

บทที่ 2

งานเขียน ผลงานวิจัย และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (Plant growth regulator) คือสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่ธาตุอาหารประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นหลัก ไม่ใช่สารอาหารพืช เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน ฯลฯ มีการสร้างจากส่วนหนึ่งส่วนใดของพืช แล้วลำเลียงไปยังส่วนอื่นเพื่อควบคุม กระตุ้น ให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ทางสรีรวิทยา ใช้ในปริมาณเล็กน้อยสามารถกระตุ้นยับยั้ง หรือมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืช (ปิยะธิดา, 2545)

ประเภทของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช

ออกซิน (Auxins)

ออกซินเป็นกลุ่มของสารที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการขยายขนาดของเซลล์ (Cell enlargement) การแบ่งตัวของเซลล์ในแคมเบียม การขยายขนาดของใบ การเกิดราก การขยายขนาดของผล ป้องกันการหลุดร่วงของใบ ดอก ผล ยับยั้งการแตกตาข้าง มีการสร้างมากที่บริเวณปลายยอด ปลายราก ผลอ่อน และบริเวณที่มีเนื้อเยื่อเจริญ (Meristematic tissue) อยู่มาก คุณสมบัติที่สำคัญของออกซินอีกประการหนึ่งคือ ความสามารถในการกระตุ้นการเกิดรากและการเจริญของราก จึงได้มีการนำออกซินมาใช้กับกิ่งปักชำหรือกิ่งตอนของพืชทั่วไป เพื่อเร่งให้เกิดรากเร็วขึ้นและมากขึ้น ออกซินที่ใช้กันมากได้แก่ เอ็นเอเอ (NAA) ไอบีเอ (IBA) 4-ซีพีเอ (4-CPA) 2,4-ดี (2,4-D)

ผลของออกซินที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

1. ช่วยกระตุ้นการแบ่งเซลล์ของเยื่อเจริญ (Cambium) ทำให้พืชมีเนื้อไม้มากขึ้น เกิดการเจริญเติบโตด้านข้างเพิ่มขึ้น
1. ช่วยให้เซลล์ในส่วนต่าง ๆ ของพืชยืดยาวขึ้นโดยการกระตุ้นให้มีการสร้างผนังเซลล์มากขึ้น
2. ควบคุมการเจริญของตาข้าง (Lateral bud) โดยตายอด (Apical bud) ซึ่งเรียกว่า การข่มของตายอด (Apical dominant) โดยตายอดสร้างออกซินขึ้นมาในปริมาณ

ที่สูงแล้วลำเลียงลงสู่ด้านล่าง ความเข้มข้นระดับนี้จะยับยั้งการเจริญเติบโตของตาและใบด้านข้างไม่ให้เจริญเติบโต พืชจึงสูงขึ้นมากแต่ไม่เป็นพุ่ม แต่เมื่อตัดยอดออกความเข้มข้นของออกซินจะลดลง ทำให้ไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของตาด้านข้างและใบได้ พืชจึงแตกตาด้านข้างเกิดขึ้น และทำให้ต้นพืชมีลักษณะเป็นพุ่ม

3. ออกซินในปริมาณที่พอเหมาะสามารถกระตุ้นให้เกิดรากใช้ในการขยายพันธุ์ได้แก่การตอนและการปักชำกิ่ง
4. ควบคุมการตอบสนองของพืชโดยมีแสงเป็นสิ่งที่เร้า (Phototropism) หรือมีแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นสิ่งที่เร้า (Gravitropism)
5. ควบคุมการออกดอกของพืช ปกติโดยทั่วไปถ้าพืชนอกซินให้แก่พืชที่ใกล้จะออกดอก จะทำให้พืชนั้นออกดอกช้าลง แต่ในสับปะรด มะม่วง ลิ้นจี่ เมื่อให้ออกซินจะทำให้ดอกออกเร็วขึ้น และออกดอกพร้อมกัน ทั้งนี้เพราะสารดังกล่าวไปกระตุ้นให้ต้นสับปะรดสร้างเอทิลีน (Ethylene) ขึ้นมา และเอทิลีนเป็นตัวกระตุ้นให้สับปะรดเกิดดอก
6. เพิ่มขนาดของผล และป้องกันผลร่วง มีรายงานว่าออกซินอาจช่วยขยายขนาดของผลไม้บางชนิดได้ เช่น การใช้ 4-CPA หรือ NAA กับสับปะรด หรือผลไม้บางชนิดสามารถให้ออกซินเพื่อป้องกันผลร่วงก่อนการเก็บเกี่ยวได้ เช่น มะม่วง ส้ม องุ่น และกลางสาด สารที่นิยมใช้คือ NAA และ 2,4-D
7. สารประกอบต่างๆ ที่สังเคราะห์ขึ้นมาและนิยมใช้แทนออกซินธรรมชาติได้แก่ กรดแนพทาลีนแอซิดิก (Naphthalene acetic acid หรือ NAA) กรดอินโดลพิวริก (Indolebutyric acid หรือ IBA) กรดอินโดลโพรพิโอนิก (Indolepropionic acid) กรดแนพทอกซีแอซิดิก (Naphthoxyacetic acid หรือ NOA) สารเหล่านี้มีผลเช่นเดียวกับออกซินในธรรมชาติ นอกจากนี้ยังใช้ออกซินสังเคราะห์สารบางชนิดในการปราบพืชประเภทใบกว้างหรือพืชใบเลี้ยงคู่คือกรด 2,4-ไดคลอโรฟีโนกซีแอซิดิก (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid หรือ 2,4-D และกรดไดคลอโรโพรพิโอนิก (2,2 Dichloropropionic acid) ใช้ในการปราบวัชพืชใบแคบคือพวกหญ้าและใบเลี้ยงเดี่ยวต่าง ๆ สำหรับสารที่ทำลายฤทธิ์หรือผลของออกซินหรือที่เรียกว่า แอนติออกซิน (Antiauxin) ได้แก่ กรด 2,6-ไดคลอโรฟีโนกซีแอซิด

ติก (2,6-Dichlorophenoxyacetic acid หรือ 2,6-D) กรดทรานส์ซินเนมิก (Transcinnamic acid) เมื่อใช้ร่วมกับออกซินแล้วจะไม่มีผลของออกซินให้เห็น

8. ออกซินมีคุณสมบัติเป็นสารกำจัดวัชพืช (Herbicides) ออกซินทุกชนิดถ้าใช้ความเข้มข้นสูงจะสามารถฆ่าพืชได้ ดังนั้นจึงมีการนำสารออกซินมาใช้เป็นยากำจัดวัชพืชอย่างกว้างขวาง ออกซินที่ใช้เป็นสารกำจัดวัชพืช อย่างกว้างขวางได้แก่ 2,4-D, 2,4,5-T, MCPA สารที่นิยมใช้มากคือ 2,4-D รองลงมาคือ 4-CPA สารทั้งสองชนิดนี้มีฤทธิ์ของออกซินสูงมากจึงสามารถฆ่าวัชพืชได้ อนุพันธ์ของ Picolinic acid เช่น Picloram ชื่อการค้า Tordon มีคุณสมบัติที่ทำให้เป็นพืชนิยมกว้างขวางเนื่องจากความเป็นพิษต่อพืช มีราคาถูกและการเลือกทำลายพืชใบเลี้ยงคู่มากกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ในส่วน 2,4,5-T ถูกห้ามใช้ในสหรัฐอเมริกา เนื่องจากมีสารพิษที่ร้ายแรงคือ Dioxin ปนเปื้อนอยู่ สารกำจัดวัชพืชเหล่านี้อาจอยู่ในรูปเกลือของด่างอ่อน เช่น Ammonia (Amines) กรด Emulsifiable, Ester และผสมกับน้ำมันหรือ Detergent เพื่อให้มีการกระจายตัวและจับใบสามารถดูดซึมเข้าสู่ใบพืชได้ดีขึ้น และเมื่อดูดซึมเข้าไปแล้วสารจะถูกลำเลียงโดยส่วนใหญ่ผ่านทางท่อลำเลียงอาหารโฟลเอ็ม (Phloem) ไปกับสารที่เกิดจากการสังเคราะห์แสง ดังนั้นเวลาฉีดพ่นให้ได้ผลดีที่สุด คือตอนเช้ามีดของวันที่มีแดด กลไกที่แท้จริงของสารเหล่านี้ยังไม่แน่ชัดเพียงแต่สันนิษฐานว่าออกซินเหล่านี้เข้าไปรบกวนการสร้างดีเอ็นเอ และการแปลอาร์เอ็นเอ ดังนั้นจึงทำให้การสร้างเอนไซม์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตเหล่านี้ได้รับการสร้างอย่างผิดปกติ

ไซโตไคนิน

ไซโตไคนินเกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ของพืช ชะลอการแก่และกระตุ้นการแตกตาข้าง พบมากในบริเวณเนื้อเยื่อเจริญและในคัพพะ (Embryo) ส่วนใหญ่แล้วไซโตไคนินมีการเคลื่อนย้ายน้อย แต่มีคุณสมบัติสำคัญในการดึงสารอาหารต่างๆ มายังแหล่งที่มีไซโตไคนินสะสมอยู่ ที่พบในพืชได้แก่ ซีอาติน (zeatin) ส่วนสารสังเคราะห์ที่อยู่ในกลุ่มไซโตไคนินได้แก่ บีเอพี (BAP) ไคเนติน (Kinetin)

ผลของไซโตไคนินที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

1. ส่งเสริมการแบ่งเซลล์ หน้าที่หลักของไซโตไคนิน คือช่วยให้ไซโตพลาสซึมของเซลล์ในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ลำต้น และราก เกิดการแบ่งตัว

2. เร่งการขยายตัวของเซลล์ จากการศึกษาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของไส้ (Pith) ยาสูบ พบว่า ไสโตไคนินสามารถขยายขนาดของแวนคิวโอลในเซลล์ ทำให้เซลล์ขยายใหญ่ขึ้นได้ และพบว่าในเซลล์ที่เจริญเต็มที่ของแผ่นใบและใบเลี้ยงซึ่งปกติจะไม่มี การขยายตัว ไสโตไคนินสามารถส่งเสริมการขยายตัวของเซลล์ในส่วนที่ตัดจากแผ่นใบและใบเลี้ยงได้
3. ส่งเสริมการสร้างโปรตีน ไสโตไคนินสามารถดึงดูดสารและกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ เข้าใกล้ตัวและสามารถช่วยส่งเสริมการสร้าง อาร์เอ็นเอ ดีเอ็นเอ ซึ่งทั้งกรดอะมิโน อาร์เอ็นเอ และ ดีเอ็นเอ เป็นสารที่จำเป็นในการสร้างโปรตีน ทำให้พืชทั้งต้นเจริญเติบโต
4. ชะลอกระบวนการเสื่อมสลายตัวของคลอโรฟิลล์ โดยเฉพาะสาร BA ที่สามารถชะลอการแก่ของพืชได้
5. ควบคุมการเปิดปิดของปากใบ ในพืชทั่วไปปากใบจะเปิดในที่ที่มีแสงและปิดในที่มืด ไสโตไคนินมีผลทำให้ปากใบเปิดในที่มืดได้
6. ส่งเสริมการพัฒนาของคลอโรพลาสต์และการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ส่วนของพืชที่มีไสโตไคนินจะสามารถดึงเอาอาหารมาจากส่วนอื่นๆ ได้ และยังช่วยให้ใบที่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองสามารถสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ขึ้นได้อีก ทำให้ส่วนของพืชที่ได้รับสารไสโตไคนินมีอายุได้นาน
7. ชักนำการสร้างตาดอกและการพัฒนาตาดอกสารไสโตไคนินมีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าออกซินและจิบเบอเรลลิน

Thidiazuron

Thidiazuron (TDZ หรือ 1-phenyl-3-(1,2,3-thidiazol-5-yl) urea) เป็นสารประกอบกลุ่ม Phenylureas ที่ออกฤทธิ์คล้ายไสโตไคนิน จากรายงานของ Murthy และคณะ (1998) อ้างว่า TDZ อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มเซลล์ ระดับพลังงาน และการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารของพืช มีผลกระตุ้นให้เกิดตายอดเป็นจำนวนมากในเวลาสั้น และรายงานของ Prathanturug และคณะ (2003) กล่าวว่า TDZ อาจไปมีผลกระตุ้นกิจกรรมของไสโตไคนิน การสะสมไฮดรอนของธาตุอาหารบางอย่าง และสารเมทาบอลิท์ซึ่งประกอบด้วยโปรตีน และกรดแอบไซสิก และจากการมีไรโบซิมและโพลีซิมจำนวนมากในไซโทพลาสซึม ทำให้การสังเคราะห์โปรตีน และกิจกรรมภายในเซลล์เกิดขึ้นมาก

จิบเบอเรลลิน

จิบเบอเรลลินเป็นสารที่เกี่ยวข้องกับการยืดตัวของเซลล์ (Cell elongation) ทำลายการพักตัวของพืช กระตุ้นการออกดอกของพืชบางชนิด และยับยั้งการออกดอกของพืชบางชนิด สารกลุ่มนี้มีทั้งที่พืชสร้างขึ้นเอง และเชื้อราบางชนิดสร้างขึ้น ในปัจจุบันพบจิบเบอเรลลินทั้งหมด 71 ชนิด โดยที่ทุกชนิดเรียกชื่อเหมือนกันคือ จิบเบอเรลลิน เอ หรือ จีเอ (Gibberellin A หรือ GA) แต่มีหมายเลขตามหลังตั้งแต่ 1 ถึง 71 เช่น จีเอ 3 จีเอ 4 จีเอ 7 (GA₃, GA₄, GA₇) สารจีเอ 3 เป็นจิบเบอเรลลินที่นำมาใช้มากด้านการเกษตร โดยมีชื่อเรียกเฉพาะของสาร จีเอ 3 ว่า จิบเบอเรลลิก แอซิด (Gibberellic acid) พืชสามารถสร้าง จีเอ 3 ได้แต่มีปริมาณน้อยมาก จีเอ 3 ที่นำมาใช้ทางการเกษตรนั้น ได้มาจากการเพาะเลี้ยงเชื้อราบางชนิดแล้วสกัดจีเอ 3 ออกมา

เอทิลีน

เอทิลีนเป็นก๊าซชนิดหนึ่งและจัดเป็นฮอร์โมนพืช เนื่องจากพืชสร้างขึ้นมาได้ โดยมีผลควบคุมการแก่ การสุก รวมทั้งการออกดอกของพืชบางชนิด และเกี่ยวข้องกับการหลุดร่วงของใบ ดอก ผล การเหลืองของใบ การงอกของหัวพืช และเมล็ดพืชบางชนิด เอทิลีนจะสร้างมากในส่วน of พืชที่กำลังเข้าสู่ระยะแก่ (Senescence) เช่น ในผลแก่หรือใบแก่ใกล้หลุดร่วง

สารยับยั้งการเจริญเติบโต (Plant growth inhibitors)

สารกลุ่มนี้มีหน้าที่ในการถ่วงดุลกับสารเร่งการเติบโตพวกออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน เพื่อให้การเติบโตเป็นไปอย่างพอเหมาะพอดี ส่วนใหญ่มีหน้าที่ยับยั้งการแบ่งเซลล์ และการเติบโตของเซลล์ ทำให้เกิดการพักตัว (Dormancy) และเกี่ยวข้องกับการหลุดร่วงของอวัยวะพืช ฮอร์โมนในกลุ่มนี้มีพบในพืชมีกว่า 200 ชนิด แต่ที่สำคัญที่สุดและรู้จักกันดีคือ Absciscic acid หรือ ABA มีการใช้สารสังเคราะห์เพื่อประโยชน์ต่างๆ เช่นยับยั้งการงอกของหัวมันฝรั่งและหอมหัวใหญ่ ระหว่างการเก็บรักษา ใช้แทนการเด็ดยอด (Pinching) เพื่อกระตุ้นให้แตกตาข้าง รวมทั้งยับยั้งการเติบโตทางกิ่งใบซึ่งมีผลในการกระตุ้นดอกได้ในพืชบางชนิด

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพืชในวงศ์เดียวกับปทุมมา

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตต้นพันธุ์โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

การใช้ BA

BA จัดเป็นสารสังเคราะห์ที่มีองค์ประกอบของสาร Purine ที่นิยมใช้มากที่สุดในการเพิ่มจำนวนยอดขม้นชั้น โดยนิยมใช้ชั้นส่วนตายอดที่มีขนาด 1.0 ± 0.2 เซนติเมตร มาเลี้ยงบนอาหารสูตร MS (Murashige และ Skoog, 1962) ที่เติม BA พบว่า ที่ความเข้มข้น 22.2 ไมโครโมลาร์ สามารถกระตุ้นให้เกิดจำนวนยอดมากที่สุด 3.3-3.8 ยอดต่อชิ้น ในระยะเวลา 4-8 สัปดาห์ (สุมนา และคณะ, 2542; Nayak, 2000) และจำนวนยอดมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 31.1 ไมโครโมลาร์ มีรายงานของวัชรินทร์ และอรดี (2543) ในการขยายพันธุ์ขม้นชั้นบนอาหาร MS โดยเติม BA 0-39.96 ไมโครโมลาร์ พบว่าอาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 13.3 ไมโครโมลาร์สามารถเพิ่มจำนวนยอดได้มากที่สุด 2.7 ยอดต่อชิ้น ภายหลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ และรายงานของ Salvi และคณะ (2002) พบว่าการเลี้ยงตายอดขม้นชั้นในอาหารเหลวสูตร MS ที่เติม BA 10.0 ไมโครโมลาร์ และ NAA 1.0 ไมโครโมลาร์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทำให้จำนวนยอดเพิ่มขึ้นเป็น 4.2 ยอดต่อชิ้น นอกจากนี้ Prathanturarug และคณะ (2003) พบว่าการใช้ชั้นส่วนตายอดขม้นขนาด 1.0 ± 0.2 เซนติเมตร เพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 35.5 ไมโครโมลาร์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ จากนั้นย้ายไปเพาะเลี้ยงบนอาหารที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต เป็นเวลา 2 สัปดาห์ สามารถกระตุ้นให้เกิดยอด 3.5 ยอดต่อชิ้น รวมระยะเวลา 10 สัปดาห์ จากรายงานวิจัยดังกล่าวนี้สรุปเบื้องต้นได้ว่า BA ความเข้มข้น 10-35.5 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มจำนวนยอดขม้นได้ 2.7-4.2 ยอดต่อชิ้น ในระยะเวลา 4-10 สัปดาห์

การใช้ Kinetin

Kinetin เป็นสารสังเคราะห์ที่มีองค์ประกอบของสาร Purine มีรายงานพบว่า การใช้ชั้นส่วนตายอดขม้นที่มีขนาด 1.0 ± 0.2 เซนติเมตร เพาะเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร MS ที่เติม Kinetin ความเข้มข้น 10.0 ไมโครโมลาร์ และ NAA 1.0 ไมโครโมลาร์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ สามารถกระตุ้นให้เกิดยอด 3.5 ยอดต่อชิ้น (Salvi และคณะ, 2002) และเมื่อใช้ชั้นส่วนตายอดขนาด 1.0 ± 0.2 เซนติเมตร มาเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม Kinetin 37.2 ไมโครโมลาร์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ จากนั้นย้ายไปเพาะเลี้ยงบนอาหารที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต เป็นเวลา 2 สัปดาห์ รวม

ระยะเวลาทั้งหมด 10 สัปดาห์ สามารถกระตุ้นให้เกิดยอด 3.5 ยอดต่อช่อ (Prathantharug และคณะ, 2003) จากรายงานวิจัยในเบื้องต้นสรุปได้ว่า Kinetin ความเข้มข้น 10-37.2 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มจำนวนยอดขม้นได้ 3.5 ยอดต่อช่อ ในระยะเวลา 8-10 สัปดาห์

การใช้ 2iP

2iP จัดเป็นไซโตไคนินในกลุ่มสารประกอบ Purine ที่เป็นสารธรรมชาติ Salvi และคณะ (2002) ใช้ชิ้นส่วนตายอดขม้นขนาด 1.0 ± 0.2 เซนติเมตร เพาะเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร MS ที่เติม 2iP ความเข้มข้น 10.0 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ NAA ความเข้มข้น 1.0 ไมโครโมลาร์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ สามารถกระตุ้นให้เกิดยอด 6.6 ยอดต่อช่อ ส่วน ในระยะเวลา 8 สัปดาห์ Prathantharug และคณะ (2003) ใช้ชิ้นส่วนตายอดขนาด 1.0 เซนติเมตร มาเลี้ยงในอาหารวุ้นสูตร MS ที่มี 2iP ความเข้มข้น 39.4 ไมโครโมลาร์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ จากนั้นย้ายไปเลี้ยงในอาหารที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต เป็นเวลา 2 สัปดาห์ สามารถกระตุ้นให้เกิดยอด 2.3 ยอดต่อช่อ รวมระยะเวลา 10 สัปดาห์ จากรายงานวิจัยในเบื้องต้นสรุปได้ว่า 2iP ความเข้มข้น 10-39.4 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มจำนวนยอดขม้นได้ 2.3-6.6 ยอดต่อช่อ ส่วน ในระยะเวลา 8-10 สัปดาห์

การใช้ Thidiazuron

มีรายงานการเพิ่มจำนวนยอดขม้นขึ้นในหลอดแก้วโดยใช้ TDZ ที่ความเข้มข้น 0.23-18.17 ไมโครโมลาร์ ชิ้นส่วนตายอดยาว 1.0 ± 0.2 เซนติเมตร ให้จำนวนยอด 4.1-13.3 ยอดต่อช่อ ในระยะเวลา 12 สัปดาห์ โดยที่ความเข้มข้น 0.45-9.08 ไมโครโมลาร์ พบว่ามีจำนวนยอดเจริญขึ้นจาก 4.1 เป็น 12.5 คิดเป็น 3 เท่า และจำนวนยอดยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้น 18.17 ไมโครโมลาร์ โดยให้มากที่สุด 13.3 ยอดต่อช่อ (พรพิมล และดวงจันทร์, 2547) Prathantharug และคณะ (2003) พัฒนาวิธีการใช้ TDZ โดยลดระยะเวลาการเพาะเลี้ยงขม้นขึ้นบนอาหารที่เติม TDZ 18.2 ไมโครโมลาร์ จาก 8 สัปดาห์ เป็น 4 สัปดาห์ จากนั้นย้ายไปเพาะเลี้ยงในอาหารสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าอัตราการสร้างยอดใหม่เพิ่มขึ้นเป็น 18.2 ± 0.6 ยอดต่อช่อ โดยยอดใหม่มีการสร้างรากเฉลี่ย 88.4 ± 0.6 เปอร์เซ็นต์ และต้นที่ได้มีความสมบูรณ์สามารถย้ายปลูกได้ นพมาศ และคณะ (2546) รายงานการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนตายอดขม้นขึ้นในอาหารสูตร MS ที่เติม TDZ ความเข้มข้น 18.2 ไมโครโมลาร์ ทำให้ได้จำนวนยอด 18.2 ยอดต่อช่อ ในระยะเวลา 12 สัปดาห์ จากการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่า

ระยะเวลาเพียง 4 สัปดาห์ที่ขึ้นส่วนขม้นชั้นได้รับ TDZ เพียงพอต่อการชักนำให้เกิดยอด และเมื่อย้ายไปเลี้ยงในอาหารสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ส่งผลทำให้ได้จำนวนยอดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก TDZ เป็นสารออกฤทธิ์คล้ายไซโตไคนินที่มีฤทธิ์แรง และมีผลต่อความสูงของยอด การย้ายขึ้นส่วนพืชลงในอาหารที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตมีจุดประสงค์เพื่อให้ตายอดที่เกิดขึ้นมีการเจริญด้านความสูงเป็นปกติ

Prathanturug และคณะ (2003) เปรียบเทียบผลของไซโตไคนินต่อการเพิ่มจำนวนยอดขม้นชั้นที่ความเข้มข้นไซโตไคนิน 4 ชนิด คือ BA Kinetin 2iP และ TDZ พบว่า BA Kinetin 2iP และ TDZ ที่ความเข้มข้น 35.5 37.2 39.4 หรือ 18.2 ไมโครโมลาร์ มีจำนวนยอดขม้นชั้นเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ และจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มไซโตไคนินต่อการเพิ่มจำนวนยอด โดยเฉพาะเลี้ยงขม้นชั้นบนอาหารที่เติม BA Kinetin 2iP และ TDZ ที่ความเข้มข้น 35.5 37.2 39.4 และ 18.2 ไมโครโมลาร์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ จากนั้นย้ายไปเพาะเลี้ยงบนอาหาร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตเป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่าตายอดของขม้นชั้นที่เพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติม TDZ ให้จำนวนยอดสูงที่สุด 5.6 ยอด ส่วน BA Kinetin และ 2iP ให้จำนวนยอด 4.8 2.5 และ 2.3 ยอด ตามลำดับ และเมื่อลดระยะเวลาการเพาะเลี้ยงตายอดบนอาหารที่เติม TDZ จาก 8 สัปดาห์ เป็น 4 สัปดาห์ พบว่ายอดที่เพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติม TDZ ให้จำนวนยอดเฉลี่ยเท่าเดิม ในขณะที่ BA Kinetin และ 2iP ให้จำนวนยอดเพียง 1.8-2.0 ยอด จากการทดลองทำให้ทราบว่า หลังจากย้ายขึ้นส่วนพืชที่ได้รับไซโตไคนินเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ไปเพาะเลี้ยงบนอาหารที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ไม่ทำให้การเจริญของยอดเพิ่มขึ้นได้ ยกเว้นพืชที่ได้รับ TDZ ที่มีจำนวนยอดเพิ่มขึ้นมากกว่าการที่ได้รับไซโตไคนินชนิดอื่นๆ จากการทดลองสรุปได้ว่า TDZ 18.2 ไมโครโมลาร์ สามารถลดระยะเวลาการเพาะเลี้ยงตายอดลงจาก 8 สัปดาห์ เป็น 4 สัปดาห์

ดังนั้นการใช้ TDZ ที่ความเข้มข้นเพียง 0.23 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มจำนวนยอดขม้นชั้นได้ไม่แตกต่างจาก BA Kinetin และ 2iP TDZ เป็นไซโตไคนินในกลุ่ม Phenylureas ที่มีสูตรโครงสร้างแตกต่างจากไซโตไคนินในกลุ่ม Purine ที่มีสูตรโครงสร้างคล้ายไซโตไคนินที่มีในพืช เป็นผลทำให้ TDZ ถูกทำลายโดยเอนไซม์ Cytokinin oxidases (เอนไซม์ที่พืชสร้างขึ้นเพื่อกำจัดไซโตไคนิน) ได้ช้า (Genkov และ Ivanova, 1995) TDZ จึงมีความเสถียร และออกฤทธิ์คล้าย Adenine-type cytokinins ในความเข้มข้นต่ำ ดังนั้น TDZ จึงมีประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับไซโตไคนินในกลุ่มสารประกอบ Purine ที่ถูกทำลายได้ง่ายโดยเอนไซม์ Cytokinin oxidases (Mok และ

คณะ, 1987) TDZ จึงจัดเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มไซโตไคนินที่เหมาะสมมากที่สุดในการเพิ่มจำนวนยอดขมื่นขึ้นโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการชักนำ T-roots

จากการสืบค้นเอกสารการวิจัยพบว่ามีการผลิตอวัยวะที่ทำหน้าที่สะสมอาหาร เช่น ท่อนพันธุ์ขนาดเล็ก (Microtuber) (Debeljak และคณะ, 2002) หรือ รากสะสมอาหาร หรือ Microbulbil (Ravnikar และคณะ, 1993; Nhut, 1998) ในลิลลี่ซึ่งเป็นอวัยวะทำหน้าที่สะสมอาหารมีผลช่วยให้พันธุ์พืชมีการนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น Sakamura และคณะ (1986) รายงานการพัฒนาอวัยวะที่ทำหน้าที่สะสมอาหารสามารถทำได้โดยการเพิ่มแหล่งคาร์บอน และสารควบคุมการเจริญเติบโตกลุ่มไซโตไคนิน ที่เหมาะสมกับเนื้อเยื่อพืช การเติม BA ที่ความเข้มข้น 8.8 – 35.2 ไมโครโมลาร์ และน้ำตาลซูโครส 120 – 230 มิลลิโมลาร์ สามารถผลิต Bulbil ใน *Curculigo orchoides* ได้ผลผลิต 10 bulbils ต่อต้น Julio และคณะ (1998) รายงานการใช้น้ำตาลซูโครส 263 มิลลิโมลาร์ ในการเลี้ยง *Narcissus bulbocodium* สามารถชักนำให้เกิด Bulbil นอกจากนี้มีรายงานการศึกษาวิจัยการชักนำท่อนพันธุ์สะสมอาหารขนาดเล็กในพืชกลุ่มไม้ดอกไม้ประดับและกลุ่มพืชที่เป็นอาหาร เช่น แกลดิโอลัส (Kumar และคณะ, 1999) ชิง (Sharma และ Singh, 1995) หัวหอม (Kastner และคณะ, 2001; Le Guen-Le Saos และคณะ, 2002) โดยการใช้น้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้น 87.7 - 204.5 มิลลิโมลาร์ สามารถชักนำท่อนพันธุ์สะสมอาหารขนาดเล็กได้ แต่อย่างไรก็ตามจากการสืบค้นรายงานการวิจัยพบว่า ยังไม่มีรายงานความสำเร็จในการชักนำ T-roots ของปทุมมาสายพันธุ์ลูกผสมเทพรำลึก