สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

Computer assisted instruction on plant tissue culture media

โดย

นางสาว ภัทฉรา ทิวาวงศ์

ปพ.
ว352ข
2644

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 47206
วัน, เดือน, ปี 24 มิ.ย. 2546

b.....
i.....

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b11600844x

บทคัดย่อปัญหาพิเศษ

ปีการศึกษา 2544

ชื่อเรื่อง บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช
Computer assisted instruction on plant tissue culture media

ชื่อ-สกุล นางสาว ภัทณรา ทิวาวงศ์

สาขาวิชา อุตสาหกรรมเกษตร **ภาควิชา** ครุศาสตร์เกษตร

คณะ ครุศาสตร์อุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ปานจิต ป้อมอาสา
อาจารย์ชุติมา สังข์พาลี

บทคัดย่อ

ในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสื่อการเรียนการสอนประเภทบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช เพื่อใช้เป็นสื่อการสอน วิชาเทคโนโลยีชีว-ภาพเบื้องต้น (03632103) ปริญญาตรี (ต่อเนื่อง 2 ปี) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การดำเนินการผลิตบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนครั้งนี้ ผู้จัดทำได้ศึกษาถึงเนื้อหาเรื่องอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชและการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จากนั้นจึงได้จัดทำโครงสร้างของบทเรียนขึ้น โดยใช้โปรแกรม Macromedia Authorware 5.2 ซึ่งในโครงสร้างบทเรียนนั้นประกอบด้วย 3 หัวข้อใหญ่ คือ บทนำ บทเรียน และแบบทดสอบ ในส่วนของบทนำประกอบด้วย 2 หัวข้อ คือ วัตถุประสงค์ ประวัติความเป็นมาของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ส่วนบทเรียนประกอบด้วย 2 หัวข้อใหญ่ คือ องค์ประกอบของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช และวิธีการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ในส่วนแบบทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 แบบเลือกตอบ จำนวน 10 ข้อ ตอนที่ 2 นำตัวเลขลำดับขั้นตอนวางบนรูปภาพให้ถูกต้อง จำนวน 10 ข้อจากนั้นจึงบันทึกลงในแผ่นซีดีรอมและนำไปตรวจสอบกับอาจารย์ที่ปรึกษาและทำการปรับปรุงแก้ไขและประเมินผลได้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช และคู่มือประกอบการใช้งานบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์หลายท่าน ผู้จัดทำขอกราบขอบคุณอาจารย์ปานจิต ป้อมอาสาและอาจารย์ชุติมา สังข์พาลี เป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำและชี้แนะข้อบกพร่องต่างๆ ของปัญหาพิเศษชุดนี้ทั้งยังให้การช่วยเหลือด้านต่างๆ แก่ผู้จัดทำด้วยดีมาตลอด

ขอขอบคุณโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช ซึ่งเป็นหนึ่งในโครงการของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา อันเนื่องมาจากพระราชดำริ นายแก้วขวัญ วัชโรทัย ผู้อำนวยการโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช อีกทั้งเจ้าหน้าที่โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการถ่ายทำวีดีโอเรื่อง การเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช และการถ่ายภาพ

และขอขอบคุณนายวัชรินทร์ คงพิบูลย์และนายสุเมธ แซ่เอี้ยว เจ้าหน้าที่คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่ให้การช่วยเหลือด้านต่างๆทั้งด้านกำลังใจ ด้านเอกสารการพิมพ์ ด้านเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ จนบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนประสบผลสำเร็จ

ท้ายสุดปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลงได้ก็เพราะได้รับความช่วยเหลือจากบิดา มารดา ที่ให้การช่วยเหลือทั้งกำลังใจและกำลังทรัพย์ จึงกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ซึ่งคุณความดีของปัญหาพิเศษขอมอบให้บุคคลต่างๆที่กล่าวมาทั้งหมด

นางสาวภัทฉรา ทิวาวงศ์

พฤศจิกายน 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อปัญหาพิเศษ ..... ก

กิตติกรรมประกาศ ..... ข

สารบัญ ..... ค

สารบัญตาราง ..... ง

สารบัญภาพ ..... ฉ

บทที่ 1

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของปัญหา 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

2 การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 5

2.2 การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช 25

3 วิธีการสร้างอุปกรณ์ 42

3.1 การวิเคราะห์หลักสูตร 42

3.2 การวิเคราะห์เนื้อหา 42

3.3 คำบรรยายประกอบอุปกรณ์ 54

3.4 ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ 75

4 การตรวจสอบและแก้ไขอุปกรณ์ 77

4.1 วิธีการตรวจสอบอุปกรณ์ 77

4.2 ผลการตรวจสอบอุปกรณ์ 78

5 สรุปและข้อเสนอแนะ 79

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 79

5.2 ปัญหาและอุปสรรค 80

5.3 ข้อเสนอแนะ 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บรรณานุกรม 81
ภาคผนวก 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงปริมาณของวิตามินที่ผสมในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช	32
2	แสดงปริมาณแร่ธาตุบางชนิดในวุ้นต่างชนิดกัน	38
3	การแบ่งกลุ่มสารเคมีและการเตรียมสารละลายเข้มข้นของสูตรอาหาร MS	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	3
2	แผนผังบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบเชิงเส้น	7
3	แผนผังบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบไม่เชิงเส้น	8
4	แผนผังโปรแกรมบทเรียนเพื่อการสอน	9
5	แผนผังโปรแกรมบทเรียนเพื่อการฝึกหัด	9
6	แผนผังโปรแกรมบทเรียนในสถานการณ์จำลอง	10
7	แผนผังโปรแกรมบทเรียนโปรแกรมเกมเพื่อการสอน	11
8	แผนผังการประมวลผลข้อสอบ	16
9	แผนผังขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	19
10	แผนผังขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	20
11	แผนผังขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

องค์ประกอบที่สำคัญประการหนึ่งในกระบวนการเรียนการสอนที่นอกเหนือไปจากผู้สอน สื่อการสอนยังช่วยเพิ่มพูนประสบการณ์ความรู้ให้แก่ผู้เรียน ช่วยให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียน ทำให้ผู้เรียนเรียนรู้ได้ดีขึ้น (ไชยยศ เรืองสุวรรณ, 2533 : 1) ดังนั้นการเลือกสื่อต้องให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้จึงจะทำให้สื่อนั้นมีคุณค่า และต้องเลือกใช้สื่อที่ก่อผลประโยชน์มากที่สุดต่อผู้เรียน (พฤฒิพงษ์ เล็กศิริรัตน์, ม.ป.ป. : 25)

ในการเรียนการสอนนั้นผู้เรียนมีศักยภาพ แตกต่างกันทั้งร่างกาย ความรู้ความสามารถ และระดับมันสมอง แม้จะมีการจัดการเรียนการสอนที่ผู้เรียนและผู้สอนสามารถโต้ตอบกันได้แล้วก็ตาม ผู้เรียนแต่ละคนจะรับรู้ได้ไม่เท่ากัน ทำให้ผู้เรียนที่เรียนช้าต้องใช้เวลามากในการเรียนรู้ ส่วนผู้เรียนที่เรียนรู้ได้เร็วต้องเสียเวลารอผู้ที่เรียนช้า ดังนั้นการพัฒนากระบวนการเรียนการสอน ตามวิวัฒนาการทางเทคโนโลยีโดยเฉพาะการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการนำเสนอบทเรียน จึงเข้ามามีบทบาทในการช่วยการจัดการเรียนการสอน

คอมพิวเตอร์ช่วยสอน นอกจากจะสามารถให้ความรู้ใหม่แก่ผู้เรียน ยังสามารถใช้ฝึกทักษะ ฝึกปฏิบัติหรือทบทวนความรู้ อีกทั้งยังเป็นวิธีที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียน ได้เรียนตามความสามารถ ของแต่ละบุคคล ทั้งผู้เรียนที่เก่งและไม่เก่งก็สามารถใช้คอมพิวเตอร์ในการเรียนได้ เช่น ทำแบบฝึกหัด หรือการสร้างสถานการณ์จำลอง สิ่งเหล่านี้ในบางครั้งจะต้องมีการเรียนซ้ำๆ กันหลายครั้งตามความ-สามารถของผู้เรียน ผู้เรียนบางคนทำได้มากบางคนทำได้น้อย บางคนอาจต้องทำหลายครั้ง บางคนทำเพียงครั้งเดียว ในลักษณะนี้เราสามารถเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้กระทำสิ่งเหล่านี้ได้โดยไม่เกิดความเบื่อหน่ายทั้งผู้สอนและผู้เรียน

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้จัดจึงเล็งเห็นประโยชน์ของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จึงสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในเรื่อง อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีชีวภาพเบื้องต้น รหัสวิชา 03632103 ในสาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อผลิตบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง "อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช" สำหรับใช้ประกอบการสอนในวิชา เทคโนโลยีชีวภาพเบื้องต้น ซึ่งเป็นวิชาในกลุ่มบังคับเรียนตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) ของสาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาครุศาสตร์-เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.3 ขอบเขตของปัญหา

ในการจัดทำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช มีจุดประสงค์เพื่อใช้ในประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีชีวภาพเบื้องต้น รหัสวิชา 03632103 ในสาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จะประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 เป็นการแนะนำบทเรียน

1. ชื่อเรื่อง อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช
2. วัตถุประสงค์ของการสร้างบทเรียน
3. ประวัติความเป็นมาของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของเนื้อหาประกอบด้วย

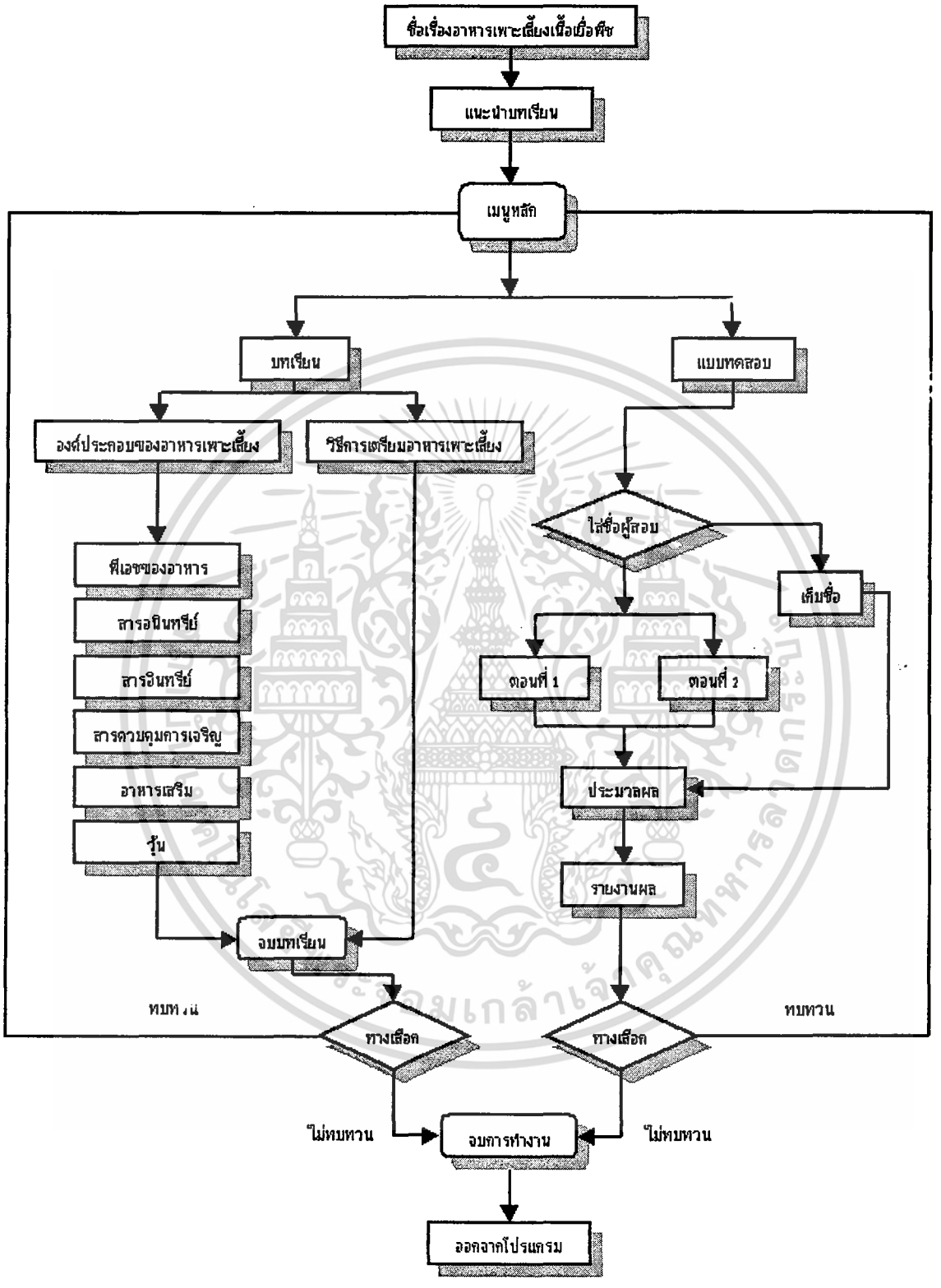
1. องค์ประกอบของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช
   - pH ของอาหาร
   - สารอนินทรีย์
   - สารอินทรีย์
   - อาหารเสริม
   - สารควบคุมการเจริญเติบโต
   - วุ้น
2. วิธีการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

ส่วนที่ 3 แบบทดสอบ

ในการทำแบบทดสอบผู้เรียนสามารถที่จะเลือกทำก่อนเข้าสู่บทเรียนและหลังการเรียนก็ได้ หลังจากการทำแบบทดสอบเสร็จก็สามารถทราบผลคะแนนได้ทันที โดยมีแบบทดสอบ 2 ตอน มีแบบเลือกตอบซึ่งเป็นส่วนเนื้อหาภาคทฤษฎีและแบบเติมคำซึ่งเป็นส่วนเนื้อหาภาคปฏิบัติ

- ทำการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ และตรวจแก้ไข
- จัดทำรูปเล่มเอกสารและคู่มือการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1 โครงสร้างของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง "อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช" สำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชา เทคโนโลยีชีวภาพเบื้องต้น รหัสวิชา 03632103 ในสาขาวิชาอุตสาหกรรม-เกษตร ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า-คุณทหารลาดกระบัง

2. ใช้เผยแพร่แก่นักศึกษาระดับปริญญาตรีปีที่ 1 (ต่อเนื่อง) สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ-ทหารลาดกระบัง เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชา เทคโนโลยีชีวภาพเบื้องต้น รหัสวิชา 03632103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ในการทำปัญหาพิเศษประเภทบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนในวิชา เทคโนโลยีชีวภาพเบื้องต้น (03632103) ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าจากเอกสารต่างๆ การสอบถามจากผู้มีประสบการณ์และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย

1. การศึกษาเอกสารเกี่ยวข้องกับการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
2. การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

2.1 การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2.1.1 ความสำคัญของคอมพิวเตอร์

การดำเนินชีวิตของคนเราในปัจจุบันมีความเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์เครื่องใช้ที่เป็นเทคโนโลยีระดับสูงมากมายหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นเครื่องใช้ในบ้าน อุปกรณ์ที่ใช้ในวงการธุรกิจ อุปกรณ์การสื่อสารโทรคมนาคม ตลอดจนถึงวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในวงการศึกษาด้วยเช่นกัน อุปกรณ์ที่เป็นเทคโนโลยีระดับสูงอย่างหนึ่งนับว่ามีบทบาทสำคัญยิ่งในชีวิตประจำวันของคนเรา คือ "คอมพิวเตอร์" ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในทุกวงการ วงการศึกษาก็เช่นกัน ที่ได้มีการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ทั้งในด้านการบริหาร การจัดการสอน และคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยการสร้างโปรแกรมบทเรียนรูปแบบต่างๆ เพื่อจัดการเรียนการสอนขึ้น ทำให้ผู้เรียนสามารถใช้ในลักษณะของการศึกษารายบุคคลได้เป็นอย่างดี (คมสัน อุดมสารเสวี, 2542 : 161)

2.1.2 ความหมายของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

จากการศึกษาความหมายของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ได้มีนักวิชาการหลายท่าน ได้กล่าวไว้ดังนี้

ยืน ภู่วรวรรณ (2531 : 121) กล่าวว่า เป็นการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการเรียนการสอน ทบทวน การทำแบบฝึกหัดหรือการวัดผลโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะนำเนื้อหาวิชา และลำดับวิธีการสอนมาบันทึกเก็บไว้ คอมพิวเตอร์จะช่วยนำบทเรียนที่เตรียมไว้อย่างเป็นระบบมาเสนอในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับผู้เรียนแต่ละคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนิษฐา ชานนท์ (2532 : 8) กล่าวว่า คอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง การนำคอมพิวเตอร์มาใช้เป็นเครื่องมือในการเรียนการสอน โดยที่เนื้อหาวิชา แบบฝึกหัดและการทดสอบจะถูกพัฒนาขึ้นมาในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งมักเรียกว่า Courseware ผู้เรียนจะเรียนบทเรียนจากคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์สามารถเสนอเนื้อหาวิชาที่อาจเป็นทั้งตัวหนังสือและกราฟฟิค สามารถถามคำถาม รับคำตอบจากผู้เรียน สามารถตรวจคำตอบแสดงผลการเรียนในรูปของข้อมูลย้อนกลับ (Feedback)ให้แก่ผู้เรียน

วีระ ไทยพาณิช (2527 : 10) กล่าวว่า คอมพิวเตอร์ช่วยสอนเป็นวิธีการเรียน ซึ่งคอมพิวเตอร์เป็นสื่อให้เนื้อหาเรื่องราว เป็นการเรียนโดยตรงและเป็นการเรียนแบบ Interacting ระหว่างนักเรียนกับคอมพิวเตอร์

ผดุง อารยะวิญญู (2527 : 41) กล่าวว่า คอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง การนำเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้เป็นเครื่องช่วยครูในการเรียนการสอน โปรแกรมสำหรับการเรียนการสอน บรรจุเนื้อหาเกี่ยวกับที่ครูจะสอน แต่แทนที่ครูจะสอนเนื้อหาวิชาด้วยตนเอง ครูก็บรรจุเนื้อหาเหล่านั้นไว้ในโปรแกรมและผู้เรียนสามารถเรียนรู้ด้วยตนเอง โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นผู้ถ่ายทอดวิชาแทนครู

ไพโรจน์ คชชา (2540 : 1) กล่าวว่า คอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง การนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการนำเสนอเนื้อหา กิจกรรม การเรียนการสอนอย่างเป็นระบบ ซึ่งนักเรียนสามารถเรียนรู้เนื้อหาและฝึกทักษะจากคอมพิวเตอร์ (อ้างโดยวชิระ วิชชุวรนันท์, 2540 : 3-4)

จากความหมายของนักวิชาการดังกล่าวข้างต้น สรุปได้ว่า คอมพิวเตอร์ช่วยสอน (Computer Assisted Instruction) หมายถึง การนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการนำเสนอบทเรียนแทนผู้สอนได้โดยที่คอมพิวเตอร์ช่วยสอนสามารถที่จะโต้ตอบกับผู้เรียนได้ อีกทั้งยังนำเสนอด้วยภาพตัวหนังสือ หรือแม้แต่ภาพเคลื่อนไหว ภาพการ์ตูนต่างๆ จึงทำให้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสามารถดึงดูดความสนใจในการเรียนของผู้เรียนได้มากขึ้นกว่าการสอนด้วยวิธีการบรรยายโดยผู้สอนตามปกติในห้องเรียนทั่วไป

2.1.3 ลักษณะของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ลักษณะบทเรียนโปรแกรม ที่นำมาใช้ในการสร้างและพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จะประกอบด้วยกรอบหลักๆ คือ กรอบให้เนื้อหาความรู้ กรอบคำถาม และกรอบแจ้งผล โดยจัดเป็นลำดับตามความเหมาะสม ซึ่งลักษณะบทเรียนโปรแกรมที่นำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้ (วชิระ วิชชุวรนันท์, 2540 : 13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แบบเชิงเส้น (Liner programming)

เป็นบทเรียนที่ต้องเรียนทีละหน่วย ตามลำดับจะข้ามหน่วยไม่ได้ (บูรณะ สมชัย, 2538 : 26) บทเรียนแบบนี้จะนำเนื้อหาที่แบ่งออกเป็นตอนเล็กๆ หรือที่เรียกว่า กรอบนำเสนอ เป็นลำดับเรียงจากง่ายไปยาก ผู้เรียนจะต้องเรียนตามลำดับกรอบที่ผู้สร้างได้โปรแกรมไว้ เมื่อผู้เรียนเรียนผ่านกรอบเนื้อหา จะมีกรอบคำถามทดสอบความเข้าใจเป็นระยะๆ ถ้าผู้เรียนตอบถูกก็จะไปเรียนในกรอบเนื้อหาลำดับต่อไป แต่ถ้าตอบผิดจะมีคำเฉลยแล้วให้ไปเรียนในกรอบลำดับต่อไป หรืออาจให้ย้อนกลับไปเรียนในกรอบเดิมก่อนจนกว่าจะตอบถูก (วชิระ วิชชุวรนันท์, 2540 : 13)

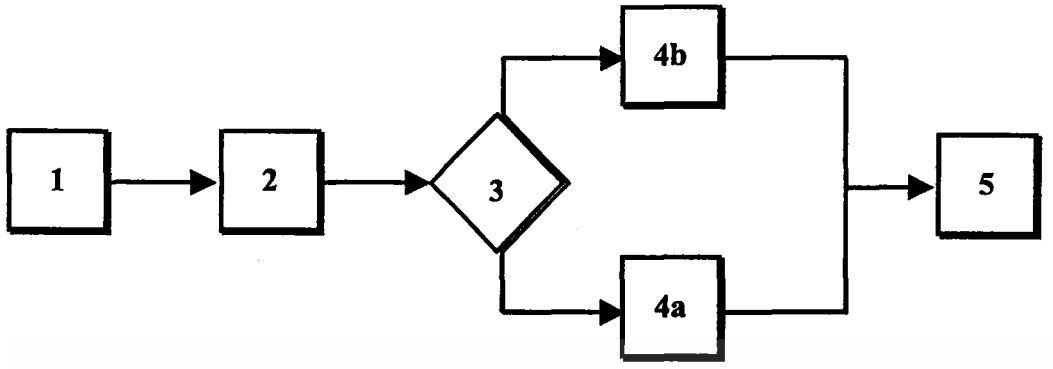
ภาพที่ 2 แผนผังบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบเชิงเส้น
ที่มา : บุปผชาติ ทัฬหิกรณ์, 2535 : 55

ลักษณะบทเรียนดังกล่าวข้างต้นไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบันเพราะจัดเรียงเนื้อหาตายตัว ผู้เรียนได้รับหรือต้องเรียนเนื้อหาเหมือนกันหมด ไม่เอื้อต่อความแตกต่างระหว่างบุคคล หากบทเรียนตอบสนองต่อผู้เรียนโดยแตกย่อยเป็นขั้นตอนที่ค่อนข้างละเอียดจะทำให้น่าเบื่อสำหรับผู้เรียนที่เรียนได้เร็ว จึงไม่เหมาะสมกับผู้เรียนที่มีความสามารถต่างกัน ซึ่งต้องเรียนผ่านทุกกรอบมาทีละกรอบเหมือนกันทุกคน (บุปผชาติ ทัฬหิกรณ์, 2535 : 54)

2. แบบไม่เชิงเส้น (Branching programming)

เป็นบทเรียนที่เชื่อมโยงระหว่างหน่วยถึงกันได้ตามความต้องการ (บูรณะ สมชัย, 2538 : 26) และสนองความแตกต่างระหว่างบุคคลได้ดี ผู้เรียนที่มีพื้นความรู้หรือสติปัญญาแตกต่างกันก็จะมีกรอบแยกให้ศึกษาตามความสามารถและความคิดเห็นของแต่ละบุคคล (วชิระ วิชชุวรนันท์, 2540 : 13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3 แผนผังบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบไม่เชิงเส้น
ที่มา : บุปผชาติ ทัฬหิกรณ์, 2535 : 55

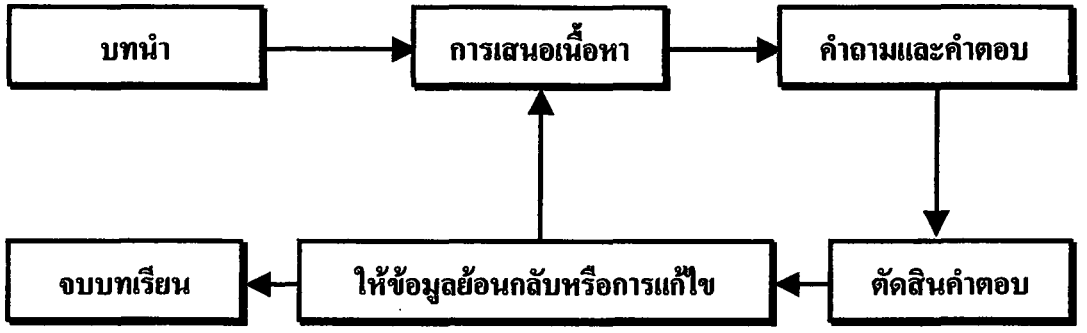
บทเรียนลักษณะนี้ได้รับความนิยมจากผู้เรียนมากกว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบเชิงเส้น เพราะมีลักษณะท้าทายและน่าสนใจกว่า (บุปผชาติ ทัฬหิกรณ์, 2535 : 55)

2.1.4 ประเภทของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

คอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีการสร้างขึ้นใช้กันหลายรูปแบบ ซึ่งสามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้ (วชิระ วิชชุวรนันท์, 2540 : 4)

1. คอมพิวเตอร์เพื่อการสอน (Tutorial instruction) บทเรียนในแบบการสอน จะเป็นโปรแกรมที่เสนอเนื้อหาความรู้เป็นเนื้อหาย่อยๆ แก่ผู้เรียนในรูปแบบของข้อความ ภาพ เสียง หรือทุกรูปแบบรวมกัน แล้วให้ผู้เรียนตอบคำถาม เมื่อผู้เรียนให้คำตอบแล้วคำตอบนั้นจะได้รับการวิเคราะห์ เพื่อให้ข้อมูลป้อนกลับทันที แต่ถ้าผู้เรียนตอบคำถามนั้นซ้ำและยังผิดอีกก็จะมีการให้เนื้อหาเพื่อทบทวนใหม่จนกว่าผู้เรียนจะตอบถูก แล้วจึงให้ตัดสินใจว่ายังคงเรียนเนื้อหาในบทนั้นอีกหรือจะเรียนในบทใหม่ต่อไป (กิดานันท์ มลิทอง, 2540 : 229) เมื่อผู้เรียนเรียนจบบทเรียน จะมีการแสดงผลการเรียนของผู้เรียนให้ทราบทันที (อดิศักดิ์ สุเฌอ, 2542 : 2)

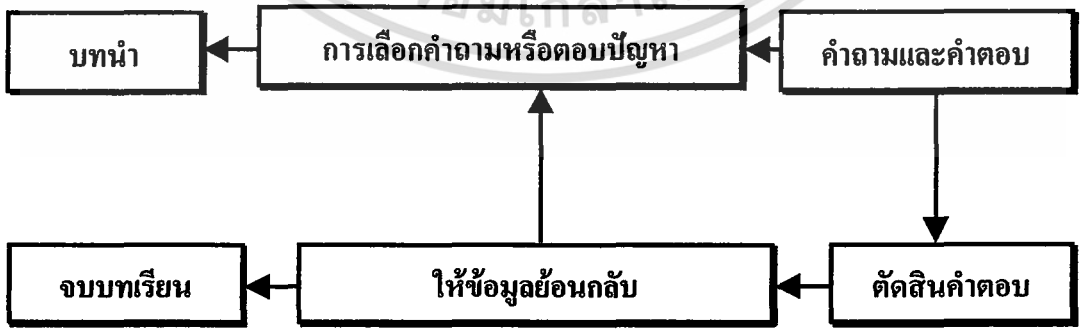
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4 แผนผังโปรแกรมบทเรียนเพื่อการสอน

ที่มา : คมสัน อุดมสารเสวี, 2542 : 170

2. คอมพิวเตอร์เพื่อการฝึกหัด (Drills and practice) บทเรียนในการฝึกหัดเป็น โปรแกรมที่ไม่มีการเสนอเนื้อหาความรู้แก่ผู้เรียนก่อน แต่จะมีคำถามหรือปัญหาที่ได้คัดเลือกมาจากการสุ่ม หรือออกแบบมาโดยเฉพาะ โดยการนำเสนอคำถามหรือปัญหานั้นซ้ำแล้วซ้ำเล่า เพื่อให้ผู้เรียนตอบ แล้วมีการให้คำตอบที่ถูกต้องเพื่อการตรวจสอบยืนยันหรือแก้ไข และพร้อมกับให้คำถามหรือปัญหาต่อไปอีกจนกว่าผู้เรียนจะสามารถตอบคำถามหรือแก้ปัญหานั้นจนถึงระดับเป็นที่น่าพอใจ ดังนั้นในการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อการฝึกหัดนี้ ผู้เรียนจึงจำเป็นต้องมีความคิดรวบยอดและมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องราวและกฎเกณฑ์เกี่ยวกับเรื่องนั้นๆ เป็นอย่างดีมาก่อน แล้วจึงจะสามารถตอบคำถามหรือแก้ปัญหาได้ (คมสัน อุดมสารเสวี, 2542 : 171) ซึ่งเนื้อหาจะมีลักษณะฝึกทักษะ ผู้เรียนในเรื่องใดเรื่องหนึ่งโดยเฉพาะ เริ่มจากบทนำ เลือกคำถาม ตอบคำถามและคำตอบ ตัดสินคำตอบ รู้ผลคำตอบ ผู้เรียนจะย้อยกลับมาฝึกจนถึงเกณฑ์ในระดับที่พึงพอใจได้ (วัฒนาพร ระงับทุกข์, 2542 : 28)

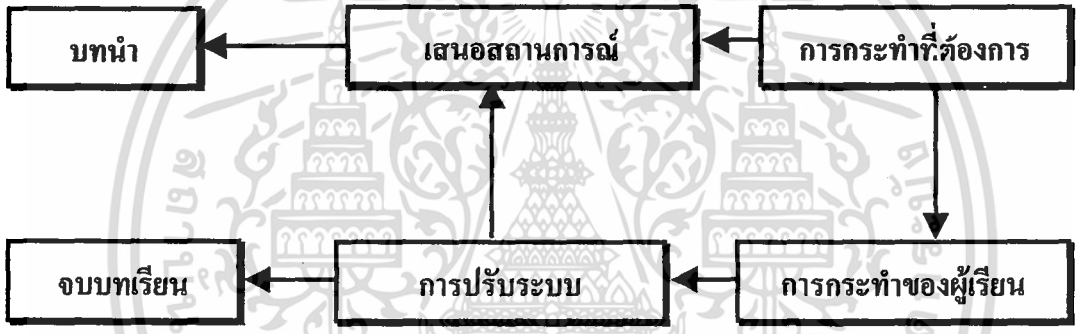


ภาพที่ 5 แผนผังโปรแกรมบทเรียนเพื่อการฝึกหัด

ที่มา : คมสัน อุดมสารเสวี, 2542 : 171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

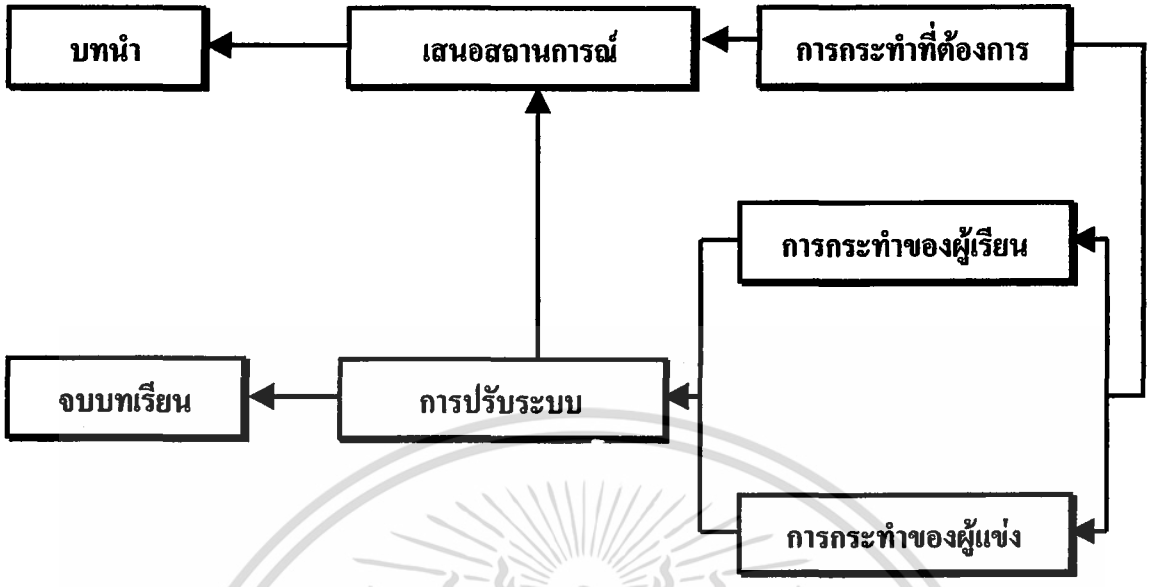
3. คอมพิวเตอร์ในสถานการณ์จำลอง (Simulation) ในการสร้างโปรแกรมบทเรียน ที่เป็นสถานการณ์จำลองเพื่อใช้ในการเรียนการสอน ซึ่งจำลองความเป็นจริงโดยตัดรายละเอียดต่างๆ หรือนำกิจกรรมที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงให้ผู้เรียนได้ศึกษานั้น เป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้พบเห็นภาพจำลองของเหตุการณ์ เพื่อการฝึกทักษะและการเรียนรู้ได้โดยไม่ต้องเสี่ยงภัยหรือเสียค่าใช้จ่ายมากนัก (ภุชงค์ อังคปรีชาเศรษฐ์, 2535 : 31) คอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทนี้อาจจะประกอบไปด้วย การเสนอความรู้ ข้อมูล ในรูปของสถานการณ์จำลอง การแนะนำผู้เรียนเกี่ยวกับทักษะ เพื่อช่วยในการตัดสินใจของผู้เรียน การฝึกปฏิบัติ เพื่อเพิ่มพูนความชำนาญและความคล่องแคล่ว และการแสดงผลลัพธ์จากการตัดสินใจให้ผู้เรียนทราบ สถานการณ์ที่เป็นการเคลื่อนไหว และเลียนแบบของจริงนั้น เราสามารถใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทนี้ได้เป็นอย่างดี (อดิศักดิ์ สุเฌอ, 2542 : 4)



ภาพที่ 6 แผนผังโปรแกรมบทเรียนในสถานการณ์จำลอง
ที่มา : คมสัน อุดมสารเสวี, 2542 : 172

4. คอมพิวเตอร์ในเกมเพื่อการสอน (Instructional games) เป็นบทเรียนที่ให้ความรู้ในลักษณะของการแข่งขันกับตนเอง หรือกับผู้อื่น มีกำหนดกฎเกณฑ์ในการเล่น สร้างขึ้นมาจากจินตนาการจึงทำให้น่าสนใจ รู้สึกสนุก ตื่นเต้น ไม่เบื่อหน่าย ในขณะเดียวกันก็จะช่วยพัฒนาความคิดด้านต่างๆของผู้เรียนได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าและปัญหาระยะยาว (วชิระ วิชชุวรนันท์, 2540 : 5) และเป็นคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ผู้เรียนชอบมากที่สุด เพราะทำให้ผู้เรียนมีความสนุกการเรียนรู้ที่เกิดจากแรงจูงใจภายใน เช่น ความสนุกสนาน ความเพลิดเพลิน ฯลฯ จะทำให้เกิดผลดีต่อการเรียนรู้ (อดิศักดิ์ สุเฌอ, 2542 : 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7 แผนผังโปรแกรมบทเรียนโปรแกรมเกมเพื่อการสอน
ที่มา : คมสัน อุดมสารเสวี, 2542 : 173

5. คอมพิวเตอร์ในการสาธิตและทดลอง (Demonstrations and laboratory) เป็นบทเรียนที่แสดงเรื่องราว ปรากฏการณ์ หรือเสนอขั้นตอนการทดลองให้กับผู้เรียนได้ศึกษาโดยไม่ต้องปฏิบัติจริง หรือให้ผู้เรียนได้ศึกษาการทดลองจากเครื่องควบคู่ไปกับการทดลองจริงในห้องปฏิบัติการ ซึ่งบทเรียนจะมีข้อแนะนำตั้งแต่การเตรียมเครื่องมือว่ามีครบ ถูกต้องหรือไม่ บอกขั้นตอนการทดลอง แสดงผลการทดลองจากเครื่อง ถ้าผลการทดลองระหว่างเครื่องกับผลของผู้เรียนแตกต่างกัน คอมพิวเตอร์จะชี้แนะให้ผู้เรียนตรวจสอบหาข้อผิดพลาดจนกว่าจะได้ผลสรุปที่ถูกต้องตรงกัน (วชิระ วิชชุวรนันท์, 2540 : 5)

6. คอมพิวเตอร์เพื่อการค้นพบ (Discovery) การค้นพบ เป็นการเปิดโอกาสให้ ผู้เรียนสามารถเรียนรู้จากประสบการณ์ของตนเองให้มากที่สุด โดยการเสนอปัญหาให้ผู้เรียนแก้ปัญหาด้วยการลองผิดลองถูก หรือโดยวิธีการจัดระบบเข้าช่วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะให้ข้อมูลแก่ผู้เรียน เพื่อช่วยในการค้นพบนั้นจนกว่าจะได้ข้อสรุปที่ดีที่สุด (คมสัน อุดมสารเสวี, 2542 : 174)

7. คอมพิวเตอร์เพื่อการแก้ปัญหา (Problem solving) เป็นการให้ผู้เรียนฝึกการคิด การตัดสินใจโดยมีการกำหนดเกณฑ์ให้ผู้เรียนพิจารณาไปตามเกณฑ์นั้น โปรแกรมเพื่อการแก้ปัญหาแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ โปรแกรมที่ให้ผู้เรียนเขียนเอง และโปรแกรมที่มีผู้เขียนไว้แล้ว เพื่อช่วยผู้เรียนในการแก้ปัญหา ถ้าเป็นโปรแกรมที่ให้ผู้เรียนเขียนเอง ผู้เรียนจะเป็นผู้กำหนดปัญหาและเขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสำหรับแก้ปัญหานั้น โดยที่คอมพิวเตอร์จะช่วยในการคิดคำนวณและหาคำตอบที่ถูกต้องให้ ในกรณีนี้คอมพิวเตอร์จึงเป็นเครื่องช่วยเพื่อให้ผู้เรียนบรรลุถึงทักษะของการแก้ปัญหาโดยการคำนวณข้อมูลและจัดการสิ่งที่ยุ่งยากซับซ้อนให้ แต่ถ้าเป็นการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรมที่มีผู้เขียนไว้แล้ว คอมพิวเตอร์จะทำการคำนวณในขณะที่ผู้เรียนเป็นผู้จัดการกับปัญหาเหล่านั้นเอง เช่น ในการหาพื้นที่ของที่ดินแปลงหนึ่ง ปัญหามิได้อยู่ที่ว่า ผู้เรียนจะคำนวณหาพื้นที่ได้เท่าไร แต่ขึ้นอยู่กับว่าจะจัดการหาพื้นที่ได้อย่างไรเสียก่อน ดังนี้เป็นต้น (กิดานันท์ มลิทอง, 2540 : 229)

8. คอมพิวเตอร์เพื่อการทดสอบ (Tests) การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการทดสอบนั้น มิใช่เป็นการใช้เพียงเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแบบทดสอบเพื่อวัดความรู้ของผู้เรียนเท่านั้น แต่ยังช่วยให้ผู้สอนมีความรู้สึกที่เป็นอิสระจากการผูกมัดทางด้านกฎเกณฑ์ต่างๆ เกี่ยวกับการทดสอบได้อีกด้วย เนื่องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะสามารถช่วยเปลี่ยนแปลงการทดสอบจากแบบแผนเก่าๆ ของปรนัยหรือคำถามจากบทเรียน มาเป็นการทดสอบแบบมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างคอมพิวเตอร์กับผู้เรียนหรือผู้ที่ได้รับการทดสอบ ซึ่งเป็นที่น่าสนุกและน่าสนใจกว่า พร้อมกันนั้นก็อาจเป็นการสะท้อนถึงความสามารถของผู้เรียนที่จะนำความรู้ต่างๆ มาใช้ในการตอบได้อีกด้วย (ภุชงค์ อังคปรีชาเศรษฐ์, 2535 : 33)

2.1.5 คุณลักษณะของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ถนอมพร เลาหจรัสแสง (อ้างโดย อดิศักดิ์ สุเฌอ, 2542 : 7-8) ได้กล่าวว่า ในปัจจุบันได้มีบริษัทต่างๆ ผลิตสื่อการสอนทางคอมพิวเตอร์ขึ้นมาเป็นจำนวนมากซึ่งใช้มัลติมีเดียในการนำเสนอเนื้อหา โดยอยู่ในรูปของ ซีดี-รอม ทำให้เกิดความสับสนว่า สื่อเหล่านั้นเป็นคอมพิวเตอร์ช่วยสอนหรือไม่ จริงๆ แล้วสื่อเหล่านั้นเป็นเพียงแค่สื่อที่ใช้ในการนำเสนอเนื้อหาเท่านั้น ไม่ได้เป็นคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เพราะขาดคุณลักษณะของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สมบูรณ์ ซึ่งได้มีเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาคุณลักษณะของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สมบูรณ์ 4 ประการ

1. สารสนเทศ (Information) คือ เนื้อหาสาระในบทเรียนที่ได้มีการเรียบเรียงจัดลำดับมาเป็นอย่างดี ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ที่ผู้สร้างกำหนดไว้ ซึ่งการนำเสนอเนื้อหาสาระอาจนำเสนอในลักษณะทางตรงหรือทางอ้อมก็ได้ การนำเสนอเนื้อหาสาระทางตรง ได้แก่ การนำเสนอในเนื้อหาในคอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทเพื่อการสอน ซึ่งผู้เรียนจะได้รับความรู้อย่างตรงไปตรงมาจากการอ่าน จำและฝึกฝน การนำเสนอเนื้อหาสาระในลักษณะทางอ้อม ได้แก่ การนำเสนอเนื้อหาในคอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทเกมส์หรือสถานการณ์จำลอง ซึ่งเนื้อหาสาระจะถูกแฝงไว้ในรูปเกมส์ต่างๆ ผู้เรียนจะได้รับความรู้จากการได้ฝึกการคิดและการตัดสินใจ

2. ความแตกต่างระหว่างบุคคล (Individualization) การตอบสนองความแตกต่างระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บุคคลเป็นลักษณะสำคัญของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เพราะคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเป็นสื่อการเรียน-การสอนที่ผู้เรียนสามารถเรียนได้ด้วยตนเอง ดังนั้นเราจะต้องออกแบบให้คอมพิวเตอร์ช่วยสอนสามารถสนองความแตกต่างระหว่างบุคคลให้มากที่สุด โดยจะต้องให้ผู้เรียนมีอิสระในการเรียน สามารถควบคุมการเรียนของตนเองได้ เช่น สามารถที่จะเลือกส่วนใด ข้ามส่วนใดหรือออกจากบทเรียนเมื่อใดก็ได้ สามารถเลือกข้อมูลที่ต้องการเรียนตามความสนใจได้ สามารถกำหนดเวลาในการเรียนแต่ละหน้าจอได้ สามารถที่จะเลือกทำแบบทดสอบหรือไม่ทำก็ได้

3. การโต้ตอบ (Interaction) การโต้ตอบ หรือการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับคอมพิวเตอร์เป็นลักษณะที่สำคัญประการหนึ่งของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ซึ่งคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ดีจะต้องมีการออกแบบให้มีการโต้ตอบผู้เรียนกับคอมพิวเตอร์อย่างต่อเนื่องและตลอดทั้งบทเรียน การให้ผู้เรียนคลิกเมาส์เพื่อเปลี่ยนหน้าจอไปเรื่อยๆ ไม่เพียงพอ สำหรับการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ การโต้ตอบอาจอยู่ในรูปแบบของการให้ผู้เรียนพิมพ์คำตอบ, เลือกตอบ, จับคู่, หรือกาถูก-ผิด ก็ได้

4. การให้ข้อมูลย้อนกลับทันที (Immediate feedback) คอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สมบูรณ์จะต้องมีแบบฝึกหัดหรือแบบทดสอบ ให้ผู้เรียนทำเพื่อประเมินความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนว่า ผู้เรียนสามารถบรรลุตามจุดมุ่งหมายที่ผู้สร้างได้ตั้งไว้หรือไม่ เมื่อผู้เรียนได้ทำแบบฝึกหัดแล้วจะต้องให้ข้อมูลย้อนกลับทันที เพื่อให้ผู้เรียนสามารถตรวจสอบผลการเรียนของตนเองได้ และเป็นการเสริมแรงเพื่อให้กำลังใจแก่ผู้เรียนที่จะเรียนต่อไป ลักษณะของการให้ข้อมูลย้อนกลับทันทีเป็นสิ่งที่ทำให้คอมพิวเตอร์ช่วยสอนแตกต่างไปจากมัลติมีเดีย ซีดี-รอม ที่วางขายในท้องตลาดโดยทั่วไป เพราะมัลติมีเดีย ซีดี-รอมส่วนใหญ่มักจะนำเสนอ เนื้อหา เรื่องราวต่างๆเพียงอย่างเดียว จะไม่มีการให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด ดังนั้นจึงไม่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับ (อดิศักดิ์ สุเฌอ, 2542 : 7-8)

2.1.6 โครงสร้างของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

โครงสร้างบทเรียน เป็นผังแสดงองค์ประกอบและรูปแบบการนำเสนอบทเรียน โครงสร้างของบทเรียนอาจมีรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบมีแนวคิดหรือมีความเชื่อในทฤษฎีที่เกี่ยวกับรูปแบบการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในแนวใด แต่โดยทั่วไปโครงสร้างบทเรียนจะมีองค์ประกอบหลักๆ ดังนี้ (วชิระ วิชชุวรนันท์, 2540 : 22)

Computer assisted instruction (CAI) จะประกอบด้วย 3 ลักษณะ คือ

1. การนำเสนอ (Presentation)
2. การปฏิสัมพันธ์ (Interaction)
3. การประมวลผล (Evaluation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การนำเสนอ (Presentation) คือ การนำเสนอข้อมูลหรือเนื้อหาบทเรียน เพื่อให้ผู้-เรียนเข้าใจในเนื้อหานั้นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ เข้าใจตามวัตถุประสงค์ ไม่ว่าจะเป็นขั้น-ความรู้ (Cognitive domain) ขั้นความจำ (Effective domain) หรือขั้นนำไปใช้ (Phycho-motive domain) ในเวลาจำกัด จึงจะเรียกได้ว่า "มีประสิทธิภาพ" (Efficiency) และการที่จะนำเสนอให้มีประสิทธิภาพนั้นต้องนำเสนอด้วยระบบมัลมีติเดีย ได้แก่

1. สไลด์โชว์ (Slide Show) คือ การพลิกไปทีละหน้า หรือเลื่อนขึ้นลง เหมือนอ่านหนังสือมีการเชื่องโยงไปหน้าอื่นที่ต้องการความหมายหรือคำอธิบายเพิ่มเติม โดยไม่จำเป็นต้องเรียงลำดับหน้าที่เรียกกันว่า ไฮเปอร์เท็กซ์ (Hyper text) และอาจมีเสียงบรรยาย (Sound) หรือเสียงดนตรี (Midi) ประกอบด้วย

2. อะนิเมชัน (Animation) คือ การนำเสนอที่มีภาพเคลื่อนไหว ในลักษณะเคลื่อนทั้งภาพ (Movement) และภาพเคลื่อน (Animation) เช่น การ์ตูนหรือการทำงานของชิ้นส่วน หรือการทำงานของเครื่องยนต์ เป็นต้น ในความเป็นจริงเราไม่สามารถมองเห็นลูกสูบทำงานได้ แต่สามารถสร้างสถานการณ์จำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ และยิ่งถ้ามีเสียงประกอบให้เหมือนจริงก็ยิ่งดึงดูดความสนใจผู้เรียนได้เป็นอย่างดี

3. วิดีโอหรือภาพยนตร์ (Video and movies) คือ การนำเสนอด้วยลักษณะของ-ภาพยนตร์โดยจะมีความเหมือนจริงทั้งภาพและเสียง ในบางตอนอาจนำเอาอะนิเมชันมาประกอบเพื่อให้เข้าใจง่าย เช่น การทำสื่อโฆษณาทางโทรทัศน์ เป็นต้น ถือได้ว่าเป็นการนำเสนอที่ดีที่สุด

2. การปฏิสัมพันธ์ (Interaction) คือ การโต้ตอบกับผู้เรียน ในกระบวนการเรียนการ-สอนที่มีประสิทธิภาพที่สุดนั้น จะต้องเป็นแบบสื่อสาร 2 ทาง หรือ "Two-way communication" เช่น นักเรียนในห้องสามารถถามครูผู้สอนได้เมื่อไม่เข้าใจเนื้อหา หรือครู-อาจารย์ซักถามนักเรียนเพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์การเรียนได้ แต่ถ้าดูการเสนออย่างเดียว ไม่มีการโต้ตอบหรือสอบถามได้ เช่น ดูโทรทัศน์ เป็นต้น เรียกว่าสื่อสารทางเดียวหรือ "One-way communication" ก็จะมีการเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนได้ระดับหนึ่ง ขึ้นอยู่กับ "อายุสมาธิ" ของผู้เรียน การปฏิสัมพันธ์จึงจัดเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของ CAI

ลักษณะการปฏิสัมพันธ์ (Interactive) กับ CAI นั้นได้แก่

1. Mouse-click คือ ใช้เมาส์คลิกที่ออบเจ็กต์ เช่น พลิกหน้า เลื่อนหน้า (Scroll) ขึ้น-ลง, เลื่อน ซ้าย-เลื่อนขวา, เชื่อมโยงไปหน้าอื่น หรือไปสื่ออื่น เป็นต้น
2. Hot-key คือ ใช้นิ้วกดแป้นคีย์บอร์ดลัด เช่น แป้นลูกศร แป้นอักษร Y = Yes (Ture), N = No เป็นต้น

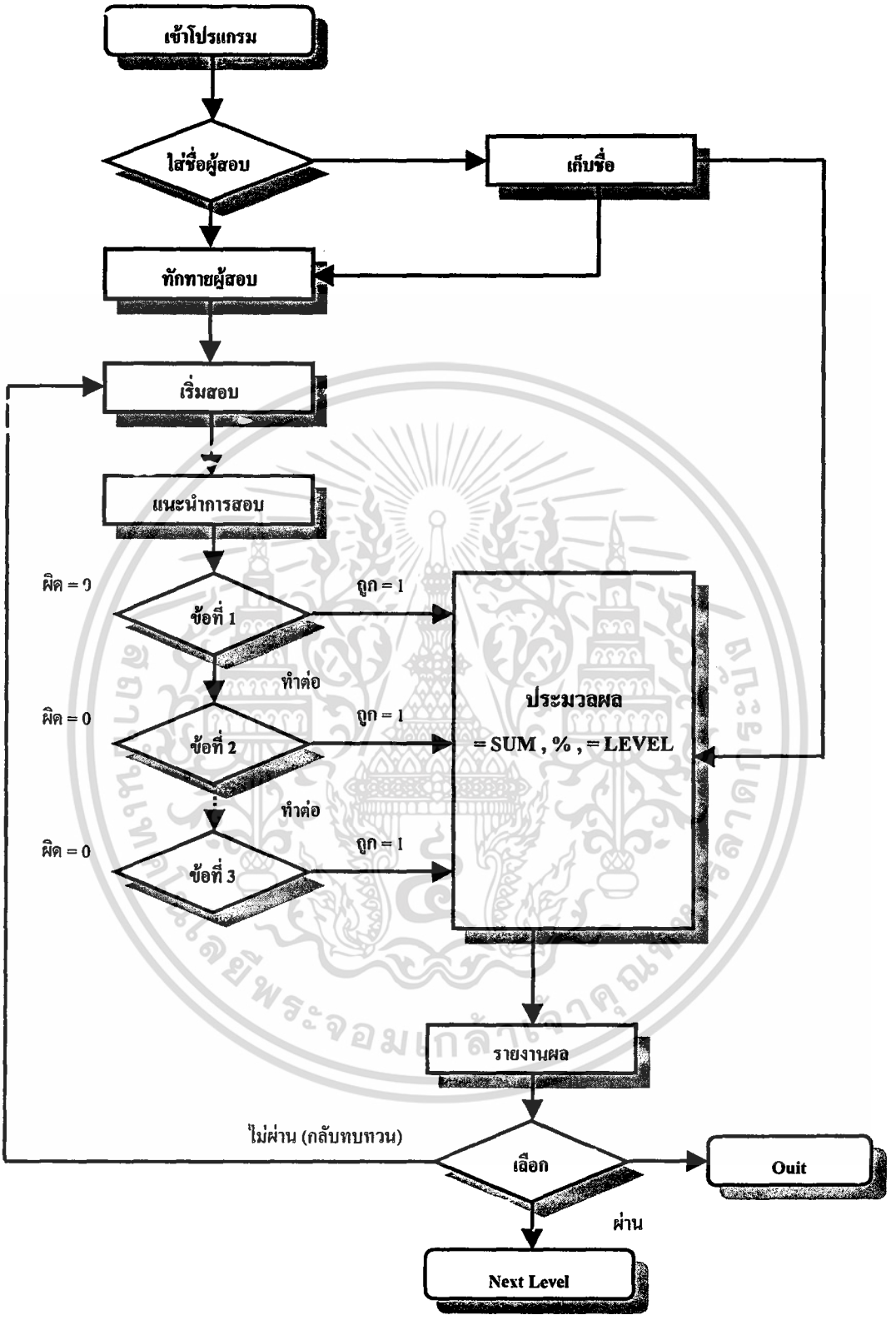
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Text-matching คือ การพิมพ์ข้อความตามเงื่อนไข ถ้าตรงตามเงื่อนไขจะเป็นจริง (Ture) ถ้าไม่ตรงตามก็จะเป็นเท็จ (Fals) เช่น เติมคำในช่องว่าง พิมพ์ตัวเลขเพื่อนำไปประมวลผล เป็นต้น
4. Time คือ กำหนดเวลาให้กระทำ จะเป็นตัวเร่งที่ทำให้ผู้เรียนมีความสนใจ ต่อเนื้อหาบท เรียน
5. Sound คือ การใช้เสียงเป็นสื่อโต้ตอบกับบทเรียน เช่น ฝึกการอ่านภาษา ถ้าอ่านไม่ถูกหรือเสียงเพี้ยนก็จะให้ทบทวนใหม่หรือผ่านไปหน้าต่อไปไม่ได้ เป็นต้น

3. การประมวลผล (Evaluation) คือ การประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียนโดยจะรวบรวมผลของการโต้ตอบที่ต้องการมาเป็นข้อมูลและคำนวณผลออกมา โดยจะออกมาเป็น "เปอร์เซนต์" เป็น "เกณฑ์"หรือเป็น "เกรด" ก็ได้ โดยปกติแล้วจะประเมินผลเพื่อเหตุผลต่อไปนี้

1. วัดผลการสอบหรือวัดผลสัมฤทธิ์ของการเรียนรู้
2. หาความเป็นมาตรฐานของข้อสอบ เช่น หาคำตอบเชื่อมั่น ข้อสอบมาตรฐาน เป็นต้น
3. หาเกณฑ์ตัดสิน เช่น ผ่าน-ไม่ผ่าน หรือไปเรียนในระดับหรือหน่วยต่อไปได้ (บูรณะ สมชัย, 2542 : 27)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 8 แผนผังการประมวลผลข้อสอบ

ที่มา : บูรณะ สมชัย, 2542 : 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.1.7 ข้อควรคำนึงถึงในการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

Hunnafin and Feck (อ้างโดย วชิระ วิชชุวรนันท์, 2540 : 25-26) ได้ให้แนวคิดในการสร้างและพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนและลักษณะของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ดีไว้ 12 ประการ ดังต่อไปนี้

1. สร้างขึ้นตามวัตถุประสงค์ของการสอน เพื่อให้ผู้เรียน ได้เรียนจากบทเรียนนั้น มีความรู้ ทักษะและทัศนคติ ที่ผู้สอนได้ตั้งไว้ และผู้เรียนสามารถประเมินผลด้วยตนเองว่าบรรลุจุดประสงค์แต่ละข้อหรือไม่

2. บทเรียนที่ดีควรเหมาะสมกับลักษณะของผู้เรียน การสร้างบทเรียนต้องคำนึงถึง ผู้เรียนเป็นสำคัญว่า ผู้เรียนมีความรู้ความสามารถ พื้นฐานเดิมอยู่ในระดับชั้นใด ไม่ควรยากหรือง่ายเกินไป

3. บทเรียนที่ดีควรมีปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียนให้มากที่สุด เพราะการเรียนจากคอมพิวเตอร์ช่วยสอนควรมีประสิทธิภาพมากกว่าการเรียนจากหนังสือ เพราะสามารถสื่อสารกับผู้เรียนได้ 2 ทาง

4. บทเรียนที่ดีควรมีลักษณะเป็นการเรียนการสอนรายบุคคล ผู้เรียนสามารถเลือกเรียนหัวข้อที่ตนเองต้องการและข้ามบทเรียนที่ตนเองเข้าใจแล้วได้ แต่ถ้าเรียนบทเรียนที่ตนเองยังไม่เข้าใจ ก็สามารถเรียนซ่อมเสริมจากข้อแนะนำของคอมพิวเตอร์ได้

5. บทเรียนที่ดีควรคำนึงถึงความสนใจของผู้เรียน มีลักษณะ เร้าความสนใจตลอดเวลา เพราะจะทำให้ผู้เรียนเกิดความกระตือรือร้นที่จะเรียนอยู่เสมอ

6. บทเรียนควรสร้างความรู้สึกในทางบวกกับผู้เรียน ควรให้ผู้เรียนเกิดความรู้สึก เพลิดเพลิน เกิดกำลังใจ และควรหลีกเลี่ยงการลงโทษ

7. ควรจัดทำบทเรียนให้แสดงผลย้อนกลับไปยังผู้เรียนให้มากๆ โดยเฉพาะการแสดงผลย้อนกลับในทางบวก จะทำให้ผู้เรียนชอบ ไม่เบื่อง่าย

8. บทเรียนที่ดี ควรเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมทางการเรียนการสอน บทเรียนควรปรับเปลี่ยนให้ง่ายต่อกลุ่มผู้เรียน เหมาะกับการจัดตารางเวลาเรียน สถานที่ติดตั้งเครื่องเหมาะสม และควรคำนึงถึงการใส่เสียง ระดับเสียง หรือดนตรีประกอบควรเป็นที่ดึงดูดใจผู้เรียนด้วย

9. บทเรียนที่ดี ควรมีการประเมินผลการปฏิบัติงาน ของผู้เรียนอย่างเหมาะสม ควรหลีกเลี่ยงคำถามที่ง่ายและตรงเกินไป ควรเลี่ยงคำหรือข้อความในคำถามที่ไร้ความหมาย การตัดสินคำตอบควรให้แจ่มแจ้ง ไม่คลุมเครือ และไม่เกิดความสับสนหรือขัดแย้งกับคำตอบ

10. บทเรียนควรใช้กับคอมพิวเตอร์ซึ่งจะใช้เป็นแหล่งทรัพยากรทางการเรียน อย่างชาญฉลาดไม่ควรเสนอบทเรียนในรูปอักษรอย่างเดียว หรือเรื่องราวที่พิมพ์อักษรตลอด ควรใช้สมรรถนะของคอมพิวเตอร์อย่างเต็มที่ เช่น การเสนอด้วยภาพ ภาพเคลื่อนไหว ผสมตัวอักษร หรือให้มีแสง เสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

47206

เน้นที่คำสำคัญ หรือวลีต่างๆ เพื่อขยายความคิดของผู้เรียนให้กว้างไกลยิ่งขึ้น ผู้สร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ควรตระหนักในสมรรถนะของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่ ตลอดจนข้อจำกัดต่างๆ ของคอมพิวเตอร์ด้วย เพื่อหลีกเลี่ยงความสูญเสีย สิ่งสนุกเพลิดเพลินจากเครื่อง เช่น ภาพเคลื่อนไหวปรากฏช้าเกินไป การแบ่งส่วนย่อยๆ ของโปรแกรมมีขนาดใหญ่เกินไป ทำให้ไม่สะดวกต่อการใช้

11. บทเรียนที่ดีต้องอยู่บนพื้นฐานของการออกแบบการสอน คล้ายๆ กับการผลิตสื่อชนิดอื่นๆการออกแบบบทเรียนที่ดีย่อมจะเร้าความสนใจของผู้เรียนได้มากกว่า การออกแบบบทเรียนย่อมประกอบด้วย การตั้งวัตถุประสงค์ของบทเรียน การจัดลำดับขั้นตอนของการสอนและสำรวจทักษะที่จำเป็นของผู้เรียน เพื่อให้การเรียนบรรลุวัตถุประสงค์ที่วางไว้ จึงควรจัดลำดับขั้นตอนการสอนให้ดี มีการวัดผล และแสดงผลย้อนกลับให้ผู้เรียนทราบ มีแบบฝึกหัดที่พอเพียงและการประเมินผลขั้นสุดท้าย เป็นต้น

12. บทเรียนที่ดีควรมีการประเมินผลทุกแง่ทุกมุม เช่น การประเมินคุณภาพของผู้เรียน ประสิทธิภาพของบทเรียน ความสวยงาม ความตรงประเด็น และตรงกับทัศนคติของผู้เรียน เป็นต้น (วชิระ วิชชุวรนันท์, 2540 : 25-26)

2.1.8 ขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเป็นงานวิจัยและพัฒนาทางการศึกษาแบบหนึ่งซึ่งเป็นการบูรณาการศาสตร์หลายศาสตร์เข้าด้วยกัน เช่น การพัฒนาการสอนจิตวิทยาการเรียนรู้ การสื่อสาร บทเรียนโปรแกรม วิธีระบบตลอดจนหลักการและเทคนิคทางคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ซึ่งศาสตร์ดังกล่าวทั้งหลายข้างต้น ก็คือพื้นฐานของเทคโนโลยีการศึกษานั่นเอง การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจึงเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการออกแบบการสอน โดยใช้หลักการของวิธีระบบเป็นแนวทาง

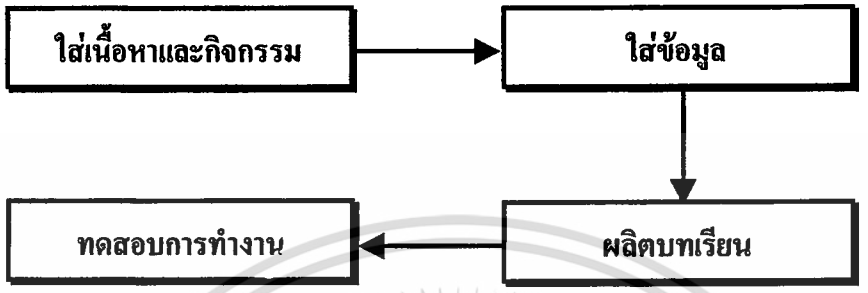
ขั้นตอนในการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ได้มีนักศึกษาหลายท่านได้กล่าวไว้ดังนี้

วาสนา ศรีอัครลาภ (อ้างโดย กรมการศึกษานอกโรงเรียน, 2543 : 9) กล่าวไว้ว่า ขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. การใส่เนื้อหาและกิจกรรมโดยคำนึงถึงข้อมูลที่แสดงบนจอ สิ่งที่คาดหวังและการตอบสนองและข้อมูลสำหรับการควบคุมการตอบสนอง
2. การใส่ข้อมูลและบันทึกการสอน
3. การผลิตบทเรียน โดยการใช้โปรแกรมสำหรับการสร้างบทเรียนโดยเฉพาะ หรือใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ภาษาใดภาษาหนึ่ง โดยมีการตรวจสอบข้อผิดพลาดต่างๆ
4. การทดสอบการทำงานโดยการนำโปรแกรมที่สร้างไปให้ครูผู้สอนเนื้อหา ตรวจดูความถูกต้องบนจอภาพ อาจมีการแก้ไขโปรแกรมในบางส่วน และนำไปทดสอบกับผู้เรียน ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพการใช้งานจริง เพื่อทดสอบการทำงานของโปรแกรมและหาข้อบกพร่องที่คาดไม่ถึง เพื่อนำข้อมูลเหล่านั้นมาปรับปรุงแก้ไขโปรแกรมเพื่อนำไปใช้ต่อไป

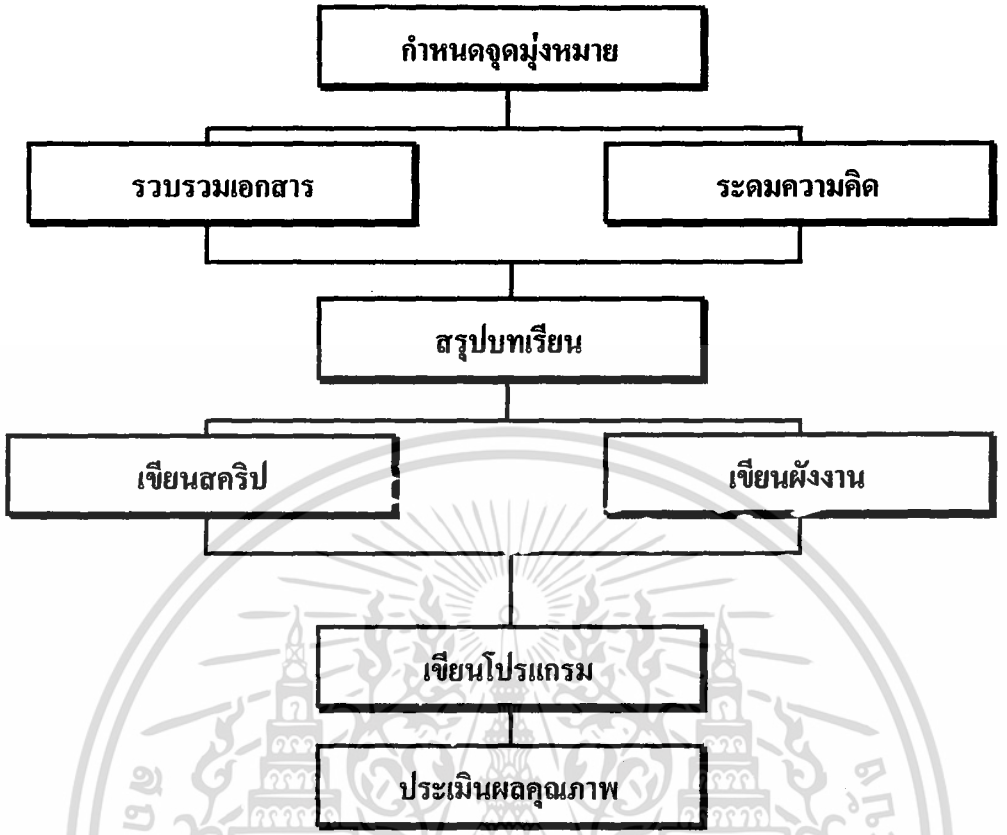


ภาพที่ 9 แผนผังขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (วาสนา ศรีอัครลาภ)

Alessi and Trollip (อ้างโดย วชิระ วิชชุวรนันท์, 2540 : 21) ได้วางแนวทางในการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไว้ 8 ขั้น คือ

1. กำหนดจุดมุ่งหมายของบทเรียน
2. รวบรวมเอกสารต่างๆตลอดจนวัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็น
3. ระดมความคิดจากแหล่งต่างๆเพื่อทำเป็นบทเรียน
4. สรุปเป็นบทเรียนของตนเอง
5. ผลิตบทเรียนเป็นกรอบภาพลงกระดาษ
6. เขียนผังงานของบทเรียน
7. เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์
8. ประเมินผลคุณภาพ และประสิทธิภาพของบทเรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 10 แผนผังขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (Alessi and Trollip)

จากแนวคิดของนักการศึกษาดังกล่าวข้างต้น พอจะสรุปได้ว่า การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยทั่วไปจะมีขั้นตอนดังนี้

1. การวิเคราะห์เนื้อหา
   1.1 กำหนดจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
   1.2 กำหนดขอบข่ายของเนื้อหา
   1.3 กำหนดลำดับขั้นตอนการทำงาน เช่น ภาษา จอภาพ ตัวอักษร หลักจิตวิทยา ประเมินผลความสนใจ
   1.4 เขียนบทสคริปหรือผังงาน
2. ขั้นการสร้างบทเรียน
   2.1 สร้างบทเรียนตามสคริป
   2.2 สร้างคู่มือการใช้บทเรียน เช่น คู่มือครู คู่มือนักเรียน คู่มือการใช้โปรแกรม
3. ขั้นทดลองใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

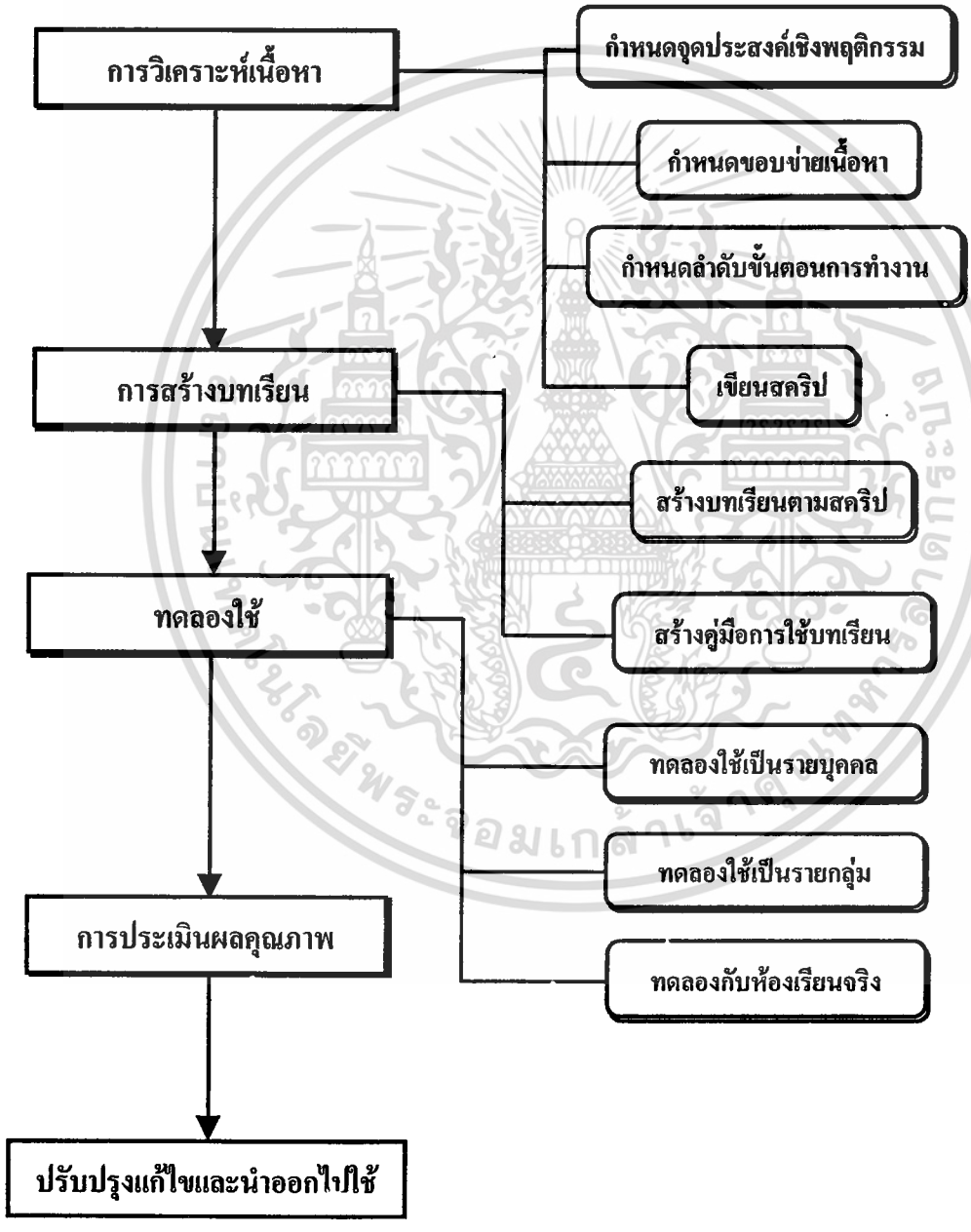
3.1 ทดลองใช้เป็นรายบุคคล และปรับปรุงแก้ไข

3.2 ทดลองใช้เป็นกลุ่มเล็ก และปรับปรุงแก้ไข

3.3 ทดลองกับห้องเรียนจริง

4. ขั้นการประเมินผลคุณภาพ

5. ขั้นปรับปรุงแก้ไขและนำออกไปใช้



ภาพที่ 11 แผนผังขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.9 โปรแกรมที่ใช้สร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

โปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีอยู่หลายโปรแกรม ได้แก่ โปรแกรมToolbook , โปรแกรมDirector และโปรแกรม Authorware ซึ่งโปรแกรม Authorware มีความสามารถเรียนรู้การใช้งานได้อย่างง่ายดาย โดยที่ไม่จำเป็นต้องมีความรู้เรื่องการเขียนโปรแกรมเลย อีกทั้งสามารถพัฒนาบทเรียนได้เป็นอย่างดี

โปรแกรม Authorware จัดเป็นโปรแกรมประเภท Authorware system ที่ใช้สำหรับพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ใช้งานที่มีความสามารถในการโต้ตอบกับผู้ใช้ โดยเฉพาะโปรแกรมด้านการเรียน-การสอน การฝึกอบรมด้วยคอมพิวเตอร์ รวมทั้งมีความสามารถในด้านมัลติมีเดีย ทำให้ไปพัฒนาโปรแกรมที่เป็นมัลติมีเดียได้อย่างดี การพัฒนาโปรแกรมด้วย Authorware จะใช้เทคนิคที่เรียกว่า Objected interface ซึ่งเป็นการใช้สัญลักษณ์ (Icon) แทนคำสั่ง ทำให้การใช้งานโปรแกรม Authorware มีความสะดวกและง่าย นอกจากนี้ ภายในโปรแกรม Authorware ยังมีตัวแปรและฟังก์ชั่น ให้กับผู้-พัฒนาอย่างสมบูรณ์ จึงสามารถจัดสร้างและพัฒนาโปรแกรมได้โดยง่ายและมีประสิทธิภาพสูง

ลักษณะเด่นของ Authorware

โปรแกรม Authorware มีคุณสมบัติสำคัญ 3 ประการ ที่สนับสนุนงานสร้าง ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ใช้งานได้โดยไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับภาษาโปรแกรม คือ

1. Objected authroring เป็นการใช้สัญลักษณ์ (Icon) แทนคำสั่งร่วมกับการวางโครงสร้างของโปรแกรม หรือออกแบบโปรแกรมได้โดยง่าย

2. Multimedia tool โปรแกรมจะประกอบด้วยเครื่องมือด้านมัลติมีเดีย อย่างพร้อม-มูลทำให้สามารถสร้างหรือพัฒนาโปรแกรมที่ประกอบด้วย ข้อความ รูปภาพ เสียง ภาพเคลื่อนไหว และวิดีโอเข้าด้วยกัน ทำให้โปรแกรมนั้นมีประสิทธิภาพที่จะใช้ในการเรียนการสอน การอ้างอิง จำลองการทำงาน การเสนอสินค้า หรือการโฆษณา ได้อย่างดี

3. Multiplatform architechture เป็นความสามารถของโปรแกรม ที่ทำงานได้ทั้งภายใต้ระบบวินโดว์และแมคอินทอช ซึ่งคำสั่งในการทำงานต่างๆ ทั้งสอง Platform ไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก นอกจากนี้ ยังสามารถติดต่อไปยังทรัพยากรภายนอกระบบได้ เช่น การใช้ระบบคอมพิวเตอร์เครือข่าย เป็นต้น (วชิระ วิชชุวรนันท์, 2540 : 33-34)

2.1.10 ประโยชน์และข้อจำกัดของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ประโยชน์ของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

<u>ประโยชน์ต่อผู้เรียน</u>

1. ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนการสอนมากขึ้น เกิดความสนใจขึ้นและเพิ่มแรงจูงใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเรียนรู้

2. ผู้เรียนมีอิสระในการที่จะเลือกเรียนตามความสะดวกทั้งเวลาและสถานที่
3. ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ไปตามลำดับจากง่ายไปหายากและไม่สามารถแอบดูคำตอบก่อนได้
4. ผู้เรียนสามารถรู้ถึงความก้าวหน้าของการเรียนจากการประเมินผลในบทเรียน
5. การใช้สี ภาพเคลื่อนไหวและเสียง จะเป็นการเพิ่มความเหมือนจริงและดึงดูดให้ผู้เรียนอยากรู้
6. ผู้เรียนสามารถเรียนไปตามความสามารถของตนเอง (อดิศักดิ์ สุเฌอ, 2542 : 8-9)
7. ช่วยเสริมและกระตุ้นการเรียนของผู้เรียน
8. ผู้เรียนสามารถเรียนรู้เป็นรายบุคคลได้
9. ผู้เรียนสามารถเรียนรู้จากคอมพิวเตอร์ได้ทุกวิชา และใช้เวลาน้อยกว่าการเรียนในห้องเรียน
10. ผู้เรียนมีทัศนคติที่ดีต่อการเรียนรายวิชานั้น มีความสนใจในการเรียนมากขึ้น
11. สร้างสถานการณ์จำลองการทำงาน เรื่องราวที่เป็นนามธรรม (ไพโรจน์ คชชา , 2542 : 46)

<u>ประโยชน์ต่อครู-อาจารย์</u>

1. ช่วยให้ครูทำงานน้อยลงในด้านการสอนข้อเท็จจริง ทำให้มีเวลาในการเตรียมบทเรียนอื่นๆ ได้มากขึ้น
2. ทำให้ครูมีเวลาว่างมากขึ้น ในการพัฒนาความสามารถและปรับปรุงเทคนิคการสอนของตน
3. ช่วยลดเวลาในการสอน เพราะบทเรียนมีลักษณะเป็นแบบบทเรียนสำเร็จรูป สามารถสอนเนื้อหาได้มากกว่า แต่ใช้เวลาน้อยกว่า

<u>ประโยชน์ต่อการเรียนการสอน</u>

1. การเรียนการสอนจะเป็นมาตรฐานดียิ่งขึ้น เพราะผู้เรียนเรียนได้เหมือนกันและเท่าเทียมกัน
2. สามารถนำข้อมูลที่บันทึกความก้าวหน้าของผู้เรียน มาทำการปรับปรุงบทเรียนได้
3. ช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนครู-อาจารย์ (อดิศักดิ์ สุเฌอ, 2542 : 9)

ข้อจำกัดของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

1. เนื้อหาวิชา อันที่จริงแล้วหลักสูตร ไม่ใช่เรื่องราวที่เปลี่ยนแปลงได้ง่าย ถึงแม้จะมีการ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงก็ไม่ใช่ว่าจะกลับสับเปลี่ยนไปอย่างตรงกันข้ามเลยทีเดียว แต่ความสำคัญหรือปัญหาอยู่ที่ผู้เขียนโปรแกรมไม่เข้าใจอย่างลึกซึ้งในเนื้อหาและการถ่ายทอดเนื้อหา ผู้ที่มีความลึกซึ้งอย่างดีที่สุดเห็นจะได้แก่ครูผู้สอนเองที่เป็นผู้จัดทำแผนการสอน และรู้ยุทธวิธีการสอนเป็นอย่างดี

2. ความยุ่งยากในการสร้างโปรแกรมการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอน อาจเป็นเรื่องยากสำหรับผู้สอนเนื่องจากการจัดทำโปรแกรมมีความสามารถในการวิเคราะห์เนื้อหามาสู่ระบบของสื่อประเภทนี้ได้อย่างสมบูรณ์

3. ผู้สอนหรือผู้ใช้โปรแกรมหรือแม้แต่เป็นผู้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ก็ต้องใช้คอมพิวเตอร์ได้เป็นอย่างดีด้วย ในปัจจุบันนี้การสร้างโปรแกรมเป็นเรื่องที่ไม่ยุ่งยากเกินไป แต่สำคัญที่ว่าครูมีความพร้อมเพียงใด ในการศึกษาเรื่องราวเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะการใช้โปรแกรมช่วยสอน

4. ความสมบูรณ์ของเครื่องมือที่ใช้ หมายถึง ความพร้อมในการจัดหาเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้งานถ้าหากคำนึงถึงความสำคัญของการพัฒนาเทคโนโลยีด้านนี้แล้ว การตัดสินใจเพื่อลงทุนจัดหาเครื่องคอมพิวเตอร์นับว่าได้ผลคุ้มค่าอย่างที่สุด

5. การสนับสนุนของผู้บริหาร ปัจจุบันผู้บริหารยุคใหม่ย่อมมองเห็นความสำคัญในการในการพัฒนา สื่อการเรียนการสอนที่ใช้ระบบเทคโนโลยีสมัยใหม่ เนื่องจากเป็นการช่วยพัฒนาการศึกษาให้ดียิ่งขึ้น ความคิดในการพัฒนาสื่อ CAI หากมีแรงสนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูงและมองเห็นความสำคัญด้วยแล้ว การพัฒนาย่อมเกิดขึ้นได้ง่าย (คมสัน อุดมสารเสวี, 2542 : 174-175)

6. ราคาค่อนข้างสูง ถึงแม้ว่าขณะนี้คอมพิวเตอร์จะมีราคาลดลงเรื่อยๆ แต่ก็ยังค่อนข้างสูง ในการนำมาใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน และยังมีปัญหาในเรื่องของการบำรุงรักษา และแก้ไขเมื่อเครื่องขัดข้อง

7. การออกแบบและผลิตโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอนยังล้าหลัง เมื่อเทียบกับโปรแกรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในด้านอื่นๆ

8. การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอนต้องใช้เวลามาก และผู้ออกแบบต้องมีทักษะและเข้าใจรูปแบบของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเป็นอย่างดีด้วย

9. ผู้เรียนบางคน โดยเฉพาะผู้เรียนที่เป็นผู้ใหญ่อาจจะไม่ชอบเรียนตามขั้นตอน ทำให้อาจจะเป็นอุปสรรคในการเรียนรู้ได้ (อดิศักดิ์ สุเฌอ, 2542 : 9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

2.2.1 องค์ประกอบของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

ก. ค่า pH ของอาหาร

ค่า pH ที่นิยมใช้ในอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงมักอยู่ในช่วง pH 4.5 - pH 5.7 ส่วนใหญ่จะใช้ pH 5.0-6.0 ถ้า pH สูงหรือต่ำเกินไปการเจริญและพัฒนาของพืชจะชะงัก โดยทั่วๆไป การตอบสนองของพืชมักจะไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH ในช่วงสั้นๆ แต่บางครั้ง pH ก็มีผลต่อการเจริญของพืชเมื่อมาได้ระยะหนึ่ง Pierik กล่าวว่า pH ที่ต่ำเกินไป จะทำให้ฮอร์โมน IAA และจิบเบอเรลลินสลายได้ง่าย และวุ้นไม่แข็งตัว นอกจากนี้ยังทำให้วิตามินบีและกรดแพนโทเทนิกสลายง่ายด้วยเช่นกัน และเกลือหลายชนิดที่จะตกตะกอนไม่ละลายเมื่อ pH ต่ำ ทำให้พืชดูดไปใช้ไม่ได้ เช่น เกลือฟอสเฟตและเหล็ก เป็นต้น (อ้างโดย ศิวพงศ์ จำรัสพันธุ์, 2541 : 70)

pH ของอาหารจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อนำอาหารไปนึ่งฆ่าเชื้อในออโตเคลฟ ถ้าก่อนนึ่งอาหารมี pH 5.0-7.0 ภายหลังนึ่งแล้ว pH ของอาหาร จะลดลง ประมาณ 0.3-0.5 หน่วย ในงานวิจัยทางเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช อาจมีการใช้สารบัฟเฟอร์เพื่อควบคุม pH ของอาหาร บัฟเฟอร์ที่ใช้ได้แก่ $Na_2HPO_4 + KH_2PO_4$, MES [2 – (N – morphpolino) ethylene sulphonic acid] TRIS [Tris (Hydroxymethyl , Methyllamine)] บัฟเฟอร์อาจทำให้สารบางอย่างในอาหารเปลี่ยนไปบ้าง เช่น ทำให้น้ำตาลซูโครสแตกตัวเป็นกลูโคสกับฟรุคโตส เป็นต้น มีบัฟเฟอร์อีกหลายชนิดที่ได้ทดลองนำมาใช้แต่ว่าเป็นชนิดที่เป็นพิษต่อพืช ถ้า pH ของอาหาร เปลี่ยนแปลงไปมากอย่างเห็นได้ชัด จะแสดงออกคือ อาหารแข็งจะกลายเป็นอาหารเหลว จำเป็นต้องเปลี่ยนอาหารใหม่ ถ้าในการเตรียมอาหาร pH ของอาหารสูงหรือต่ำเกินไป จะปรับ pH ได้ โดยใช้ NaOH หรือ HCI ในความเข้มข้น 0.1-1.0 โมลาร์ (M) pH ของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่เหมาะสม ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 5.0-6.0 เมื่อเตรียมอาหาร โดยเติมสารละลายเกลือแร่ทั้งหลายครบถ้วนแล้ว แต่ pH ของสารละลายยังไม่อยู่ในช่วงที่ต้องการจะต้องมีการปรับ pH การปรับ pH ถ้า pH ของสารละลายต่ำกว่าค่า pH ที่ต้องการตัวอย่าง เช่น ในกรณีที่วัด pH ของสารละลายได้ 5.0 แต่ต้องการค่า pH 5.6 จะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งเป็นด่าง ในการปรับ pH ของสารละลายให้สูงขึ้น สารละลาย NaOH จะมีไอออน Na^+ และ OH^- ไอออน OH^- จะรวมตัวกับ ไอออน H^+ ที่มีมากในสารละลายที่เตรียม เมื่อ OH^- รวมกับ H^+ จะกลายเป็นน้ำ (H_2O) จึงทำให้เป็นกลาง และทำให้สารละลายที่เตรียมเป็นด่างมากขึ้น NaOH มักจะจำหน่ายในลักษณะเป็นเม็ด จะต้องไม่หยิบจับสารนี้ด้วยมือเปล่า ควรใช้ช้อนตักสารหรือช้อนหรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่หาได้ เพราะว่าสารตัวนี้จะกัดมือได้ สาร NaOH ที่ใช้ปรับ pH นิยมใช้ความเข้มข้น 1 โมลาร์ (1 M) ซึ่งเตรียมได้โดยละลาย NaOH 4 กรัม ในน้ำกลั่น 100 กรัม ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตรียมสารละลายนี้ควรระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากเมื่อน้ำและ NaOH ผสมกันแล้ว จะเกิดปฏิกิริยารุนแรง อาจจะกระเด็นเข้าตาหรือโดนมือ และแขนขา ทำให้ตาอักเสบ แสบร้อน หรือผิวหนังเป็นแผลได้ สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 1 โมลาร์ หรือ 1 นอร์มอล มีจำหน่ายตามร้านขายสารเคมี หรืออาจใช้ KOH แทน NaOH ได้ กรดเกลือ (HCl) เป็นสารละลายที่ใช้ปรับ pH ของสารละลายให้ลดลง (ทำให้เป็นกรดมากขึ้น) เมื่อสารละลายเป็นด่างมาก เช่น ในกรณีสารละลายมี pH 6.0 และต้องการให้ pH ลดลงเป็น 5.0 เป็นต้น ในสารละลาย HCl จะมี H^+ และ Cl^- H^+ ไอออนจะรวมกับ OH^- ที่มีอยู่มากในสารละลาย แล้วกลายเป็นน้ำ ทำให้เป็นกลางและสารละลายเป็นกรดมากขึ้น ในการ ใช้สารละลาย HCl ช่วยลด pH ของสารละลาย นิยมใช้ความเข้มข้น 1 โมลาร์ น้ำหนักโมเลกุลของ HCl = 36.5 และมักจะจำหน่ายเป็นของเหลวละลายในน้ำ 38 % ดังนั้นการเตรียม 1 โมลาร์ ของ HCl จึงใช้สารละลาย HCl 9.6 กรัม (9.6 * 0.38 = 3.65 กรัม HCl) ละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตร วิธีการเตรียมจะต้องใส่น้ำในบีกเกอร์ก่อนประมาณ 75 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆ หยด HCl ลงไปทีละน้อยๆ ด้วยไปเปตต์จนครบ 9.6 กรัม จะต้องไม่เติมน้ำลงไปในกรดแก่ เพราะว่ามันจะกระเซ็น และทำให้เกิดบาดแผลกับบุคคลหรือสิ่งที่อยู่ใกล้ เมื่อเติม HCl ครบแล้วจึงเติมน้ำต่อไปจนได้สารละลายครบ 100 มิลลิลิตร และถ้าไม่สะดวกในการเตรียมก็สามารถซื้อ 1 โมลาร์ ของ HCl มาใช้ได้เลย (ศิวพงศ์ จำรัสพันธุ์, 2541 : 70-71)

ข. สารอนินทรีย์

ธาตุอาหารอนินทรีย์และเกลือแร่ต่างๆ มีความสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมาก พืชที่เพาะเลี้ยงต้องการชนิดและปริมาณที่ไม่เหมือนกัน แบ่งประเภทธาตุอาหารอนินทรีย์ตามความต้องการของพืชได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. แมคโครนิวเทรียนต์ (Macronutrient) (คำนูณ กาญจนภูมิ, 2542 : 27) เป็นธาตุอาหารกลุ่มที่พืชมีความต้องการสูงหรือต้องการในปริมาณมากได้แก่ Calcium (Ca) Magnesium (Mg) Nitrogen (N) PhosPhorus (P) Potassium (K) และ Sulphur (S)

Calcium (Ca) เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ จึงมีบทบาทที่สำคัญอย่างยิ่งในการสร้างผนังเซลล์ของพืช นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็น (Cofactors) ของเอนไซม์หลายชนิด การขาดแคลเซียมจะทำให้เกิดการตายบริเวณส่วนยอด ปริมาณแคลเซียมที่พืชต้องการจะประมาณ 1-3 mM และมักใช้ในรูป Calcium chloride หรือ Calcium nitrate

Magnesium (Mg) บทบาทที่สำคัญคือเป็นแกนกลางของ Chlorophyll นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวช่วยให้เอนไซม์ต่างๆ ทำงานได้ดีขึ้น และโลหะที่เป็นแร่ธาตุที่มีประจุบวกจึงเป็นตัว-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยให้เกิดการสมดุลย์ของสารประกอบที่มีประจุลบอีกด้วย ปริมาณที่พืชต้องการจะเท่าๆ กับแคลเซียม และรูปที่ใช้มากที่สุดคือ Magnesium sulphate

Nitrogen (N) เป็นสารที่พืชต้องการเพื่อให้เกิดการเจริญสูงมากและถือว่าเป็นแร่ธาตุที่มีผลต่อการพัฒนาของพืชมากที่สุด ในสภาพธรรมชาติเมื่อพืชได้รับไนโตรเจนในรูปสารอนินทรีย์จะเปลี่ยนรูปเป็นกรดอะมิโนและเปลี่ยนเป็น โปรตีนในช่วงหลัง รูปของไนโตรเจนที่ใช้มากในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช คือ อนุมูลไนเตรท (Nitrate – NO^{-3}) ซึ่งเป็นไนโตรเจนที่อยู่ในรูปที่ถูกออกซิไดซ์กับอนุมูลแอมโมเนียม (Ammonium – NH_4^+) ซึ่งเป็นไนโตรเจนที่ถูกรีดิวซ์ ซึ่งไม่ค่อยนิยมใช้มากเท่าแบบแรก เนื่องจากพบว่าอาจเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อได้ค่อนข้างง่ายหากใช้เพียงอย่างเดียว ในกรณีที่ใช้ในรูปของอนุมูลไนเตรทมักใช้ประมาณ 25-40 mM แต่ถ้าใช้ในรูปอนุมูลแอมโมเนียมจะใช้ประมาณ 2 – 20 mM แต่ในการเตรียมอาหารมักใช้ไนโตรเจนทั้ง 2 รูป เพื่อที่จะช่วยรักษาความเป็นกรดเป็นด่างของอาหารให้คงที่มากที่สุดในระหว่างการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ความต้องการไนโตรเจนของเนื้อเยื่อพืชจะอยู่ในช่วงประมาณ 25-60 mM

ไนโตรเจนนอกจากจะใช้ในรูปของสารอนินทรีย์แล้ว ยังสามารถใช้ในรูปของสารอินทรีย์ได้อีกด้วย ซึ่งมักใช้ในรูปของกรดอะมิโนกรดอินทรีย์ หรือ Casein hydrolysate การใช้ไนโตรเจนในรูปของสารอินทรีย์นี้จะมีประโยชน์ต่อเนื้อเยื่อพืชโดยตรง เนื่องจากเป็นไนโตรเจนที่อยู่ในรูปที่ถูกรีดิวซ์ที่เนื้อเยื่อสามารถดูดไปใช้ได้ง่าย และอยู่ในรูปที่พบในเนื้อเยื่อของพืช นอกจากนี้มักไม่ใช้ร่วมกับไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของอนุมูลแอมโมเนียม อย่างไรก็ตามไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ไม่สามารถที่จะทดแทนไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ได้ทั้งหมด จึงยังคงต้องใช้ทั้งสองรูปร่วมกันอยู่ (ประสาทพร สมิตะมาน, 2541 : 18-19)

Phosphorus (P) พบมากในเนื้อเยื่อเจริญและเนื้อเยื่อที่กำลังเจริญอย่างรวดเร็วอื่นๆ แต่บทบาทที่แท้จริงยังไม่ทราบ จุดประสงค์ที่สำคัญคือ ใช้เป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ ถ้ามีฟอสฟอรัสน้อยเกินไปจะทำให้พืชเฉาและผิดปกติ โปแตสเซียมฟอสเฟต (KH_2PO_4) และโซเดียมฟอสเฟต ($NaH_2PO_4.H_2O$) เป็นสารที่นิยมใส่ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อเป็นแหล่งฟอสฟอรัส (ศิวพงศ์ จำรัสพันธุ์ , 2541 : 73)

Potassium (K) จำเป็นสำหรับการแบ่งเซลล์ สำหรับการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตและโปรตีน สำหรับการสร้างคลอโรฟิลด์ และการรีดิวซ์ไนเตรท โปแตสเซียมไม่เพียงพอทำให้พืชอ่อนแอและผิดปกติ โปแตสเซียมไนเตรท (KNO_3) และโปแตสเซียมฟอสเฟต (KH_2PO_4) เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งของโปแตสเซียมในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ และบางครั้งอาจใช้โปแตสเซียมคลอไรด์ (KCl) บ้างเหมือนกัน

Sulphur (S) อยู่ในรูปของโปรตีนบางชนิด ช่วยให้รากพัฒนาและใบมีสีเขียวเข้ม อยู่ในอาหารเพาะเลี้ยงในรูปของซัลเฟต (SO_4^{2-}) (เปรมฤดี ดำยศ, 2537 : 22)

2. ไมโครนิวเทรียนต์ (Micronutrien) (ดำนูณ กาญจนภูมิ, 2542 : 27) เป็นกลุ่มที่พืชไม่ต้องการมากนัก แต่มีความจำเป็นต่อการเจริญของพืช แร่ธาตุในกลุ่มนี้ได้แก่ Boron (B) Cobalt (Co) Copper (Cu) Iodine (I) Iron (Fe) Manganese (Mn) Molybdenum (Mo) Zinc (Zn) และ Chlorine (Cl)

Boron (B) โบรอนเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ลิกนินและเมตาโบลิซึมของสารประกอบฟีนอล อาการขาดโบรอนมักแสดงในรูปของการตายของเนื้อเยื่อในส่วนยอด โบรอนส่วนมากจะอยู่ในรูปของกรดบอริก (Boric acid)

Cobalt (Co) โคบอลท์เป็นองค์ประกอบของ Co-enzyme เป็นแร่ธาตุที่ใช้ในปริมาณน้อยมากคือ 0.01 mM และอยู่ในรูปของเกลือคลอไรด์ เนื่องจากเป็นธาตุที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษได้ง่าย ดังนั้นการเติมในอาหารจึงต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ

Copper (Cu) ทองแดงมีส่วนสำคัญในการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด โดยเฉพาะเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง เช่น Cytochrome oxidase แต่มีความต้องการเพียงน้อยมากคือ เท่ากับ โคบอลท์ (0.01 mM) และใช้ในรูปของเกลือซัลเฟต (ประสาทพร สมิตะมาน, 2541 : 20)

Iodine (I) ไอโอดีนเป็นแร่ธาตุที่อาจไม่จัดว่าอยู่ในกลุ่มธาตุรองเท่าใดนัก เนื่องจากว่าจะมีความจำเป็นกับพืชบางชนิดเท่านั้น อย่างไรก็ตามการใส่ไอโอดีนในอาหารจะพบว่าช่วยในการเจริญของรากและแคลลัส ไอโอดีนจะใช้ในรูปของอนุมูลไอโอไดด์ ที่เป็นเกลือของโปแตสเซียม

Iron (Fe) เหล็กเป็นแร่ธาตุที่ความสำคัญต่อการสังเคราะห์ Chlorophyll และขบวนการเกิดออกซิเดชันในพืช การใช้เหล็กในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชจะต้องคำนึงถึงสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของอาหารค่อนข้างมาก เนื่องจากเหล็กจะเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อของพืชได้ค่อนข้างง่าย เหล็กส่วนมากจึงใช้ในรูปที่เป็น Chelate เพื่อที่จะรักษาให้เหล็กมีความคงตัวได้ดีในอาหารที่มักมีสภาพของความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก ปัญหาในการเพิ่มธาตุเหล็กในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช มักจะไม่ละลายในสภาพที่เป็นด่าง จึงเป็นปัญหาใหญ่เมื่อใช้อาหารที่เป็นด่างเล็กน้อย รูปที่นิยมใช้จึงเป็นรูป Sodium หรือ Potassium ethylenediaminetetraacetic acid (Na / K EDTA) เนื่องจาก EDTA จะไม่เป็นพิษเหมือน Chelate ในรูปอื่นๆ และยังช่วยให้เหล็กอยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพที่เนื้อเยื่อจะนำไปใช้แทบทุกสภาพความเป็นกรดเป็นด่าง เพื่อสนองกับความต้องการของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ปัจจุบันจึงสามารถซื้อสารประกอบที่อยู่ในรูปของ Fe-EDTA ซึ่งสะดวกในการเตรียมมากกว่าแต่เดิมที่ต้องใช้ Ferric sulphate มาละลายใน Na- EDTA ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชทั่วๆ ไปจะใช้ธาตุเหล็กประมาณ 1 mM (บุญยืน กิจวิจารณ์, 2540 : 56)

Molybdenum (Mo) มีส่วมร่วมในการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียและช่วยในการตรึงไนโตรเจนของแบคทีเรีย เติมในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในรูปของโซเดียมโมลิบเดต ($Na_2MoO_4.2H_2O$) ปริมาณที่สูงกว่า 10 ส่วนในล้านส่วนจะเป็นอันตรายต่อพืช

Manganese (Mn) การขาดจะแสดงโดยคลอโรซีส มีใบเหลืองและแห้งเป็นจุดๆ ธาตุนี้จำเป็นในเยื่อหุ้มของคลอโรพลาสต์ ใช้ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในรูปของ แมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4.H_2O$) (ศิวพงศ์ จำรัสพันธุ์, 2541 : 73)

Zinc (Z) อยู่ในเอนไซม์หลายชนิด เกี่ยวข้องกับการสร้างคลอโรฟิลล์ และการสร้างออกซิน (IAA) ซิงค์ซัลเฟต ($Zn\ SO_4.7\ H_2O$) จะเติมลงในอาหารเพียงเล็กน้อย ถ้าเติมมากจะเป็นพิษต่อพืช

Chlorine (Cl) จำเป็นในการกระตุ้นการสังเคราะห์ด้วยแสง การขาดทำให้ใบเหี่ยว-แห้ง กลายเป็นสีเหลืองหรือสีบรอนซ์และตายไป พืชต้องการคลอรีนน้อยมาก แต่ใส่ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบางชนิดในจำนวนมากในรูปของแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2.H_2O$) (เปรมฤดี ดำยศ, 2537 : 23)

ค. สารอินทรีย์

สารอินทรีย์เป็นสารเคมีที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น คาร์โบไฮเดรต ฮอร์โมน โปรตีน เอนไซม์ ฯลฯ สารเหล่านี้พืชสามารถสร้างขึ้นมาได้เอง ดังนั้นจึงไม่นิยมเติมให้กับพืช อย่างไรก็ตามพืชที่นำมาเพาะเลี้ยงมักจะมีขนาดเล็กเกินไปและไม่สมบูรณ์พอที่จะสร้างสารต่างๆ เหล่านี้ได้หมด ดังนั้นสารอินทรีย์เหล่านี้จึงจำเป็นต้องเติมในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชด้วย เพื่อช่วยให้เกิดต้นอ่อนเพิ่มมากขึ้น

1. คาร์โบไฮเดรต เป็นแหล่งพลังงานของเนื้อเยื่อ เป็นสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล แป้ง และเซลลูโลส สารประกอบเหล่านี้ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็นธาตุพื้นฐานมาประกอบกันในปริมาณต่างๆ กัน และมีโครงสร้างต่างๆ กัน ธาตุ C, H, O นี้พืชจะได้รับทางอากาศ (CO_2) และน้ำ (H_2O) อยู่แล้วโดยทั่วๆ ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำตาลเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากในอาหารทุกสูตร น้ำตาลจำเป็นในการเจริญและพัฒนาการของเนื้อเยื่อพืช เพราะว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงของชิ้นพืชยังไม่เพียงพอ ดังนั้นพืชจึงยังต้องการแหล่งพลังงานจากอาหารอยู่ (ศิวพงศ์ จำรัสพันธุ์, 2541 : 75)

เนื่องจากเนื้อเยื่อพืชที่เลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อจะสูญเสียความสามารถในการตรึงคาร์บอนจากขบวนการสังเคราะห์แสง เช่นเดียวกับพืชที่เจริญในธรรมชาติที่เป็น Autotrophic สาเหตุอาจเกิดจากปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะมีต่ำมาก ประกอบกับในสภาพจำลองที่เลี้ยงในขวดนั้นประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสงจะต่ำกว่าปกติมาก ดังนั้นจึงต้องเพิ่มน้ำตาลให้กับต้นพืชหรือเนื้อเยื่อที่เลี้ยง น้ำตาลที่ใช้อาจเป็นน้ำตาล Glucose, Sucrose, Fructose หรือ Sorbitol ที่อาจใช้ได้กับพืชบางชนิด

Sucrose เป็นน้ำตาลที่พืชเก็บสะสมและสามารถเคลื่อนย้ายไปตามส่วนต่างๆได้ดี นอกจากนี้การนึ่งฆ่าเชื้อ หรือเมื่อพืชดูดเข้าไปใช้จะแตกตัวเป็น Glucose กับ Fructose ได้ง่าย

Glucose เป็นน้ำตาลที่อาจใช้แทน Sucrose ในบางกรณี โดยเฉพาะในกรณีของอาหารเหลว หรือการเลี้ยงโปรโตพลาสต์ รวมทั้งการเลี้ยงเซลล์แขวนลอยบางชนิด

Fructose เป็นน้ำตาลที่อาจใช้แทน Sucrose ในบางกรณีของพืชบางชนิด เช่น กล้วยไม้ที่พบว่าช่วยกระตุ้นให้เจริญได้ดีกว่าใช้ Sucrose เดี่ยวๆ

น้ำตาลนอกจากจะใช้เป็นแหล่งพลังงานแล้ว ยังเป็นตัวที่จะช่วยรักษาแรงดันออสโมซิสของเนื้อเยื่อพืชด้วย โดยจะมีบทบาทในส่วนนี้มากถึง 50-80 % ดังนั้นการปรับปริมาณของน้ำตาลในอาหารแต่ละชนิด จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยปกติจะใช้น้ำตาลในอาหารประมาณ 20-40 กรัม/ลิตร

2. วิตามิน (Vitamin) วิตามินที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช เช่น Thiamine, Nicotinic acid, Pyridoxine, Inositol, Panthothenic acid, Biotin, Folic acid, Choline chloride, Riboflavin และ Ascorbic acid เป็นต้น (ประศาสตร์ เกื้อมณี, 2538: 18)

หน้าที่หนึ่งของวิตามิน คือ เป็นตัวเร่งในการทำงานของเอนไซม์ พบว่าพืชต้องการวิตามินในปริมาณน้อย (คำนูณ กาญจนภูมิ, 2542 : 28)

วิตามินบีรวม ประกอบด้วยสารที่จำเป็นในการเจริญและเมตาบอลิซึมของพืช เดิมใช้สารสกัดจากยีสต์ (Yeast extract) ต่อมาสามารถจำแนกได้ว่าประกอบด้วยไทอะมีน (Thiamine) กรดนิโคทินิก (Nicotinic acid) และไพริดอกซิน (Pyridoxine) ซึ่งเป็นส่วนของวิตามินบีรวม พืชโดยปกติสามารถสร้างวิตามินขึ้นมาใช้ได้เอง แต่เมื่อเรานำชิ้นพืชชิ้นเล็กๆ มาเพาะเลี้ยง ชิ้นพืชเหล่านี้อาจจะไม่ใช่บริเวณที่สร้างวิตามิน หรืออาจจะสร้างได้ไม่เพียงพอในการเจริญเติบโต ดังนั้นสารเหล่านี้จึงต้องเติมลงในอาหารเพาะเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิโนซิทอล (Myo-inositol, $C_6H_{12}O_6$) เป็นวิตามินบีรวมตัวหนึ่งที่ต้องการในอาหารส่วนใหญ่ อิโนซิทอลเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ (Sugar alcohol) ซึ่งในรูปฟอสเฟตมันจะเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์นานาชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งออร์แกเนลล์ (Organelle) บางชนิด เช่น คลอโรพลาสต์ อิโนซิทอล (ไมโอ-อิโนซิทอล) เติมลงในอาหารเพาะเลี้ยงในจำนวนค่อนข้างสูงคือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ไทอะมีน (วิตามินบี 1, $C_{12}H_{17}ON_4SCl$) ทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ ร่วมกับวัฏจักรของกรดอินทรีย์ (Krebs cycle) ในการหายใจ เติมเพียง 4 มิลลิกรัมของไทอะมีนไฮโดรคลอไรด์ต่อลิตรของอาหารเพาะเลี้ยงหลายชนิด

กรดนิโคทินิก (ไนอะซิน, $C_6H_5O_2N$) เป็นองค์ประกอบของโคเอนไซม์ในปฏิกิริยาใช้พลังงานแสง อาหารเพาะเลี้ยงมักจะเติมกรดนิโคทินิกในสัดส่วนต่างๆ กัน ตั้งแต่ 0.1 ถึง 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ไพริดอกซิน (วิตามินบี 6, $C_8H_{11}O_3N$) เป็นโคเอนไซม์ในเมตาบอลิซึมหลายกระบวนการ บางครั้งเติมในอาหารในรูปของไพริดอกซินไฮโดรคลอไรด์

กรดแพนโทเทนิก ($C_9H_{17}O_5N$) เป็นวิตามินบีอีกชนิดหนึ่ง ทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ในเมตาบอลิซึมของไขมัน นานๆ ครั้งจึงจะเติมในอาหารในรูปเกลือแคลเซียม

กรดโฟลิก ($C_{19}H_{19}O_6N_7$) พบในใบสีเขียวและเนื้อเยื่ออื่นๆ ของพืช ทำหน้าที่เหมือนวิตามินบีที่เป็นโคเอนไซม์ นานๆ ครั้งจึงจะเติมในอาหาร

โคลีน ($C_5H_{15}O_2N_7$) เป็นแอลคาลอยด์ พบในวิตามินบีรวม โคลีนคลอไรด์นี้ นานๆ ครั้งจึงจะเติมลงในอาหารบางอย่าง

ไรโบฟลาวิน ($C_{19}H_{19}O_6N_7$) คือ วิตามินบี 2 และนานๆ ครั้งจึงจะเติมลงในอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณของวิตามินที่ผสมในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

วิตามิน	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
p-aminobenzoic acid	0.050 - 0.2
Ascorbic acid	0.100 - 10.0
Biotin	0.00025 - 0.1
Choline chloride	0.100 - 10.0
Folic acid	0.0003 - 1.0
Nicotinic acid	0.060 - 2.8
Calcium pantothenate	0.100 - 10.0
Pyridoxine-hydrochloride	0.001 - 1.0
Riboflavin	0.001 - 0.2
Thiamine- hydrochloride	0.005 - 0.5

3. กรดอะมิโนต่างๆ เช่น Arginine, Aspartic acid, Glutamic acid, Tyosine อาจช่วยในการเพิ่มจำนวนของส่วนต่างๆ สำหรับพวก Amides อาจมีประสิทธิภาพดีกว่ากรดอะมิโนชนิดอื่นๆ และ L-isomerrs ของกรดอะมิโนจะเป็นประโยชน์กว่า D-form ไม่มีผลต่ออาหารเพาะเลี้ยง แต่อาจจะช่วยลดประสิทธิภาพของ L-form ได้ นอกจากนี้ กรดอะมิโนอาจมีผลร่วมในทางตรงข้าม ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อพืช ดังนั้นประสิทธิภาพในการทำงานของกรดอะมิโนในอาหารเพาะเลี้ยงก็ควรพิจารณาเป็นกลุ่ม (นิตย์ศรี แสงเดือน, 2452 : 253) กรดอะมิโนที่ใช้กันโดยทั่วไปใช้เติมลงไปในอาหารเพื่อช่วยให้การเจริญเติบโตของพืชดีขึ้น (คำนูณ กาญจนภูมิ, 2542 : 27)

ง. อาหารเสริม

สารอินทรีย์อื่นๆ ที่เป็นสารซับซ้อน และไม่ทราบองค์ประกอบ อย่างแท้จริง เช่น น้ำมะพร้าว สารสกัดจากยีสต์ สารสกัดจากพืชชนิดต่างๆ เช่น มันฝรั่ง กล้วย ผลไม้ ผัก อาจมีบทบาทในแง่เป็นแหล่งของฮอร์โมน น้ำตาล กรดอะมิโน หรือสารอินทรีย์อื่นๆ การใช้มักพบว่าช่วยให้การเจริญดีขึ้น แต่มีข้อเสียที่ผลที่ได้อาจแตกต่างกันตามคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาเตรียม ปัจจุบันมีน้ำมะพร้าวสำเร็จขายในท้องตลาด แต่ราคาสูงมากจึงควรที่จะเตรียมเองโดยใช้มะพร้าวอ่อนไม่ต่ำกว่า 10-15 ลูก โดยเลือกจากแหล่งต่างๆ กัน นำมาเฉาะเอาเฉพาะน้ำแล้วอุ่นประมาณ 60 C°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมา กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 แล้วแช่เก็บที่ –20 C° (ประสาทพร สมิตะมาน, 2541 : 22)

Nissen and Sutter กล่าวว่า ผงถ่าน นำมาใช้ในอาหารด้วยจุดประสงค์จะให้ดูดสารพิษที่พืชจะขับออกมาในระหว่างการเจริญ เช่น สารประกอบฟีนอล แต่พบว่าผงถ่านจะดูดจับฮอร์โมนและสารอื่นๆ ที่มีในอาหารด้วย ดังนั้นจึงต้องเพิ่มปริมาณของสารดังกล่าวให้มากกว่าปกติ (อ้างโดย ประสาทพร สมิตะมาน , 2541 : 22)

ผงถ่านผลิตมาจากไม้ที่ถูกคาร์บอไนซ์ด้วยอุณหภูมิสูงควบคู่ไปกับไอน้ำ ภายในเป็นรูที่เป็นตาข่ายละเอียด ซึ่งสามารถดูดเอาแก๊สหรือสารเคมีไว้ พบว่าถ่านที่ได้จากพืชจะมีผงถ่านในเปอร์เซนต์ที่สูงกว่าถ่านที่ได้จากสัตว์ คือ 95-99 %

ประโยชน์ของผงถ่านมีดังนี้

1) ช่วยดูดซับพิษของรงควัตถุสีดำและสีน้ำตาลซึ่งส่วนมาก คือ สารประกอบฟีนอลและเมลานิน (Melanin) นอกจากนี้ยังดูดพวกสารพิษที่ไม่มีสีอีกด้วย
2) ทำให้เกิดสภาพดำมืดของอาหาร ส่งผลให้เกิดรากได้ดี
3) สามารถกระตุ้นการเกิดเอมบริโอเจนเนซิสในการเพาะเลี้ยงอับเรณูของต้นยาสูบ นอกจากนี้ยังมีผลต่อการเติบโตและออร์แกเนลล์เจนโนซีสของพืชไม้เนื้อแข็ง
4) ช่วยคงสภาพเสถียรของพีเอช
5) อาจเป็นไปได้ว่า ผงถ่านปล่อยสารที่ส่งเสริมการเติบโต แต่ยังไม่มีผู้พิสูจน์อย่างจริงจัง (คำนูณ กาญจนภูมิ, 2542 : 35)

แม้พืชทุกชนิดโดยปกติต้องการธาตุอาหารหลักที่เหมือนกันก็จริง แต่จะต้องการในปริมาณหรือความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช มีความต้องการที่แตกต่างกันอย่างมาก ดังนั้น การเลือกอาหารเพื่อเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชนั้นควรคำนึงถึง

1. ชนิดและสายพันธุ์ (Species and cultivars) พืชต่างชนิดและต่างสายพันธุ์ ส่วนใหญ่มักต้องการธาตุอาหารที่ไม่เหมือนกัน

2. อายุและระยะการพัฒนา (Age and stage of development) แม้เป็นพืชชนิด และสายพันธุ์เดียวกัน ถ้าอายุและระยะการพัฒนาต่างกัน ก็อาจต้องการสารอาหารที่แตกต่างกัน

3. ชนิดและชิ้นส่วนของพืช (Explant materials) พืชชนิดเดียวกัน หรือแม้กระทั่งต้นเดียวกัน แต่ใช้ชิ้นส่วนของพืชจากส่วนต่างๆ เช่น ใช้ส่วนยอดมาเลี้ยงจะต้องใช้สูตรอาหารสูตรหนึ่ง ที่แตกต่างไปจากสูตรที่ใช้เลี้ยงชิ้นส่วนของรากหรือใบ (รังสฤษฎ์ กาวีต๊ะ, 2541 : 10-11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เป้าหมายการเพาะเลี้ยง (Target of culture) **พืชชนิดเดียวกันและชิ้นส่วนเดียวกัน แต่เป้าหมายของการเพาะเลี้ยงต่างกัน ก็ต้องใช้อาหารต่างกัน ตัวอย่างเช่น ต้องการเพาะเลี้ยงให้เกิดยอดก็ใช้อาหารสูตรหนึ่ง หากว่าต้องการเลี้ยงให้เกิดแคลลัส (Callus) ก็จะต้องใช้อาหารอีกสูตรหนึ่ง เป็นต้น**

5. สถานะของอาหาร (State of media) **พืชชิ้นส่วนเดียวกันที่เลี้ยงในสภาพของอาหารแข็ง (Solid medium) และสภาพของอาหารเหลว (Liquid mediun) ผลที่ได้ออกมาอาจจะไม่เหมือนกัน** (ประศาสตร์ เกื้อมณี, 2538: 20)

จ. สารควบคุมการเจริญเติบโต

ปัจจุบันแบ่งสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชตามคุณสมบัติที่มีต่อพืช ออกได้เป็น 5 พวกใหญ่ๆ

1. ออกซิน

เป็นชื่อเรียกกลุ่มสารที่กระตุ้นการยืดตัวของเซลล์ทั้งในส่วนต้นและราก แหล่งสังเคราะห์ออกซินได้แก่ เนื้อเยื่อเจริญ ใบอ่อน ดอก ผล ปลายราก และปลายโคลิออฟไทล์ (Coleoptile) การลำเลียงออกซินเกิดขึ้นในโฟลเอ็ม (Phloem) และเป็นแบบตามขั้ว (Polarity) คือ จากบนลงล่าง (Basipetal) ในยอดและลำต้น และจากล่างขึ้นบน (Acropetal) ในราก การเคลื่อนที่ของออกซินต้องอาศัยพลังงาน ออกซินถูกทำลายโดยแสง (Photo oxidation) หรืออาจถูกทำลายโดยเอนไซม์ได้ ตัวอย่างออกซิน เช่น IAA , IBA , NAA , และ 2 , 4 –D

IAA (Indole acetic acid) **เป็นออกซินที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ถูกทำลายโดยแสงและเอนไซม์ เอนไซม์ที่ย่อย IAA คือ ไอเอเอออกซิเดส (IAA oxidase) ซึ่งพบเอนไซม์ชนิดนี้ในปริมาณสูงในเนื้อเยื่อที่เพาะเลี้ยง เพราะฉะนั้นถ้าใช้ IAA ในอาหารเพาะเลี้ยง ควรใช้ในความเข้มข้นที่สูง** เช่น 1-30 มิลลิกรัม/ลิตร

NAA (Naphthanlene acetic acid) เป็นออกซินที่สังเคราะห์ขึ้นมาจึงไม่ถูกย่อย-สลายโดยเอนไซม์ ดังนั้นปริมาณที่ใช้จึงน้อย เช่น NAA 0.1-2.0 มิลลิกรัม/ลิตร มี 2 ไอโซเมอร์ (Isomer) คือ แอลฟา (α) และเบตา (β) แต่นิยมใช้แอลฟาไอโซเมอร์ เพราะเบตาไอโซเมอร์เป็นออกซินที่มีฤทธิ์อ่อนกว่า

2 , 4 – D (2 , 4 – dichlophenoxy acetic acid) **เป็นออกซินที่มีฤทธิ์ค่อนข้างแรงกว่า IAA และ NAA เมื่อใช้ 2 , 4 –D ในความเข้มข้น 5-10 มิลลิกรัม/ลิตร พืชบางชนิดอาจเกิดแคลลัสได้ นอกจากนี้ 2 , 4 –D ยังมีลักษณะที่แปลกอีกอย่างหนึ่งคือ บางครั้งสามารถทำหน้าที่เป็นได้ทั้งออกซินและไซโทไคนิน ซึ่งก็ยังไม่ทราบว่าเป็นเพราะอะไร**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปหน้าที่ของออกซินได้ดังนี้

1. ช่วยในการยืดตัวของเซลล์
2. ส่งเสริมหรือชักนำการแบ่งเซลล์
3. ช่วยในเรื่องการเปลี่ยนสภาพของเซลล์
4. เพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง โดยเพิ่มการสังเคราะห์ mRNA ในนิวเคลียส
5. ออกซินบริเวณปลายยอดควบคุมการแตกออกของตาข้าง (Lateral bud) (คำนูณ กาญจนภูมิ, 2542 : 30)

2. ไซโทไคนิน

เดิมเรียกว่า ไคนิน เป็นสารที่ช่วยให้เกิดการแบ่งเซลล์ ช่วยควบคุมการงอกของเมล็ด มีอิทธิพลต่อการร่วงของใบ มีผลต่อการเคลื่อนย้ายออกซิน ช่วยให้จิบเบอเรลลินทำงานได้ดีเอาชนะสารยับยั้ง และทำให้ชะลอการแก่ ตัวอย่างเช่น ไซโทไคนินจะเลื่อนการสลายคลอโรฟิลล์ให้ช้าลง ชะลอการสลายโปรตีนและกรดนิวคลีอิกในใบ (ศิวพงศ์ จำรัสพันธุ์, 2541 : 79)

รูปที่ใช้มีทั้งสารธรรมชาติ คือ Zeatin 6- (r,r – dimethylallylalamino) Purine อีกชนิดคือ Isopentenyl adenine (2-iF) และ Adenine และสารสังเคราะห์ คือ Benzyladenine (BA) 6- Furfurylaminopurine (Kinetin) หรือ Thidiazuron (Phenylureas) เนื่องจากสารธรรมชาติมีราคาแพงถึงแพงมาก ดังนั้นจึงมักนิยมใช้ในรูปของสารสังเคราะห์ (ประสาทพร สมิตะมาน, 2541 : 24-25)

2iP (Iso-pentenyl) Adenine , หรือ 6- (y,y – dimethylallyl) Amino purine พบใน RNA และในแบคทีเรียที่เป็นเชื้อโรคชนิดหนึ่ง (*Corynebacterium fascicans*) ทำให้เกิดการแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็วและทำให้การเจริญผิดปกติในพืชชั้นสูง ไคเนทิน, 2iP, BA (Benzyladenine, หรือ Benzylamino purine, BAP) เป็นสารกระตุ้นขึ้นมาทั้งหมด

ไซโทไคนินต้องการในอาหารเพาะเลี้ยงเพื่อกระตุ้นการแบ่งเซลล์ และการแตกหน่อของชิ้นเนื้อเยื่อ และมักจะไม่ใช้เมื่อต้องการให้ง้อกราก ถ้าการเพาะเลี้ยงใช้เวลานาน และยอดผอมไม่ค่อยสมบูรณ์แล้ว การเพิ่มไซโทไคนินจะทำให้แตกหน่อเร็วขึ้น และความสูงจะลดลง ไซโทไคนินใช้เติมในอาหารสูงกว่าออกซินมาก ความเข้มข้นของไซโทไคนินที่นิยมใช้อยู่ในระหว่าง 1-10 มิลลิกรัม/ลิตร (ศิวพงศ์ จำรัสพันธุ์, 2541 : 80)

สรุปหน้าที่ของไซโทไคนิน ได้ดังนี้

1. เร่งการแบงเซลล์
2. ช่วยในกระบวนการเปลี่ยนสภาพของเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ช่วยชะลอการแก่ในใบ
4. ช่วยการขยายตัวของเซลล์
5. ชักนำการสังเคราะห์รงควัตถุ

3. จิบเบอเรลลิน

ไม่นิยมใช้สารกลุ่มนี้ในงานเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช แต่อาจใช้บ้าง เช่น กรดจิบเบอเรลลิก ซึ่งสลายตัวง่ายเมื่อถูกความร้อน โดยทั่วไปจิบเบอเรลลินจะชักนำให้เกิดการยืดตัวของลำต้น การเติบโตของเนื้อเยื่อเจริญหรือตา ช่วยทำลายการพักตัวของเมล็ด ทำให้เมล็ดหรือเอมบริโอที่แยกออกมางอกได้ นอกจากนี้กรดจิบเบอเรลลิกมักยับยั้งการเกิดรากและยอด อีกทั้งช่วยกระตุ้นการออกดอกของพืชบางชนิด และช่วยชะลอการแก่ของผลไม้บางชนิด (คำนูณ กาญจนภูมิ, 2542 : 31)

4. กรดแอบซิซิก

สารประเภทนี้ส่วนใหญ่สังเคราะห์ขึ้นเองตามธรรมชาติ สำหรับควบคุมกระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ไม่ให้เกิดเร็วเกินไป หรือไม่ให้เกิดในช่วงเวลาและสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม มีคุณสมบัติเกี่ยวกับการร่วงของใบและผล กระตุ้นการพักตัวของพืช และควบคุมการเปิดปิดของปากใบเป็นต้น โดยมากแล้วกรดแอบซิซิกให้ผลเป็นปฏิปักษ์ต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช (คำนูณ กาญจนภูมิ, 2542 : 31) โดยปกติไม่พบว่ามีความสำคัญจนต้องใส่ในอาหาร แต่พบว่าช่วยในการแก่ตัวและการเจริญของต้นอ่อนที่ได้จากการเลี้ยงเซลล์ ของพืชบางอย่าง (ประสาทพร สมิตะมาน, 2541 : 26)

5. เอทิลีน

เอทิลีนเป็นแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหิน น้ำมัน และพวกสารไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ อาจพบอยู่ในเขม่าและแก๊สที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น การตอบสนองของพืชอันเนื่องมาจากเอทิลีนได้ค้นพบตั้งแต่ปี ค.ศ. 1838 ในขณะนั้นได้มีการสังเกตว่า เมื่อมีแก๊สรั่วเข้าไปในเรือนกระจก การเติบโตของต้นไม้ในเรือนกระจกจะผิดปกติ ต่อมาจึงได้มีผู้พบสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดปกตินี้ว่าเนื่องมาจากเอทิลีน ซึ่งมีผลต่อการเจริญของพืชหลายประการ จึงจัดเข้าเป็นสารประเภทควบคุมการเจริญของพืชอีกพวกหนึ่ง

จากการศึกษาเกี่ยวกับเอทิลีนในเวลาต่อมา พบว่าพืชสามารถสร้างได้เองจากกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการสุกของผลไม้ ซึ่งพบว่าผลไม้ที่สุกมีการปล่อยเอทิลีนออกมา ส่วนอื่นๆของพืช เช่น ลำต้น ใบ ดอก ราก หัว และเมล็ดสามารถสร้างเอทิลีนได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืชตอบสนองต่อเอทิลีนได้หลายทาง เช่น เร่งการสุกของผลไม้ กระตุ้นการเกิดรากฝอยและรากแขนง กระตุ้นการงอกของเมล็ด กระตุ้นให้ใบและผลร่วงจากต้น กระตุ้นการออกดอก สามารถทำให้สีของดอกไม้จางลง เป็นต้น ในปัจจุบันพบว่าเอทิลีนช่วยกระตุ้นการไหลของน้ำยางพารา และได้ใช้กันมากในสวนยางพาราที่อายุมากทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยทำให้ได้ปริมาณน้ำยางมากขึ้นจากต้นที่โทรมหรือมีอายุ ก่อนที่จะโค่นต้นทิ้งเพื่อปลูกทดแทน

ปัจจุบันพอจะกล่าวได้ว่าการเพาะเลี้ยงพืชชั้นสูงในหลอดทดลองนั้น ต้องใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตอย่างแน่นอน และตัวที่สำคัญก็คือ ออกซินและไซโทไคนิน ทำให้จำแนกชนิดของพืชที่เพาะเลี้ยงออกได้ดังนี้

1. พวกที่ไม่ต้องการทั้งออกซินและไซโทไคนิน
2. พวกที่ต้องการออกซินอย่างเดียว
3. พวกที่ต้องการไซโทไคนินอย่างเดียว
4. พวกที่ต้องการทั้งออกซินและไซโทไคนิน

การเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนพืชบางชนิดในตอนแรก ต้องการสารควบคุมการเจริญเติบโตแต่พอเลี้ยงไประยะหนึ่ง แล้วทำการย้ายเลี้ยง (Subculture) ไปยังอาหารใหม่หลายๆ ครั้ง พบว่าพืชนั้นไม่ต้องการสารควบคุมการเจริญเติบโตหรือต้องการน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากสร้างสารนั้นขึ้นมาได้เอง ปรากฏการณ์แบบนี้เรียกว่า Habituation เมื่อเกิด Habituation แล้วอาจมีการเปลี่ยนแปลงอย่างอื่นเกิดตามมาด้วย เช่น การเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาของเนื้อเยื่อ มีการลดหรือสูญเสียความสามารถที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางรูปร่าง

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่กล่าวมักใช้ในปริมาณน้อย การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชเหล่านี้ต้องพิจารณาด้วยว่า ชิ้นส่วนพืชสร้างฮอร์โมนได้เองหรือไม่ ถ้าสร้างเองได้ก็ไม่จำเป็นต้องใส่เข้าไป

ฉ. วุ้น (Agar)

เป็นส่วนผสมของโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งสกัดได้จากสาหร่ายสีแดงหลายชนิด วุ้นทำให้อาหารแข็งพอที่จะช่วยพยุงชิ้นพืช และในขณะเดียวกันก็เหลวพอที่จะทำให้สารอาหารต่างๆ แพร่ผ่านเข้าสู่พืชได้

วุ้นมีแร่ธาตุบางตัวอยู่ด้วย วุ้นเป็นส่วนผสมของอาหารแข็งที่มีราคาแพงที่สุด วุ้นมักจะมีสารต่างๆ เจือปนอยู่ด้วย ความไม่บริสุทธิ์ของวุ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแหล่งผลิตที่นำสาหร่ายมาใช้ในกรรมวิธีการผลิต มีการวิเคราะห์หาคลอรีนพบว่ามีอยู่ในช่วง 0.31 % ในวุ้นที่ผลิตในสเปนจนถึงปริมาณน้อยมากในวุ้นที่ผลิตในญี่ปุ่น สิ่งเจือปนอื่นๆ ในวุ้นก็คือซัลเฟต แคลเซียม แมกนีเซียมและเหล็ก วุ้นบริสุทธิ์สำหรับอาหารเพาะเลี้ยงที่มีจำหน่ายทั่วๆ ไป ก็มีความบริสุทธิ์เพียง-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอ สามารถนำมาใช้สำหรับอาหารเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการได้ปริมาณแร่ธาตุที่พบในวุ้น แสดงในตารางที่ 2

ความแข็งของวุ้นแปรผันอยู่ระหว่าง 35 % จากต่ำสุดไปยังสูงสุดในหลายตัวอย่างจากแหล่งผลิตต่างๆ กัน วุ้น 6 กรัมต่อลิตร เหมาะสมในอาหารเพาะเลี้ยงทั่วไป แต่ความแข็งก็อาจจะเปลี่ยนไปตามสูตรอาหารและที่มาของวุ้นด้วย ส่วนมากนิยมเติมวุ้นในความเข้มข้นระหว่าง 0.6-0.8 % ถ้ามีวุ้นมากเกินไป จะทำให้น้ำส่วนใหญ่ถูกยึดไว้ พืชจึงดูดน้ำไปใช้ได้ยาก และผิวของชิ้นพืชสัมผัสกับวุ้นได้น้อย ส่วนผสมของวุ้นที่พอเหมาะสังเกตได้จากผิวหน้าของวุ้น ถ้าได้ความแข็งที่เหมาะสมอาหารจะมีผิวเรียบ เมื่อเอียงหลอดหรือขวด ถ้าผิวอาหารแตกเป็นโคลนแสดงว่าเหลวเกินไป และถ้าแข็งมากจะวางชิ้นเนื้อเยื่อลงไปไม่ได้ ผิววุ้นแข็งเกินไปถ้าจิ้มชิ้นพืชลงไปผิววุ้นจะแตก ถ้าแข็งพอดีชิ้นพืชสามารถจิ้มลงในวุ้นได้ง่ายและสัมผัสกับวุ้นได้ทุกส่วน อาหารที่มีเกลือแร่และฮอร์โมนน้อยจะแข็งกว่าอาหารที่เติมเกลือแร่และฮอร์โมนมาก อาหารที่มี pH ต่ำ (pH 4.5) จะเหลวกว่าอาหารที่มี pH สูง (pH 5.7) ความแข็งวุ้นอาจจะผลต่อการเจริญของพืชแต่ละชนิดแต่ก็ยังมีงานวิจัยที่ยืนยันน้อยมาก

มีวุ้นพัฒนาออกมาหลายชนิด เช่น เจลไรต์ (Gelrite) ได้จากแบคทีเรีย *(Pseudomonas sp)* ในทางการค้าเรียกว่า เคลโก (Kelco) เจลไรต์เป็นสารพวกเจลคล้ายคลึงกับวุ้นแต่มีความบริสุทธิ์มากกว่า เจลไรต์เป็นโพลีแซคคาไรด์ ประกอบด้วยกรดกลูคูโรนิค (Glucuronic-acid) แรมโนส (Rhamnose) กลูโคสและ โอ-อะเซทิลโมอิทีส์ (O-acetylmoieties) ในอาหารเพาะเลี้ยงจะเติมเจลไรต์ ประมาณ 0.2 % เท่านั้น อาหารเพาะเลี้ยงโดยใช้เจลไรต์จะใสกว่าและพืชเจริญได้ดี บางครั้งอาจนำมาผสมกับวุ้นโดยใช้เจลไรต์ 3 ส่วน ต่อวุ้น 1 ส่วน ราคาของเจลไรต์แพงกว่าวุ้นบริสุทธิ์ 2 เท่า แต่ว่าปริมาณของเจลไรต์เพียง $\frac{1}{3}$ ก็ให้ความแข็งเท่ากับวุ้น 1 ส่วน

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณแร่ธาตุบางชนิดในวุ้นต่างชนิดกัน

แร่ธาตุ	Bacto - agar	Noble - agar	Purified agar
Ash	4.50 %	2.60 %	1.75 %
Calcium	0.13 %	0.23 %	0.27 %
Barium	0.01 %	0.01 %	0.01 %
Silica	0.19 %	0.26 %	0.09 %
Chloride	0.43 %	0.18 %	0.13 %
Sulphate	2.54 %	1.90 %	1.32 %
Nitrogen	0.17 %	0.10 %	0.14 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ มีการทดลองใช้สารอื่นมาแทนวุ้นในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อซึ่งสามารถทำได้ สารต่างๆเหล่านั้นได้แก่ โพลีเมอร์สังเคราะห์ เช่น ไบโอเจล P200 (โพลีอะคลีลาไมด์) อัลจิเนต (Alginate) ในการเพาะเลี้ยงโพรโทพลาสต์ มีการนำเอา CCA (Cellulose crystallite-aggregate) มาใช้ในการกระตุ้นการเกิดรากในการเพาะเลี้ยงกะหล่ำดอก

ในอาหารเหลวจะไม่ใส่วุ้น แต่อาจจะใช้พลาสติก โฟมหรือใยแก้ว หรือใยหินใส่ลงไปเพื่อช่วยพยุงชิ้นพืชก็ได้ หรืออาจจะใช้กระดาษกรองแทนก็ได้ หรือบางคนใช้เม็ดแก้วหรือฟองน้ำใส่ลงไปในอาหารเหลวแทนวุ้น ซึ่งเมื่อใช้แล้วสามารถล้างนำมาใช้ใหม่ได้อีก วิธีนี้สามารถเทอาหารเก่าออกแล้วเปลี่ยนอาหารใหม่ได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนขวดใหม่ และต้นพืชไม่ค่อยกระทบกระเทือน เวลาเอาต้นพืชออกปลูกก็ง่ายกว่า แต่ถ้าเป็นอาหารเหลวที่ไม่เติมวุ้นหรือสิ่งอื่นมายึดชิ้นพืช ชิ้นพืชจะจมลงในอาหาร จึงจำเป็นต้องเพาะเลี้ยงบนเครื่องเขย่า เพื่อให้มีอากาศละลายอยู่ในอาหารอย่างเพียงพอ (ศิวพงศ์ จำรัสพันธุ์, 2541 : 83-84)

2.2.2 วิธีการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

เนื่องจากอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อแต่ละสูตร ประกอบด้วยสารเคมีหลายชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติและข้อจำกัดแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องจัดแบ่งสารเหล่านี้ออกเป็นกลุ่ม ด้วยเหตุผลสำคัญ คือ

1. สารเคมีบางชนิดใช้ในปริมาณที่น้อยมาก เช่น $CuSo_4$, $CoCl_2$, thiamine-HCl และ H_3BO_3 เป็นต้น ทำให้ต้องใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดมากๆ และอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ง่าย ดังนั้นในทางปฏิบัติจะใช้วิธีเตรียมเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าที่ใช้จริงหลายๆ เท่า (ประมาณ 50-1,000 เท่า) ซึ่งทำให้เตรียมได้ง่ายขึ้น และเรียกสารละลายที่เตรียมได้นี้ว่า Stock solution

2. สารเคมีบางชนิด อาจทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารอื่น เกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ต้องการและ/หรือเป็นพิษ ดังนั้น ในแต่ละกลุ่มของสารละลายเข้มข้น (Stock solution) จึงต้องเป็นสารที่อยู่ร่วมกันได้

3. สารเคมีบางชนิด หากอยู่ร่วมกับสารอื่นๆ จะไม่ละลาย ละลายได้เล็กน้อย หรือละลายได้ไม่หมด จึงจำเป็นต้องแยกกลุ่มออกต่างหาก

การเตรียมสารละลายเข้มข้นในสูตรของ Murashige and Skoog หรือสูตร MS ซึ่งนิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด (รังสฤษฎ์ กาวีต๊ะ, 2541 : 19)

การเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช จะไม่เตรียมโดยชั่งสารเคมีในแต่ละครั้งที่เตรียม แต่จะเตรียมเป็นสารละลายเข้มข้น (พรชัย จุฑามาศ, 2544 : 2) ซึ่งมีความเข้มข้นกว่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการในสูตรอาหารจริง สารเคมีบางชนิดที่เป็นแหล่งของธาตุอาหารไม่สามารถเตรียมเป็นสารละลายรวมกับธาตุชนิดอื่น เพราะอาจเกิดการตกตะกอนได้ (อารีย์ วรัญญูวัฒก์, 2541 : 15)

ตารางที่ 3 การแบ่งกลุ่มสารเคมี และการเตรียมสารละลายเข้มข้นของสูตรอาหาร MS (ต่อปริมาตร 1,000 ml หรือ มิลลิลิตร ของ Stock solution นั้นๆ)

Stock	สารเคมีในกลุ่ม	ปริมาณ (mg)	ความเข้มข้น (เท่า)	ปริมาตรที่ใช้ (ml/l)
1	NH_4NO_3	82,500	50	20
2	KNO_3	95,000	50	20
3	H_3BO_3	1,240	200	5
	KH_2PO_4	34,000	200	
	KI	166	200	
	$Na_2MoO_4 . 2H_2O$	50	200	
	$CoCl_2 . 6H_2O$	5	200	
4	$CaCl_2 . 2H_2O$	88,000	200	5
5	$MgSO_4 . 7H_2O$	74,400	200	5
	$MnSO_4 . 4H_2O$	4,460	200	
	$ZnSO_4 . 7H_2O$	1,720	200	
	$CuSO_4 . 5H_2O$	5	200	
6	Na_2-EDTA	7,450	200	5
	$FeSO_4 . 7H_2O$	5,570	200	
7	Glycine	400	200	5
	Nicotinic acid	100	200	
	Pyridoxine-HCl	100	200	
	Thaimine-HCl	20	200	
8	Myo-inositol	100	1	

(รังสฤษฎ์ กาวีตี๊ะ, 2541 : 19)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

1. นำสารละลายอาหารเข้มข้นชนิดต่างๆ มาผสมกันตามสูตรอาหารที่ต้องการ ค่อยๆ คน ให้เข้ากันจนครบทุกชนิด (สมพร ประเสริฐส่งสกุล, 2541 : 25)
2. เติมสารที่เป็นแหล่งคาร์บอน คือ น้ำตาลซูโครส แต่อาจดัดแปลงใช้กลูโคส หรือฟรุค-โทส แล้วแต่สูตรอาหารที่ใช้
3. เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต หรือสารเคมีอื่นๆ ตามความต้องการของสูตรอาหาร
4. ปรับปริมาตรสารละลายอาหาร ให้ได้ครบตามที่ต้องการเตรียม ในกรณีนี้คือ 1,000 ml
5. ปรับค่าความเป็นกรดและด่าง ด้วยกรดเกลือ (HCl) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ให้ได้ประมาณ 5.5-5.8
6. เติมวุ้นในกรณีเตรียมอาหารกึ่งแข็งหรืออาหารแข็ง
7. เคี่ยวอาหารเพื่อหลอมละลายวุ้นโดยใช้เตาลวดความร้อน (Hot plate) หรือเตาแก๊ส หรือเตาไมโครเวฟ
8. เทอาหารลงในภาชนะที่จะใช้เลี้ยง เช่น ขวด หลอดทดสอบ และจาน petri-dish เป็นต้น
9. นำภาชนะอาหารไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดัน (Autoclave) ที่ความดัน 15 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที แล้วทิ้งให้เย็นลง

(รังสฤษฎ์ กาวีต๊ะ, 2541 : 20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการสร้างอุปกรณ์

3.1 การวิเคราะห์หลักสูตร

ในการทำปัญหาพิเศษเรื่อง บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชา เทคโนโลยีชีวภาพเบื้องต้น (03632103) จำนวน 3 หน่วยกิต ทฤษฎี 2 คาบ ปฏิบัติ 3 คาบ ในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ) สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิชา เทคโนโลยีชีวภาพเบื้องต้น (0363210) เป็นวิชาที่อยู่ในหมวดวิชาศึกษาทั่วไป กลุ่มวิชาอุตสาหกรรมเกษตร (บังคับเรียน) จำนวน 3 หน่วยกิต ทฤษฎี 2 คาบ ปฏิบัติ 3 คาบ/สัปดาห์ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ) ปริญญาตรีต่อเนื่อง 2 ปี สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.2 การวิเคราะห์เนื้อหา

รายวิชา เทคโนโลยีชีวภาพเบื้องต้น (03632103)

คำอธิบายรายวิชา

ความหมายและความสำคัญของเทคโนโลยีชีวภาพ ประเภท คุณสมบัติของจุลินทรีย์ การนำจุลินทรีย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ ในโรงงานอุตสาหกรรม ชีวเคมีของผลิตภัณฑ์โดยอาศัยการหมัก การนำเทคโนโลยีชีวภาพไปประยุกต์ใช้ในด้านการผลิต การแปรสภาพ การกำจัดของเสียและการนำกลับมาใช้ใหม่ ดูงานนอกสถานที่

วัตถุประสงค์ทั่วไป

1. บอกความหมายและความสำคัญของเทคโนโลยีชีวภาพได้ ตลอดจนสามารถอธิบายถึงความเกี่ยวข้องของเทคโนโลยีชีวภาพกับศาสตร์ในแขนงอื่นๆได้
2. สามารถแยกเชื้อจุลินทรีย์จากแหล่งธรรมชาติ และจำแนกเชื้อจุลินทรีย์ขั้นต้นได้
3. อธิบายถึงขบวนการทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ในการสร้างผลิตภัณฑ์ต่างๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เข้าใจถึงบทบาทของจุลินทรีย์และการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ในด้านอุตสาหกรรมเกษตรและอุตสาหกรรมอื่นๆได้
5. สามารถนำเทคโนโลยีชีวภาพไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มผลผลิตพืช สัตว์ และการแปรสภาพ ตลอดจนการกำจัดของเสีย และการนำกลับไปใช้ใหม่ได้

รายการสอน

ภาคทฤษฎี

บทที่	เรื่อง	คาบ
1	บทนำ	2
	- ความหมายและความสำคัญของเทคโนโลยีชีวภาพ	
	- ขอบเขตการศึกษาทางเทคโนโลยีและการประยุกต์ใช้	
	- ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในเทคโนโลยีชีวภาพ	
2	จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีชีวภาพ	6
	- ลักษณะที่สำคัญและบทบาทของจุลินทรีย์ต่อเทคโนโลยีชีวภาพ	
	- ประเภทของจุลินทรีย์	
	- ปัจจัยในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	
	- การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	
	- การวัดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	
	- หลักการแยกเชื้อจุลินทรีย์จากแหล่งธรรมชาติเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม	
	- คุณสมบัติของจุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อเทคโนโลยีชีวภาพ	
3	การนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม	2
	- ลักษณะของผลิตภัณฑ์จากจุลินทรีย์	
	- การประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ	
4	กระบวนการหมักในอุตสาหกรรม	6
	- ความหมายของการหมัก	
	- ประวัติของอุตสาหกรรมการหมัก	
	- เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการหมักและวิธีการใช้	
	- ประเภทของการหมัก	
	- การเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบไปเป็นผลิตภัณฑ์	
	- การเก็บเกี่ยวผลิตภัณฑ์ การแยกและการทำให้บริสุทธิ์	
	- การประยุกต์ใช้การหมักในอุตสาหกรรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5	ชีวเคมีของผลิตภัณฑ์โดยอาศัยการหมัก	6	
	- สารปฏิชีวนะ (Antibiotic)		
	- กรดอะมิโน (Amino acids)		
	- กรดอินทรีย์ (Organic acids)		
	- แอลกอฮอล์ (Alcohol)		
	- ฮอร์โมน		
	- ผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น		
6	การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีวภาพ	6	
	- การประยุกต์ใช้ในด้านการเพิ่มผลผลิตพืชและสัตว์ *		
	- การประยุกต์ใช้ในด้านการกำจัดน้ำเสีย		
	- การประยุกต์ใช้ด้านการแปรสภาพ (แปรรูปอาหาร)		
	- การประยุกต์ใช้ในด้านการนำกลับมาใช้ใหม่		
7	การปรับปรุงพันธุ์จุลชีพกับเทคโนโลยีชีวภาพ	4	
	- วิธีการปรับปรุงพันธุ์จุลชีพ		
	- ประโยชน์ของการปรับปรุงพันธุ์จุลชีพ		
	รวม	32	คาบ

รายการสอน

ภาคปฏิบัติ

บทปฏิบัติการที่	เรื่อง	คาบ
1	การเตรียมอุปกรณ์และวัสดุสำหรับปฏิบัติการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์	3
2	การแยกเชื้อจุลินทรีย์จากแหล่งธรรมชาติ	3
3	การจำแนกเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้	3
4	วิธีการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์	3
5	การวัดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	3
6	การนำเทคโนโลยีชีวภาพไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มผลผลิตพืช * (การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช)	6
7	การใช้จุลินทรีย์ในการผลิตเอนไซม์	3
8	การหมักเครื่องดื่มแอลกอฮอล์	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9	การใช้จุลินทรีย์ในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร	6	
10	ดูงานนอกสถานที่	3	
	รวม	36	คาบ
	รวมทั้งหมด	68	คาบ

<u>หมายเหตุ</u> * คือ หัวข้อที่นำมาผลิตเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง "อาหารเพาะเลี้ยง-เนื้อเยื่อพืช"

เนื้อหา

องค์ประกอบของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

1. ค่า pH ของอาหาร

ค่า pH ที่นิยมใช้ในอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงมักอยู่ในช่วง pH 5.0-6.0 ถ้า pH สูงหรือต่ำเกินไป การเจริญและพัฒนาของพืชจะชะงัก โดยทั่วๆไป การตอบสนองของพืชมักจะไม่ไวต่อการเปลี่ยน-แปลงของ pH ในช่วงสั้นๆ แต่บางครั้ง pH ก็มีผลต่อการเจริญของพืชเมื่อเลี้ยงได้ระยะหนึ่ง

pH ที่ต่ำเกินไป จะทำให้ฮอร์โมน IAA และจิบเบอเรลลินสลายได้ง่าย และวุ้นไม่แข็งตัว นอกจากนี้ยังทำให้วิตามินบีและกรดแพนโทเทนิกสลายง่ายด้วยเช่นกันและเกลือหลายชนิดที่จะตกตะกอนไม่ละลายเมื่อ pH ต่ำ ทำให้พืชดูดไปใช้ไม่ได้ เช่น เกลือฟอสเฟตและเหล็ก เป็นต้น pH ของอาหารจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อนำอาหารไปนึ่งฆ่าเชื้อในออโตเคลฟ ถ้าก่อนนึ่งอาหารมี pH 5.0-7.0 ภายหลังนึ่งแล้ว pH ของอาหาร จะลดลง ประมาณ 0.3-0.5 หน่วย

ถ้าในการเตรียมอาหาร pH ของอาหารสูงหรือต่ำเกินไป จะปรับ pH ได้ โดยใช้ NaOH หรือ HCl ในความเข้มข้น 0.1-1.0 โมลาร์ (M) เมื่อเตรียมอาหาร โดยเติมสารละลายเกลือแร่ต่างๆ ครบถ้วนแล้ว แต่ pH ของสารละลายยังไม่อยู่ในช่วงที่ต้องการจะต้องมีการปรับ pH การปรับ pH ถ้า pH ของสารละลายต่ำกว่าค่า pH ที่ต้องการตัวอย่างเช่น ในกรณีที่วัด pH ของสารละลายได้ 5.0 แต่ต้องการค่า pH 5.6 จะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งเป็นด่าง ในการปรับ pH ของสารละลายให้สูงขึ้น สารละลาย NaOH จะมีไอออน Na^+ และ OH^- ไอออน OH^- จะรวมตัวกับ ไอออน H^+ ที่มีมากในสารละลายที่เตรียม เมื่อ OH^- รวมกับ H^+ จะกลายเป็นน้ำ (H_2O) จึงทำให้เป็นกลาง และทำให้สารละลายที่เตรียมเป็นด่างมากขึ้น NaOH มักจะจำหน่ายในลักษณะเป็นเม็ด จะต้องไม่หยิบจับสารนี้ด้วยมือเปล่า ควรใช้ช้อนตักสารหรือช้อนหรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่หาได้ เพราะว่าสารตัวนี้จะกัดมือได้ สาร NaOH ที่ใช้ปรับ pH นิยมใช้ความเข้มข้น 1 โมลาร์ (1 M) กรดเกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(HCl) เป็นสารละลายที่ใช้ปรับ pH ของสารละลายให้ลดลง (ทำให้เป็นกรดมากขึ้น) เมื่อสารละลายเป็นด่างมาก เช่น ในกรณีสารละลายมี pH 6.0 และต้องการให้ pH ลดลงเป็น 5.0 เป็นต้น ในสารละลาย HCl จะมี H^+ และ Cl^- H^+ ไอออนจะรวมกับ OH^- ที่มีอยู่มากในสารละลาย แล้วกลายเป็นน้ำ ทำให้เป็นกลางและสารละลายเป็นกรดมากขึ้น ในการใช้สารละลาย HCl ช่วยลด pH ของสารละลาย นิยมใช้ความเข้มข้น 1 โมลาร์

2. สารอนินทรีย์

ธาตุอาหารอนินทรีย์และเกลือแร่ต่างๆ มีความสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมาก พืชที่เพาะเลี้ยงต้องการชนิดและปริมาณของเกลือแร่ต่างๆที่ไม่เหมือนกัน แบ่งประเภทธาตุอาหารอนินทรีย์ตามความต้องการของพืชได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. แมคโครนิวเทรียนต์ (Macronutrient) เป็นธาตุอาหาร กลุ่มที่พืชมีความต้องการสูงหรือต้องการในปริมาณมากได้แก่ Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Nitrogen (N), Phosphorus (P), Potassium (K) และ Sulphur (S)

Calcium (Ca) เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ จึงมีบทบาทที่สำคัญอย่างยิ่งในการสร้างผนังเซลล์ของพืช นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็น (Cofactors) ของเอนไซม์หลายชนิดปริมาณแคลเซียมที่พืชต้องการจะประมาณ 1-3 mM และมักใช้ในรูป Calcium chloride หรือ Calcium nitrate

Magnesium (Mg) มีบทบาทที่สำคัญคือเป็นแกนกลางของ Chlorophyll นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวช่วยให้เอนไซม์ต่างๆ ทำงานได้ดีขึ้น ปริมาณที่พืชต้องการจะเท่าๆ กับแคลเซียม และรูปที่ใช้มากที่สุดคือ Magnesium sulphate

Nitrogen (N) เป็นสารที่พืชต้องการสูงมากเพื่อให้เกิดการเจริญและถือว่าเป็นแร่ธาตุที่มีผลต่อการพัฒนาของพืชมากที่สุด ในสภาพธรรมชาติเมื่อพืชได้รับไนโตรเจนในรูปสารอนินทรีย์จะเปลี่ยนรูปเป็นกรดอะมิโนและเปลี่ยนเป็น โปรตีนในช่วงหลัง ใช้ในรูปของอนุมูลไนเตรท (Nitrate – NO^{-3}) และอนุมูลแอมโมเนียม (Ammonium – NH_4^+) ซึ่งเป็นไนโตรเจนที่ถูกรีดิวซ์ ซึ่งไม่ค่อยนิยมใช้มากเท่าแบบแรก เนื่องจากพบว่าอาจเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อได้ค่อนข้างง่ายหากใช้เพียงอย่างเดียว ในกรณีที่ใช้ในรูปของอนุมูลไนเตรทมักใช้ประมาณ 25-40 mM แต่ถ้าใช้ในรูปอนุมูลแอมโมเนียมจะใช้ประมาณ 2 – 20 mM แต่ในการเตรียมอาหารมักใช้ไนโตรเจนทั้ง 2 รูป เพื่อที่จะช่วยรักษาความเป็นกรดเป็นด่างของอาหารให้คงที่มากที่สุดในระหว่างการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ความต้องการไนโตรเจนของเนื้อเยื่อพืชจะอยู่ในช่วงประมาณ 25-60 mM

Phosphorus (P) พบมากในเนื้อเยื่อเจริญและเนื้อเยื่อที่กำลังเจริญอย่างรวดเร็วอื่นๆ ใช้เป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ ใช้ในรูปโปแตสเซียมฟอสเฟต (KH_2PO_4) และโซเดียมฟอสเฟต ($NaH_2PO_4.H_2O$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Potassium (K) จำเป็นสำหรับการแบ่งเซลล์ การสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตและโปรตีน การสร้างคลอโรฟิลด์ โปแตสเซียมไนเตรท (KNO_3) และโปแตสเซียมฟอสเฟต (KH_2PO_4) เป็นแหล่งของโปแตสเซียมในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ และบางครั้งอาจใช้โปแตสเซียมคลอไรด์ (KCl)

Sulphur (S) อยู่ในรูปของโปรตีนบางชนิด ช่วยให้รากพัฒนาและใบมีสีเขียวเข้ม ใช้ในรูปของซัลเฟต (SO_4^{2-})

2. ไมโครนิวเทรียนต์ (Micronutrient) เป็นกลุ่มที่พืชไม่ต้องการมากนัก แต่มีความจำเป็นต่อการเจริญของพืช แร่ธาตุในกลุ่มนี้ได้แก่ Boron (B), Cobalt (Co), Copper (Cu), Iodine (I), Iron (Fe), Manganese (Mn) Molybdenum (Mo), Zinc (Zn) และ Chlorine (Cl)

Boron (B) โบรอนเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ลิกนินและเมตาโบลิซึมของสารประกอบฟีนอล โบรอนส่วนมากจะอยู่ในรูปของกรดบอริก (Boric acid)

Cobalt (Co) โคบอลท์เป็นองค์ประกอบของ Co-enzyme เป็นแร่ธาตุที่ใช้ในปริมาณน้อยมาก คือ 0.01 mM และอยู่ในรูปของเกลือคลอไรด์ เนื่องจากเป็นธาตุที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษได้ง่าย ดังนั้นการเติมในอาหารจึงต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ

Copper (Cu) ทองแดงมีส่วนสำคัญในการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด โดยเฉพาะเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง เช่น Cytochrome oxidase แต่มีความต้องการน้อยมากคือ เท่ากับโคบอลท์ (0.01 mM) และใช้ในรูปของเกลือซัลเฟต

Iodine (I) ช่วยในการเจริญของรากและแคลลัส ไอโอดีนจะใช้ในรูปของอนุมูลไอโอไดด์ ที่เป็นเกลือของโปแตสเซียม

Iron (Fe) เหล็กเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์ Chlorophyll และขบวนการเกิดออกซิเดชันในพืช การใช้เหล็กในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชจะต้องคำนึงถึงสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของอาหารค่อนข้างมาก เนื่องจากเหล็กจะเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อของพืชได้ค่อนข้างง่าย ใช้ในรูป Sodium หรือ Potassium ethylenediaminetetraacetic acid (Na / K-EDTA) เพราะช่วยให้เหล็กอยู่ในสภาพที่เนื้อเยื่อจะนำไปใช้แทบทุกสภาพความเป็นกรดเป็นด่างปริมาณที่พืชต้องการประมาณ 1 mM

Molybdenum (Mo) มีส่วมร่วมในการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียและช่วยในการตรึงไนโตรเจนของแบคทีเรีย เติมในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในรูปของโซเดียมโมลิบเดต ($Na_2MoO_4 . 2H_2O$) ปริมาณที่สูงกว่า 10 ส่วนในล้านส่วนจะเป็นอันตรายต่อพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Manganese (Mn) การขาดจะแสดงโดยคลอโรซีส มีใบเหลืองและแห้งเป็นจุดๆ ธาตุนี้จำเป็นในเยื่อหุ้มของคลอโรพลาสต์ ใช้ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในรูปของ แมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4.H_2O$)

Zinc (Z) อยู่ในเอนไซม์หลายชนิด เกี่ยวข้องกับการสร้างคลอโรฟิลด์ และการสร้างออกซิน (IAA) ซิงค์ซัลเฟต ($Zn\ SO_4.7\ H_2O$) จะเติมลงในอาหารเพียงเล็กน้อย ถ้าเติมมากจะเป็นพิษต่อพืช

Chlorine (Cl) จำเป็นในการกระตุ้นการสังเคราะห์ด้วยแสง การขาดทำให้ใบเหี่ยวแห้ง กลายเป็นสีเหลืองหรือสีบรอนซ์และตายไป พืชต้องการคลอรีนน้อยมาก ใช้ในรูปของแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2.H_2C$)

3. สารอินทรีย์

สารอินทรีย์เป็นสารเคมีที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น คาร์โบไฮเดรต ฮอร์โมน โปรตีน เอนไซม์ ฯลฯ สารเหล่านี้พืชสามารถสร้างขึ้นมาได้เอง ดังนั้นจึงไม่นิยมเติมให้กับพืช อย่างไรก็ตามพืชที่นำมาเพาะเลี้ยงมักจะมีขนาดเล็กเกินไปและไม่สมบูรณ์พอที่จะสร้างสารต่างๆ เหล่านี้ได้หมด ดังนั้นสารอินทรีย์เหล่านี้จึงจำเป็นต้องเติมในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชด้วย เพื่อช่วยให้เกิดต้นอ่อนเพิ่มมากขึ้น

1. คาร์โบไฮเดรต เป็นแหล่งพลังงานของเนื้อเยื่อ เป็นสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล แป้ง และ-เซลลูโลส สารประกอบเหล่านี้ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็นธาตุพื้นฐานมาประกอบกันในปริมาณต่างๆ กัน และมีโครงสร้างต่างๆ กัน ธาตุ C, H, O นี้พืชจะได้รับทางอากาศ (CO_2) และน้ำ (H_2O) อยู่แล้วโดยทั่วๆ ไป

น้ำตาลเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากในอาหารทุกสูตร น้ำตาลจำเป็นในการเจริญและพัฒนาการของเนื้อเยื่อพืช เพราะว่าการสังเคราะห์แสงของชิ้นพืชยังไม่เพียงพอ ดังนั้นพืชจึงยังต้องการแหล่งพลังงานจากอาหารอยู่

ในสภาพจำลองที่เลี้ยงในขวดนั้นประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสงจะต่ำกว่าปกติมาก ดังนั้นจึงต้องเพิ่มน้ำตาลให้กับต้นพืชหรือเนื้อเยื่อที่เลี้ยง น้ำตาลที่ใช้อาจเป็นน้ำตาล Glucose, Sucrose, Fructose หรือ Sorbitol ที่อาจใช้ได้กับพืชบางชนิด

Sucrose เป็นน้ำตาลที่พืชเก็บสะสมและสามารถเคลื่อนย้ายไปตามส่วนต่างๆได้ดี นอกจากนี้การนึ่งฆ่าเชื้อ หรือเมื่อพืชดูดเข้าไปใช้จะแตกตัวเป็น Glucose กับ Fructose ได้ง่าย

Glucose เป็นน้ำตาลที่อาจใช้แทน Sucrose ในบางกรณี

Fructose เป็นน้ำตาลที่อาจใช้แทน Sucrose ในบางกรณีของพืชบางชนิด เช่น กล้วยไม้ที่พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยกระตุ้นให้เจริญได้ดีกว่าใช้ Sucrose เดี่ยวๆ

น้ำตาลนอกจากจะใช้เป็นแหล่งพลังงานแล้ว ยังเป็นตัวที่จะช่วยรักษาแรงดันออสโมซิสของเนื้อเยื่อพืชด้วย โดยจะมีบทบาทในส่วนนี้มากถึง 50-80 % ดังนั้นการปรับปริมาณของน้ำตาลในอาหารแต่ละชนิด จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยปกติจะใช้น้ำตาลในอาหารประมาณ 20-40 กรัม/ลิตร

2. วิตามิน (Vitamin) วิตามินที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช เช่น Thiamine, Nicotinic acid, Pyridoxine, Inositol, Panthothenic acid, Biotin, Folic acid, Choline chloride, Riboflavin และ Ascorbic acid เป็นต้น

หน้าที่ของวิตามิน คือ เป็นตัวเร่งในการทำงานของเอนไซม์ แต่พืชต้องการวิตามินในปริมาณน้อย

อิโนซิทอล (Myo-inositol, $C_6H_{12}O_6$) เป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ (Sugar alcohol) ซึ่งในรูปฟอสเฟตมันจะเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์นานาชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งออร์แกเนลล์ (Organelle) บางชนิด เช่น คลอโรพลาสต์ อิโนซิทอล (ไมโอ-อิโนซิทอล) เติมลงในอาหารเพาะเลี้ยงในจำนวนค่อนข้างสูงคือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ไทอะมีน (วิตามินบี 1, $C_{12}H_{17}ON_4SCl$) ทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ ร่วมกับวัฏจักรของกรดอินทรีย์ (Krebs cycle) ในการหายใจ เติมเพียง 4 มิลลิกรัมของไทอะมีนไฮโดรคลอไรด์ต่อลิตร

กรดนิโคทินิก (ไนอะซิน, $C_6H_5O_2N$) เป็นองค์ประกอบของโคเอนไซม์ในปฏิกิริยา ใช้พลังงานแสง อาหารเพาะเลี้ยงมักจะเติมกรดนิโคทินิกในสัดส่วนต่างๆ กัน ตั้งแต่ 0.1 ถึง 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ไพริดอกซิน (วิตามินบี 6, $C_8H_{11}O_3N$) เป็นโคเอนไซม์ในเมตาบอลิซึมหลายกระบวนการ บางครั้งเติมในอาหารในรูปของไพริดอกซินไฮโดรคลอไรด์

3. กรดอะมิโนต่างๆ เช่น Arginine, Aspartic acid, Glutamic acid, Tyosine อาจช่วยในการเพิ่มจำนวนของส่วนต่างๆ นอกจากนี้ กรดอะมิโนอาจมีผลร่วมในทางตรงข้าม ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อพืช ดังนั้นประสิทธิภาพในการทำงานของกรดอะมิโนในอาหารเพาะเลี้ยงก็ควรพิจารณาเป็นกลุ่ม กรดอะมิโนที่ใช้กันโดยทั่วไปใช้เติมลงไปในอาหาร เพื่อช่วยให้การเจริญเติบโตของพืชดีขึ้น

4. อาหารเสริม

สารอินทรีย์อื่นๆที่เป็นสารซับซ้อนและไม่ทราบองค์ประกอบอย่างแท้จริง เช่น น้ำมะพร้าว สารสกัดจากยีสต์ สารสกัดจากพืชชนิดต่างๆ เช่น มันฝรั่ง กล้วย ผลไม้ ผัก อาจมีบทบาทในแง่เป็นแหล่งของฮอร์โมน น้ำตาล กรดอะมิโน หรือสารอินทรีย์อื่นๆ การใช้มักพบว่า ช่วยให้การเจริญดีขึ้น แต่มีข้อเสียที่ผลที่ได้อาจแตกต่างกันตามคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาเตรียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สารควบคุมการเจริญเติบโต

ปัจจุบันแบ่งสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชตามคุณสมบัติที่มีต่อพืช ออกได้เป็น 5 พวกใหญ่ๆ

1. ออกซิน

เป็นชื่อเรียกกลุ่มสารที่กระตุ้นการยืดตัวของเซลล์ทั้งในส่วนต้นและราก ตัวอย่างออกซิน เช่น IAA , IBA , NAA , และ 2 , 4 –D

IAA (Indole acetic acid) **เป็นออกซินที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ถูกทำลายโดยแสงและเอนไซม์ เอนไซม์ที่ย่อย IAA คือ ไอเอิออกซิเดส (IAA oxidase) ซึ่งพบเอนไซม์ชนิดนี้ในปริมาณสูงในเนื้อเยื่อที่เพาะเลี้ยง เพราะฉะนั้นถ้าใช้ IAA ในอาหารเพาะเลี้ยง ควรใช้ในความเข้มข้นที่สูง เช่น 1-30 มิลลิกรัม/ลิตร**

NAA (Naphthalene acetic acid) **เป็นออกซินที่สังเคราะห์ขึ้นมาจึงไม่ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ ดังนั้นปริมาณที่ใช้จึงน้อย ประมาณ 0.1-2.0 มิลลิกรัม/ลิตร**

2 , 4 – D (2 , 4 – dichlophenoxy acetic acid) **เป็นออกซินที่มีฤทธิ์ค่อนข้างแรงกว่า IAA และ NAA เมื่อใช้ 2 , 4 –D ในความเข้มข้น 5-10 มิลลิกรัม/ลิตร**

สรุปหน้าที่ของออกซินได้ดังนี้

1. **ช่วยในการยืดตัวของเซลล์**
2. **ส่งเสริมหรือชักนำการแบ่งเซลล์**
3. **ช่วยในเรื่องการเปลี่ยนสภาพของเซลล์**
4. **เพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง โดยเพิ่มการสังเคราะห์ mRNA ในนิวเคลียส**
5. **ออกซินบริเวณปลายยอดควบคุมการแตกของตาข้าง** (lateral bud)

2. ไซโทไคนิน

เป็นสารที่ช่วยให้เกิดการแบ่งเซลล์ ช่วยควบคุมการงอกของเมล็ด มีอิทธิพลต่อการร่วงของใบ

ไซโทไคนินในอาหารเพาะเลี้ยงเพื่อใช้กระตุ้นการแบ่งเซลล์ และการแตกหน่อของชิ้นเนื้อเยื่อ และมักจะไม่ใช้เมื่อต้องการให้รากงอก ถ้าการเพาะเลี้ยงใช้เวลานาน และยอดผอมไม่ค่อยสมบูรณ์แล้ว การเพิ่มไซโทไคนินจะทำให้แตกหน่อเร็วขึ้นและความสูงจะลดลง ไซโทไคนินใช้เติมในอาหารสูงกว่าออกซินมาก ความเข้มข้นของไซโทไคนินที่นิยมใช้อยู่ในระหว่าง 1-10 มิลลิกรัม/ลิตร

สรุปหน้าที่ของไซโทไคนิน ได้ดังนี้

1. **เร่งการแบ่งเซลล์**
2. **ช่วยในกระบวนการเปลี่ยนสภาพของเซลล์**
3. **ช่วยชะลอการแก่ในใบ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ช่วยการขยายตัวของเซลล์

5. ชักนำการสังเคราะห์รงควัตถุ

3. จิบเบอเรลลิน

ชักนำให้เกิดการยืดตัวของลำต้น การเติบโตของเนื้อเยื่อเจริญหรือตา ช่วยทำลายการพักตัวของเมล็ด ทำให้เมล็ดหรือเอมบริโอที่แยกออกมางอกได้ นอกจากนี้มักยับยั้งการเกิดรากและยอด อีกทั้งช่วยกระตุ้นการออกดอกของพืชบางชนิด และช่วยชะลอการแก่ของผลไม้บางชนิด

4. กรดแอบซิซิก

สารประเภทนี้ส่วนใหญ่สังเคราะห์ขึ้นเองตามธรรมชาติ สำหรับควบคุมกระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ไม่ให้เกิดเร็วเกินไป หรือไม่ให้เกิดในช่วงเวลาและสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม มีคุณสมบัติเกี่ยวกับการร่วงของใบและผล กระตุ้นการพักตัวของพืช และควบคุมการเปิดปิดของปากใบเป็นต้น

5. เอทิลีน

พืชสามารถสร้างได้เองจากกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการสุกของผลไม้ ซึ่งพบว่าผลไม้ที่สุกมีการปล่อยเอทิลีนออกมา ส่วนอื่นๆของพืช เช่น ลำต้น ใบ ดอก ราก หัว และเมล็ดก็สามารถสร้างเอทิลีนได้เช่นกัน

พืชตอบสนองต่อเอทิลีนได้หลายทาง เช่น เร่งการสุกของผลไม้ กระตุ้นการเกิดรากฝอยและรากแขนง กระตุ้นการงอกของเมล็ด กระตุ้นให้ใบและผลร่วงจากต้น กระตุ้นการออกดอก สามารถทำให้สีของดอกไม้จางลง เป็นต้น

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่กล่าวมักใช้ในปริมาณน้อย การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชเหล่านี้ต้องพิจารณาด้วยว่า ชิ้นส่วนพืชสร้างฮอร์โมนได้เองหรือไม่ ถ้าสร้างเองได้ก็ไม่จำเป็นต้องใส่เข้าไป

6. วุ้น (Agar)

เป็นส่วนผสมของโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งสกัดได้จากสาหร่ายสีแดงหลายชนิด วุ้นทำให้อาหารแข็งพอที่จะช่วยพยุงชิ้นพืช และในขณะเดียวกันก็เหลวพอที่จะทำให้สารอาหารต่างๆ แพร่ผ่านเข้าสู่พืชได้

ความแข็งของวุ้นแปรผันอยู่ระหว่าง 35% วุ้น 6 กรัมต่อลิตร เหมาะสมในอาหารเพาะเลี้ยงทั่วไป แต่ความแข็งก็อาจจะเปลี่ยนไปตามสูตรอาหารและที่มาของวุ้นด้วย ส่วนมากนิยมเติมวุ้นในความเข้มข้นระหว่าง 0.6-0.8 % ถ้ามีวุ้นมากเกินไป จะทำให้น้ำส่วนใหญ่ถูกยึดไว้ พืชจึงดูดน้ำไปใช้ได้ยาก และผิวของชิ้นพืชสัมผัสกับวุ้นได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

เนื่องจากอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อแต่ละสูตร ประกอบด้วยสารเคมีหลายชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติและข้อจำกัดแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องเตรียมสารเคมีเหล่านั้นเป็นกลุ่มๆ ในรูปสารละลายเข้มข้น ที่เรียกว่า Stock solution ด้วยเหตุผลสำคัญ คือ

1. สารเคมีบางชนิดใช้ในปริมาณที่น้อยมาก เช่น $CuSo_4$, $CoCl_2$, thiamine-HCl และ H_3BO_3 เป็นต้น ทำให้ต้องใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดมากๆ และอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ง่าย ดังนั้นในทางปฏิบัติจะใช้วิธีเตรียมเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าที่ใช้จริงหลายๆ เท่า (ประมาณ 50-1,000 เท่า) ซึ่งทำให้เตรียมได้ง่ายขึ้น และเรียกสารละลายที่เตรียมได้นี้ว่า Stock solution

2. สารเคมีบางชนิด อาจทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารอื่น เกิดเป็นสารประกอบ ที่ไม่ต้องการ และ/หรือเป็นพิษ ดังนั้น ในแต่ละกลุ่มของสารละลายเข้มข้น (Stock solution) จึงต้องเป็นสารที่อยู่ร่วมกันได้

3. สารเคมีบางชนิด หากอยู่ร่วมกับสารอื่นๆ จะไม่ละลาย ละลายได้เล็กน้อย หรือละลายได้ไม่หมด จึงจำเป็นต้องแยกกลุ่มออกต่างหาก

ซึ่งในการเตรียมสารละลายเข้มข้นในสูตรของ Murashige and Skoog หรือสูตร MS นั้น นิยมใช้กับพืชหลายชนิด และในการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช จะไม่เตรียมโดยชั่งสารเคมีในแต่ละครั้งที่เตรียม แต่จะเตรียมเป็นสารละลายเข้มข้น ซึ่งมีความเข้มข้นกว่าที่ต้องการในสูตรอาหารจริง สารเคมีบางชนิดที่เป็นแหล่งของธาตุอาหารไม่สามารถเตรียมเป็นสารละลายรวมกับธาตุชนิดอื่น เพราะอาจเกิดการตกตะกอนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 การแบ่งกลุ่มสารเคมี และการเตรียมสารละลายเข้มข้นของสูตรอาหาร MS (ต่อปริมาตร 1,000 ml หรือ มิลลิลิตร ของ Stock solution นั้นๆ)

Stock	สารเคมีในกลุ่ม	ปริมาณ (mg)	ความเข้มข้น (เท่า)	ปริมาตรที่ใช้ (ml/l)
1	NH_4NO_3	82,500	50	20
2	KNO_3	95,000	50	20
3	H_3BO_3	1,240	200	5
	KH_2PO_4	34,000	200	
	KI	166	200	
	$Na_2MoO_4 . 2H_2O$	50	200	
	$CoCl_2 . 6H_2O$	5	200	
4	$CaCl_2 . 2H_2O$	88,000	200	5
5	$MgSO_4 . 7H_2O$	74,400	200	5
	$MnSO_4 . 4H_2O$	4,460	200	
	$ZnSO_4 . 7H_2O$	1,720	200	
	$CuSO_4 . 5H_2O$	5	200	
6	Na_2-EDTA	7,450	200	5
	$FeSO_4 . 7H_2O$	5,570	200	
7	Glycine	400	200	5
	Nicotinic acid	100	200	
	Pyridoxine-HCl	100	200	
	Thiamine-HCl	20	200	
8	Myo-inositol	100	1	

ขั้นตอนการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

1. นำสารละลายอาหารเข้มข้นชนิดต่างๆ มาผสมกันตามสูตรอาหารที่ต้องการ ค่อยๆ คนให้เข้ากันจนครบทุกชนิด
2. เติมสารที่เป็นแหล่งคาร์บอน คือ น้ำตาลซูโครส แต่อาจดัดแปลงใช้กลูโคส หรือฟรุคโทส แล้วแต่สูตรอาหารที่ใช้
3. เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต หรือสารเคมีอื่นๆ ตามความต้องการของสูตรอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปรับปริมาตรสารละลายอาหาร ให้ได้ครบตามที่ต้องการเตรียม
5. ปรับค่าความเป็นกรดและด่าง ด้วยกรดเกลือ (HCl) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ให้ได้ pH ประมาณ 5.5-5.8
6. เติมวุ้นในกรณีเตรียมอาหารกึ่งแข็งหรืออาหารแข็ง
7. เคี่ยวอาหารเพื่อหลอมละลายวุ้นโดยใช้เตาลวดความร้อน (Hot plate) หรือเตาแก๊ส หรือเตาไมโครเวฟ
8. เทอาหารลงในภาชนะที่จะใช้เลี้ยง เช่น ขวด หลอดทดสอบ และจาน petri-dish เป็นต้น
9. นำภาชนะอาหารไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดัน (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 C° ความดัน 15 ปอนด์ ต่อ ตารางนิ้ว นาน 15 นาที แล้วทิ้งให้เย็นลง

3.3 คำบรรยายประกอบอุปกรณ์

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีดังนี้

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
1	ตราสถาบัน	เพลงบรรเลง	มีตราสถาบันและตัวหนังสือพระจอมเกล้าเปลี่ยนเป็นกรอบที่ 2 (อัตโนมัติ)
2	บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (Computer assisted instruction) เรื่อง " อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช " (Media for plants tissue culture)	เพลงบรรเลง	ตัวหนังสือค่อยๆ ปรากฏ ค้างไว้สักครู่ ค่อยๆ หายไป เปลี่ยนเป็นกรอบที่ 3 (อัตโนมัติ)
3	จัดทำโดย นางสาว ภัทฉรา ทิวาวงศ์ รหัสนักศึกษา 43035569 สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	เพลงบรรเลง	ตัวหนังสือค่อยๆ ปรากฏ ค้างไว้สักครู่ ค่อยๆ หายไป เปลี่ยนเป็นกรอบที่ 4 (อัตโนมัติ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
4	อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ปานจิต ป้อมอาสา อาจารย์ ชุติมา สังข์พาลี	เพลงบรรเลง	ภาพและตัวหนังสือค่อยๆ ปรากฏ ค้างไว้สักครู่ ค่อยๆ หายไป เปลี่ยนเป็นกรอบที่ 5 (อัตโนมัติ)
5	Main page ❖ บทนำ ❖ บทเรียน ❖ แบบทดสอบ ❖ ออกจากโปรแกรม	เพลงบรรเลง	คลิกบทนำไปกรอบที่ 6 คลิกบทเรียนไปกรอบที่ 10 คลิกแบบทดสอบไปกรอบที่ 69 คลิกออกจากโปรแกรมไปกรอบที่ 85
6	❖ บทนำ ❑ วัตถุประสงค์ ❑ ประวัติความเป็นมา	เพลงบรรเลง	คลิกวัตถุประสงค์ไปกรอบที่ 7 คลิกประวัติความเป็นมาไปกรอบที่ 8 คลิก Main page ไปกรอบที่ 5
7	❑ วัตถุประสงค์ เพื่อสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วย-สอน เรื่อง อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชาเทคโนโลยีชีวภาพเบื้องต้น	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 6
8	❑ ประวัติความเป็นมา การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช เริ่มแรกจากการที่ Gottieb Haberlandt นักพฤกษศาสตร์ชาวเยอรมัน ได้ทำการแยกเซลล์พืชมาเลี้ยง เพื่อที่จะทำการศึกษาคุณสมบัติของเซลล์ เมื่อปี ค.ศ. 1902 แต่เขาก็พบความสำเร็จเพียงเล็กน้อยเท่านั้น	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 6 คลิก Next ไปกรอบที่ 9
9	ในปี ค.ศ. 1930 ได้มีการพัฒนาการเลี้ยงเซลล์ ที่แยกมาจากรากของพืช-	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
	หลายชนิด โดยเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อ นับตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชได้พัฒนาไปอย่างกว้างขวาง มีการค้นพบเทคนิคใหม่ๆ อีกมากมาย จนกระทั่งจวบจนถึงปัจจุบันนี้		คลิก Back ไปกรอบที่ 8
10	❖ บทเรียน ♣ องค์ประกอบของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ♣ วิธีการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช	เพลงบรรเลง	คลิกองค์ประกอบของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ไปกรอบที่ 11 คลิกวิธีการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชไปกรอบที่ 62 คลิก Main page ไปกรอบที่ 5
11	♣ องค์ประกอบของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ➢ pH ของอาหาร ➢ สารอนินทรีย์ ➢ สารอินทรีย์ ➢ อาหารเสริม ➢ สารควบคุมการเจริญเติบโต ➢ วุ้น	เพลงบรรเลง	คลิก pH ของอาหารไปกรอบที่ 12 คลิกสารอนินทรีย์ไปกรอบที่ 17 คลิกสารอินทรีย์ไปกรอบที่ 35 คลิกอาหารเสริมไปกรอบที่ 47 คลิกสารควบคุมการเจริญเติบโตไปกรอบที่ 49 คลิกวุ้นไปกรอบที่ 60 คลิก Main page ไปกรอบที่ 5
12	➢ pH ของอาหาร ค่า pH ที่นิยมใช้ในอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงมักจะอยู่ในช่วง pH 5.0-6.0 ถ้า pH สูงหรือต่ำเกินไป การเจริญและการพัฒนาของพืชจะชะงัก	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 11 คลิก Next ไปกรอบที่ 13
13	การปรับ pH ถ้า pH ของสารละลายต่ำกว่าค่า pH	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
	ที่ต้องการจะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 1 โมลาร์ (M) ในการปรับ pH ของสารละลายให้สูงขึ้น		คลิก Back ไปกรอบที่ 12 คลิก Next ไปกรอบที่ 14
14	ซึ่งสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะมีโซเดียมอิออนและไฮดรอกไซด์อิออนซึ่งไฮดรอกไซด์ อิออนจะรวมตัวกับไฮโดรเจนอิออน ที่มีมากในสารละลายที่เตรียม แล้วกลายเป็นน้ำ จึงทำให้เป็นกลาง	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 13 คลิก Next ไปกรอบที่ 15
15	การที่ pH ต่ำเกินไปจะเกิดสิ่งต่อไปนี้ 1. IAA และกรดจิบเบอเรลลิกสลายได้ง่าย 2. วุ้นไม่แข็งตัว 3. เกลือหลายชนิดจะตกตะกอนไม่ละลาย ทำให้พืชดูดไปใช้ไม่ได้ 4. วิตามินบีและกรดแพนโทเทนิกไม่เสถียร 5. การนำเข้าของแอมโมเนียมอิออนในเซลล์เกิดได้ช้า	เพลงบรรเลง	คลิก Main page กรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 14 คลิก Next ไปกรอบที่ 16
16	หาก pH สูงเกินไปจะใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ (M) ปรับค่า pH ให้ต่ำลง ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกจะมีไฮโดรเจนอิออนและคลอไรด์อิออนซึ่งไฮโดรเจนอิออนจะรวมตัวกับ ไฮดรอกไซด์อิออนที่มีอยู่มากในสารละลายที่เตรียมแล้วกลาย	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 15 คลิก Next ไปกรอบที่ 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
	เป็นน้ำ จึงทำให้เป็นกลางและสารละลายเป็นกรดมากขึ้น		
17	➢ สารอนินทรีย์ ธาตุอาหารอนินทรีย์และ เกลือแร่ต่างๆ มีความสำคัญ ต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมาก พืชที่เพาะเลี้ยง ต้องการชนิดและปริมาณที่ไม่เหมือนกัน สามารถแบ่งประเภทธาตุอาหารอนินทรีย์ตามความต้องการของพืชได้เป็น 2 ชนิด คือ	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 16 คลิก Next ไปกรอบที่ 18
18	1. แมคโครนิวเทรียนต์ (Macro – Nutrient) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก ได้แก่	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 17 คลิก Next ไปกรอบที่ 19
19	**แคลเซียม** เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ จึงมีบทบาทในการสร้างผนังเซลล์ ปริมาณที่พืชต้องการอยู่ระหว่าง 1-3 mMใช้ในรูปของแคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมไนเตรท	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 18 คลิก Next ไปกรอบที่ 20
20	**แมกนีเซียม** เป็นแกนกลางของคลอโรฟิลล์และยังช่วยให้เอนไซม์ต่างๆ ทำงานได้ดีขึ้นปริมาณที่พืชต้องการจะเท่าๆ กับแคลเซียม ใช้ในรูปของแมกนีเซียมซัลเฟต	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 19 คลิก Next ไปกรอบที่ 21
21	**ไนโตรเจน** เป็นแร่ธาตุที่มีผลต่อการพัฒนาของพืชมากที่สุดใช้ในรูปของอนุมูลไนเตรท และในรูปของอนุมูลแอมโมเนียมใช้ไนโตรเจนทั้ง 2 รูปเพื่อ	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 20 คลิก Next ไปกรอบที่ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
	ที่จะช่วยรักษาความเป็นกรด-ด่างของอาหารให้คงที่มากที่สุด ในระหว่างการเพาะเลี้ยง พืชต้องการไนโตรเจนประมาณ 25-60 mM		
22	**ฟอสฟอรัส** ใช้เป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ ถ้ามีฟอสฟอรัสน้อยเกินไปจะทำให้พืชเฉาและผิดปกติ ใช้ในรูปโปแตสเซียมฟอสเฟตและโซเดียมฟอสเฟต	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 21 คลิก Next ไปกรอบที่ 23
23	**โปแตสเซียม** จำเป็นสำหรับการแบ่งเซลล์ การสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตและโปรตีนและการสร้างคลอโรฟิลด์ ใช้ในรูปของโปแตสเซียมไนเตรทและโปแตสเซียมคลอไรด์	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 22 คลิก Next ไปกรอบที่ 24
24	**ซัลเฟอร์** ช่วยให้รากพัฒนาและใบมีสีเขียวเข้มใช้ในรูปของซัลเฟต เช่น แมงกานีสซัลเฟต	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 23 คลิก Next ไปกรอบที่ 25
25	2. ไมโครนิวเทรียนต์ (Micro - Nutrient) เป็นกลุ่มที่พืชไม่ต้องการมากนักแต่จำเป็นต่อการเจริญของพืช ได้แก่	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 24 คลิก Next ไปกรอบที่ 26
26	**โบรอน** สำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ลิกนินและเมตาบอลิซึมของสารประกอบฟีนอล ใช้ในรูปของกรดบอริก	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 25 คลิก Next ไปกรอบที่ 27
27	**โคบอลท์** เป็นองค์ประกอบของ โค-	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
	เอนไซม์ ใช้น้อยมากคือ 0.01 mM อยู่ในรูปของเกลือคลอไรด์ เนื่องจากเป็นธาตุที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษได้ง่าย ในการเติมจึงต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ		คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 26 คลิก Next ไปกรอบที่ 28
28	**ทองแดง** มีส่วนสำคัญในการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด โดยเฉพาะเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง พืชต้องการทองแดงน้อยมากใช้ในรูปของเกลือซัลเฟต	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 27 คลิก Next ไปกรอบที่ 29
29	**ไอโอดีน** มีความจำเป็นกับพืชบางชนิดเท่านั้น ช่วยในการเจริญของรากและแคลลัส ใช้ในรูปของอนุมูลไอโอไดด์ที่เป็นเกลือของโปแตสเซียม	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 28 คลิก Next ไปกรอบที่ 30
30	**เหล็ก** สำคัญต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และขบวนการเกิดออกซิเดชันในพืช การใช้เหล็กในอาหารเพาะเลี้ยง จะต้องคำนึงถึงสภาพความเป็นกรด-ด่างของอาหารค่อนข้างมาก เพราะเหล็กเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อของพืช ได้ง่าย ใช้ในรูปสารประกอบ Sodium-ethylenediamine-tetraacetic acid	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 29 คลิก Next ไปกรอบที่ 31
31	**โมลิบดินัม** ช่วยในการตรึงไนโตรเจน มีส่วนในการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียใช้ในรูปของโซเดียมโมลิบเดตถ้ามากกว่า 10 ppm จะเป็นอันตราย	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 30 คลิก Next ไปกรอบที่ 32
32	**แมงกานีส** หากขาด ใบพืชจะเหลืองแห้งเป็นจุดๆ จำเป็นในเยื่อหุ้มของคลอโรพลาสต์ ใช้ในรูปของ แมงกานีส-	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
	ซัลเฟต		คลิก Next ไปกรอบที่ 33
33	สังกะสี เกี่ยวข้องกับการสร้าง คลอโรฟิลล์และการสร้างออกซิน ใช้ในรูปของ ซิงค์ซัลเฟต เติมในอาหารเพียงเล็กน้อย ถ้าเติมมากจะเป็นพิษต่อพืช	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 32 คลิก Next ไปกรอบที่ 34
34	คลอรีน ช่วยกระตุ้น การสังเคราะห์แสง ถ้าขาดใบพืชจะเหี่ยวแห้งกลายเป็นสีเหลืองและตายไปพืชต้องการคลอรีนน้อยมาก ใช้ในรูปของแคลเซียมคลอไรด์	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 33 คลิก Next ไปกรอบที่ 35
35	➢ สารอินทรีย์ สารอินทรีย์เป็นสารเคมีที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ฮอร์โมน โปรตีน เอนไซม์ ถึงแม้ว่าสารเหล่านี้พืชสามารถสร้างขึ้นมาได้เองก็ตามแต่ว่าชิ้นส่วนพืชที่เพาะเลี้ยงมีขนาดเล็กเกินไปไม่สมบูรณ์พอที่จะสร้างสารต่างๆ เหล่านี้ได้หมด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเติมในอาหารด้วย เพื่อช่วยให้เกิดต้นอ่อนเพิ่มมากขึ้น	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 34 คลิก Next ไปกรอบที่ 36
36	1. คาร์โบไฮเดรต เป็นแหล่งพลังงานของเนื้อเยื่อ เป็นสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล แป้ง เซลลูโลส สารประกอบเหล่านี้ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นธาตุพื้นฐานมาประกอบกันในปริมาณต่างๆ กันโดยทั่วๆ ไปธาตุต่างๆ เหล่านี้พืชจะได้รับทางอากาศและน้ำอยู่แล้ว	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 35 คลิก Next ไปกรอบที่ 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
37	น้ำตาลเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากในอาหารทุกสูตร เพราะจำเป็นในการเจริญและพัฒนาของชิ้นพืช และยังเป็นตัวที่จะช่วยรักษาแรงดันออสโมซิสของเนื้อเยื่อพืชด้วยโดยจะมีบทบาทในส่วนนี้มากถึง 50-80 % โดยปกติจะใช้น้ำตาลในอาหารประมาณ 20-40 กรัม/ลิตร	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 36 คลิก Next ไปกรอบที่ 38
38	**Sucrose** เป็นน้ำตาลที่พืชเก็บสะสมและสามารถเคลื่อนย้ายไปตามส่วนต่างๆได้ดี เมื่อพืชดูดเข้าไปจะแตกตัวเป็นกลูโคสกับฟรุคโทสได้ง่าย	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 37 คลิก Next ไปกรอบที่ 39
39	**Glucose** เป็นน้ำตาลที่อาจใช้แทนซูโครสในบางกรณี โดยเฉพาะในกรณีของอาหารเหลวหรือการเลี้ยงโปรโต-พลาสต์ และการเลี้ยงเซลล์แขวนลอย	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 38 คลิก Next ไปกรอบที่ 40
40	**Fructose** เป็นน้ำตาลที่อาจใช้แทนซูโครสในบางกรณีของพืชบางชนิดเท่านั้น เช่น กล้วยไม้พบว่าช่วยกระตุ้นให้เจริญได้ดีกว่าใช้ Sucrose เพียงอย่างเดียว	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 39 คลิก Next ไปกรอบที่ 41
41	**2. วิตามิน** เป็นตัวเร่งในการทำงานของเอนไซม์ พบว่าพืชต้องการวิตามินในปริมาณน้อย ซึ่งประกอบด้วยสารที่จำเป็นในการเจริญและเมตาบอลิซึมของพืช	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 40 คลิก Next ไปกรอบที่ 42
42	อิโนซิทอล (myo-inositol, $C_6H_{12}O_6$) เป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ (sugar alcohol)	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
	ซึ่งในรูปฟอสเฟตมันจะเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งออร์แกเนลล์ (organelle) เติมลงในอาหารเพาะเลี้ยงในจำนวน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร		คลิก Back ไปกรอบที่ 41 คลิก Next ไปกรอบที่ 43
43	ไทอะมีน (วิตามินบี 1, $C_{12}H_{17}ON_4SCl$) ทำหน้าที่เป็นโค-เอนไซม์ ร่วมกับวัฏจักรของกรด-อินทรีย์ (Krebs cycle) ในการหายใจ เติมในอาหารเพียง 4 มิลลิกรัมของไทอะมีนไฮโดรคลอไรด์ต่อลิตร	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 42 คลิก Next ไปกรอบที่ 44
44	กรดนิโคทินิก (ไนอะซิน , $C_6H_5O_2N$) เป็นองค์ประกอบของโคเอนไซม์ในปฏิกิริยา ใช้พลังงานแสง เติม 0.1 ถึง 10 มิลลิกรัมต่อลิตร	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 43 คลิก Next ไปกรอบที่ 45
45	ไพริดอกซิน (วิตามินบี 6, $C_8H_{11}O_3N$) เป็นโคเอนไซม์ในเมตาบอลิซึมหลายกระบวนการ บางครั้งเติมในอาหารในรูปของไพริดอกซินไฮโดรคลอไรด์	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 44 คลิก Next ไปกรอบที่ 46
46	3. กรดอะมิโนต่างๆ เช่น Arginine, Aspartic acid, Glutamic acid , Tyosine อาจช่วยในการเพิ่มจำนวนของส่วนต่างๆ ของเนื้อเยื่อ ช่วยให้พืชเติบโตได้ดีขึ้น	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 45 คลิก Next ไปกรอบที่ 47
47	➢ อาหารเสริม จัดเป็นสารอินทรีย์อื่นๆ ที่เป็นสาร	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
	ซับซ้อนและไม่ทราบองค์ประกอบอย่างแท้จริง เช่น น้ำมะพร้าว สารสกัดจากยีสต์ สารสกัดจากพืชชนิดต่างๆ เช่น มันฝรั่ง กล้วย ผลไม้ ผัก การใช้มักพบว่าช่วยให้การเจริญดีขึ้น		คลิก Back ไปกรอบที่ 46 คลิก Next ไปกรอบที่ 48
48	แต่มีข้อเสีย คือ ผลที่ได้อาจแตกต่างกันตาม คุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาเตรียม		คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 47 คลิก Next ไปกรอบที่ 49
49	➢ สารควบคุมการเจริญเติบโต ปัจจุบันสามารถแบ่งสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ตามคุณสมบัติที่มีต่อพืชได้เป็น 5 พวกใหญ่ๆ คือ	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 48 คลิก Next ไปกรอบที่ 50
50	1. ออกซิน เป็นกลุ่มสารที่กระตุ้นการยืดตัวของเซลล์ทั้งในส่วนต้นและราก ตัวอย่างของออกซิน เช่น IAA, IBA, NAA, และ 2 , 4 –D	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 49 คลิก Next ไปกรอบที่ 51
51	IAA (Indole acetic acid) เป็นออกซินที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ถูกทำลายโดยแสงและเอนไซม์ เอนไซม์ที่ย่อย IAA คือ ไอเอเอออกซิเดส (IAA oxidase) ซึ่งพบเอนไซม์ชนิดนี้ในปริมาณสูงในเนื้อเยื่อที่เพาะเลี้ยง เพราะฉะนั้นถ้าใช้ IAA ในอาหารเพาะเลี้ยง ควรใช้ในความเข้มข้นที่สูงประมาณ 1-30 มิลลิกรัม/ลิตร	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 50 คลิก Next ไปกรอบที่ 52
52	NAA (Naphthalene acetic acid) เป็นออกซินที่สังเคราะห์ขึ้นมาจึงไม่ถูกย่อย	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
	สลายโดยเอนไซม์ ดังนั้นปริมาณที่ใช้จึงน้อย		คลิก Back ไปกรอบที่ 51 คลิก Next ไปกรอบที่ 53
53	**2 , 4 – D** (2 , 4 – dicholphenoxy acetic acid) เป็นออกซินที่มีฤทธิ์ค่อนข้างแรงกว่า IAA และ NAA นิยมใช้ 2, 4 –D ในความเข้มข้น 5-10 มิลลิกรัม/ลิตร	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 52 คลิก Next ไปกรอบที่ 54
54	สรุปหน้าที่ของออกซินได้ดังนี้ 1. ช่วยในการยืดตัวของเซลล์ 2. ส่งเสริมหรือชักนำการแบ่งเซลล์ 3. ช่วยในเรื่องการเปลี่ยนสภาพของเซลล์ 4. เพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสง โดยเพิ่ม การสังเคราะห์ mRNA ในนิวเคลียส 5. ออกซินบริเวณปลายยอดควบคุมการแตกออกของตาข้าง (lateral bud)	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 53 คลิก Next ไปกรอบที่ 55
55	2. ไซโทไคนิน เป็นสารที่ช่วยให้เกิดการแบ่งเซลล์ ช่วยควบคุมการงอกของเมล็ด มีอิทธิพลต่อการร่วงของใบ	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 54 คลิก Next ไปกรอบที่ 56
56	สรุปหน้าที่ของไซโทไคนิน ได้ดังนี้ 1. เร่งการแบ่งเซลล์ 2. ช่วยในกระบวนการเปลี่ยนสภาพของเซลล์ 3. ช่วยชะลอการแก่ในใบ 4. ช่วยการขยายตัวของเซลล์ 5. ชักนำการสังเคราะห์รงควัตถุ	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 55 คลิก Next ไปกรอบที่ 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
57	**3. จิบเบอเรลลิน** ชักนำให้เกิดการยืดตัวของลำต้น การเติบโตของเนื้อเยื่อ-เจริญหรือตา ช่วยทำลายการพักตัวของเมล็ดยับยั้งการเกิดรากและยอด ช่วยกระตุ้นการออกดอกของพืชบางชนิด	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 56 คลิก Next ไปกรอบที่ 58
58	**4. กรดแอบซิซิก** สังเคราะห์ขึ้นเองตามธรรมชาติ ควบคุมกระบวนการเจริญเติบโตของพืชไม่ให้เกิดเร็วเกินไป	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 57 คลิก Next ไปกรอบที่ 59
59	**5.เอทิลีน** เร่งการสุกของผลไม้ กระตุ้นการเกิดรากฝอยและรากแขนง กระตุ้นการงอกของเมล็ด กระตุ้นให้ใบและผลร่วงจากต้น	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 58 คลิก Next ไปกรอบที่ 60
60	➢ วุ้น เป็นส่วนผสมของโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งสกัดได้จากสาหร่ายสีแดงหลายชนิด วุ้นทำให้อาหารแข็งพอที่จะช่วยพยุงชิ้นพืช และในขณะเดียวกันก็เหลวพอที่จะทำให้สารอาหารต่างๆ แพร่ผ่านเข้าสู่พืชได้	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11 คลิก Back ไปกรอบที่ 59 คลิก Next ไปกรอบที่ 61
61	ส่วนมากนิยมเติมวุ้นในความเข้มข้นระหว่าง 0.6-0.8 % ถ้ามีวุ้นมากเกินไปจะทำให้น้ำส่วนใหญ่ถูกยึดไว้ พืชจึงดูดน้ำไปใช้ได้ยาก	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 11
62	♣ วิธีการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช เนื่องจากอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อแต่	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 10 คลิก Back ไปกรอบที่ 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
	ละสูตรประกอบด้วยสารเคมีหลายชนิดซึ่งมีคุณสมบัติและข้อจำกัดแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องเตรียมสารเคมีเหล่านั้นเป็นกลุ่มๆ ในรูปสารละลายเข้มข้นที่เรียกว่า Stock solution ด้วยเหตุผลสำคัญ คือ		คลิก Next ไปกรอบที่ 63
63	1. สารเคมีบางชนิดใช้ในปริมาณที่น้อยมาก มีความคลาดเคลื่อนได้ง่าย 2. สารเคมีบางชนิด อาจทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารอื่นเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ต้องการและ/หรือเป็นพิษ 3. สารเคมีบางชนิด หากอยู่ร่วมกับสารอื่นๆ จะไม่ละลาย ละลายได้เล็กน้อย หรือละลายได้ไม่หมด	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 10 คลิก Back ไปกรอบที่ 62 คลิก Next ไปกรอบที่ 64
64	อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมีมากมายหลายสูตรแต่สูตรที่นิยมใช้โดยทั่วไป คือสูตร Murashige and Skoog หรือสูตร MS ซึ่งเป็นสูตรที่เหมาะสำหรับพืชใบเลี้ยงคู่ โดยแสดงส่วนประกอบของอาหารในตารางสูตรอาหาร MS	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 62 คลิก Back ไปกรอบที่ 63 คลิก Next ไปกรอบที่ 65
65	ตารางสูตรอาหาร MS	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 62 คลิก Back ไปกรอบที่ 64 คลิก Next ไปกรอบที่ 66
66	ตารางสูตรอาหาร MS (ต่อ)	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
			คลิก First page ไปกรอบที่ 62 คลิก Back ไปกรอบที่ 65 คลิก Next ไปกรอบที่ 6
67	ตารางสูตรอาหาร MS (ต่อ)	เพลงบรรเลง	คลิก Main page ไปกรอบที่ 5 คลิก First page ไปกรอบที่ 62 คลิก Back ไปกรอบที่ 66 คลิก Next ไปกรอบที่ 68
68	**ขั้นตอนการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช** 1. นำสารละลายอาหารเข้มข้นชนิดต่างๆ มาผสมกันตามสูตรอาหารที่ต้องการ ค่อยๆ คนให้เข้ากันจนครบทุกชนิด 2. เติมสารที่เป็นแหล่งคาร์บอน คือ น้ำตาลซูโครส 3. เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตหรือสารเคมีอื่นๆ ตามความต้องการของสูตรอาหาร 4. ปรับปริมาตรสารละลายอาหาร ให้ได้ครบตามที่ต้องการเตรียม 5. ปรับค่าความเป็นกรดและด่าง ด้วยกรดเกลือ (HCl) และโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ (NaOH) ให้ได้ pH ประมาณ 5.5-5.8 6. เติมวุ้นในกรณีเตรียมอาหารกึ่งแข็งหรืออาหารแข็ง 7. เคี่ยวอาหาร เพื่อหลอมละลายวุ้นโดยใช้ เตาลวดความร้อนหรือเตา	เสียงบรรยาย	คลิก First page ไปกรอบที่ 61 คลิก Back ไปกรอบที่ 67 คลิก Next ไปกรอบที่ 69 (เป็นภาพวิดีโอ)ขั้นตอนการทำแต่ละข้อจะค่อยๆปรากฏภาพวิดีโอและตัวอักษรบรรยายการทำทีละข้อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
	แก๊ส หรือเตาไมโครเวฟ 8. เทอาหารลงในภาชนะ ที่จะใช้เลี้ยง เช่น ขวด หลอดทดสอบ และจาน-petri-dish 9. นำภาชนะอาหาร ไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันที่ (Autoclave) ที่-อุณหภูมิ 121 C° ความดัน 15 ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว นาน 15 นาที แล้วทิ้งให้เย็นลง		
69	❖ แบบทดสอบ วิชา เทคโนโลยีชีวภาพเบื้องต้น (03632103) สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม	เพลงบรรเลง	ตัวหนังสือค่อยๆ ปรากฏค้างไว้สักครู่ ค่อยๆจางหายไปเปลี่ยนเป็นกรอบที่ 70 (อัตโนมัติ)
70	กรุณาพิมพ์ชื่อของท่านด้วยค่ะ	เพลงบรรเลง	พิมพ์ชื่อผู้ทดสอบแล้วกด enter
71	ตอนที่ 1 เลือกข้อที่ถูกที่สุดเพียง 1 ข้อ 1. ค่า pH ที่เหมาะสมของอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมีค่าเท่าใด ก. 3.7-4.0 ข. 4.0-4.5 ค. 4.5-5.0 ง. 5.0-6.0	เพลงบรรเลง	ให้ผู้ทดสอบเลือกคำตอบที่ถูกที่สุดและโปรแกรมจะเข้าสู่ข้อต่อไปทันที คำตอบที่ถูกคือ ข้อ ง.
72	2. หากค่า pH ของอาหารต่ำกว่าไป	เพลงบรรเลง	เลือกคำตอบที่ถูกที่สุด

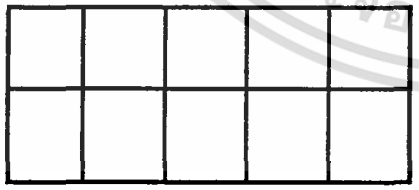
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
76	6. หน้าที่ของวิตามินที่มีต่อเนื้อเยื่อพืช คือข้อใด ก. เป็นตัวเร่งในการทำงานของเอน-ไซม์ ข. รักษาแรงดันออสโมซิสของเนื้อเยื่อพืช ค. เป็นแหล่งพลังงานของเนื้อเยื่อ ง. เป็นตัวช่วยในการสร้างคลอโร-ฟิลล์		เลือกคำตอบที่ถูกที่สุด คำตอบที่ถูกคือ ข้อ ก.
77	7. กรดอะมิโนเติมลงในอาหารเพื่ออะไร ก. เป็นโคเอนไซม์ ในปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง ข. เป็นเอนไซม์เร่งขบวนการเมตาบอ-ลิซึม ค. ช่วยในการเจริญเติบโตของพืชให้ดีขึ้น ง. เป็นแหล่งพลังงานของเนื้อเยื่อ	เพลงบรรเลง	เลือกคำตอบที่ถูกที่สุด คำตอบที่ถูกคือ ข้อ ค.
78	8. ออกซินทำหน้าที่อย่างไร ก. ช่วยควบคุมการงอกของเมล็ด ข. กระตุ้นการยืดตัวของเซลล์ในส่วนต้นและราก ค. ช่วยให้เกิดการแบ่งเซลล์ ง. ชักนำให้เกิดการยืดตัวของลำต้น	เพลงบรรเลง	เลือกคำตอบที่ถูกที่สุด คำตอบที่ถูกคือ ข้อ ข.
79	9. กรดแอบซิซิกมีความสำคัญอย่างไร ก. กระตุ้นการออกดอกของพืชบางชนิด ข. เพิ่มอัตราการสังเคราะห์ mRNA	เพลงบรรเลง	เลือกคำตอบที่ถูกที่สุด คำตอบที่ถูกคือ ข้อ ง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
	ในนิวเคลียส ค. ช่วยในการขยายตัวของเซลล์ ง. ควบคุมกระบวนการทางเจริญเติบโตของพืชไม่ให้เกิดเร็วเกินไป		
80	10. ความเข้มข้นของวุ้นที่ใช้เติมในอาหารเพาะเลี้ยงควรใช้ประมาณเท่าใด ก. 0.1-0.2% ข. 0.2-0.4 % ค. 0.4-0.6 % ง. 0.6-0.8 %	เพลงบรรเลง	เลือกคำตอบที่ถูกที่สุด คำตอบที่ถูกคือ ข้อ ง.
81	รวมคะแนนตอนที่ 1 คุณ..... ทำได้.....ข้อ.....คะแนน	เพลงบรรเลง	ผลคะแนนจะค้างไว้ประมาณ 5 วินาที จากนั้นค่อยๆหายไป เปลี่ยนไปเป็นกรอบที่ 81 (อัตโนมัติ)
82	ตอนที่ 2 นำตัวเลขลำดับขั้นตอนการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมาวางบนรูปภาพให้ถูกต้อง  (ภาพขั้นตอนการเตรียมฯ) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	เพลงบรรเลง	คำตอบที่ถูกคือ ขั้นตอนที่ 1 เตรียมสารละลายอาหารเข้มข้นตามสูตรที่ต้องการเตรียม ขั้นตอนที่ 2 นำสารละลายอาหารเข้มข้นชนิดต่างๆ มาผสมกันตามสูตร ขั้นตอนที่ 3 เติมสารที่เป็นแหล่งคาร์บอน ขั้นตอนที่ 4 เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต ขั้นตอนที่ 5 ปรับปริมาตรสารละลายอาหาร ให้ได้ครบตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
			ที่ต้องการเตรียม **ขั้นตอนที่ 6 ปรับค่าความเป็นกรดและด่าง** **ขั้นตอนที่ 7 เติมวุ้นในกรณีเตรียมอาหารกึ่งแข็ง** **ขั้นตอนที่ 8 เคี่ยวอาหารเพื่อหลอมละลายวุ้น** **ขั้นตอนที่ 9 เทอาหารลงในภาชนะที่จะใช้เลี้ยงขั้นตอนที่ 10 นำภาชนะอาหารไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดัน**
83	รวมคะแนนตอนที่ 2 คุณ..... ทำได้.....ข้อ.....คะแนน	เพลงบรรเลง	ผลคะแนนจะค้างไว้ประมาณ 5 วินาที จากนั้นค่อยๆหายไป เปลี่ยนไปเป็นกรอบที่ 78 (อัตโนมัติ)
84	รวมคะแนนทั้งหมด คุณ..... ตอนที่ 1 ทำได้ .....ข้อ.....คะแนน ตอนที่ 2 ทำได้ .....ข้อ.....คะแนน รวมคะแนนทั้งหมดคิดเป็น.....%	เพลงบรรลง	กดปุ่มใดๆ เพื่อกลับสู่หน้าหลัก
85	❖ ออกจากโปรแกรม **ขอขอบคุณ** **ที่ปรึกษา** **อาจารย์ปานจิต ป้อมอาสา** **อาจารย์ชุติมา สังข์พาลี** **ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร** **สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**	เพลงบรรเลง	ตัวหนังสือค่อยๆ ปรากฏค้างไว้สักครู่ ค่อยๆหายไป ออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
	อาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ในภาควิชาครุศาสตร์เกษตร ที่อำนวย ความสะดวกในด้านอุปกรณ์การทำ ปัญหาพิเศษและคำปรึกษา นายสุวิทย์ ยิบมันตะสิระ ผู้ช่วยนักวิจัย ห้องโสตทัศนศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความ สะดวกในการตัดต่อไฟล์วิดีโอ นายแก้วขวัญ วัชโรทัย ผู้อำนวยการโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา นายพรชัย จุฑามาส ผู้เชี่ยวชาญด้านวิชาการเกษตร รองผู้อำนวยการโครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดาฝ่ายวิชาการ เลขานุการโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช อันเนื่องมาจากพระราชดำริ นายธาณี ศรีวงศ์ชัย นักวิจัยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช หน่วยปฏิบัติการขยายพันธุ์พืชโดยการ เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา		ตัวหนังสือค่อยๆ ปรากฏค้างไว้ สักครู่ ค่อยๆหายไป ออกจาก โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำบรรยายประกอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

กรอบ	เรื่อง	คำบรรยาย	รายละเอียด
	Computer hardware นายวรวุฒิ ตั้งนรกุล ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง **THE END**		ตัวหนังสือค่อยๆ ปรากฏค้างไว้สักครู่ ค่อยๆหายไป ออกจากโปรแกรม

3.4 ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์

3.4.1 วัสดุที่ใช้เพื่อสร้างอุปกรณ์

1. กล้องถ่ายรูปและฟิล์มสี
2. เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วง
3. กล้องถ่ายวิดีทัศน์ และม้วนวิดีทัศน์
4. สแกนเนอร์
5. CD-Writer
6. Diskette และ แผ่น CD-ROM
7. โปรแกรม MacroMedia Authorware 5.2
8. โปรแกรม Adobe ImageStyler 1.0
9. โปรแกรม Adobe PhotoShop 5.5
10. โปรแกรม Adobe Premiere 5.0
11. โปรแกรม Media Studio Audio Editor 2.5
12. กระดาษ A4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 วิธีการสร้างอุปกรณ์

1. ศึกษาหลักการและเทคนิคในการทำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
2. ศึกษาระเบียบการทำปัญหาพิเศษของภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. ศึกษาหลักสูตรและวิเคราะห์หลักสูตรระดับปริญญาตรี วิชาเทคโนโลยีชีวภาพเบื้องต้น คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร
4. เลือกเรื่องที่จะทำปัญหาพิเศษ
5. ศึกษาเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้องกับ อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช เพื่อกำหนดทิศทางและขอบเขตการทำปัญหาพิเศษ
6. จัดทำโครงร่างปัญหาพิเศษโดยปรึกษากับอาจารย์ที่ปรึกษาและเสนอขออนุมัติโครงร่างปัญหาพิเศษ
7. กำหนดเนื้อหาในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
8. เตรียมสถานที่และเอกสารในการถ่ายภาพ
9. ถ่ายภาพที่โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชและวิดีโอเพื่อใช้ประกอบการทำอุปกรณ์
10. จัดสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ โดยทำตัวหนังสือในบทเรียน ใส่ภาพและวิดีโอประกอบเนื้อหาและจัดรูปแบบการนำเสนอให้เสร็จสมบูรณ์ โดยใช้โปรแกรม Authorware 5.2 และโปรแกรมอื่นๆร่วมด้วย
11. ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหาและภาพ และตรวจสอบความสมบูรณ์ของบทเรียนทั้งหมด
12. นำผลงานไปตรวจสอบกับอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญภายในภาควิชาครุศาสตร์เกษตรและปรับปรุงแก้ไข
13. นำบทเรียนที่จัดสร้างทั้งหมดบันทึกใส่แผ่นซีดี-รอม
14. จัดทำคู่มือประกอบการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ และรูปเล่มปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การตรวจสอบและแก้ไขอุปกรณ์

4.1 วิธีการตรวจสอบ

ในการจัดทำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช จำนวนของเนื้อหาที่บรรจุอยู่ในบทเรียนมีทั้งหมด 85 กรอบ เป็นภาพนิ่งจำนวน 65 ภาพ ภาพเคลื่อนไหวจำนวน 24 ภาพ ภาพวีดีทัศน์จำนวน 9 ไฟล์ และใช้เวลาในการศึกษาบทเรียนนี้เวลาประมาณ 60 นาที ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าในหัวข้อเรื่อง อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช จากนั้นได้นำมาตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่จัดสร้าง โดยแบ่งการตรวจสอบเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการตรวจสอบด้านเนื้อหาเกี่ยวกับรายวิชา และส่วนที่ 2 เป็นการตรวจสอบคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์รายวิชา เทคโนโลยีชีวภาพเบื้องต้น (03632103) ตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ได้รับความกรุณาจาก อาจารย์ปานจิต ป้อมอาสา และอาจารย์ ชุติมา สังข์พาลี เป็นที่ปรึกษามาทำการตรวจสอบ นอกจากนี้ยังได้รับความกรุณาจาก นายวัชรินทร์ คงพิบูลย์และนายสุเมธ แซ่เอี้ยว มาทำการตรวจสอบร่วมด้วย โดยมีรายละเอียดในการประเมินอุปกรณ์ดังนี้

4.1.1 ด้านเนื้อหาของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีรายละเอียดดังนี้

- ความถูกต้องของเนื้อหา
- ความครบถ้วนของเนื้อหา
- การเรียงเนื้อหาเป็นขั้นตอนจากง่ายไปยาก
- ความเหมาะสมระหว่างภาพกับคำบรรยาย
- ความเหมาะสมของเครื่องมือกับระดับผู้เรียน

4.1.2 ด้านคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีรายละเอียดดังนี้

- ความชัดเจนของภาพ
- องค์ประกอบของภาพ
- ความสัมพันธ์ระหว่างภาพกับคำบรรยาย
- ความถูกต้องและชัดเจนของคำบรรยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์
- ความน่าสนใจของการนำเสนอบทเรียน
- ความสอดคล้องของการทำงานในบทเรียน

4.2 ผลการตรวจสอบ

ผลการตรวจสอบในด้านเนื้อหา และด้านคุณภาพ ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเนื้อพืช มีดังนี้

1. กรอบที่ 1 แก้ไขตราสถาบันที่มีแสงส่องผ่านโดยนำแสงออกและเวลาในการนำเสนอให้ลดลง
2. กรอบที่ 50,55,57-59 แก้ไขภาพเคลื่อนไหวที่ใช้ประกอบจากพื้นหลังสีดำเป็นสีอื่นๆ
3. กรอบที่ 65-67 แก้ไขตัวอักษรตารางแสดงสูตรอาหาร MS โดยพิมพ์ตัวอักษรเป็นสีขาวและเปลี่ยนสีพื้นหลังจากสีขาวเป็นสีน้ำเงิน
4. กรอบที่ 68 แก้ไขภาพวิดีโอโดยการลดความยาวของการเสนอให้น้อยลงเพื่อให้สัมพันธ์กับคำบรรยายภาพ และในขั้นตอนที่ 7 ให้ตัดคำบรรยายว่า Hot plate ออก และขั้นตอนที่ 9 ให้ตัดคำบรรยายว่า Autoclave ออก
5. กรอบที่ 82 แก้ไขคำสั่งการทำแบบทดสอบตอนที่ 2 จาก ลากขั้นตอนการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ลงในช่องว่างให้ถูกต้องตามลำดับขั้นตอนการเตรียม แก้เป็น จัดลำดับขั้นตอนการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชโดยนำตัวเลขที่กำหนดให้มาใส่ในรูปภาพ
6. กรอบที่ 85 แก้ไขขนาดตัวอักษรคำขอบคุณให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และจัดข้อความแต่ละกลุ่มโดยการใช้สีตัวอักษรที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากการทำปัญหาพิเศษเกี่ยวกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อ-เยื่อพืช เพื่อประกอบการเรียนการสอนในวิชา เทคโนโลยีชีวภาพเบื้องต้น (03632103) ตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เพื่อประกอบการสอนในวิชา เทคโนโลยีชีวภาพเบื้องต้น ในหัวข้ออาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

การดำเนินงานได้ศึกษาในส่วนของการใช้โปรแกรม Macromedia Authorware 5.2 และได้ดำเนินการต่อในส่วนของการจัดทำภาคเอกสาร รวมไปถึงการจัดเตรียมภาพและวิดีโอที่จะนำมาใช้ประกอบในบทเรียน ในระหว่างนั้นจึงเริ่มจัดทำโครงสร้างของบทเรียน ในส่วนของสถานที่ถ่ายภาพและการถ่ายทำวิดีโอผู้จัดทำได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชซึ่งเป็นหนึ่งในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ให้ความเอื้อเฟื้อในการถ่ายทำ จากนั้นจึงนำไฟล์วิดีโอที่ได้ไปตัดต่อที่ฝ่ายโสตทัศนศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อได้ภาพและวิดีโอที่สมบูรณ์แล้ว จึงนำมาใช้ประกอบในโครงสร้างของบทเรียนให้สอดคล้องกับเนื้อหาและตกแต่งโปรแกรมในด้านรูปแบบการนำเสนอต่างๆ จนกระทั่งผลงานเสร็จสมบูรณ์ จึงนำไปประเมินและตรวจสอบปรับปรุงแก้ไข โดยทำการประเมิน 2 ส่วน คือ ส่วนของเนื้อหาที่นำมาสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนและคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้มีคุณภาพดีเหมาะที่จะนำไปใช้ประกอบการสอนหรือไม่ เพื่อให้บทเรียนมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

การทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ผู้จัดทำเริ่มดำเนินการตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2544 จนถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2544 โดยมีค่าใช้จ่ายในการทำทั้งสิ้น 2,800 บาท ผลงานที่ได้ประกอบด้วย

1.	CAI เรื่อง อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช	3	แผ่น
2.	คู่มือการใช้งานคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	3	เล่ม
3.	รูปเล่มปัญหาพิเศษ	4	เล่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

ในการจัดทำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ในระหว่างการดำเนินการและจัดทำ ผู้จัดทำได้ประสบกับปัญหาต่างๆมากมาย แต่ก็ได้รับการแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนและเพื่อนๆ ส่วนปัญหาอื่นๆที่ไม่สามารถที่จะหาทางแก้ไขได้ ก็ได้นำไปปรึกษากับอาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อขอแนวทางแก้ไขต่างๆและได้รับข้อเสนอแนะเป็นอย่างดี และสามารถแก้ไขปัญหานั้นให้ลุล่วงไปด้วยดีได้ ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้รวบรวมปัญหาที่ได้ประสบมาไว้ เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับผู้ที่ต้องการจะทำปัญหาพิเศษท่านอื่นดังนี้

1. ผู้จัดทำยังไม่ชำนาญในส่วนของการใช้โปรแกรมสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการศึกษาค่อนข้างมากและในการใช้งานโปรแกรมสร้างภาพเคลื่อนไหวมีขั้นตอนที่ยุ่งยากซับซ้อนจึงทำให้ใช้เวลาในการจัดทำค่อนข้างนาน
2. หัวข้อที่นำมาใช้ในการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนผู้จัดทำไม่ค่อยมีความรู้ในด้านนี้มากนัก
3. ผู้จัดทำอยู่ในระหว่างการฝึกสอน ซึ่งก็ได้รับมอบหมายงานและหน้าที่ต่างๆ มากจึงทำให้เวลาในการทำปัญหาพิเศษมีจำกัด
4. ผู้จัดทำเริ่มดำเนินการช้า เนื่องจากใช้เวลาในการติดต่อสถานที่ต่างๆในการถ่ายทำค่อนข้างมาก

5.3 ข้อเสนอแนะ

การจัดทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ ผู้จัดทำได้รับความรู้และประสบการณ์มากมาย และประสบการณ์จากปัญหาที่ได้ประสบมา ผู้จัดทำจึงได้เสนอแนะไว้เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับผู้ที่จะทำปัญหาพิเศษท่านอื่น ดังนี้

1. ควรศึกษารายละเอียดของโปรแกรมที่ต้องใช้ในการดำเนินงานเป็นอย่างดีทั้งนี้จะต้องฝึกฝนให้ชำนาญเพื่อจะทำให้ได้ผลงานที่ออกมานั้นสมบูรณ์แบบมากที่สุด
2. การเลือกหัวข้อที่จะทำปัญหาพิเศษควรเป็นเรื่องที่ผู้จัดทำนั้นมีความรู้ความเข้าใจเป็นอย่างดีและความเป็นไปได้ในการจัดทำปัญหาพิเศษหัวข้อนั้น
3. ควรเลือกสถานที่ฝึกสอนที่อยู่ใกล้เพื่อที่จะติดต่อกับอาจารย์ที่ปรึกษาได้สะดวก
4. ควรเริ่มดำเนินการในส่วนที่สามารถทำก่อนได้ล่วงหน้า เช่น การค้นคว้าเอกสาร ถ่ายภาพ ถ่ายวิดีโอ เพื่อให้งานเสร็จสมบูรณ์ตามเวลาที่กำหนด
5. ก่อนนำไปใช้ควรมีการแก้ไขในส่วนที่เป็นภาพขั้นตอนการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช (ส่วนที่เป็นVDO) เนื่องจากภาพไม่คมชัดและคำบรรยายประกอบเสียงขาดความสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กิดานันท์ มลิทอง . 2536 . เทคโนโลยีการศึกษาร่วมสมัย . พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย . 251 น.

_____ . 2540 . เทคโนโลยีการศึกษาและนวัตกรรม . กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย . 374 น.

คมสัน อุดมสารเสวี . 2542 . เทคโนโลยีการศึกษา . สกลนคร : สถาบันราชภัฏสกลนคร . 192 น.

คำนูณ กาญจนภูมิ . 2542 . การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช . กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย . 162 น.

จริยา เหนียนเฉลย . 2537 . เทคโนโลยีการศึกษา . กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมกรุงเทพ 140 น.

ชลิยา ลิมปิยากร . 2536 . เทคโนโลยีการศึกษา . พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ : สถาบันราชภัฏธนบุรี . 242 น.

ไชยยศ เรืองสุวรรณ . 2533 . เทคโนโลยีการสอน:การออกแบบและพัฒนา . พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ : โอ เอส พริ๊นติ้ง เฮาส์ . 160 น.

_____ . 2536 . พันธุศาสตร์พืช . กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . 315 น.

นิตย์ศรี แสงเดือน . 2542 . พันธุศาสตร์พืช . พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . 295 น.

บุญยืน กิจวิจารณ์ . 2540 . เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช . ขอนแก่น : โรงพิมพ์คลังนานา-วิทยา . 207 น.

บุปผชาติ ทัฬหิกรณ์ . 2535 . คู่มือสื่อการสอน . กรุงเทพฯ : คณะกรรมการฝ่ายส่งเสริมการผลิตคำ-ราและสื่อการสอน . 105 น.

บูรณะ สมชัย . 2538 . การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน . กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น . 156 น.

_____ . 2542 . การสร้าง CAI-Multimedia ด้วย Authorware 4.0 . กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น . 204 น.

ประศาสตร์ เกื้อมณี . 2538 . เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช . พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ : โอเดียน-สโตร์ . 158 น.

ประสาทพร สมิตะมาน . 2541 . การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช : เทคนิคและการประยุกต์ใช้ . เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ . 141 น.

เปรมฤดี ดำยศ . 2537 . การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช . พิมพ์ครั้งที่ 2 . พัทลุง : วิทยาลัยเกษตรกรรมพัทลุง . 196 น.

พรชัย จุฑามาศ . 2544 . การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช . กรุงเทพฯ : โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวนจิตรลดา . 6 น.

ไพโรจน์ คชชา . 2540 . คู่มือการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) . กรุงเทพฯ : บริษัท คอมแพคท์-พริ้นท์ จำกัด . 87 น.

_____ . 2542 . คู่มือการเรียน การสร้างคอมพิวเตอร์ช่วยสอน CAI ด้วยโปรแกรม Authorware . กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สหธรรมิก จำกัด . 140 น.

ภุชงค์ อังคปรีชาเศรษฐ์ . 2535 . นวัตกรรมการศึกษา . กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง . 160 น.

รังสฤษฎ์ กาวีต๊ะ . 2540 . การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช : หลักการและเทคนิค . กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . 219 น.

วชิระ วิชชุวรนันท์ . 2540 . คู่มือการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน . กำแพงเพชร . สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร . 196 น.

วัฒนาพร ระงับทุกข์ . 2542 . แผนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง . กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ธนพร . 192 น.

ศักดิ์สิทธิ์ วงศ์ตรง . 2544 . เรียนลัด Macromedia Anthorware ครอบคลุมเวอร์ชั่น 5.2 . กรุงเทพฯ : บริษัท เอช เอ็น กรุ๊ป จำกัด

ศิวพงศ์ จำรัสพันธุ์ . 2541 . การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช . อุดรธานี : สถาบันราชภัฏอุดรธานี . 291 น.

ศึกษาธิการ, กระทรวง กรมการศึกษานอกโรงเรียน. 2543 . รายงานการประเมินผลสื่อคอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษา . เรื่องก้าวแรกของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน . กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์เลี่ยงเชียง . 60 น.

สมปอง เตชะโต . ม.ป.ป. . การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเศรษฐกิจ หลักการและพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ . สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ . 120 น.

สมพร ประเสริฐส่งสกุล . 2541 . การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช . พิมพ์ครั้งที่ 2 . สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ . 217 น.

สิรนุช ลามศรีจันทร์ . 2540 . การกลายพันธุ์ของพืช . กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . 205 น.

อดิศักดิ์ สุเฌอ . 2542 . คอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้วยโปรแกรม Authorware 3.5 . เลย . สถาบันราชภัฏเลย . 203 น.

อารีย์ วรัญญวัฒก์ . 2541 . การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเพื่อการปรับปรุงพันธุ์พืช . นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา . 133 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบฟอร์มการประเมินผลคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

เรื่อง อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

<u>คำชี้แจง</u>

1. โปรดทำเครื่องหมาย (✓) ลงในช่องว่างตามความคิดเห็นของท่าน โดยมีระดับความคิดเห็นดังนี้

ดี	หมายถึง	เนื้อหามีความสมบูรณ์ตามหัวข้อนั้น ๆ มาก
ปานกลาง	หมายถึง	เนื้อหามีความสมบูรณ์พอใช้ได้
ปรับปรุง	หมายถึง	เนื้อหาไม่สมบูรณ์จำเป็นต้องแก้ไขเปลี่ยนแปลง

2. โปรดเติมข้อเสนอแนะในการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไข ในช่องว่างที่กำหนดให้

คุณภาพที่ประเมิน	ระดับคุณภาพที่ประเมิน		
	ดี	ปานกลาง	ปรับปรุง
1. ด้านเนื้อหา			
ความถูกต้องของเนื้อหา			
ความครบถ้วนของเนื้อหา			
การเรียงเนื้อหาเป็นขั้นตอน จากง่ายไปยาก			
ความเหมาะสมระหว่างภาพกับคำบรรยาย			
ความเหมาะสมของเครื่องมือกับระดับของผู้เรียน			
คุณภาพของโครงสร้างบทเรียน	ระดับคุณภาพที่ประเมิน		
	ดี	ปานกลาง	ปรับปรุง
2. ด้านคุณภาพของบทเรียน			
ความชัดเจนของภาพ			
องค์ประกอบของภาพ			
ความสัมพันธ์ระหว่างภาพและคำบรรยาย			
ความถูกต้องและชัดเจนของคำอธิบาย			
ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์			
ความน่าสนใจของการนำเสนอบทเรียน			
ความสอดคล้องของการทำงานในบทเรียน			

ข้อเสนอแนะ.....

.....

ลงชื่อ

.....

ผู้ประเมิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้