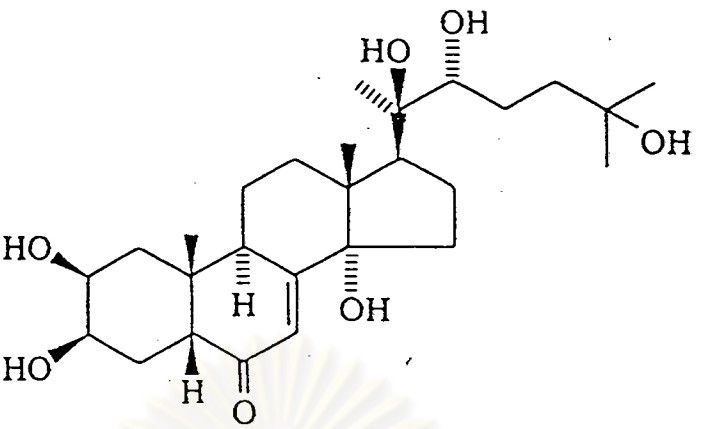
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

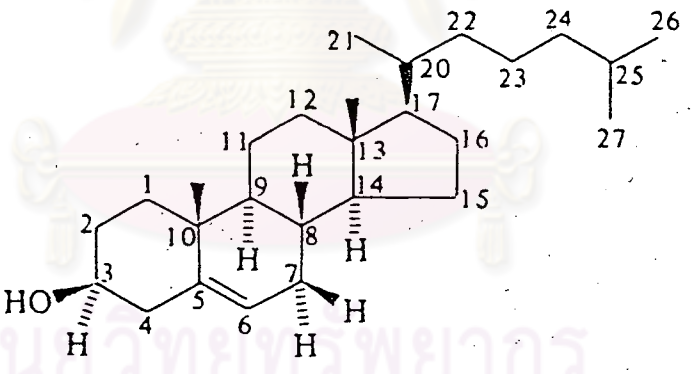
บทนำ

ฮอร์โมนลอกคราบเบตา-เอคไดโซน (β-ecdysone) สูตรโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 1 เป็นสเตียรอยด์ฮอร์โมนที่ทำหน้าที่ กระตุ้นการลอกคราบและการเปลี่ยนแปลงตัวอ่อนของสัตว์พวกอาร์โธพอดและครัสเตเซียน (Butenandt และ Karlson, 1954) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือฮอร์โมนลอกคราบจากสัตว์ (Zooecdysone) และฮอร์โมนลอกคราบจากพืช (Phytoecdysone) มีรายงานว่า ปริมาณฮอร์โมนลอกคราบที่พบสะสมในพืชมักจะสูงกว่าในสัตว์มาก คือ ค่าเฉลี่ยในสัตว์ประมาณ 10^{-5}-10^{-9} เปอร์เซนต์ของน้ำหนักแห้ง ในขณะที่พืชบางชนิดสามารถผลิตและสะสมฮอร์โมนลอกคราบได้สูงมากกว่า 1 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักแห้ง(Ogawa และคณะ, 1974) จนกระทั่งปัจจุบันนี้มีรายงานพบว่ามีพืชประมาณ 85 วงศ์ที่ผลิตและสะสมฮอร์โมนลอกคราบได้ (Imai และคณะ, 1969; Roland, 1987) ฮอร์โมนลอกคราบเบตา-เอคไดโซน เป็นสารทุติยภูมิที่มีความสำคัญต่อการเกษตรมาก เช่น ใช้เป็นยาฆ่าแมลง ผลปรากฏว่า สารในกลุ่มเอคไดสเตอรอยด์นี้มีฤทธิ์ในการต่อต้านแมลงมากกว่ายาฆ่าแมลงที่สังเคราะห์ขึ้น คือ มีความจำเพาะต่อแมลงสูง และแมลงไม่สามารถปรับตัวเพื่อต่อต้านยาได้ (William, 1967) มีการใช้สารกลุ่มเอคไดสเตอรอยด์เป็นสารฆ่าหอย (molluscicides) เช่น หอยทากซึ่งเป็นศัตรูพืชที่สำคัญ เพราะมีข้อดีที่ไม่ต้องใช้ในปริมาณมาก และไม่มีพิษตกค้างต่อคนและสัตว์ (Kloos และ McGullough, 1982) นอกจากนี้ยังมีรายงานการใช้สารเบตา-เอคไดโซนที่สกัดจากต้นไข่เน่า ผสมลงในอาหารสูตรสำเร็จความเข้มข้น 2.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักอาหารเพาะเลี้ยงลูกกุ้งก้ามกราม พบว่า ฮอร์โมนนี้จะกระตุ้นการเจริญของลูกกุ้งก้ามกรามอย่างมีนัยสำคัญ (พัฒนัญญา และคณะ, 2528; Chaiwatcharakool, S., 1986) กลุ่มนักวิจัยของสถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเล และ ศูนย์ฝึกนิสิตเกาะสีชังจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (พรศิลป์ ผลพันธิน และคณะ, 2530) ได้รายงานว่า ฮอร์โมนลอกคราบเบตา-เอคไดโซน มีประสิทธิภาพในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำ (Penaeus monodon) และกุ้งแชบ๊วย (Penaeus merguiensis) ได้อย่างสมบูรณ์



β-Ecdysone

รูปที่ 1 สูตรโครงสร้างของฮอร์โมนลอกคราบเบตา-เอคไดโซน



Cholesterol

รูปที่ 2 สูตรโครงสร้างของสารตั้งต้นโคเลสเตอรอล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จะเห็นได้ว่าสารเบตา-เอคไดโซน เป็นสารที่มีประโยชน์มากแต่ราคาแพงมากด้วย คือ 10 มิลลิกรัม ราคาประมาณ 2 พันบาท ดังนั้น เหมาะสมที่จะนำมาผลิตโดยวิธีเพาะเลี้ยงเซลล์พืช เพราะการเพาะเลี้ยงเซลล์พืชไม่ขึ้นอยู่กับฤดูกาล, สภาพพื้นดิน, คัตรูพืช,โรคพืช และใช้เนื้อที่น้อย อีกทั้งสามารถควบคุมผลผลิตให้มีคุณภาพและปริมาณแน่นอน

Deus และ Zenk (1982)ได้ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงเซลล์พืช เพื่อผลิตสารทุติยภูมิว่า มีขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

1. คัดเลือกพืชที่ผลิตสารเป้าหมายได้สูง
2. ศึกษาวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชที่คัดเลือกแล้ว
3. พัฒนาสูตรอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเซลล์พืชนั้น ๆ
4. ศึกษาวิธีกระตุ้นการผลิตสารเป้าหมายนั้น ๆ
5. คัดเลือกโคลนที่ผลิตสารเป้าหมายได้สูง
6. พัฒนาสูตรอาหาร และวิธีชักนำให้เซลล์พืชผลิตสารเป้าหมายนั้น ๆ ให้สูงขึ้น

มีรายงานว่า สารเบตา-เอคไดโซนสามารถตรวจพบได้จากเปลือกต้นไข่เน่า (Vitex glabrata) ซึ่งเป็นพืชพื้นเมืองอยู่ในวงศ์ Verbenaceae (แผนกเภสัชศาสตร์ และแผนกเภสัชเวท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521) โดยสามารถสกัดสารเบตา-เอคไดโซน ได้ผลผลิต 1.57 เปอร์เซนต์ (Werawattanametin และคณะ, 1986) ซึ่งเป็นรายงานการตรวจพบสารเบตา-เอคไดโซนในระดับสูงมาก เพราะในพืชส่วนใหญ่ จะมีสารเบตา-เอคไดโซนน้อยกว่า 1 เปอร์เซนต์ ดังนั้น การศึกษานี้จึงมุ่งหวังเพื่อให้ได้วิธีการเพาะเลี้ยงเซลล์พืชไข่เน่า เพื่อการผลิตสารเบตา-เอคไดโซน

ปัทมา ถาวรนิธิ (2533) ได้พัฒนาสูตรอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงแคลลัสของเนื้อเยื่อ 3 ส่วนของต้นไข่เน่า คือ ชิ้นส่วนใบ,ชิ้นอินิเดอร์มิส และส่วนของต้น พบว่าสูตรอาหาร MS ครึ่งสูตร (1/2 MS) เสริมด้วยออร์โมน 2,4-D 1 มก/ล กับ BA 2 มก/ล สามารถเพาะเลี้ยงแคลลัสที่เกิดจากเนื้อเยื่อพืชทั้ง 3 ส่วนได้ และพบว่าปริมาณสารเบตา-เอคไดโซนส่วนที่ผลิตสูงสุดคือ แคลลัสจากส่วนต้น 0.014 เปอร์เซนต์ รองลงมาคือ แคลลัสชั้นอินิเดอร์มิส 0.003 เปอร์เซนต์ และแคลลัสจากชิ้นส่วนของใบ 0.0025 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

อุทัยพรรณ ประเสริฐสม (2533) ได้รายงานถึงปัจจัยที่สำคัญต่อการผลิตสารเบตา-เอคไดโซนของเซลล์แขวนลอยส่วนต้นของพืชไข่เน่า อันได้แก่

- ชนิดอาหารเพาะเลี้ยง พบว่า การเจริญและการผลิตสารเบตา-เอคไดโซน ในอาหารสูตร B5 สูงกว่า ในอาหารสูตร 1/2 MS

- ชนิดของสารควบคุมการเจริญเติบโต ในกลุ่มออกซิน พบว่า การเจริญและการผลิตสารเบตา-เอคไดโซนของเซลล์แขวนลอยส่วนต้น เมื่อใช้ 2,4-D มีค่าสูงกว่าเมื่อใช้ IAA เป็นสารควบคุม

- ชนิดของสารตั้งต้น พบว่า โคเลสเตอรอล มีผลทำให้ระดับการผลิตสารเบตา-เอคไดโซนเพิ่มขึ้น แต่การเจริญของเซลล์แขวนลอยส่วนต้นของพืชไข่เน่าลดลง

การเพิ่มผลผลิตสารทุติยภูมิทำได้โดยการคัดเลือกโคลนที่ผลิตสารทุติยภูมิเป้าหมายได้สูง ซึ่งการโคลนเซลล์พืชทำได้โดยการกระจายเซลล์เดี่ยวและเซลล์เกาะกลุ่ม ที่ผสมกับอาหารวุ้นเหลวลงในจานอาหารเพาะเลี้ยง ถ้าอาหารที่ใช้มีความเหมาะสมต่อเซลล์พืช เซลล์จะเจริญเติบโตจากเซลล์เดี่ยวมาเป็นกลุ่มของเซลล์ ซึ่งวิธีนี้ใช้กันมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1960 โดย Bergmann (1960) เพื่อคัดเลือกหาสายพันธุ์ที่เป็นประโยชน์ต่อการเกษตร เช่น การคัดเลือกหาสายพันธุ์ที่ต้านทาน herbicide (Chaleff และ Parson, 1978) สายพันธุ์พืชที่ทนเค็ม (Dix และ Street, 1975) เป็นต้น นอกจากนี้การคัดเลือกหาสายพันธุ์ที่ผลิตสารทุติยภูมิได้สูง มีความจำเป็นอย่างมากต่อการผลิตสารทุติยภูมิในระดับอุตสาหกรรมเช่น สาร shikonin ซึ่งผลิตในระดับอุตสาหกรรมแล้วในประเทศญี่ปุ่น โดยบริษัท Mitsui Petrochemical Industry Ltd. ได้ทำการโคลนเซลล์ Lithospermum erythrorhizon เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่ผลิตสาร shikonin ได้สูง พบว่าเซลล์ก่อนโคลน ให้ผลผลิตสาร shikonin 50 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด แต่ในโคลนที่คัดเลือกให้ผลผลิตสาร shikonin สูงถึง 1000 ไมโครกรัม/ กรัมน้ำหนักสด (Mizukami และคณะ, 1978) นอกจากนี้ยังมีรายงาน การคัดเลือกหาสายพันธุ์ที่ผลิตสารทุติยภูมิเป้าหมายได้สูง โดยการคัดเลือกจากโคลน ที่เกิดจากเซลล์เดี่ยวหรือเซลล์เกาะกลุ่ม ในพืชหลายชนิด เช่น

- คัดเลือกโคลนของ Daucus carota เพื่อผลิตสาร Anthocyanin (Dougall และคณะ, 1980)

- คัดเลือกโคลนของ Nicotiana tabacum เพื่อผลิตสาร Nicotine (Ogino และคณะ, 1978)

- คัดเลือกโคลนของ Catharanthus roseus เพื่อผลิตสาร Serpentine (Deus-Neuman และ Zenk, 1984)

- คัดเลือกโคลนของ Anchusa officinalis เพื่อผลิตสาร Rosmarinic acid (Ellis, 1985)

- คัดเลือกโคลนของ Coptis japonica เพื่อผลิตสาร Berberine (Sato และ Yamada, 1984)

- คัดเลือกโคลนของ Lavandula vera เพื่อผลิตสาร Biotin (Watanabe และ Yamada, 1982; Watanabe และคณะ, 1982)

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงทำการคัดเลือกโคลนที่ผลิตสารเบตา-เอคไดโซนได้สูง เพื่อผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

นอกจากการคัดเลือกโคลนแล้ว วิธีการเพิ่มผลผลิตสารทุติยภูมิ ยังสามารถทำได้ด้วยวิธีอื่นๆ อีก เช่น การตรึงเซลล์พืช เนื่องจากเซลล์พืชมีขนาดใหญ่กว่าเซลล์แบคทีเรียมาก คือ ประมาณ 10 เท่า (Rhodes และคณะ, 1987) จึงทำให้ทนต่อสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น แรงดันออสโมติค, อุณหภูมิ, พีเอช ฯลฯ ได้ไม่ดี นอกจากนี้ปัญหาหลักของการเพาะเลี้ยงเซลล์พืช เพื่อการผลิตสารทุติยภูมิในระดับอุตสาหกรรม คือ สารทุติยภูมิที่ผลิตได้มีปริมาณค่อนข้างต่ำ, เซลล์พืชมีการเจริญเติบโตช้า คือ มี doubling time มากกว่า 24 ชั่วโมง ในขณะที่เซลล์แบคทีเรียมี doubling time น้อยกว่า 1 ชั่วโมง (Rhodes และคณะ, 1987) เซลล์พืชมีความต้านทานต่อแรงเฉือนต่ำ จึงไม่เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงในถังปฏิกิริยาแบบมีใบพัดกวน เพราะจะทำให้เซลล์แตก (Brodelius,1985a) นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการเพาะเลี้ยงเซลล์พืชสูง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องศึกษาวิธีการนำเซลล์ ไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้คุ้มกับต้นทุนการผลิต ด้วยเหตุนี้จึงมีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคการตรึงเซลล์พืช เพราะการตรึงเซลล์พืชมีข้อดีหลายประการ เช่น มีรายงานว่า เซลล์พืชบางชนิดเมื่อถูกตรึงแล้ว จะสามารถผลิตสารทุติยภูมิได้มากกว่าเซลล์แขวนลอยอิสระ (Haldimann และ Brodelius , 1987; Ishida, 1988) นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันเซลล์จากการกระทบกระเทือน และการปนเปื้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกด้วย การตรึงเซลล์จะช่วยกระตุ้นให้เซลล์ปล่อยสารที่เก็บสะสมไว้ในเซลล์ออกสู่ภายนอกได้ (Brodelius, 1985b ; Barnabas และ David, 1988) หรือการทำให้ผนังเซลล์ของเซลล์ตรึงรั่วด้วยสารเคมี โดยไม่ทำให้เซลล์ตาย ก็สามารถปล่อยสารทุติยภูมิออกมาสู่ภายนอกได้เช่นกัน (Brodelius และ Nilsson, 1983; Brodelius และคณะ, 1988) เซลล์ที่ถูกตรึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ในปฏิกิริยา Bioconversion (Furuya และคณะ, 1984; Alfermann และคณะ, 1980) หรือการสังเคราะห์จากสารตั้งต้น (Synthesis from precursors) ซึ่งเปลี่ยนสารตั้งต้น

ราคาถูกเป็นสารผลิตภัณฑ์ราคาแพง (Brodelius และ Nilsson, 1980; Lindsey และ Yeoman, 1983) และเซลล์พืชที่ถูกตรึงสามารถสร้างสารผลิตภัณฑ์ได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอเป็นระยะเวลานาน (Brodelius และคณะ, 1979 ; Alfermann และคณะ, 1983 ; Kobayashi และคณะ, 1988)

การที่เซลล์ตรึงผลิตสารทุติยภูมิได้สูงกว่าเซลล์แขวนลอยอิสระอาจเป็นเพราะ การใกล้ชิดกันของเซลล์ภายในเม็ดเจล คล้ายกับเซลล์พืชในธรรมชาติซึ่งอยู่ติดกัน ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนสารเคมีบางอย่างระหว่างเซลล์ เป็นผลให้นำไปสู่วิถีการสังเคราะห์สารทุติยภูมิขึ้น (Rhodes และ Kirsop, 1982) เพราะมีรายงานมากมายว่า การเพาะเลี้ยง organized tissues เช่น ราก, ยอด, เอมบริโอ สามารถผลิตสารทุติยภูมิได้สูงกว่า unorganized tissues ซึ่งก็คือเซลล์พืชอิสระที่เพาะเลี้ยงในระบบแขวนลอย (Staba, 1985; Fowler, 1986) นอกจากนี้ การตรึงเซลล์พืช ทำให้เซลล์ที่ถูกกักขังอยู่ภายในเม็ดเจล อยู่ในสภาวะที่ถูกกดดัน (stress) เพราะสารอาหารที่เข้าสู่เซลล์ถูกจำกัดลง ซึ่งมีรายงานว่า สภาวะที่เซลล์ถูกกดดันนี้ มีผลให้เกิดการกระตุ้นการสร้างสารทุติยภูมิขึ้น (Brodelius, 1988; Tanaka และคณะ, 1988)

วิธีตรึงเซลล์ที่นิยมมาก คือ การกักขังเซลล์ไว้ภายในโพลิเมอร์เจล เช่น อัลจิเนต (alginate), คาราจีแนน (carrageenan), วุ้นอะกาโรส (agarose), โพลีอะคิลาไมด์ (polyacrylamide)เป็นต้น ซึ่งมีรายงานวิจัยมากมายเกี่ยวกับการกักขังเซลล์พืชในโพลีเมอร์เจลหลายชนิด ดังสรุปในตารางที่ 1

ในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาการเปลี่ยนสารตั้งต้นโคเลสเตอรอล (รูปที่ 2) ไปเป็นสารเบตา-เอคไดโซนโดยใช้เซลล์ตรึง เพราะว่าวิถีการสังเคราะห์สารเบตา-เอคไดโซน ในพืชนั้นมีขั้นตอนการสังเคราะห์จากสารตั้งต้นหลายชนิด (Goodwin และ Mercer, 1983) (รูปที่ 3) สารตั้งต้นที่สำคัญชนิดหนึ่ง คือ โคเลสเตอรอล โดยที่โคเลสเตอรอลจะเปลี่ยนไปเป็น 7-ดีไฮโดรโคเลสเตอรอล จากนั้นมีขั้นตอนต่างๆที่ไม่ทราบแน่นอนมาเป็นสารเบตา-เอคไดโซน (Robbin และคณะ,1970) ซึ่งคาดว่าจะสามารถเพิ่มผลผลิตสารเบตา-เอคไดโซนให้สูงขึ้นได้

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการวิจัยต่อเนื่องจากงานวิจัยของ ปัทมา ถาวรนิธิ และ อุทัยพรรณ ประเสริฐสม ในการศึกษาศักยภาพของการผลิตฮอร์โมนลอกคราบเบตา-เอคไดโซนโดยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเซลล์พืชไข่เน่า (Vitex glabrata R.Br.) งานวิจัยนี้มีวัตถุ

ตารางที่ 1 การตรึงเซลล์พืชเพาะเลี้ยงในโพลีเมอร์เจลชนิดต่างๆ

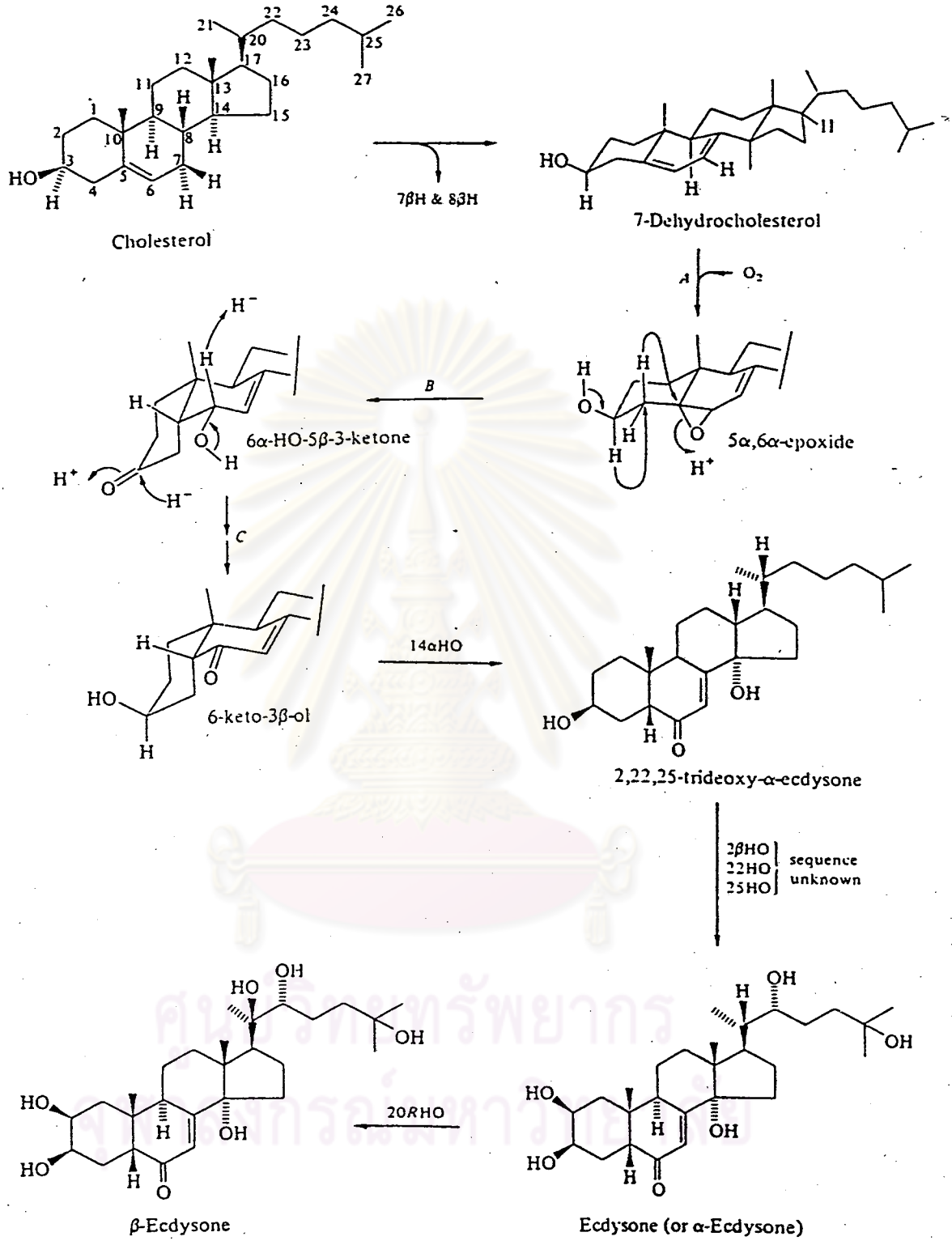
Species	Matrix	References
Amaranthus tricolor	Chitosan	Knorr และ Teutonico (1986)
Apium graveolens	Alginate	Watts และ Collin (1985)
Asclepias syriaca	Chitosan	Knorr และคณะ (1985)
Atropa belladonna	Polyurethane	Collinge และ Yeoman (1986)
Beta vulgaris	Polyurethane	Rhodes และคณะ (1985)
Brassica oleracea	Alginate	Redenbaugh และคณะ (1986)
Brassica rapa	Agarose	Shillito และคณะ (1983)
Cannabis sativa	Aliginate	Jones และ Veliky (1981)
Capsicum frutescens	Polyurethane	Lindsey และคณะ (1983)
Catharanthus roseus	Alginate	Majerus และ Pareilleux (1986)
Cinchona pubescens	Polyurethane	Rhodes และคณะ (1985)
Coffea arabica	Alginate	Haldimann และ Brodelius (1986)
Crepis capillaris	Agarose	Shillito และคณะ (1983)
Datura innoxia	Agarose/Agar	Brodelius และ Nilsson (1983)
Daucus carota	Polyurethane	Lindsey และคณะ (1983)
Digitalis lanata	Alginate	Alfermann และคณะ (1980)
Glycine max	Hollow fibres	Schuler (1981)
Glycyrrhiza echinata	Alginate	Ayabe และคณะ (1986)
Haplopappus gracilis	Alginate	Tramper (1985)
Humulus lupulus	Polyurethane	Rhodes และคณะ (1985)
Hyocyamus muticus	Agarose/Agar	Lorz และคณะ (1983)
Ipomoea sp.	Alginate	Jones และ Veliky (1981)
Jasminium sp.	Polyurethane	Dainty และคณะ (1985)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 ต่อ

Species	Matrix	References
Lavandula vera	Carrageenan/Agar	Nakajima และคณะ (1985)
Lycopersicon peruvianum	Agarose	Adams และ Townsend (1983)
Mentha spp.	Polyacrylamide	Galun และคณะ (1985)
Morinda citrifolia	Alginate	Brodelius และคณะ (1979)
Mucuna pruriens	Alginate	Wichers และคณะ (1983)
Nicotiana sylvestris	Polyacrylamide	Galun และคณะ (1985)
Papaver somniferum	Alginate	Furuya และคณะ (1984)
Petunia hybrida	Agarose	Shillito และคณะ (1983)
Salvia miltiorrhiza	Alginate	Miyasaka และคณะ (1986)
Solanum aviculare	Phenylene oxide	Jirku และคณะ (1981)
Solanum tuberosum	Agarose	Adams และ Townsend (1983)
Vicia faba	Alginate	Schnabl และ Youngman (1985)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3 สมมติฐานของกระบวนการสังเคราะห์สารเบตา-เอคไดโซน จากโคเลสเตอรอลในเซลล์พืช (Goodwin และ Mercer, 1983)

ประสงค์ที่จะศึกษาถึงวิธีการตรึงเซลล์พืช และติดตามเปรียบเทียบระดับการผลิตสารเบตา-เอคไดโซนในเซลล์แขวนลอยที่ถูกตรึง เปรียบเทียบกับเซลล์แขวนลอยอิสระ

ขั้นตอนการวิจัยมีดังนี้

1 ศึกษาวิธีเพาะเลี้ยงเซลล์พืชไข่เน่าในสภาวะแขวนลอย

2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกและคัดเลือกโคโลนีของเซลล์พืชไข่เน่า โดยวิธีการกระจายเซลล์เกาะกลุ่มบนอาหารเพาะเลี้ยง เช่น ความหนาแน่นของเซลล์ต่อจานอาหารเพาะเลี้ยง, สภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของเซลล์ ฯลฯ

3 ศึกษาวิธีการตรวจหาและวิเคราะห์หาปริมาณสารเบตา-เอคไดโซน โดยเทคนิค HPLC

4 ศึกษารูปแบบของการเจริญเติบโต พร้อมทั้งศึกษาระดับสารเบตา-เอคไดโซนของเซลล์ที่คัดเลือกแล้ว โดยระบบเซลล์แขวนลอยอิสระ

5 ศึกษาวิธีการตรึงเซลล์พืชไข่เน่าที่คัดเลือกแล้ว โดยการกักขังไว้ภายในโพลีเมอร์เจลที่เหมาะสม เช่น อัลจิเนต, คาราจีแนน เป็นต้น

6 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตสารเบตา-เอคไดโซนโดยเซลล์ไข่เน่าที่ถูกตรึง เช่น สูตรอาหารที่เหมาะสม, สารตั้งต้น ฯลฯ เพื่อให้สามารถผลิตสารเบตา-เอคไดโซนได้สูงขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย