บทที่ 8

8. ลักษณะทางเนื้อเยื่อและลักษณะทางสรีระซึ่งเป็นพื้นฐานของการขยายพันธุ์โดยวิธีตัดชำ (Anatomical and Physiological Basis of Propagation by Cuttings)

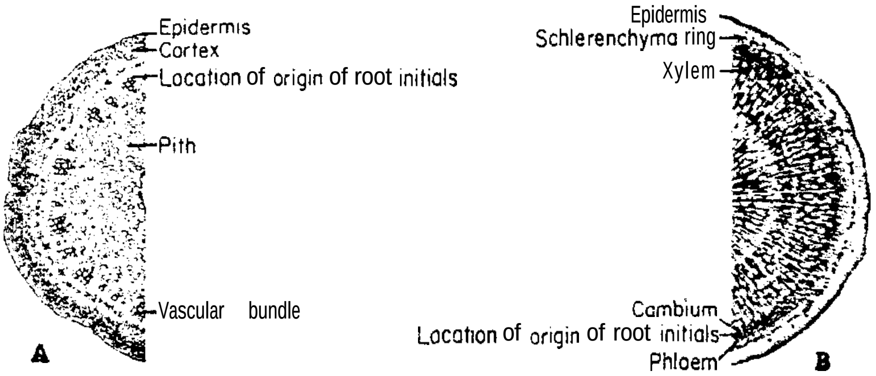
ในการขยายพันธุ์โดยวิธีตัดชำกิ่งหรือตัดชำ leaf bud นั้น สิ่งสำคัญคือต้องให้กิ่งหรือใบนั้นออกรากโดยเร็วที่สุด เพราะว่าส่วนที่เป็นลำต้นได้จากส่วนที่นำมาแล้ว ส่วนการตัดชำรากนั้นจะต้องให้กิ่งแตกออกมาโดยเร็วจาก adventitious bud ในการตัดชำใบหรือส่วนต่าง ๆ ของใบ ทั้งรากและลำต้นจะต้องแตกออกมาจากส่วนของใบนั้น มีเซลล์เป็นจำนวนมากที่อยู่ในส่วนต่าง ๆ ของลำต้น แม้ว่าส่วนนั้นจะแก่ แต่เซลล์เหล่านั้นก็มีความสามารถในการที่จะกลับมาเป็นเซลล์เยื่อเจริญ (meristematic cell) และแบ่งเซลล์ให้เป็นรากหรือลำต้น หรือได้ทั้งสองอย่าง ทั้งนี้เนื่องมาจากในเซลล์เดียว ๆ แต่ละเซลล์นั้นมีความสามารถที่จะสร้างต่อไปให้เป็นต้นพืชใหม่

ลักษณะทางเนื้อเยื่อในการกำเนิดรากของกิ่งตัดชำ (Stem cutting) ก่อนจะทำความเข้าใจในเรื่องนี้ ต้องมีความรู้ในเรื่องเนื้อเยื่อชนิดต่าง ๆ ที่เรียงกันในลำต้น

ขั้นตอนในการกำเนิด adventitious root ในการตัดชำกิ่งมีดังนี้

1. การเริ่มต้นสร้างกลุ่มของเนื้อเยื่อเจริญ root initials
2. เยื่อเจริญนั้นเติบโตไปเป็นส่วนต่าง ๆ ของราก (root primodia)
3. รากเจริญออกมาให้เห็น โดย โผล่พ้นถึงออกมาพร้อมทั้งมีการเชื่อมต่อระหว่าง vascular bundle ของรากกับกิ่ง

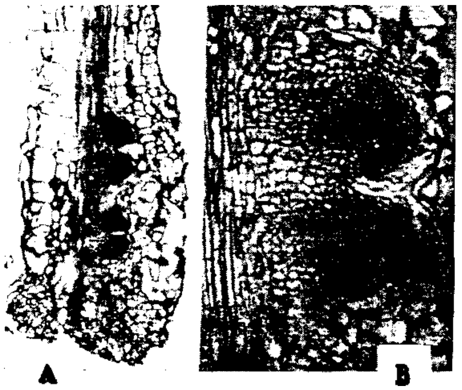
8.1 การกำเนิดเนื้อเยื่อของราก พืชส่วนมากจะสร้างเนื้อเยื่อที่จะเป็นราก หลังจากตัดกิ่งมาชำ โดยที่จะมีเนื้อเยื่อกลุ่มหนึ่ง เริ่มทำหน้าที่เป็นเนื้อเยื่อเจริญ ในพืชพวกไม้เนื้ออ่อน เนื้อเยื่อนี้จะอยู่



รูปที่ 9 เนื้อเยื่อภายในของลำต้นพืชที่ตัดตามขวางเพื่อแสดงถึงตำแหน่งที่เป็นจุดกำเนิดราก

A. ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ที่เป็นไม้เนื้ออ่อน

B. ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ที่เป็นไม้เนื้อแข็ง



รูปที่ 10 การกำเนิดรากจากบริเวณเยื่อเจริญแคมเบียม ของการตัดชำกิ่งต้นยาสูบ

A ปุ่มราก (root initial) ที่กำเนิดออกไปทาง cortex (ด้านขวา) ส่วนทางด้านซ้ายของปุ่มรากคือ pith

B รูปขยายของปุ่มราก

ด้านนอกหรือระหว่าง vascular bundle เป็นกลุ่มเนื้อเยื่อเล็ก ๆ ทำหน้าที่เป็นเยื่อเจริญให้ root initial ต่อมาจะแบ่งเซลล์และทำหน้าที่เป็นต้นกำเนิดราก (root primodia) ในขณะเจริญหรือแบ่ง

เซลล์ส่วนหนึ่งจะกลายเป็นปลายราก และอีกส่วนจะกลายเป็น vascular bundle เชื่อมกับของลำต้น ขณะนี้รากจะมีความยาวแทงออกมาเห็นชัด โดยผ่านขั้น cortex และดัน epidermis ออกมา ดังนั้น การออกรากนี้จึงเป็นแบบ endogenously ในเบญจมาศ กิ่งที่ตัดมาจะออกรากโดยกำเนิดจากกลุ่มเซลล์ในบริเวณ interfascicular ในพวกมะเขือเทศ แตง จะมีกำเนิดมาจากกลุ่มเซลล์ของ phloem

ในการทำ leaf bud cutting กลุ่มเซลล์ที่ทำให้กำเนิดรากอยู่ข้าง ๆ vascular bundle หรือบริเวณ leaf traces

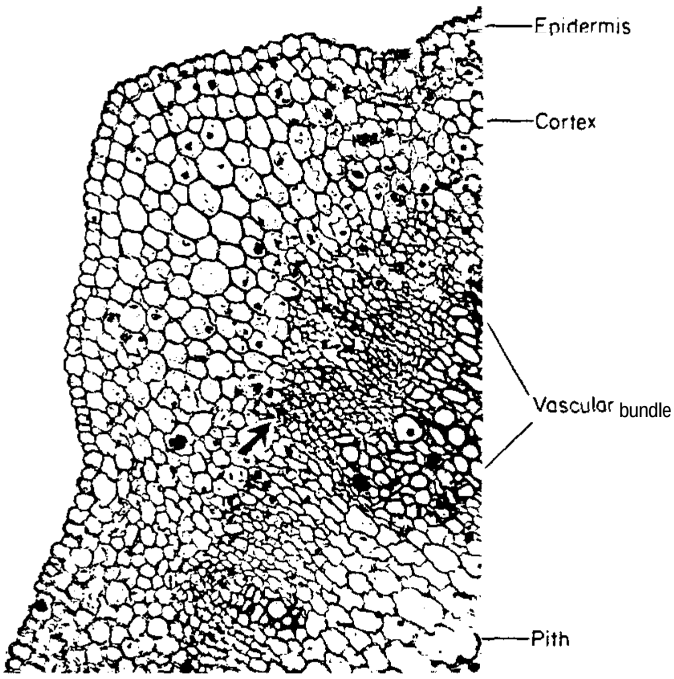
ในพวกไม้เนื้อแข็งซึ่งมี xylem และ phloem หลายชั้น รากจะกำเนิดจากเนื้อเยื่อที่อยู่ใน secondary phloem และบางครั้งก็มาจาก rays หรือ cambium หรือ pith ในกุหลาบ *(Rosa dilecta)* เนื้อเยื่อที่ให้กำเนิดรากมาจากเซลล์ตรงติดกับ cambium หรือ ray ใน secondary phloem.

หลังจากปักกิ่งลงในกะบะชำแล้ว ได้มีการศึกษาทางกล้องจุลทรรศน์ พบว่าในเบ็ญจมาศจะมี ioot initail หลังจาก 3 วันไปแล้ว ในคาร์เนชั่นหลังจาก 5 วัน และในกุหลาบหลังจาก 7 วัน และสังเกตรากได้ด้วยตาประมาณ 10 วัน ในเบญจมาศ และประมาณ 3 อาทิตย์ในกุหลาบและคาร์เนชั่น

การสร้าง root inital ขึ้นก่อน ขณะที่กิ่งกำลังติดอยู่กับต้น ก็มีเยื่อเจริญนี้อยู่แล้ว แต่เยื่อเจริญนี้จะไม่แบ่งเซลล์และเติบโตเป็นราก ขณะที่กิ่งยังติดอยู่กับต้นต่อเมื่อกิ่งนั้นถูกตัดไปวางในที่เหมาะสม เนื้อเยื่อนั้นจึงแบ่งเซลล์ ตัวอย่างพืชที่มีเยื่อเจริญอยู่ก่อนแล้ว เช่น ไทร ยางอินเดีย ส้มบางชนิด ในพืชบางชนิด ต้นแก่ จะมีปุ่ม ๆ ตามลำต้นเป็นผลจากการสร้างรากจากเนื้อเยื่อชั้นในเรียกปุ่ม ๆ นี้ว่า burrknot การที่มีเนื้อเยื่อนี้ขึ้นก่อนทำให้กิ่งตัดชำออกรากเร็ว อย่างไรก็ดี พืชบางชนิดที่ออกรากเร็วก็ไม่ได้หมายความว่า พืชนั้นจะมีเยื่อเจริญเกิดขึ้นก่อน

การตัดชำใช้กับพืชในพวกใบเลี้ยงคู่ ส่วนพวกใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิดก็ทำได้ แต่ต้องการสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมจริง ๆ adventitiaus root นี้เกิดขึ้นในพืชใบเลี้ยงคู่และเกิดที่ intercalary region ซึ่งอยู่ที่ฐานของข้อ และ adventitious root นี้ยังเกิดที่หัวของพืชต่าง ๆ ด้วย

Callus (กลุ่มของเนื้อเยื่อ) โดยทั่วไปแล้วหลังจากที่ตัดกิ่งแล้ววางไว้ในสภาพที่เหมาะสมจะพบเนื้อเยื่องอกขึ้นที่ฐานของรอยตัด กลุ่มเนื้อเยื่อนี้เป็น parenchyma ที่แบ่งตัวขึ้นมาอย่างมากมาย กลุ่มเนื้อเยื่อนี้มาจากเซลล์บริเวณ vascular cambium ที่ติดต่อกับ phloem อย่างไรก็ดีจะมีบางส่วนที่มาจากเซลล์ของ cortex หรือ pith บ่อยครั้งที่เห็นรากแรก ๆ โผล่มาจาก Callus นี้ทำให้เชื่อว่า callus นี้มีผลต่อการออกราก อย่างไรก็ดีการศึกษาทำให้พบว่า การออกรากกับการสร้าง callus นั้น ไม่เกี่ยวข้องกัน แต่ที่เกิดขึ้นมาทั้งสองอย่าง เพราะสภาพแวดล้อมเหมาะสม



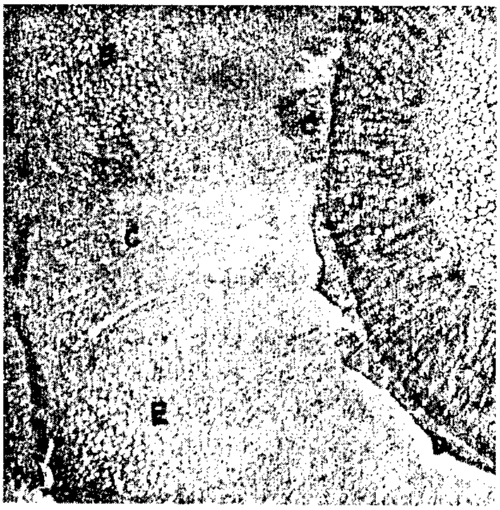
รูปที่ 11 แสดงเนื้อเยื่อตรงรอยตัดชำของกิ่งเบ็ญจมาศ ลูกศรชี้คือปุ่มรากในระยะแรกของการกำเนิดซึ่งอยู่บริเวณ vascular bundle

และลักษณะภายในที่กำเนิดคล้ายกัน

มีหลักฐานยืนยันว่า pH ของวัตถุที่ใช้ปักชำมีผลต่อการเกิด callus และ pH นี้ก็มีผลกระทบกระเทือนต่อการออกของรากด้วย ในการตัดชำกิ่งพืชชนิดหนึ่งพบว่า หาก pH 6.0 ให้ callus ที่ใหญ่ รูปร่างไม่ดีและเนื้อเยื่อนุ่ม และกิ่งนั้นจะออกรากง่าย หากเพิ่มความเป็นด่างขึ้นไปให้ pH ประมาณ 11.0 callus จะเล็ก แข็ง เกาะแน่นเป็นแนวยาว และกิ่งนั้นไม่ออกราก เมื่อตัดดูพบว่ามี root initial แต่ไม่สามารถแทงทะลุ callus ที่แข็งออกมาได้ ดังนั้นการออกรากขึ้นอยู่กับการที่รากงอกออกมาภายนอกสะดวกหรือไม่

8.2 การตัดชำใบ (Leaf Cutting)

มีพืชเป็นจำนวนมากไม่ว่าจะเป็นใบเลี้ยงคู่หรือใบเลี้ยงเดี่ยว สามารถนำใบชำเป็นต้นได้ กำเนิดต้นอ่อนของพืชที่เกิดมาจากใบนั้นแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของพืช แต่สามารถจำแนกได้



รูปที่ 12 เนื้อเยื่อของการตัดชำกิ่งมะกอก

E บริเวณปุ่มราก

D บริเวณของ sclerenchyma ring ที่ปุ่มรากแทงทะลุออกไป

C บริเวณ cortex

รูปที่ 13 แสดงตำแหน่งของรากที่งอกออกมาจากกิ่งที่ปักชำซึ่งมักจะอยู่บริเวณใต้ตา (bud)

ว่าพวกหนึ่งมีต้นกำเนิดมาจาก primary meristem และอีกพวกหนึ่งมีต้นกำเนิดมาจาก secondary meristem

Primary meristem หมายถึง เนื้อเจริญที่เกิดมาจากเซลล์ของ embryo และเนื้อเยื่อนี้ไม่เคยกลายไปเป็นส่วนอื่นในการเจริญเติบโต ส่วน Secondary meristem เป็นเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่เป็นส่วนต่าง ๆ แต่บางครั้งกลับมาเป็นเยื่อเจริญอีก

Leaf cutting with primary meristems ใบของ Bryophyllum ทั้งใบ เมื่อไปวางในที่เหมาะสมจะงอกต้นเล็ก ๆ ออกมาจากรอยเว้าซึ่งอยู่ตามขอบใบ ต้นอ่อนที่งอกนี้กำเนิดมาจาก foliar embryos ซึ่งเกิดขึ้นตามขอบใบขณะที่ใบกำลังเจริญ จนกระทั่งเมื่อใบเจริญเต็มที่ต้นอ่อนที่แฝงตัวอยู่ในขอบใบนั้นจะมีใบซ่อนอยู่ 2 ใบ และมียอดอ่อนเล็ก ๆ อยู่ และมีรากสองอันรวมทั้งส่วนล่างที่ซอนไชอยู่ในเส้นใบ เมื่อใบแก่ foliar embryos นี้เจริญเต็มที่พอดีจะหยุดพักตัวอยู่จนกระทั่งเมื่อใบนั้นไปตกอยู่ในสภาพเหมาะสมหรือได้รับความชื้น ต้นเล็ก ๆ เหล่านั้นจะงอกขึ้นมาอย่างรวดเร็ว รากจะขยายออกทางด้านล่าง จนกระทั่งไม่นานต้นเล็ก ๆ นี้ จะเจริญเป็นอิสระ และใบเก่าก็ตายไปในที่สุด อันนี้เป็นตัวอย่างที่เยื่อเจริญที่เจริญมาเป็นต้นอยู่ในพวก primary meristem

Leaf cutting with secondary meristem ในบางพืช เช่น *Begonia rex, Sansevieria, Lilium* เมื่อใช้ใบไปปักต้นอ่อนที่เกิดขึ้นจะจาก Secondary meristem ซึ่งมาจากฐานของใบ หรือก้านใบ ในกลีบกระเทียม เมื่อนำไปเพาะส่วนที่จะมาเป็นตาหรือหัวใหม่ จะกำเนิดจาก parenchyma ที่อยู่ทางด้านบนของกลีบ และเมื่อให้กำเนิดตาแล้ว parenchyma ส่วนใต้ตาที่กำเนิดขึ้นจะเป็นราก ในระยะแรกตาที่เกิดจะได้อาหารจากกลีบเดิม ต่อมากลีบเดิมจะแห้งไป

ในต้น African violet *(Saintpaulia)* เมื่อนำใบไปชำจะเกิดลำต้นซึ่งมีกำเนิดมาจากเซลล์ที่แก่แล้ว ในใบกลายมาเป็นเนื้อเยื่อเจริญอีก รากกำเนิดมาจากเซลล์ที่มีผนังบางซึ่งอยู่ระหว่าง vascular bundle ต้นใหม่เกิดจากเซลล์ของ epidermis และ cortex ซึ่งอยู่ใต้ epidermis เมื่อรากออกมาทำหน้าที่ดูดน้ำอาหารหลายสัปดาห์กว่า ลำต้นจะโผล่ออก ต้นอ่อนในระยะแรกได้อาหารจากใบที่ตัดชำ แต่ส่วนของใบนั้นจะตายไปในระยะหลัง

ในพืชอีกหลายชนิด เช่น มันเทศ รากและลำต้นที่ออกมาจากใบที่ตัดชำจะเกิดจาก callus ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยตัด callus นี้เกิดจาก secondary meristem

adventitious root เกิดขึ้นบนใบนั้นจะเกิดได้เร็วกว่า adventitious bud ในบางพืชเช่นยางอินเดีย *(Ficus elastica)* เวลาตัดชำต้องเอาส่วนของกิ่งที่มีตาไปกับใบด้วย เพราะว่ารากเกิดจาก

ก้านใบก็จริง แต่ตาไม่เกิดขึ้น

8.3 การตัดชำราก (Root cutting)

รากที่นำไปตัดชำนั้นต้องมีความสามารถที่จะสร้าง adventitious bud ในบางกรณีต้องเกิด adventitious root ด้วย อย่างไรก็ดี advetitious bud นั้น เกิดอยู่แล้วในรากตั้งแต่ก่อนตัดโดยเฉพาะเมื่อรากนั้นมีแผล ในรากอ่อนตาจะกำเนิดจากชั้นของ pericycle ใกล้ ๆ cambium โดยกำเนิดเป็น root primodia ก่อน ส่วนในรากแก่ตาจะเกิดจากชั้นของ phellogen ซึ่งอยู่ข้างนอกหรืออาจเกิดจาก ray ถ้าตาเกิดจากรอยแผลจะเกิดจาก cullus ที่รอยแผลที่ผิวรากนั้น

การเกิดตาจากส่วนของรากสามารถเร่งโดยใช้ Cytokinin ความเข้มข้นของ kinetin ประมาณ 0.1 ppm สามารถเร่งการเกิดตาในการตัดชำรากได้ ในทางตรงกันข้าม auxin เช่น IAA จะยับยั้งการเกิดตาจากราก

ในการตัดชำรากนี้ปรากฏว่าการเกิดเนื้อเยื่อเจริญของส่วนรากจะเป็นไปได้ยากกว่าการเกิดตา การกำเนิดรากอ่อน ๆ ขึ้นมาอีกนั้น ต้องอาศัยการเจริญของรากแขนงซึ่งกำเนิดอยู่แล้วภายในรากเดิม อย่างไรก็ดี จากการศึกษาพบว่าบางครั้งมีเนื้อเยื่อบริเวณ vascular cambium เป็นตัวให้กำเนิดรากฝอยขึ้นมาใหม่

การให้กำเนิดต้นใหม่ที่ได้จากการตัดชำรากนั้นเป็นไปได้หลายทางแล้วแต่ชนิดของพืช โดยทั่วไปพบว่า ตาจะกำเนิดขึ้นมาก่อน ต่อมาจะมีรากฝอยเกิดขึ้นใต้หน่อที่เจริญจากตานั้น แทนที่จะมีรากฝอยเจริญมาจากส่วนของรากที่ตัดชำ

ในบางพืชรากจะแตกออกมามากในขณะที่หน่อเจริญในบางชนิดสามารถให้กำเนิดต้นแต่ไม่กำเนิดราก บางชนิดให้กำเนิดรากแต่ไม่กำเนิดต้น ในสองกรณีหลังนี้พืชจะตาย สำหรับส่วนของรากที่ไม่สามารถให้กำเนิด ทั้งต้นทั้งรากใหม่ก็จะอยู่ได้นานกว่าแต่ในที่สุดก็จะเน่าไป

ในการตัดชำรากปรากฏว่ารากที่ได้จากต้นพืชที่อยู่ในระยะ juvinility จะประสบความสำเร็จมากกว่าการตัดชำรากจากต้นพืชที่แก่ เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะรากต้นพืชที่แก่นั้นให้กำเนิดรากได้มาก ทั้งนี้อาจจะเป็นอิทธิพลของ juvinility ซึ่งก็เกิดขึ้นในการตัดชำกิ่งด้วย

ข้อควรระวังในการตัดชำรากก็คือ ต้นพืชใหม่ที่ได้อาจมีลักษณะไม่เหมือนต้นแม่ หากต้นแม่เดิมมี chimera เป็นแบบ periclinal

8.4 พื้นฐานทางสรีรวิทยาในการกำเนิดรากของการตัดชำ

สารควบคุมการเจริญเติบโต (Plant growth subtances) ไม่เป็นที่น่าสงสัยว่ามีสารเร่งให้

เกิดรากในกิ่งที่ตัดชำ แต่ต้องใช้ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมสารต่าง ๆ เหล่านี้เช่น auxin, cytokinins และ gibberellins ในหมู่สารเหล่านี้ถือว่า auxin มีความสำคัญมากที่สุดและทำการทดลองกันมาก นอกจากสารเหล่านี้ก็ยังมีสารอื่นอีกที่ช่วยสนับสนุนการออกราก

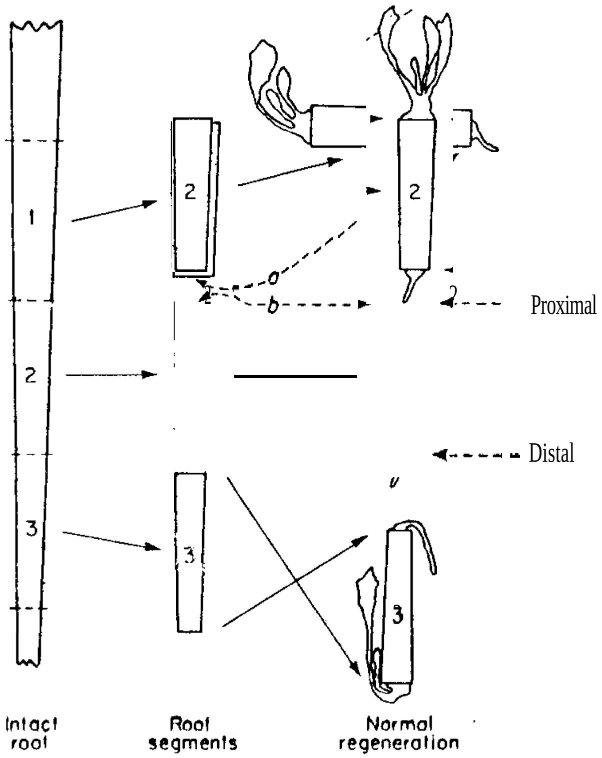
Auxins ได้ทำการศึกษากันมากเพราะสารนี้มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการเจริญเติบโตของต้น การสร้างราก และการยับยั้งการเจริญเติบโตของตาข้าง และยังเกี่ยวข้องกับการร่วงของใบกับผล การเจริญเติบโตของผล และการทำงานของเซลล์ใน Cambium ในต้นพืชจะพบ auxin เป็นประจำ และการทำงานของ auxin ก็ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับพืช ดังนั้นกลไกในการทำงานของสารนี้ยังไม่เป็นที่แน่ชัด

มีสารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้นและมีการทำงานเหมือน auxin หลายอย่าง เช่น IAA ซึ่งเหมือนกันกับที่สะกัดได้จากต้นพืช นอกจากนี้ยังสามารถสังเคราะห์สารที่ยังไม่เคยสะกัดได้จากต้นพืช เช่น NAA (Naphthaleneacetic acid) IBA (Indole butyric acid) และ 2,4-dichlorophenoxy acetic acid

ในพืชสามารถสะกัด auxin ได้จากตายอดและใบอ่อน และสารนี้จะเคลื่อนที่จากยอดลงมาข้างล่าง แต่ถ้าเราแช่กิ่งไม้ลงในสารละลายของ auxin ที่เราสังเคราะห์ขึ้น สารละลายของ auxin จะขึ้นไปยอดได้ทาง xylem

auxin ที่ได้จากต้นพืชอยู่ในสารประกอบเคมีเป็น Indole-3-acetic acid ซึ่งเหมือนกับสารที่เราสังเคราะห์ได้ ในการทดลองหลายครั้งสรุปได้ว่า auxin เป็นตัวทำให้เกิดรากในกิ่งตัดชำได้มาก แต่ในการใช้ต้องให้ความเข้มข้นเหมาะสม ในการตัดชำรากนั้นปรากฏว่า ด้าน distal เป็นด้านที่ให้กำเนิดราก เพราะด้านนี้มีระดับ auxin สูง ส่วนด้าน proximal เป็นด้านที่ให้กำเนิดลำต้นเพราะด้านนี้มี auxin น้อยกว่า ในการทดลองต้นพืชเดียวกันนี้แต่มีการให้ auxin เพิ่มเติมให้กับรากที่นำมาตัดชำปรากฏว่า จะให้รากทั้งด้าน distal และ proximal และถ้าเอา auxin ออกรากนั้นจะให้กำเนิดแต่ลำต้นทั้งสองด้าน

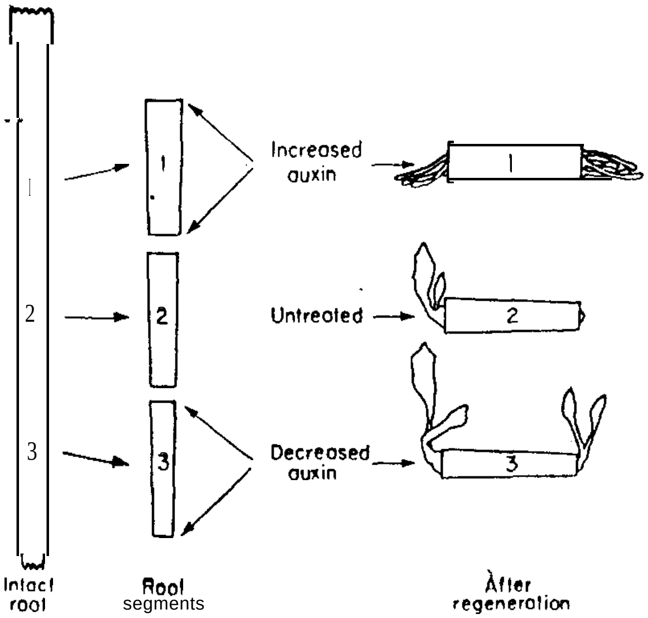
Cytokinin เป็นสารเร่งการแบ่งเซลล์ ในห้องปฏิบัติการสามารถสังเคราะห์สารนี้ได้ เช่น adenine, kinetin และ 6-benzyl adenine จากการทดลองตัดชำกิ่งยาสูบ พบว่าเมื่อให้ kinetin มาก ๆ จะเร่งการเกิดราก แต่จะยับยั้งการกำเนิดยอด และในการทดลองอีกหลายพืช พบว่าหากให้ auxin จะเร่งการแตกยอดแต่ยับยั้งการเกิดราก แต่ถ้าให้ auxin และ kinetin ในสัดส่วนเท่า ๆ กัน จะทำให้เกิด callus มาก และไม่มีการสร้างยอดและราก การตัดชำพืชบางอย่าง ให้กำเนิดรากอยู่นานแต่ไม่สร้างยอดจนกว่าจะให้ Kinetin ลงไป



รูปที่ 14 แสดงการกำเนิดรากและกิ่งจากการตัดชำราก ปรากฏว่ากิ่งหรือใบจะเกิดขึ้นทางด้าน proximal ส่วนรากจะเกิดขึ้นทางด้าน distal เสมอ ไม่ว่าจะวางรากที่ตัดชำนั้นไว้ในทิศทางใด

Gibberellin สารตัวนี้ไม่มีผลให้การสร้างยอดและสร้างรากในการตัดชำ แต่บางครั้งจะยับยั้งการสร้าง Secondary meristem

Auxin and Cytokinin สารสองตัวมีบทบาทในการสร้างพืชต้นใหม่ และยังพบว่า Cytokinin นั้น สามารถทำให้พืชเกิดยอดทั้งสองข้างในการตัดชำราก สารสองตัวนี้ทำงานร่วมกันและมีความสัมพันธ์กันจากการทดลองพบว่า ถ้าใช้ IAA ในความเข้มข้นต่ำประมาณ 2 ppm. จะเร่งให้เกิดรากดี และช่วยทำให้ cytokinin ทำงานดีด้วย และในการใช้ kinetin ความเข้มข้นต่ำประมาณ 0.8 ppm. ก็จะเร่งให้ auxin ทำงานดีขึ้นด้วย อุณหภูมิมีผลต่อการทำงานของ auxin โดยที่ auxin จะทำงานที่อุณหภูมิสูง 27ºซ ได้ดีกว่า 15ºซ ในทางตรงกันข้าม Cytokinin จะทำได้ดีในที่อุณหภูมิต่ำ 15ºซ ใน ***Bryophyllum*** ถ้าให้ cytokinin จะเร่งให้ตาเจริญจากใบได้เร็ว ถ้าให้ auxin จะยับยั้งการสร้างราก



รูปที่ 15 แสดงถึงผลของการเพิ่มและลด auxin ออกจากรากที่ใช้ในการตัดชำ ซึ่งจะทำให้การเกิดรากและเกิดกิ่งเปลี่ยนแปลงไปจากปกติ

Rooting Co-factors : The effects of leaves and Buds

ได้มีการยืนยันว่ามีสารอย่างหนึ่งที่สร้างขึ้นที่ใบและเคลื่อนย้ายลงมายังโคนกิ่งตัดชำ สารนี้ช่วยในการออกราก สารนี้มีการเคลื่อนย้ายใน phloem เพราะได้มีการทดลองเอาตาของกิ่งตัดชำออกและให้ auxin กิ่งนั้นไม่ออกราก ต่อมาให้ชื่อสารนี้ว่า "rhizocaline" ในพืชบางชนิดเมื่อตัดชำไม่ออกรากก็ให้ auxin จะทำให้พืชนั้นออกราก แต่ในขณะเดียวกันพืชอีกชนิดหนึ่งไม่สามารถจะออกรากได้เลยแม้ว่าจะให้ auxin แสดงว่าพืชชนิดหลังนี้ไม่สามารถสร้างสาร rhizocaline ได้ ดังนั้น auxin ไม่ได้เป็นสารชนิดเดียว ที่ทำให้พืชออกราก ยังมีสารที่ยังไม่รู้แน่ชัด และเชื่อว่าสารนี้ต้องอยู่ในพืชระยะ juvinility มากกว่าระยะ maturity ได้มีการทดลองเอาตาของกิ่งตัดชำออกปรากฏว่ากิ่งตัดชำของพืชไม่ออกรากเลย แต่สำหรับกิ่งของพืชที่มีการสร้าง rhizocaline มาก่อนตัดชำจะไม่มีผลมากนัก แม้ว่าจะเอาตาของกิ่งนั้นออกไป ในการขวั้นเอา bark ตรงกลางกิ่งตัดชำออกก็จะทำให้ไม่ออกรากเช่นกัน ในการทดลอง graft ใบ หรือกิ่งของพืชที่ออกรากง่ายเข้ากับกิ่งพืชที่ออกรากยากแล้วหลังจากนั้นเอาไปตัดชำ ปรากฏว่า กิ่งที่ออกรากยากก็ยังคงไม่ออกราก แสดงว่าการออกรากไม่เกี่ยวข้องกับใบของพืชที่เอามา graft ต่อมาได้

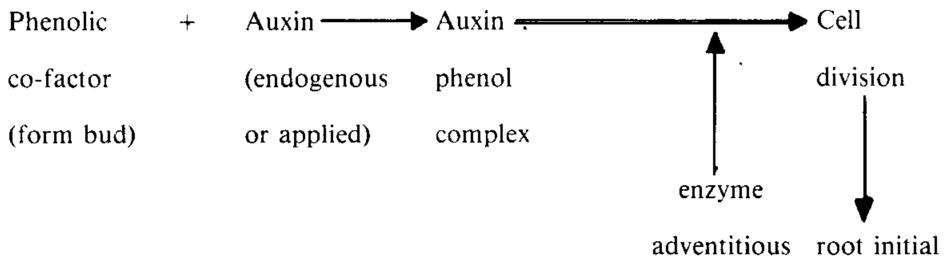
ค้นพบว่า rhizocaline เป็นสารประกอบของสิ่งต่อไปนี้

1. สารที่สร้างมาจากตาลักษณะทางเคมีเป็น ortho-dihydroxy phenol

2. auxin

3. enzyme ที่อยู่บริเวณ pericycle, phloem, cambium ซึ่ง enzyme นี้ อาจเป็นพวก poly-phenol-oxidase type

ต่อมาได้พบว่า zuxin นี้ สามารถทำปฏิกริยากับ otho-dihydroxy phenol โดยมี enzyme ดังกล่าวเป็นตัวช่วย และจึงได้สารที่เป็น rhizocaline ดังนั้น จึงสรุปปฏิกริยาที่เกิดขึ้นที่รอยตัดของกิ่งตัดชำ ได้ดังนี้



ดังนี้จึงสรุปได้ว่า การที่พืชจะออกรากหรือไม่ออกรากจากกิ่งตัดชำนั้นขึ้นอยู่กับ 3 กรณี

1. ถ้าพืชมีสิ่งสำคัญ 3 อย่าง คือ Phenolic co-factor auxin และ enzyme อยู่ในกิ่งพืชแล้ว ตราบใดที่กิ่งนั้นได้รับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกิ่งนั้นจะออกราก

2. หากพืชนี้มีทุกอย่างครบแต่ขาด auxin พืชกิ่งนั้นจะออกรากทันที ถ้าให้ auxin ช่วยลงไป

3. หากพืชนั้นขาด phenolic-co-factor หรือ enzyme แม้จะมี auxin มากเพียงไร ก็ไม่ออกราก และไม่สามารถช่วยพืชแบบนี้ได้ เพราะยังไม่สามารถสร้างสารชนิดนี้ขึ้นได้ และก็ยังไม่แน่ชัดด้วยว่าสารนี้คืออะไร

8.5 ลักษณะทางเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้องกับการกำเนิดราก

พืชที่ตัดชำแล้วไม่ออกรากนั้น พบว่าบางครั้งขึ้นอยู่กับลักษณะเนื้อเยื่อภายในกิ่งตัดชำนั้นเป็นตัวขวางกั้นไม่ให้รากโผล่ออกมาได้ แม้ว่าจะได้มีการกำเนิดรากอยู่ภายในแล้วก็ตาม หรือในบางกรณีก็ใช้เวลานานกว่าที่รากจะโผล่ออกมาได้ ในพืชดังกล่าวพบว่ามีเนื้อเยื่อที่แข็ง เช่น lignin หรือ Sclerenchyma เป็นแนวกั้นขวางไม่ให้รากแทงทะลุออกมาได้ ในกรณีเช่นนี้ต้องใช้การปักชำแล้วให้น้ำพ่นฝอย (mist) ตลอดเวลาจะกระตุ้นให้กิ่งตัดชำนั้นสร้าง parenchyma ภายใน

ได้มากและดันให้ sclerenchyma แตกออกทำให้รากแทงออกมาได้ Sclerenchyma มักเรียงเป็นวงแหวนรอบ ๆ ต้น

จากรูปที่ 16 หากนำเอา bark ของต้นที่ออกรากง่ายมา graft กับต้นที่ออกรากยาก แล้วทำ cutting บริเวณ graft จะออกรากง่าย อันนี้เป็นวิธีแก้ปัญหาอีกอย่างหนึ่งตรงกันข้าม หากเอา bark ของต้นที่ออกรากยากไป graft กับต้นที่ออกรากง่าย จะทำให้กิ่งนั้นออกรากยาก

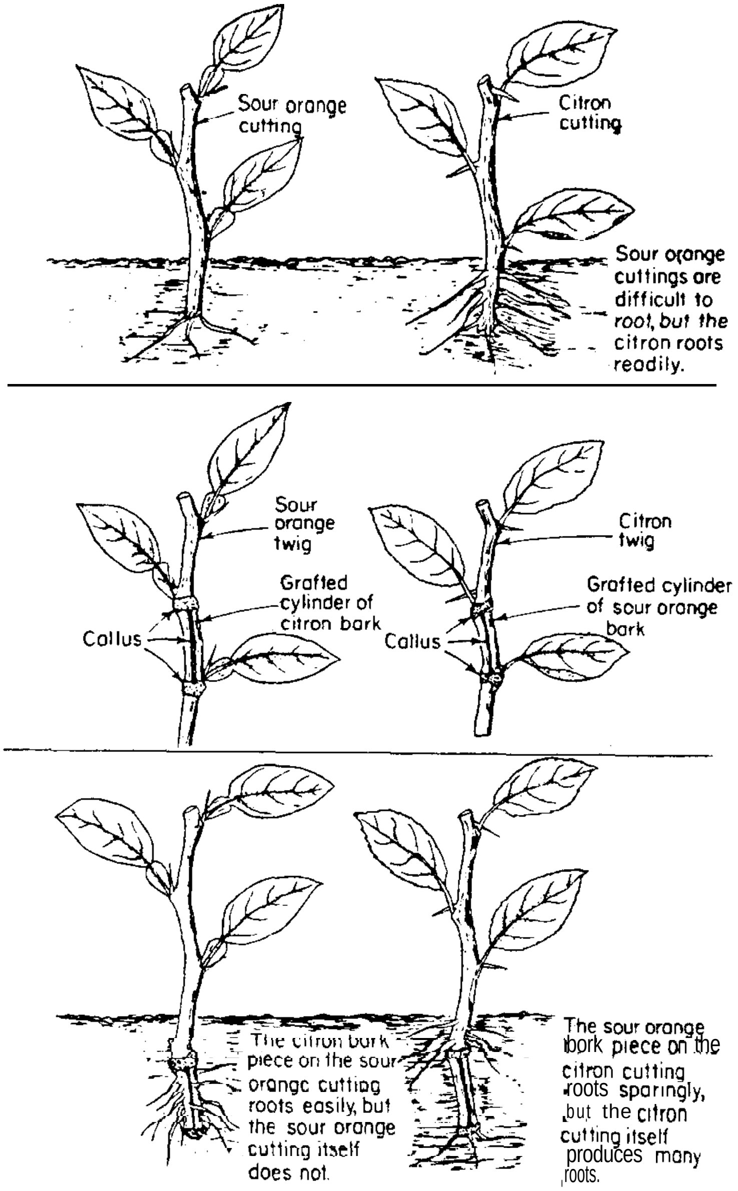
Polarity ทิศทางในการกำเนิดรากและลำต้นของกิ่งตัดชำนั้น ตาจะแตกขึ้นที่ด้าน distal-(ด้านที่อยู่ใกล้ยอด) และรากจะเกิดทาง proximal (ด้านใกล้โคน) ส่วนการตัดชำรากตาจะเกิดทาง proximal และรากเกิดทาง distal แม้ว่าจะปักส่วนที่นำมาปักชำกลับข้างก็จะไม่ทำให้สถานการณ์การเกิดรากและลำต้นผิดไป

ได้มีการทดลองและเป็นที่แน่นอนว่าเนื้อเยื่อในลำต้นจะมีทิศทางเป็นของมันเอง และมีการค้นคว้าว่า แม้แต่ใน cutting แต่ละเซลล์ก็จะมีทิศทางข้างบนข้างล่าง ดังนั้นจึงไม่เป็นที่น่าสงสัยว่าส่วนต่าง ๆ ของลำต้นไม่ว่าจะเล็กสักเพียงใดก็จะมีทิศทางแน่นอน ในการตัดชำรากหากเราตัดรากที่ยาวออกเป็นท่อนเล็ก ๆ ในขณะที่เนื้อเยื่อก่อนตัดเป็นแห่งเดียวกัน แต่เมื่อหลังจากตัดและเอาไปปักชำเนื้อเยื่อตรงนั้นจะกำเนิดรากใน cutting หนึ่ง แต่ให้กำเนิดลำต้นอีก cutting หนึ่ง การเปรียบเทียบการตัดชำกิ่ง รากและใบ ปรากฏว่าลำต้นมีทิศทาง polarity ที่แน่นอนที่สุด รากนั้นน้อยกว่า polarity ของใบไม่ค่อยแน่นอน เพราะใบนั้นให้กำเนิดรากและลำต้นที่ฐานของส่วนตัดชำ

เมื่อมีการตัดเนื้อเยื่อ จะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของเนื้อเยื่อส่วนที่ตัด 2 ส่วนให้แตกต่างกันทันที สารที่เป็นตัวการที่ทำให้เนื้อเยื่อที่ถูกตัดแตกต่างกัน คือ auxin การเคลื่อนที่ของ auxin ลงมาข้างล่างเป็นคุณสมบัติที่อธิบายได้และการเคลื่อนที่นี้จะไม่แน่นอน จะมากน้อยขึ้นอยู่กับส่วนต่าง ๆ ของพืช ซึ่งปรากฏว่าจะน้อยมากในใบ ซึ่งการเคลื่อนที่ของ auxin ลงมาด้านล่างนี้จะมีผลในแง่กระตุ้นรากให้เกิดทางด้านล่าง ดังได้กล่าวมาแล้วในเรื่องของ auxin

8.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดต้นใหม่ในกิ่งตัดชำ

พืชแต่ละชนิดมีความยากง่ายในการออกรากไม่เหมือนกัน แม้ว่าจะมีลักษณะทางเนื้อเยื่อหรือสรีระคล้ายกันก็ดี บางพืชต้องการสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจริง ๆ ในการออกราก ในขณะที่บางพืชก็ต้องการสภาพของส่วนที่นำมาตัดชำบางอย่างให้พอดีจึงออกรากได้ ดังนั้นในกรณีที่พืชออกรากยากต้องพิจารณาสิ่งต่าง ๆ และเลือกใช้ให้ถูกวิธี ก็อาจจะทำให้พืชนั้นออกรากง่าย



รูปที่ 16 แสดงให้เห็นถึงการทำ bark graft ในพืชที่ออกรากยากกับพืชที่ออกรากง่ายสลับกัน ปรากฏว่า bark ของพืชที่ออกรากง่ายจะช่วยทำให้พืชที่ออกรากยากออกรากได้ง่ายในบริเวณ bark graft แต่ bark ของพืชที่ออกรากยากทำให้พืชออกรากง่ายไม่ออกรากบริเวณ bark graft

ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นวิธีการที่จะทำให้พืชออกรากได้ง่ายขึ้น

8.6.1 การเลือกส่วนที่จะใช้ในการตัดชำ ต้องพิจารณาว่าส่วนนั้นต้องมาจากต้นแม่ที่ให้กิ่งมีสภาพอุดมสมบูรณ์ ถ้าเลือกกิ่งจากต้นแม่ที่ขาดธาตุไนโตรเจน กิ่งนั้นจะออกราก แต่ไม่ให้ตายอดที่เติบโต หรือถ้าไนโตรเจนมากเกินไปจะไม่ออกราก แต่ให้ตาเจริญดี หรือถ้าใช้กิ่งจากต้นที่มีอายุน้อยเกินไปก็จะไม่ออกตาและไม่ออกราก ดังนั้นต้นแม่นั้นจะต้องมีอายุพอสมควร หมายถึงมีการสะสมคาร์โบไฮเดรตมาช่วงระยะหนึ่ง ระยะนี้กิ่งในต้นจะแข็งพอสมควร เมื่อหักกิ่งดูจะเปราะ หรืออาจจะตรวจสอบดูจากไอโอดีนในการดูการสะสมแป้ง โดยใช้ไอโอดีน 0.2% ในโปแตสเซียมคลอไรด์แช่โคนกิ่งที่จะตัดชำพบว่า ในกิ่งองุ่นเมื่อทดสอบโดยวิธีนี้ได้ผลดังนี้คือ ในกิ่งที่แช่น้ำยา ไอโอดีน แล้วให้สีเข้ม ออกราก 63% ที่ให้สีปานกลางออกราก 35% และที่ให้สีอ่อนออกรากเพียง 17% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในต้นที่เติบโตมาระยะหนึ่งแล้วนั้นควรจะต้องมีระดับไนโตรเจนไม่สูงด้วย เพื่อการสะสมคาร์โบไฮเดรด หากมีการสะสมไนโตรเจนมากไป จะออกรากไม่ดี ทั้งนี้อาจเป็นเพราะพืชนั้นไม่มีโอกาสเก็บคาร์โบไฮเดรด เนื่องจากมันจะไปรวมกับไนโตรเจนเป็นโปรตีน และเร่งให้พืชเติบโตมาก กิ่งจะอวบบางไม่เหมาะสมในการออกราก

วิธีการทำให้พืชมีการสะสมคาร์โบไฮเดรดมีดังนี้

1. ลดปุ๋ยไนโตรเจนแก่ต้นพืชที่จะเอากิ่งมาตัดชำ ดังนั้นการเจริญของกิ่งจะลดลง แต่มีอาหารสะสมพวกคาร์โบไฮเดรดมากขึ้น นอกจากนี้ยังต้องให้แสงกับพืชนั้นให้เต็มที่ ให้รากอยู่ในที่จำกัด

2. เลือกกิ่งในต้นให้เหมาะสม เช่น ควรเลือกกิ่งข้างที่หยุดการเจริญแล้วมีการสะสมคาร์โบไฮเดรดมากกว่าที่เลือกกิ่งที่อ่อนอวบ

3. เลือกส่วนของกิ่งให้ถูกต้อง เช่น คาร์โบไฮเดรด มักสะสมอยู่ทางโคนกิ่ง แต่ไนโตรเจนมีมากทางปลายกิ่ง ดังนั้นควรเลือกส่วนโคนกิ่งมา

อย่างไรก็ดี เราไม่สามารถพูดได้ว่าการที่มีเปอร์เซนต์คาร์โบไฮเดรตสูงนั้น จะทำให้พืชทุกชนิดออกรากง่ายเสมอไป ในบางพืชเช่น กุหลาบพบว่าบางพันธุ์เช่น *Rosa canina* ใช้กิ่งตัดชำที่มีคาร์โบไฮเดรดน้อย แต่มีเปอร์เซนต์ความงอกกิ่ง 92 เปอร์เซนต์ และกิ่ง *R. setigera* ซึ่งมีแป้งสะสมมากไม่มีการงอกเลย ส่วน *R. arvensis* กับ *R. odorata* มีแป้งปานกลางจะมีการงอก 97 และ 82% ตามลำดับ

ในพืชที่ออกรากยากมาก ๆ จะต้องมีการกระทำอีกหลายวิธี เช่น ควรนำพืชเข้าที่มืด

(etiolation) การมัด หรือควั่นก่อนตัดกิ่งไปปักชำ ทั้งนี้เพื่อให้ออกรากง่าย

Etiolation การนำต้นพืชเข้าร่มก่อนตัดกิ่งไปชำช่วยให้กิ่งชำออกรากง่าย พืชในร่มจะมีการสะสมแป้งน้อยลง ความแข็งแรงของเนื้อเยื่อน้อยลง ผนังเซลล์บาง และจำนวนเนื้อเยื่อในท่อน้ำท่ออาหารลดลง แต่จะมีปริมาณ parenchyma มากขึ้น ปริมาณของ auxin มากขึ้น

ใน avocado *(Persea americana)* การตัดชำให้ผลสำเร็จน้อยมาก แต่ถ้าเอาต้นไปไว้ในที่มืดแล้ว นำมาควั่น แล้วนำไปไว้ในที่มืดอีก แล้วตัดกิ่งนั้นไปชำจะออกรากดี

พืชพวกที่เป็น etiolate มักสร้าง root primodia เกิดขึ้นในกิ่งก่อนตัดชำ เช่น *Populus nigra* ต้องเอากิ่งไปปักชำในที่มืดจึงออกราก หากไปชำในที่สว่างจะไม่ออกราก จากการทดสอบคลื่นแสง พบว่าแสงประมาณ 6800 Angstrom จะเป็นตัวยับยั้งการเกิดรากมากกว่าแสงสีน้ำเงิน เขียว หรือ far-red

Girdling (การขวั้น) เป็นการขวางกั้นการเดิน น้ำตาล (carbohydrate) ในกิ่ง เพื่อให้กิ่งนั้นมีการสะสมคาร์โบไฮเดรตได้มาก จึงเป็นการช่วยทำให้เกิดรากได้ง่าย ตัวอย่างการขวั้นทำกับต้นยาง ส้ม และชะบา นอกจากการขวั้นอาจใช้การรัดด้วยลวดก็ได้ การขวั้นยังทำให้ระดับของ auxin เหนือและใต้รอยขวั้นลดลง แต่กลับมีการสะสมสารช่วยทำให้ออกราก (co-factor) เหนือรอยขวั้น

Juvinility factor (อายุของต้นพันธุ์) ในพืชที่ออกรากง่าย อายุของต้นพันธุ์ไม่มีความหมายมาก แต่ในพืชที่ออกรากยากควรตัดกิ่งจากต้นพันธุ์ที่อายุน้อย จะให้รากง่ายกว่า ต้นพันธุ์มีอายุ 1 ปี จะงอกรากได้ง่ายที่สุด ในพวนสน (Conifer) จะเห็นได้ชัดว่า การตัดชำกิ่งจากต้นแก่จะไม่ออกรากเลย ดังนั้น ในกรณีที่มีต้นพันธุ์ที่มีอายุมากสำหรับพืชที่ออกรากยาก ก็ควรหาทางขยายพันธุ์ทางอื่นเพื่อให้ได้ต้นพันธุ์ที่มีลักษณะ juvinility เสียก่อน เช่น การตัดชำราก ต้นใหม่ที่ได้จะ juvinile ซึ่งจะใช้กิ่งมาตัดชำให้ออกรากได้ง่าย

อีกวิธีหนึ่งก็เอากิ่งจาก.Sphaeroblast ซึ่งมักจะแตกออกมาจากโคนต้น ถ้าเราตัดต้นเดิมชิดโคน

การ graft ถึงที่ เจริญเต็มที่แล้ว กับต้นอ่อน บางครั้งจะทำให้กิ่งนั้นเปลี่ยนเป็น juvinility ได้

การพ่น gibberellin ลงบนกิ่งที่แก่ของพืชบางชนิด ก็สามารถทำให้ตาข้างที่เกิดใหม่มีลักษณะ juvinility ได้

8.6.2 การเลือกประเภทของเนื้อไม้ในต้นมาทำกิ่งปักชำ

(Type of wood selected for cutting)

เป็นการเลือกว่าจะเอากิ่งแบบใดจากพันธุ์ เพราะในต้นพันธุ์นั้นจะมีตั้งแต่กิ่งที่แก่จนถึงกิ่งที่เพิ่งเจริญมาใหม่ ๆ การจะเลือกกิ่งแบบใดเพื่อให้ออกรากง่ายนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช พืชแต่ละชนิดต้องการไม่เหมือนกัน และบางครั้งพืชชนิดเดียวกันแต่คนละต้น ก็ต้องการกิ่งไม่เหมือนกัน นอกจากนี้บางครั้งพืชต้นเดียวกัน แต่กิ่งคนละชนิดก็ออกรากไม่เหมือนกัน

1. ความแตกต่างระหว่างต้นพืชในพืชชนิดเดียวกัน พืชที่โดยปกติขยายพันธุ์ โดยเมล็ด เช่น พวกไม้ปลูกป่า หากต่อมาจะขยาย โดยการตัดชำ ปรากฏว่าในกิ่งที่ตัดมาประเภทเดียวกัน แต่มาจากคนละต้น จะให้รากไม่เหมือนกัน บางต้นออกรากง่าย บางต้นออกรากยาก

2. ความแตกต่างระหว่างกิ่งยอดกับกิ่งข้างในพวกพืชหลายชนิด พบว่าหากเอากิ่งข้างหยุดการเจริญเติบโตแล้วไปปักชำจะให้รากดีกว่ากิ่งยอด เช่น ในพวกสนที่เป็นเช่นนี้เพราะกิ่งข้างมีการสะสมอาหารมากกว่า นอกจากกิ่งข้างที่มีการเจริญเติบโตในแนวราบนั้นไม่เหมาะสมในการใช้ทำปักชำเพราะจะให้ต้นพืชที่ทอดนอนไปกับดิน ในกรณีนี้ควรเลือกกิ่งยอดที่มีการเจริญเติบโตในแนวตั้ง

3. ความแตกต่างระหว่างส่วนโคน กลาง และปลายกิ่งในกิ่งเดียวกัน สรุปได้เป็น 2 พวก คือ ในการตัดชำพวกกิ่งที่มีอายุ 1 ปี ควรใช้ส่วนโคนกิ่ง จะออกรากได้ง่ายกว่าส่วนยอดของกิ่ง ส่วนในการปักชำกิ่งที่ยังอ่อน ๆ หรือกำลังมีการเจริญควรใช้ส่วนปลายกิ่งมากกว่าส่วนโคน ทั้งนี้อธิบายไว้ว่าพวกกิ่งแก่นั้นมีการสะสมคาร์โบไฮเดรตที่โคนกิ่งมากกว่าและบางทีที่โคนกิ่งนี้มี root initial อยู่ภายในแล้วเนื่องจากมีสารที่มีผลต่อการออกราก ซึ่งสร้างจากใบและตามาสะสมอยู่ ส่วนในพวกที่เป็นกิ่งอ่อนจำเป็นต้องใช้ปลายกิ่งนั้นอธิบายได้ว่า สารเร่งการออกรากอาจเกิดขึ้นที่ยอดได้ดี และเซลล์ต่าง ๆ ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก จึงง่ายจะเปลี่ยนมาเป็นเยื่อเจริญเพื่อการออกราก

อย่างไรก็ดี ปรากฏในพืชไม้ประดับหลายชนิดสามารถใช้ได้ทั้งโคนกิ่งและปลายกิ่งก็ออกรากได้เหมือนกัน

4. กิ่งที่สร้างดอกและกิ่งที่ไม่สร้างดอก ได้มีการทดลองว่าในพืชที่ออกรากยากนั้น ควรใช้กิ่งที่ไม่มีตาดอก ถึงแม้จะเด็ดตาดอกทิ้งไปกิ่งนั้นก็ไม่ออกราก แสดงว่าสารที่ยับยั้งการออกรากนี้จะต้องอยู่ภายใน ต่างจากการเด็ดตาที่จะเป็นใบทิ้งไป ซึ่งจะทำให้รากน้อยลง เพราะตานี้มีสารช่วยออกราก ดังนั้นควรเลือกกิ่งที่ยังไม่มีการสร้างตาดอก (flower initiation) หรือกิ่งที่พ้นระยะ

ออกดอกออกผลไปแล้ว พบว่าสาร auxin ความเข้มข้นสูง ซึ่งช่วยทำให้เกิดรากในกิ่งตัดชำจะยับยั้งการสร้างตาดอก

5. การตัดแบบ Heel และ non-heel ในการทำ hard wood cutting พบว่าการตัดในกิ่งให้เฉียงเล็กน้อย (heel) จะทำให้กิ่งนั้นออกรากได้ดีกว่าการตัดตรง ๆ ส่วนใน soft wood cutting นั้นควรตัดให้ฐานของกิ่งตรง ๆ จะได้ผลดีกว่าแบบ heel หรือ mallet (ให้มีส่วนของกิ่งแก่ติดมาด้วย)

6. ระยะเวลาที่ควรเลือกตัดกิ่ง ในพวก deciduous ซึ่งใช้ hard wood cutting ควรเลือกเวลาที่พืชอยู่ในระยะพักตัว ส่วนในพวก leafy cutting หรือ semi-hard wood ควรตัดตอนพืชอยู่ในฤดูการเจริญเติบโต

8.6.3 วิธีการใช้สารเร่งรากของกิ่งตัดชำ

ความรู้เรื่องการใช้สารเร่งการเจริญเติบโตเป็นตัวเร่งรากนี้เป็นที่แพร่หลายกันมานาน ได้ทดลองใช้ auxin เร่งราก แต่ปรากฏว่าสารนี้ยับยั้งการแตกตา หรือเมื่อแตกตาออกมาแล้วก็ไม่เจริญตามปกติ ต่อมาพบว่าความเข้มข้นของสารที่ใช้สำคัญมากหาความเข้มข้นสูงไปไม่เจริญ ดังนั้น วิธีการใช้สารพวก auxin จึงจะบรรยายในบทถัดไป นอกจากการใช้ auxin แล้ว ยังมีสารอีกหลายชนิดที่ใช้เร่งรากดังต่อไปนี้

1. วิตามิน บี (Thiamine chloride) เนื่องจากสารตัวนี้ เป็นตัวการที่จะทำให้รากเจริญ สารนี้สร้างที่ใบพืชและเคลื่อนย้ายไปยังราก โดยทั่วไปแล้วกิ่งที่ใช้ปักชำจะมีสารนี้เพียงพอ

2. ธาตุอาหาร ใช้ธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบของไนโตรเจน ไม่ว่าจะอยู่ในรูปอินทรีย์หรืออนินทรีย์ จะช่วยเร่งการเกิดราก เช่น การใช้ asparagine และ adenine กับ leaf cutting ในชะบา *(Hibiscus)*เมื่อทำการตัดชำกิ่งที่ไม่มีใบ จะเร่งออกรากได้เมื่อใช้จุ่มลงใน ananine หรือ ammonium sulfate แต่ต้องใช้ความเข้มข้นต่ำ 0.05 ppm. อาจเป็นไปได้ว่า พวกสารประกอบพวกไนโตรเจนนี้จะเป็นส่วนหนึ่งของฮอร์โมนที่ทำให้ออกราก

3. Boron ธาตุนี้ค่อนข้างจะทำให้รากเจริญเติบโตดี มากกว่าที่จะกระตุ้นให้ออกราก แต่ถ้าใช้ Boron ร่วมกับ IBA แล้วจะได้รากมาก และรากเจริญเร็วด้วย ดังนั้นปฏิกริยาจึงเป็น Synergistic

4. Fungicide การใช้สารนี้เพื่อป้องกันเชื้อราเข้าทำลายรอยแผล และทำให้กิ่งนั้นอยู่รอดได้นาน สารที่ใช้ได้ เช่น Ferbam (Ferric dimethyl dithiocabamate) และ Phygon XL (2,3 dichloro-1,4-naphthoquinone) แต่เท่าที่ผลการทดลองปรากฏว่า Captan (N-trichloromethyl mercapto 4-cyclohexene-1-2-dicarboximide) ดีที่สุด ใช้ในรูปผง เอาโคนกิ่งจุ่มลงหลังจากจุ่มลงใน IBA แล้ว

หรือหากใช้ IBA ในรูปของผงผสมกับ Captan ได้เลย นอกจากนี้ captan ยังช่วยเร่งการออกราก และการเจริญเติบโตของรากด้วย

5. Wounding การทำรอยแผลที่โคนกิ่งตัดชำโดยเฉพาะกิ่งแก่ ใบบางพืชจะช่วยการออกราก เมื่อทำรอยแผลแล้วปรากฏว่า callus จะเกิดขึ้นมากตามรอยแผล และรากก็จะออกมามากด้วย เพราะเท่ากับทำให้รากออกมาง่าย และปรากฏว่าเซลล์ใกล้ ๆ รอยแผลจะให้กำเนิดราก ทั้งนี้เพราะเมื่อพืชเกิดมีแผลจะมีฮอร์โมนและคาร์โบไฮเดรตมาสะสม นอกจากนี้อัตราการหายใจสูง เนื้อเยื่อที่เกิดแผลจะดูดน้ำและอาหารได้ดีกว่าตรงที่ไม่มีแผล ดังนั้นในกรณีที่ให้ auxin การทำแผลจะทำให้ auxin เข้าไปได้ดี ในพืชที่มี Sclerenchyma กั้นรอบ ๆ กิ่งควรทำรอยแผลให้ผ่านเนื้อเยื่อนี้เพื่อให้รากแทงออกมาสะดวก

8.6.4 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในขณะที่กิ่งชำออกราก

1. สภาพของน้ำ แม้ว่าในกิ่งตัดชำที่เอาใบไว้จะช่วยในการออกรากก็จริง แต่ว่าใบจะทำการคายน้ำตลอดเวลา จึงอาจทำให้กิ่งนั้นขาดน้ำขึ้นได้ และอาจจะตายเสียก่อนที่จะเกิดราก ทั้งนี้เพราะการดูดน้ำของกิ่งตัดชำเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากกิ่งไม่มีราก ในพืชที่ออกรากได้รวดเร็ว จึงไม่เป็นปัญหาแก่การเอาใบของกิ่งตัดชำไว้ แต่ในพืชที่ออกรากช้าต้องหาทางลดอัตราการคายน้ำ เพื่อให้กิ่งตัดชำอยู่รอดจนออกราก หลักในการลดอัตราการคายน้ำก็โดยต้องทำให้ water vapor pressue ของบรรยากาศใกล้ ๆ มีค่าใกล้เคียงกับในช่องว่างระหว่างเซลล์ภายในใบ

ได้มีการปฏิบัติต่อกิ่งตัดชำมานานแล้วเกี่ยวกับการให้ความชื้นในบรรยากาศรอบ ๆ เรือนปักชำ โดยการพ่นน้ำเป็นฝอย หรือเป็นหมอก ทั้งนี้จุดประสงค์ก็เพื่อเพิ่ม water vapor pressure ในอากาศนั่นเอง

Mist propagation ได้มีการทดลองวิธีการนี้ตั้งแต่ปี 1940 โดยใช้หลักการพ่นน้ำแก่ กิ่งปักชำที่มีใบ น้ำที่พ่นออกมานั้นจะเป็นฝอยและปกคลุมใบพืช น้ำนี้จะทำให้ความชื้นในบรรยากาศสูง และยังทำให้อุณหภูมิต่ำและลดอัตราการหายใจของกิ่งปักชำ ความร้อนของใบจะไม่สูง แม้จะอยู่กลางแสงแดด จึงเป็นข้อได้เปรียบเพราะพืชมีโอกาสปรุงอาหารได้เต็มที่

ดังนั้นหากให้วิธีการขยายพันธุ์แบบนี้พืชมีความสามารถในการสร้างรากได้ดี เพราะมีการสร้างอาหารตลอดเวลา และการใช้อาหารน้อย เปรียบเทียบกับการปักชำในโรงเรือนบังแสงแล้วพวกในโรงเรือนบังแสงจะมีข้อเสียเปรียบคือ เมื่อบังแสงจะอบทำให้อุณหภูมิพืชจะมีการ

หายใจสูงใช้อาหารมาก และแสงแดดจะเข้ามาได้น้อย ทำให้พืชปรุงอาหารได้ไม่เต็มที่ และถ้าเอาสิ่งกำบังออกพืชจะได้รับแสงมาก ใบพืชจะไหม้

อย่างไรก็ดีการพ่นน้ำทำตลอดเวลาจะทำให้อุณหภูมิลดต่ำมาก โดยเฉพาะอุณหภูมิของเครื่องปลูกในการปักชำจะมีอุณหภูมิต่ำไม่เหมาะแก่การออกราก ดังนั้นการพ่นควรทำเป็นระยะ ๆ (intermittent mist) จะได้ผลดีกว่า

ได้มีการทดสอบว่าการโปรยน้ำลงบนใบนั้นจะทำให้พืชสูญเสียธาตุอาหารหรือไม่ ปรากฏว่าการสูญเสียธาตุอาหารนั้นเล็กน้อยมากไม่เป็นผลเสียหายแก่พืช และพวก Spore ของเชื้อราก็ไม่สามารถงอกได้ภายใต้สภาพโปรยน้ำ ดังนั้นโรคก็ไม่รบกวนกิ่งปักชำ

2. *อุณหภูมิ* กล่าวได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการออกรากของกิ่งปักชำพืชส่วนมากจะต้องเป็น 21-27°ซ (70-80°ฟ) ในเวลากลางวัน และ 15°ซ (60°ฟ) ในเวลากลางคืน และแม้ว่าอุณหภูมิจะต่ำกว่านี้เล็กน้อยก็ออกรากได้ อย่าให้อุณหภูมิของบรรยากาศสูงมาก เพราะจะทำให้ตาแตกก่อนรากออกมาซึ่งจะทำให้พืชสูญเสียน้ำ แต่ถ้าอุณหภูมิของดิน (เครื่องปลูก) สูงจะทำให้รากออกเร็ว ดังนั้นบางครั้งจึงให้ความร้อนแก่เครื่องปลูกเพื่อให้อุณหภูมิด้านล่างสูงกว่าข้างบน เพื่อที่รากจะได้ออกมาก่อนตาเจริญเติบโต โดยทั่วไป มักจะให้อุณหภูมิ เครื่องปลูกประมาณ 21°ซ (70°ฟ) อย่างสม่ำเสมอ ทุก ๆ วัน

3. *แสง* ในพวกกิ่งปักชำที่มีใบนั้น แสงเป็นปัจจัยสำคัญ ที่จะทำให้กิ่งชำได้ อาหารเพื่อใช้ในการสร้างราก และการเจริญเติบโต ความเข้มข้นของแสงต้องมีมากพอเพื่อสร้างอาหารให้ได้มากกว่าอาหารที่ถูกใช้ไปในขบวนการหายใจ ส่วนในกิ่งชำที่ไม่มีใบนั้น ส่วนใหญ่จะมีอาหารสะสมอยู่ในกิ่งมากเพียงพอแล้ว ได้กล่าวมาแล้วว่า etiolate plant จะออกรากได้ดีกว่า ต่อมาทำการศึกษารายละเอียดปรากฏว่า ในสภาพที่พืชมี auxin จำนวนมาก ถ้านำไปปักชำโดนแสงจะลดจำนวนรากลง แต่ในสภาพที่พืชมี auxin น้อย ต้องปักชำให้โดนแสง หากมืดจะไม่ออกราก ในพวก hardwood cutting ซึ่งมี auxin อยู่เพียงพอในกิ่งแล้ว จะออกรากได้ดีในที่มืด แต่พวก leafy cutting นั้น ถึงจะอ่อนและมีการสะสม auxin และแป้งน้อย เมื่อปักชำในที่สว่างจะทำให้การสร้างแป้งมาก และจะต้องเกี่ยวข้องกับการสร้างสารที่เป็นองค์ประกอบของ auxin ซึ่งจำเป็นต้องใช้แสง จึงทำให้พวกนี้ออกรากได้ดีในที่มีแสง และไม่ออกรากหากนำไปไว้ที่มืด

แสงนีออนสีขาว ความเข้ม 150-200 foot-candles จะทำให้กิ่งชำออกรากดีที่สุด (แสงแดดจากดวงอาทิตย์ มีความเข้ม 10,000 ft-candles)

คลื่นแสงในช่วงท้าย (orange-red) เป็นคลื่นแสงที่กระตุ้นให้พืชออกรากได้ดีกว่าคลื่นแสง

ทางน้ำเงิน แต่ก็มีบางพืชเคยปรากฏให้เห็นว่าออกรากได้ในคลื่นแสงสีน้ำเงิน

ช่วงวันยาวจะกระตุ้นให้พืชออกรากดีกว่าวันสั้น และต้องอุณหภูมิด้านล่างสูงด้วย หาก ในสภาพวันสั้นและอุณหภูมิด้านล่างต่ำ ตาจะเจริญออกมาก่อนราก เนื่องจากสภาพวันยาวพืชจะทำการปรุงอาหารได้นาน

4. *เครื่องปลูกที่ใช้ปักชำ* (Rooting medium) คุณสมบัติของสิ่งที่ใช้เป็น media ในการปักชำมี 3 ประการ คือ

1. กิ่งจะต้องปักลงไปได้แน่นพอสมควรจนกว่าจะออกราก
2. จะต้องอุ้มน้ำได้ดีและระบายน้ำดี
3. ระบายอากาศดีเพื่อโคนกิ่งปักชำจะได้มีอากาศผ่าน

และสำหรับ media ที่จะได้ใช้กับ Soft wood กับ Semi-hardwood นั้น ยังต้องไม่มีโรครา และแบคทีเรีย media นี้ยังเป็นตัวที่ทำให้รูปร่างและลักษณะของรากที่ออกมาจากกิ่งที่ปักชำ แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น กิ่งที่ชำกับทรายมักจะมีรากยาว ไม่แตกแขนง รากหยาบใหญ่ เปราะ ส่วนกิ่งที่ปักชำกับทรายปน peatmoss จะให้รากที่สั้นกว่าและแตกแขนงมาก รากเล็กและไม่เปราะ ซึ่งรากประเภทหลังนี้แหละ สะดวกในการขนย้ายกิ่งชำใส่กระถาง การที่รากมีลักษณะแตกต่างกันใน media 2 ชนิดนี้ เพราะความชื้นใน media แตกต่างกัน นอกจากนี้อากาศก็ต่างกันด้วย ระบบรากที่ดีต้องมาจาก media ที่มีความชื้นสูงและอากาศเพียงพอ

ในสภาพที่ media มีออกซิเจนไม่เพียงพอ กิ่งชำจะออกรากอยู่ ในระดับใกล้ ๆ ผิวของ media

---