

การควบคุมการแสดงออกของยีนในการเจริญและพัฒนาของพืช

Gene Regulation in Plant Development

บทนำ

พืชหนึ่งต้นประกอบด้วยเซลล์จำนวนมากที่มีรูปร่างและหน้าที่แตกต่างกัน เช่น เซลล์รากทำหน้าที่ดูดน้ำและแร่ธาตุ เซลล์ใบทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสง และเซลล์ดอกเกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ อย่างไรก็ตาม เซลล์เกือบทุกชนิดภายในต้นพืชมีสารพันธุกรรมหรือจีโนมชุดเดียวกัน ความแตกต่างระหว่างเซลล์จึงไม่ได้เกิดจากการมีชุดยีนแตกต่างกัน แต่เกิดจากการที่เซลล์แต่ละชนิด “เลือกเปิดหรือปิดยีน” แตกต่างกัน

กระบวนการควบคุมว่ายีนใดควรทำงาน เมื่อใด ทำงานที่เนื้อเยื่อใด และทำงานมากน้อยเพียงใด เรียกว่า การควบคุมการแสดงออกของยีน หรือ **gene regulation** กระบวนการนี้เป็นพื้นฐานสำคัญของการเจริญและพัฒนาของพืช ตั้งแต่การออกของเมล็ด การสร้างรากและใบ การออกดอก การสร้างผล ไปจนถึงการชราภาพของอวัยวะพืช

การควบคุมยีนในพืชมีความซับซ้อนเป็นพิเศษ เนื่องจากพืชไม่สามารถเคลื่อนที่หลบหนีจากสภาพแวดล้อมได้ จึงต้องปรับเปลี่ยนการเจริญเติบโตให้เหมาะสมกับแสง อุณหภูมิ น้ำ ธาตุอาหาร และสิ่งมีชีวิตรอบตัวอยู่ตลอดเวลา

1. จากยีนสู่ลักษณะที่ปรากฏของพืช

ยีนคือส่วนหนึ่งของดีเอ็นเอที่มีข้อมูลสำหรับสร้างอาร์เอ็นเอหรือโปรตีน กระบวนการแสดงออกของยีนโดยทั่วไปประกอบด้วยสองขั้นตอนสำคัญ ได้แก่

1. การถอดรหัส หรือ transcription

ข้อมูลในดีเอ็นเอถูกใช้เป็นแม่แบบในการสร้างอาร์เอ็นเอ โดยเฉพาะ messenger RNA หรือ mRNA

2. การแปลรหัส หรือ translation

ไรโบโซมอ่านข้อมูลใน mRNA และนำกรดอะมิโนมาต่อกันเป็นโปรตีน

โปรตีนที่สร้างขึ้นอาจทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ โปรตีนโครงสร้าง ตัวรับสัญญาณ หรือตัวควบคุมการทำงานของยีนอื่น ดังนั้น การเปิดหรือปิดยีนเพียงยีนเดียวอาจส่งผลต่อกระบวนการหลายอย่างภายในเซลล์

อย่างไรก็ตาม การควบคุมยีนไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะในขั้น transcription เท่านั้น แต่สามารถเกิดได้หลายระดับ ตั้งแต่การจัดโครงสร้างดีเอ็นเอ การสร้างและสลาย mRNA การสร้างโปรตีน ไปจนถึงการดัดแปลงโปรตีนหลังการสังเคราะห์

2. ระดับของการควบคุมการแสดงออกของยีนในพืช

2.1 การควบคุมระดับโครมาตินและอีพีเจเนติก

ดีเอ็นเอภายในนิวเคลียสไม่ได้อยู่ในลักษณะสายอิสระ แต่พันรอบโปรตีนฮิสโตนและจัดรวมกันเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า **โครมาติน**

หากโครมาตินอยู่ในสภาพคลายตัว เอนไซม์และโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการถอดรหัสจะเข้าถึงยีนได้ง่าย ยีนจึงมีแนวโน้มถูกเปิดใช้งาน ในทางตรงกันข้าม หากโครมาตินขดแน่น ยีนบริเวณนั้นมักถูกปิด

การเปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อการทำงานของยีนโดยไม่เปลี่ยนลำดับเบสของดีเอ็นเอเรียกว่า **การควบคุมแบบอีพีเจเนติก หรือ epigenetic regulation** ตัวอย่างสำคัญ ได้แก่

- การเติมหมู่เมทิลให้ดีเอ็นเอ
- การเติมหรือกำจัดหมู่เคมีบนโปรตีนฮิสโตน
- การปรับตำแหน่งของนิวคลีโอโซม
- การสร้างอาร์เอ็นเอขนาดเล็กที่ช่วยปิดการทำงานของยีน

การควบคุมแบบอีพีเจเนติกมีบทบาทในการกำหนดเอกลักษณ์ของเซลล์ การพัฒนาเอ็มบริโอ การสร้างดอก และการตอบสนองต่อความเครียด ตัวอย่างเช่น เซลล์ใบและเซลล์รากมีดีเอ็นเอเหมือนกัน แต่มีรูปแบบการเปิดโครมาตินต่างกัน ทำให้ยีนที่ทำงานในเซลล์ทั้งสองชนิดแตกต่างกัน

2.2 การควบคุมระดับการถอดรหัส

การควบคุมในขั้น transcription เป็นกลไกหลักที่กำหนดว่ายีนจะถูกเปิดหรือปิด บริเวณด้านหน้าของยีนมักมีลำดับดีเอ็นเอที่เรียกว่า **promoter** ทำหน้าที่เป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการจับของเอนไซม์ RNA polymerase และโปรตีนควบคุมอื่น

โปรตีนที่จับกับลำดับดีเอ็นเอเฉพาะและควบคุมการถอดรหัสเรียกว่า **transcription factor** ซึ่งอาจทำหน้าที่เป็น

- ตัวกระตุ้นการแสดงออกของยีน
- ตัวยับยั้งการแสดงออกของยีน
- ตัวเชื่อมสัญญาณจากฮอร์โมนหรือสิ่งแวดล้อมเข้าสู่การทำงานของยีน

พืชมี transcription factor หลายกลุ่ม เช่น MADS-box, MYB, bHLH, NAC, WRKY และ AP2/ERF แต่ละกลุ่มควบคุมกระบวนการแตกต่างกัน เช่น การสร้างดอก การพัฒนาราก การสร้างผนังเซลล์ การตอบสนองต่อเชื้อโรค และการทนต่อความแห้งแล้ง

นอกจาก promoter แล้ว ยังมีบริเวณควบคุมอื่น เช่น enhancer และ silencer ซึ่งอาจอยู่ห่างจากตัวขึ้น แต่สามารถเพิ่มหรือลดการถอดรหัสได้

2.3 การควบคุมหลังการถอดรหัส

หลังจากสร้าง RNA แล้ว เซลล์ยังสามารถควบคุมได้ว่า RNA นั้นจะถูกปรับแต่ง ใช้งาน หรือสลายเมื่อใด กลไกที่สำคัญได้แก่

การตัดต่ออาร์เอ็นเอ

mRNA เริ่มต้นของยีนในยูแคริโอตประกอบด้วยส่วนที่เรียกว่า exon และ intron เซลล์ต้องตัด intron ออกและเชื่อม exon เข้าด้วยกันก่อนนำ mRNA ไปแปลรหัส

ยีนหนึ่งยีนอาจถูกตัดต่อได้หลายแบบ เรียกว่า **alternative splicing** ทำให้ยีนเดียวสามารถสร้างโปรตีนหลายรูปแบบได้ กลไกนี้ช่วยเพิ่มความหลากหลายของโปรตีนและช่วยให้พืชตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมได้อย่างยืดหยุ่น

การควบคุมโดยอาร์เอ็นเอขนาดเล็ก

อาร์เอ็นเอขนาดเล็ก เช่น microRNA หรือ miRNA สามารถจับกับ mRNA เป้าหมายและทำให้ mRNA ถูกสลาย หรือขัดขวางการแปลรหัส

miRNA หลายชนิดมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาของพืช เช่น

- ควบคุมการสร้างใบและรูปร่างของใบ
 - กำหนดการเปลี่ยนจากระยะต้นอ่อนไปสู่ระยะโตเต็มวัย
 - ควบคุมการสร้างรากแขนง
 - ช่วยกำหนดช่วงเวลาการออกดอก
-

2.4 การควบคุมระดับการแปลรหัสและโปรตีน

แม้เซลล์จะมี mRNA อยู่แล้ว แต่ไม่ได้หมายความว่าจำเป็นต้องสร้างโปรตีนทันที เซลล์สามารถควบคุมอัตราการแปลรหัส อายุของ mRNA และการเข้าจับของไรโบโซมได้

หลังจากสร้างโปรตีนแล้ว โปรตีนยังอาจถูกดัดแปลงเพิ่มเติม เช่น

- การเติมหมู่ฟอสเฟต
- การตัดบางส่วนของโปรตีนออก

- การเติมน้ำตาลหรือหมู่เคมีอื่น
- การส่งโปรตีนไปยังออร์แกเนลล์เป้าหมาย
- การทำเครื่องหมายโปรตีนเพื่อให้ถูกสลาย

ระบบ ubiquitin–proteasome เป็นกลไกสำคัญในการกำจัดโปรตีนที่หมดหน้าที่หรือโปรตีนควบคุมบางชนิด การสลายโปรตีนอย่างเหมาะสมช่วยให้เซลล์เปลี่ยนแปลงการทำงานได้อย่างรวดเร็ว เช่น ในการตอบสนองต่อฮอร์โมนออกซิน จิบเบอเรลลิน และจัสโมเนต

3. เครือข่ายยีนกับการกำหนดชะตากรรมของเซลล์

การพัฒนาของพืชไม่ได้ควบคุมด้วยยีนเพียงยีนเดียว แต่เกิดจาก เครือข่ายการควบคุมยีน หรือ gene regulatory network ภายในเครือข่ายนี้ transcription factor ตัวหนึ่งอาจควบคุมยีนหลายยีน ขณะที่ยีนหนึ่งอาจถูกควบคุมโดย transcription factor หลายชนิด

เซลล์แต่ละเซลล์รับสัญญาณจากหลายแหล่ง เช่น

- ตำแหน่งของเซลล์ภายในเนื้อเยื่อ
- ฮอร์โมนพืช
- สัญญาณจากเซลล์ข้างเคียง
- แสงและอุณหภูมิ
- สถานะของน้ำและธาตุอาหาร

ข้อมูลเหล่านี้ถูกรวมเข้าด้วยกันก่อนเปลี่ยนรูปแบบการแสดงออกของยีน ทำให้เซลล์พัฒนาไปเป็นเซลล์ชนิดต่าง ๆ

ตัวอย่างเช่น เซลล์บริเวณปลายรากอาจพัฒนาเป็นเซลล์ผิวราก เซลล์ขนราก เซลล์คอร์เทกซ์ หรือเซลล์ท่อลำเลียง ขึ้นอยู่กับตำแหน่งและสัญญาณที่ได้รับ

4. การควบคุมยีนในเนื้อเยื่อเจริญ

พืชสามารถสร้างอวัยวะใหม่ได้ตลอดชีวิต เนื่องจากมีบริเวณที่เรียกว่า เนื้อเยื่อเจริญ หรือ meristem ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ที่ยังไม่เปลี่ยนแปลงไปทำหน้าที่เฉพาะ

เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด

เนื้อเยื่อเจริญปลายยอดเป็นแหล่งกำเนิดของลำต้น ใบ และดอก การรักษาสมดุลระหว่างการแบ่งตัวของเซลล์ต้นกำเนิดกับการเปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์เฉพาะต้องอาศัยการควบคุมกันอย่างแม่นยำ

ในพืชต้นแบบ Arabidopsis ยีนกลุ่ม WUSCHEL และ CLAVATA ทำงานร่วมกันเป็นวงจรป้อนกลับ

- WUSCHEL ช่วยรักษาคุณสมบัติของเซลล์ต้นกำเนิด
- CLAVATA ช่วยจำกัดจำนวนเซลล์ต้นกำเนิดไม่ให้เพิ่มมากเกินไป

หากสมดุลนี้ผิดปกติ เนื้อเยื่อเจริญอาจมีขนาดใหญ่เกินไปหรือสูญเสียความสามารถในการสร้างอวัยวะใหม่

เนื้อเยื่อเจริญปลายราก

ปลายรากมีศูนย์จัดระเบียบที่เรียกว่า quiescent center ซึ่งช่วยรักษาเซลล์ต้นกำเนิดรอบ ๆ บริเวณดังกล่าว ยีนควบคุมหลายกลุ่มร่วมกับฮอร์โมนออกซินกำหนดรูปแบบการแบ่งเซลล์และการสร้างชั้นเนื้อเยื่อภายในราก

5. บทบาทของฮอร์โมนในการควบคุมยีน

ฮอร์โมนพืชเป็นสารสัญญาณที่สร้างในปริมาณน้อย แต่สามารถเปลี่ยนแปลงการแสดงออกของยีนและส่งผลต่อการพัฒนาอย่างชัดเจน ฮอร์โมนแต่ละชนิดไม่ได้ทำงานแยกจากกัน แต่เกิดการส่งเสริมหรือต่อต้านกันเป็นเครือข่าย

ออกซิน

ออกซินมีบทบาทในการยึดตัวของเซลล์ การเกิดรากแขนง การกำหนดด้านบนและด้านล่างของอวัยวะ และการตอบสนองต่อแสงหรือแรงโน้มถ่วง

เมื่อระดับออกซินเพิ่มขึ้น โปรตีนยับยั้งบางชนิดจะถูกสลาย ทำให้ transcription factor กลุ่ม ARF สามารถกระตุ้นยีนที่ตอบสนองต่อออกซินได้ การกระจายตัวของออกซินที่ไม่เท่ากันในเนื้อเยื่อจึงทำให้เซลล์แต่ละด้านเจริญไม่เท่ากัน และเกิดการโค้งงอของลำต้นหรือราก

ไซโทไคนิน

ไซโทไคนินส่งเสริมการแบ่งเซลล์ การพัฒนาของยอด และชะลอการชราของใบ ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ อัตราส่วนระหว่างออกซินกับไซโทไคนินมีผลต่อการสร้างรากหรือยอด

จิบเบอเรลลิน

จิบเบอเรลลินส่งเสริมการยึดตัวของลำต้น การงอกของเมล็ด และการพัฒนาของผล ฮอร์โมนนี้กระตุ้นการสลายโปรตีน DELLA ซึ่งเป็นตัวยับยั้งการเจริญ เมื่อ DELLA ถูกกำจัด ยีนที่เกี่ยวข้องกับการเจริญจึงทำงานได้

กรดแอบไซซิก

กรดแอบไซซิกหรือ ABA มีบทบาทในการพักตัวของเมล็ด การปิดปากใบ และการตอบสนองต่อความแห้งแล้ง ABA กระตุ้น transcription factor หลายชนิดให้เปิดยีนที่ช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำและรักษาความสมดุลของเซลล์

เอทิลีน

เอทิลีนเกี่ยวข้องกับการสุกของผล การหลุดร่วงของใบ การชราภาพ และการตอบสนองต่อความเครียด การรับรู้เอทิลีนทำให้โปรตีนควบคุมบางชนิดมีความเสถียรมากขึ้นและเข้าสู่ nucleus เพื่อกระตุ้นยีนเป้าหมาย

6. การควบคุมยีนในการสร้างใบ

การสร้างใบเริ่มต้นจากกลุ่มเซลล์บริเวณด้านข้างของเนื้อเยื่อเจริญปลายยอด เซลล์เหล่านี้ต้องเปลี่ยนจากสภาพเซลล์ต้นกำเนิดไปเป็นเซลล์เริ่มต้นของใบ

การพัฒนารูปร่างของใบเกี่ยวข้องกับการกำหนดแกนสำคัญ ได้แก่

- ด้านโคนและด้านปลายใบ
- ด้านบนและด้านล่างของใบ
- ด้านกลางและขอบใบ

ยีนควบคุมแต่ละกลุ่มจะแสดงออกในตำแหน่งเฉพาะ เช่น ยีนบางกลุ่มทำงานเฉพาะด้านบนของใบ ขณะที่อีกกลุ่มทำงานด้านล่าง หากรูปแบบการแสดงออกผิดปกติ ใบอาจม้วน มีรูปร่างไม่สมมาตร หรือไม่สามารถสร้างแผ่นใบได้ตามปกติ

รูปทรงของใบ เช่น ใบเดี่ยว ใบประกอบ ขอบเรียบ หรือขอบหยัก ล้วนเกิดจากความแตกต่างของเวลา ตำแหน่ง และระดับการทำงานของยีนควบคุมการแบ่งเซลล์

7. การควบคุมยีนในการพัฒนาของราก

รากมีความสามารถในการปรับโครงสร้างตามสภาพแวดล้อมอย่างมาก หากดินมีน้ำหรือธาตุอาหารไม่สม่ำเสมอ พืชสามารถเปลี่ยนความยาวของราก จำนวนรากแขนง และความหนาแน่นของขนรากได้

การเกิดรากแขนงเริ่มจากเซลล์เพริไซเคลบางกลุ่มกลับเข้าสู่วงจรการแบ่งเซลล์ กระบวนการนี้ถูกกระตุ้นโดยออกซินและ transcription factor หลายชนิด จากนั้นเซลล์จะแบ่งตัวและสร้างเนื้อเยื่อรากใหม่ที่เจริญผ่านชั้นเนื้อเยื่อเดิมออกมา

ในบริเวณที่มีฟอสเฟตต่ำ พืชบางชนิดจะลดการยึดของรากหลัก แต่เพิ่มรากแขนงและขนราก ทำให้พื้นที่ผิวสำหรับดูดธาตุอาหารเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากการปรับการแสดงออกของยีนที่ตอบสนองต่อฟอสเฟตและฮอร์โมนพืช

8. การเปลี่ยนจากระยะเจริญทางลำต้นไปสู่การออกดอก

การออกดอกเป็นการเปลี่ยนแปลงทางพัฒนาการครั้งสำคัญ เนื้อเยื่อเจริญที่เคยสร้างใบจะเปลี่ยนไปสร้างส่วนประกอบของดอก พืชต้องเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสม เพราะหากออกดอกเร็วหรือช้าเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อความสำเร็จในการสืบพันธุ์

ปัจจัยที่มีผลต่อการออกดอก ได้แก่

- ความยาวช่วงกลางวันและกลางคืน
- อุณหภูมิ
- อายุของต้นพืช
- ระดับฮอร์โมน
- สถานะของธาตุอาหารและพลังงาน

ในพืชที่ตอบสนองต่อช่วงแสง ใบจะรับรู้ความยาวกลางวันและส่งสัญญาณไปยังเนื้อเยื่อเจริญปลายยอด โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการกระตุ้นดอกสามารถเคลื่อนที่ผ่านท่อลำเลียงอาหารไปยังยอด จากนั้นกระตุ้นยีนที่เปลี่ยนเนื้อเยื่อเจริญให้กลายเป็นเนื้อเยื่อเจริญของดอก

พืชบางชนิดต้องผ่านอากาศหนาวเป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนออกดอก กระบวนการนี้เรียกว่า **vernalization** ความหนาวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครมาตินและปิดยีนที่ยับยั้งการออกดอก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พืชจึงพร้อมออกดอก

9. การกำหนดเอกลักษณ์ของอวัยวะดอก

ดอกโดยทั่วไปประกอบด้วยกลีบเลี้ยง กลีบดอก เกสรเพศผู้ และเกสรเพศเมีย อวัยวะแต่ละชนิดเกิดจากการทำงานร่วมกันของยีนกำหนดเอกลักษณ์ของดอก ซึ่งหลายยีนอยู่ในกลุ่ม MADS-box transcription factor

แนวคิดพื้นฐานของแบบจำลอง ABC อธิบายว่า

- ยีนกลุ่ม A ช่วยกำหนดกลีบเลี้ยง
- ยีนกลุ่ม A ร่วมกับ B ช่วยกำหนดกลีบดอก
- ยีนกลุ่ม B ร่วมกับ C ช่วยกำหนดเกสรเพศผู้
- ยีนกลุ่ม C ช่วยกำหนดเกสรเพศเมีย

ต่อมามีการขยายแบบจำลองให้รวมยีนกลุ่มอื่นที่เกี่ยวข้องกับการสร้างอูฐและการทำงานร่วมกันของโปรตีนควบคุม

หากยีนบางกลุ่มกลายพันธุ์ อวัยวะดอกอาจเปลี่ยนเอกลักษณ์ เช่น กลีบดอกเปลี่ยนเป็นกลีบเลี้ยง หรือเกสรเพศผู้เปลี่ยนเป็นเกสรเพศเมีย ตัวอย่างเหล่านี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเปิดยีนชุดต่าง ๆ สามารถกำหนดรูปร่างของอวัยวะได้

10. การควบคุมยีนระหว่างการพัฒนาเมล็ดและผล

หลังการปฏิสนธิ ออวูลจะพัฒนาเป็นเมล็ด ส่วนรังไข่ก็พัฒนาเป็นผล การพัฒนาเมล็ดประกอบด้วยการสร้างเอ็มบริโอ การสะสมอาหาร และการเข้าสู่ภาวะพักตัว

ในระยะแรก ยีนที่ควบคุมการแบ่งเซลล์และการกำหนดแกนของเอ็มบริโอจะทำงาน ต่อมา ยีนที่เกี่ยวข้องกับการสะสมแป้ง น้ำมัน และโปรตีนจะถูกกระตุ้น ในช่วงเมล็ดแก่ ABA ช่วยกระตุ้นยีนที่เพิ่มความทนทานต่อการสูญเสียน้ำและส่งเสริมการพักตัวของเมล็ด

เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม เมล็ดจะดูดน้ำ ระดับ ABA ลดลง ขณะที่จิบเบอเรลลินเพิ่มขึ้น จิบเบอเรลลินกระตุ้นการสร้างเอนไซม์ที่ย่อยสลายอาหารสะสม เพื่อนำไปใช้เป็นพลังงานและวัตถุดิบสำหรับต้นอ่อน

สำหรับผลไม้ เอทิลีนมีบทบาทเด่นในการสุกของผลไม้บางชนิด โดยกระตุ้นยีนที่เกี่ยวข้องกับ

- การอ่อนตัวของผนังเซลล์
- การเปลี่ยนสี
- การสร้างกลิ่นและรส
- การเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล
- การลดลงของกรดอินทรีย์บางชนิด

11. สิ่งแวดล้อมกับการควบคุมยีนในการพัฒนา

การพัฒนาของพืชเป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสิ่งแวดล้อม พืชจึงไม่ได้มีรูปร่างตายตัว แต่สามารถเปลี่ยนรูปแบบการเจริญให้เหมาะกับสภาพที่พบ เรียกว่า **developmental plasticity**

แสง

พืชรับรู้แสงผ่านตัวรับแสงหลายชนิด เช่น phytochrome, cryptochrome และ phototropin ตัวรับแสงเหล่านี้ส่งสัญญาณไปเปลี่ยนการทำงานของ transcription factor และยีนที่เกี่ยวข้องกับการงอก การยืดลำต้น การสร้างคลอโรพลาสต์ การเปิดปากใบ และการออกดอก

ต้นอ่อนที่งอกในความมืดมักมีลำต้นขาว ใบเล็ก และมีสีเหลือง เมื่อได้รับแสง รูปแบบการแสดงออกของยีนจะเปลี่ยนอย่างรวดเร็ว ลำต้นลดการยืด ใบขยาย และยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และการสังเคราะห์ด้วยแสงเริ่มทำงาน

อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อการงอก การยืดตัว การออกดอก และการพักตัวของพืช อุณหภูมิสูงอาจทำให้พืชยืดลำต้นและออกดอกเร็วขึ้น ขณะที่ความหนาวสามารถกระตุ้นยีนที่ช่วยป้องกันความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์และ โปรตีน

น้ำและความแห้งแล้ง

เมื่อพืชขาดน้ำ ระดับ ABA จะเพิ่มขึ้นและกระตุ้นยีนที่เกี่ยวข้องกับการปิดปากใบ การสร้างสารป้องกันเซลล์ และการเปลี่ยนรูปแบบการเจริญของราก พืชมักเพิ่มการลงทุนในการเจริญของราก แต่ลดการขยายของใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ

12. การศึกษาการควบคุมยีนในพืช

นักวิทยาศาสตร์ใช้วิธีการหลายชนิดเพื่อศึกษาว่ายีนใดทำงานในช่วงใดและเนื้อเยื่อใด เช่น

การศึกษาเอนกสายพันธุ์

หากการสูญเสียยีนหนึ่งทำให้พืชมีลักษณะผิดปกติ สามารถใช้ลักษณะนั้นอนุมานหน้าที่ของยีนได้ ตัวอย่างเช่น การกลายพันธุ์ที่ทำให้รูปร่างดอกผิดปกติช่วยเปิดเผยข้อกำหนดเอกลักษณ์ของอวัยวะดอก

การวิเคราะห์การแสดงออกของยีน

เทคนิค quantitative PCR ใช้วัดปริมาณ RNA ของยีนที่สนใจ ส่วน RNA sequencing สามารถวิเคราะห์การแสดงออกของยีนจำนวนมากพร้อมกัน ทำให้เห็นว่ายีนใดถูกเปิดหรือปิดในแต่ละระยะของการพัฒนา

ยีนรายงาน

นักวิจัยสามารถเชื่อม promoter ของยีนที่สนใจกับยีนรายงาน เช่น GUS หรือ GFP เมื่อ promoter ทำงาน เซลล์จะเกิดสีหรือเรืองแสง ทำให้มองเห็นตำแหน่งและช่วงเวลาที่มีการแสดงออกของยีน

การแก้ไขจีโนม

เทคโนโลยี CRISPR/Cas ช่วยให้นักวิจัยแก้ไขยีนเป้าหมายได้อย่างแม่นยำ สามารถใช้ศึกษาหน้าที่ของยีน ปรับระดับการแสดงออก หรือเปลี่ยนบริเวณควบคุมของยีนได้

13. การประยุกต์ใช้ทางการเกษตร

ความเข้าใจเรื่องการควบคุมยีนในการพัฒนาของพืชสามารถนำไปใช้ปรับปรุงลักษณะทางการเกษตร เช่น

- ปรับช่วงเวลาการออกดอกให้เหมาะกับพื้นที่ปลูก
- ควบคุมความสูงและทรงพุ่มของพืช
- เพิ่มจำนวนรากหรือประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหาร
- ปรับขนาด รูปร่าง สี และระยะสุกของผล
- ลดการหลุดร่วงของดอกและผล
- เพิ่มความทนทานต่อความแห้งแล้ง ความเค็ม และอุณหภูมิสูง
- ควบคุมการพักตัวและการงอกของเมล็ด
- ยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยว

การปรับปรุงพืชในอนาคตอาจไม่ได้มุ่งเปลี่ยนเฉพาะส่วนที่สร้างโปรตีน แต่รวมถึงการปรับ promoter, enhancer หรือบริเวณควบคุมอื่น เพื่อให้ยีนเดิมทำงานในเวลา ตำแหน่ง และระดับที่เหมาะสมกว่าเดิม วิธีนี้อาจช่วยลดผลกระทบที่ไม่ต้องการจากการปิดหรือเปิดยีนตลอดทั้งต้น

บทสรุป

การควบคุมการแสดงออกของยีนเป็นกลไกพื้นฐานที่ทำให้เซลล์พืชซึ่งมีจีโนมเหมือนกันสามารถพัฒนาไปทำหน้าที่แตกต่างกันได้ การควบคุมนี้เกิดขึ้นหลายระดับ ตั้งแต่การจัดโครงสร้างโครมาติน การควบคุม transcription การตัดต่อและสลาย RNA การแปลรหัส ไปจนถึงการตัดแปลงและสลายโปรตีน

พัฒนาการของพืชเกิดจากการทำงานร่วมกันของยีนจำนวนมากในรูปเครือข่าย โดยรับข้อมูลจากตำแหน่งของเซลล์ฮอร์โมน สัญญาณระหว่างเซลล์ และสภาพแวดล้อม เครือข่ายเหล่านี้ควบคุมตั้งแต่การรักษาเซลล์ต้นกำเนิด การสร้างรากและใบ การออกดอก การพัฒนาเมล็ดและผล จนถึงการชราภาพ

ดังนั้น ยีนอาจเปรียบเสมือนชุดคำสั่ง แต่การควบคุมยีนคือระบบที่เลือกว่าจะใช้คำสั่งใด ที่ไหน เมื่อใดและมากน้อยเพียงใด ความเข้าใจระบบดังกล่าวไม่เพียงช่วยอธิบายว่าพืชสร้างรูปร่างและปรับตัวได้อย่างไร แต่ยังเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการพัฒนาพันธุ์พืชที่ให้ผลผลิตสูง ใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง