

สูตรอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง วิตามิน แห่่งคาร์บอน และสารควบคุมการเจริญเติบโต สัดส่วนของออกซินและไซโทไคนินเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดการเกิดราก ยอด หรือแคลลัส

เทคนิคนี้มีประโยชน์ทางการเกษตรหลายด้าน ได้แก่

- การผลิตต้นพันธุ์จำนวนมากในระยะเวลาสั้น
- การผลิตต้นพันธุ์ปลอดโรค
- การอนุรักษ์พันธุ์กรรมพืช
- การขยายพันธุ์พืชที่ขยายพันธุ์ตามธรรมชาติได้ยาก
- การผลิตสารสำคัญจากเซลล์หรือเนื้อเยื่อพืช
- การใช้เป็นขั้นตอนร่วมกับการปรับปรุงพันธุ์และพันธุวิศวกรรม

ความรู้ด้านเมแทบอลิซึม โซรโมน และการแสดงออกของยีนจึงเป็นพื้นฐานสำคัญของการควบคุมการพัฒนาเนื้อเยื่อภายใต้สภาพปลอดเชื้อ

## 10. การพัฒนาปุ๋ยชีวภาพและสารกระตุ้นชีวภาพ

บริเวณรากพืชเป็นแหล่งอาศัยของจุลินทรีย์จำนวนมาก จุลินทรีย์บางชนิดช่วยตรึงไนโตรเจน ละลายฟอสเฟต สร้างสารจับเหล็ก สร้างโซรโมนพืช หรือกระตุ้นระบบป้องกันของพืช

ตัวอย่างสำคัญคือความสัมพันธ์ระหว่างพืชตระกูลถั่วกับแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนในปมราก แบคทีเรียเปลี่ยนไนโตรเจนในอากาศให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปสร้างกรดอะมิโนและโปรตีนได้ กระบวนการนี้ช่วยลดความต้องการปุ๋ยไนโตรเจนจากอุตสาหกรรม

เชื้อราไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มพื้นที่การดูดน้ำและธาตุอาหาร โดยเฉพาะฟอสฟอรัส ขณะที่แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญของพืชสามารถสร้างออกซินหรือสารที่ช่วยลดผลกระทบจากโซรโมนความเครียดบางชนิด

สารกระตุ้นชีวภาพอาจประกอบด้วยจุลินทรีย์ สารสกัดจากสาหร่าย กรดฮิวมิก กรดอะมิโน หรือสารจากธรรมชาติ สารเหล่านี้ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นปุ๋ยโดยตรงเสมอไป แต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหาร กระตุ้นการเจริญและเพิ่มความทนทานต่อความเครียด

## 11. การปรับปรุงพันธุ์พืชโดยใช้ข้อมูลจีโนมและโมเลกุล

ในอดีต การปรับปรุงพันธุ์พืชอาศัยการสังเกตลักษณะภายนอกและผลผลิตเป็นหลัก ปัจจุบันสามารถใช้ข้อมูลด้านเอนไซม์ โปรตีน สารเมแทบอลิต์ และการแสดงออกของยีนร่วมในการคัดเลือกพันธุ์ได้

การวิเคราะห์สารเมแทบอลิต์ช่วยให้เห็นผลลัพธ์ของการทำงานร่วมกันระหว่างยีนและสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น พันธุ์พืชที่ทนแล้งอาจสะสมโปรตีนและสารต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่าพันธุ์อ่อนแอ ขณะที่พันธุ์ต้านทานโรคอาจสร้างสารป้องกันได้เร็วหรือมีปริมาณสูงกว่า

การใช้ตัวบ่งชี้ทางจีโนมช่วยให้สามารถคัดเลือกพืชได้ตั้งแต่ระยะต้น ลดระยะเวลาในการประเมินผลในแปลง นอกจากนี้ เทคโนโลยีชีวภาพและการแก้ไขยีนยังสามารถปรับเปลี่ยนเส้นทางเมแทบอลิซึมเพื่อเพิ่มผลผลิต คุณค่าทางอาหาร หรือความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้อย่างจำเพาะมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม การพัฒนาพืชด้วยเทคโนโลยีดังกล่าวต้องคำนึงถึงความปลอดภัยทางชีวภาพ ผลกระทบต่อระบบนิเวศ กฎหมาย และการยอมรับของผู้บริโภคควบคู่กันไป

## 12. บทบาทของจีโนมพืชในการเกษตรแม่นยำ

เกษตรแม่นยำเป็นการใช้ข้อมูลและเทคโนโลยีเพื่อจัดการพืชให้เหมาะกับสภาพพื้นที่และช่วงเวลา ความรู้ทางจีโนมช่วยกำหนดว่าควรวัดตัวแปรใดเพื่อบ่งชี้สุขภาพของพืช

ตัวแปรที่สามารถใช้ประเมินสถานะทางสรีรวิทยาและจีโนมของพืช ได้แก่

- ปริมาณคลอโรฟิลล์
- อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง
- การเปิดปิดของปากใบ
- อุณหภูมิของใบ
- ปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อ
- การเรืองแสงของคลอโรฟิลล์
- ปริมาณไนโตรเจนในใบ
- สารเมแทบอลิต์ที่เกี่ยวข้องกับความเครียด

ข้อมูลเหล่านี้สามารถเชื่อมโยงกับภาพถ่ายจากโดรน ดาวเทียม หรือเซนเซอร์ภาคสนาม เพื่อระบุบริเวณที่พืชขาดน้ำ ขาดธาตุอาหาร หรือเริ่มเกิดโรค เกษตรกรจึงสามารถให้น้ำ ปุ๋ย หรือสารป้องกันศัตรูพืชเฉพาะจุด แทนการใช้ในปริมาณเท่ากันทั่วทั้งแปลง

แนวทางดังกล่าวช่วยลดต้นทุน ลดการใช้ทรัพยากร และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งเพิ่มความสม่ำเสมอของผลผลิต

---

### 13. การประยุกต์ใช้เพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน

ความรู้ด้านชีวเคมีพืชช่วยสนับสนุนการเกษตรที่ยั่งยืน เพราะทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตโดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มการใช้ปุ๋ย น้ำ และสารเคมีในอัตราเดียวกัน เป้าหมายสำคัญคือการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรของพืช

ตัวอย่างแนวทางที่สอดคล้องกับการเกษตรที่ยั่งยืน ได้แก่

- การพัฒนาพันธุ์ที่ใช้น้ำและธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- การใช้จุลินทรีย์และสารชีวภัณฑ์แทนสารเคมีบางส่วน
- การกระตุ้นภูมิคุ้มกันตามธรรมชาติของพืช
- การลดการสูญเสียผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว
- การใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นวัตถุดิบผลิตสารชีวภาพ
- การเพิ่มการตรึงคาร์บอนและการสะสมคาร์บอนในชีวมวล
- การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปุ๋ยในโตรเจนมากเกินไป

นอกจากนี้ ความเข้าใจเมแทบอลิซึมของพืชยังช่วยพัฒนาการผลิตสารชีวภาพที่มีมูลค่าสูง เช่น สารให้สี สารให้กลิ่น สารต้านอนุมูลอิสระ สารออกฤทธิ์ทางยา และวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมชีวภาพ

---

### 14. ข้อจำกัดและความท้าทาย

แม้ว่าความรู้ด้านชีวเคมีพืชจะมีศักยภาพสูง แต่การนำไปใช้จริงยังมีข้อจำกัดหลายประการ กระบวนการทางชีวเคมีของพืชมีความซับซ้อนและเปลี่ยนแปลงตามพันธุกรรม อายุของพืช สภาพดิน อุณหภูมิ แสง น้ำ และปฏิสัมพันธ์กับสิ่งมีชีวิตอื่น

ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการอาจไม่เหมือนกับผลที่เกิดขึ้นในแปลงเกษตร เนื่องจากสภาพแวดล้อมจริงมีปัจจัยหลายอย่างเกิดขึ้นพร้อมกัน สารที่กระตุ้นการเจริญในระดับความเข้มข้นหนึ่งอาจยับยั้งการเจริญเมื่อใช้ในปริมาณสูงเกินไป

การประยุกต์ใช้จึงต้องอาศัยการบูรณาการระหว่างชีวเคมี สรีรวิทยาพืช พันธุศาสตร์ ปลูกพืชศาสตร์ จุลชีววิทยา เทคโนโลยีการเกษตร และเศรษฐศาสตร์ รวมทั้งต้องประเมินความคุ้มค่า ความปลอดภัย และความเหมาะสมกับบริบทของเกษตรกรในแต่ละพื้นที่

---

## 15. บทสรุป

ชีวเคมีพืชเป็นพื้นฐานสำคัญในการทำความเข้าใจกระบวนการดำรงชีวิตของพืช ตั้งแต่การสังเคราะห์ด้วยแสง การหายใจ การดูดใช้ธาตุอาหาร การทำงานของฮอร์โมน การสร้างสารเมแทบอลิต์ ไปจนถึงการตอบสนองต่อความเครียดและศัตรูพืช

ความรู้เหล่านี้สามารถประยุกต์ใช้ในการเพิ่มผลผลิต ปรับปรุงคุณภาพอาหาร พัฒนาพืชทนแล้งและทนเค็ม ลดความเสียหายจากโรคและแมลง ควบคุมการสุก ยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยว ผลิตต้นพันธุ์ปลอดโรค และพัฒนาปุ๋ยชีวภาพหรือสารกระตุ้นชีวภาพ

ในอนาคต การผสมผสานชีวเคมีพืชเข้ากับข้อมูลจีโนม การวิเคราะห์สารเมแทบอลิต์ เช่น เซอร์อ์จันริยะ ปัญญาประดิษฐ์ และการเกษตรแม่นยำ จะช่วยให้สามารถจัดการพืชได้ตรงตามความต้องการมากขึ้น การประยุกต์ใช้ความรู้ดังกล่าวอย่างเหมาะสมจึงมีบทบาทสำคัญต่อการสร้างระบบการเกษตรที่ให้ผลผลิตสูง ปลอดภัย ใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และมีความยั่งยืนในระยะยาว