รศ.ดร.อานัฐ ตันโช ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาไส้เดือน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ฮอร์โมนพืช ในน้ำหมักจาก พืชและสัตว์

ฮอร์โมนพืช (Plant Hormones) คือ สารอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้นเองตามธรรมชาติในปริมาณน้อย มีผลควบคุมการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีระวิทยาของเนื้อเยื่อในบริเวณต่างๆ ที่จำเพาะของพืชนั้นๆ โดยฮอร์โมนพืชแต่ละชนิดมีผลต่อพืชหลายชนิด ควบคุมโดยกลไก 2 ประการ คือ ฮอร์โมนเกี่ยวข้องกับการทำงานของสารพันธุกรรมในการสร้างสารบางชนิด เช่น เอ็นไซม์ และฮอร์โมนที่เปลี่ยนแปลงกระบวนการทางฟิสิกส์ ทำให้สารต่างๆ สามารถเคลื่อนผ่านผนังเซลล์ได้ง่ายขึ้น ฮอร์โมนพืชไม่ใช่สารอาหารพืช แต่เป็นสารที่พืชผลิตขึ้นสำหรับใช้ในการควบคุมการเจริญเติบโตในแต่ละช่วงเวลาของพืช เช่น การงอกของเมล็ด การออกราก การออกใบ การออกดอก การเปลี่ยนเพศดอก การทิ้งใบ การสุกแก่ของผล เป็นต้น ซึ่งแม้มีปริมาณเข้มข้นต่ำ (10-6-10-5 โมล/ลิตร) ก็มีผลควบคุมการเจริญเติบโตของพืชได้ ซึ่งในสัตว์นั้นจะผลิตฮอร์โมนจากต่อมต่างๆ แต่ในพืชนั้นจะผลิตฮอร์โมนจากเซลล์และส่งฮอร์โมนไปยังจุดที่ต้องการควบคุมผ่านทางท่อลำเลียงน้ำและท่อลำเลียงอาหาร แต่ถ้าจุดที่ต้องการควบคุมอยู่ใกล้กันก็จะส่งผ่านไซโตพลาสซึมด้วยการแพร่กระจายอย่างช้าๆ จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง ซึ่งเซลล์พืชจะไม่ตอบสนองกับฮอร์โมนทุกเซลล์ จะมีเซลล์บางกลุ่มที่ตอบสนองในแต่ละจังหวะแต่ละช่วงเวลาที่จำเพาะเท่านั้น

ฮอร์โมนพืชแบ่งออกได้เป็น 5 ชนิด คือ

1. ออกซิน (Auxins) มีคุณสมบัติควบคุมการขยายขนาดของเซลล์ การยืดตัวของเซลล์ กระตุ้นการแบ่งตัวของเซลล์ในเนื้อเยื่อเจริญ กระตุ้นการเกิดราก การเจริญของราก การเจริญในส่วนต่างๆ ของพืช มีอิทธิพลต่อตาข้าง ชะลอการหลุดร่วงของใบ ส่งเสริมการออกดอก เปลี่ยนเพศดอก เพิ่มการติดผล ควบคุมการพัฒนาของผล ควบคุมการสุกแก่และการร่วงของผล โดยออกซินในปริมาณเล็กน้อยจะช่วยในการเจริญเติบโต ถ้าความเข้มข้นสูงเกินไปจะยับยั้งการเจริญเติบโต การทำงานของออกซินขึ้นอยู่กับแสง อุณหภูมิ แรงดึงดูดของโลก และอื่นๆ แหล่งสร้างออกซินในพืชอยู่ในเนื้อเยื่อเจริญ คือ ตายอด ยอดอ่อน ปลายราก ตา ผลอ่อน รังไข่ ปมราก ซึ่งกรดอินโดล-3- อะซิติก (Indole-3-Acetic: IAA) เป็นออกซินที่พืชสร้างตามธรรมชาติ ปริมาณออกซินที่พบในพืชอยู่ระหว่าง 1-100 μg/kg สด ส่วนใหญ่ IAA จะอยู่ร่วมกับสารอื่นเป็นอนุพันธุ์ต่างๆ เมื่อพืชต้องการจะใช้ IAA จึงถูกปล่อยออกมา

ยอดอ่อนพืชเป็นแหล่งสร้างออกซิน (ที่มา www.rakbankerd.

ต้นอ่อนพืชเป็นแหล่งสร้างจิบเบอเรลลิน

2. จิบเบอเรลลิน (Gibberellins) มีคุณสมบัติกระตุ้นการยืดตัวของเซลล์พืชในช่วงระหว่างข้อ ทำให้ต้นไม้สูง กระตุ้นการแบ่งตัวของเซลล์ เร่งการเกิดดอก เปลี่ยนเพศดอกในพืชบางชนิด เพิ่มการติดผล ยืดช่อดอก กระตุ้นการงอกของเมล็ดและตา ทำลายการพักตัวของเมล็ด แหล่งสร้างจิบเบอเรลลินในพืช คือ เนื้อเยื่อบริเวณส่วนยอด ราก ใบอ่อน ต้นอ่อน และเมล็ดที่กำลังเจริญ สารกลุ่มนี้เป็นสารธรรมชาติทั้งสิ้น พบครั้งแรกจากเชื้อรา จิบเบอเรลลา ฟูจิคูโรอิ (Gibberella fujikuroi) ในต้นข้าวที่เป็นโรค คือ ต้นข้าวที่เป็นโรคจะมีขนาดลำต้นสูงกว่าต้นอื่นๆ แต่รวงปราศจากเมล็ด ปัจจุบันพบ GA ได้ทั้งจากเชื้อรา แบคทีเรีย และพืชชั้นสูงหลายชนิด ซึ่งจะมีโครงสร้างโมเลกุลคล้ายกันแต่การเรียงตัวของบางอะตอมแตกต่างกัน จึงเรียกเรียงกันไปตามลำดับการค้นพบ เช่น กรดจิบเบอเรลลิก (Gibberellic acid: GA3) เป็นจิบเบอเรลลินที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในพืชชั้นสูง สังเคราะห์จากกรดเมลาโลนิกเช่นเดียวกับสารพวกแคโรทีน

3. ไซโตไคนิน (Cytokinins) มีคุณสมบัติกระตุ้นการแบ่งเซลล์และการเจริญเปลี่ยนแปลงของเซลล์ การเจริญทางด้านลำต้นของพืช กระตุ้นให้ตาข้างเจริญเป็นกิ่ง ช่วยในการเคลื่อนย้ายอาหารจากรากไปสู่ยอด รักษาระดับการสังเคราะห์โปรตีน ป้องกันคลอโรฟิลล์ให้ถูกทำลายช้าลงทำให้ใบเขียวอยู่ได้นานและร่วงช้าลง ช่วยให้ใบเลี้ยงคลี่ขยาย ช่วยให้เมล็ดงอกได้ในที่มืด แหล่งสร้างไซโตไคนินในพืชอยู่ที่ปลายราก ปมราก และพบทั่วไปในต้นพืช นอกจากนี้พบในรูปสารอิสระในเอ็มบริโอ และผลที่กำลังเจริญ ผลของไซโตไคนินกับพืชจะเกิดขึ้นร่วมกับการกระตุ้นการทำงานอื่นๆ (Co-factor) หากปราศจาก Co-factor ไซโตไคนินจะไม่แสดงผลกับพืช โดยปกติไซโตไคนินจะอยู่ในรูปที่อยู่ร่วมกับสารอื่น เช่น อยู่ร่วมกับกรดอะมิโน เป็นต้น แต่ซีอาติน (Zeatin) เป็นสารกลุ่มไซโตไคนินที่พบอิสระในพืชชั้นสูงทั่วไป

4. เอทธิลีน (Ethylene) มีคุณสมบัติควบคุมการออกดอกของพืชในพวกสับปะรด ควบคุมการแก่และสุกของผล ทำลายการพักตัวของตาและเมล็ดพืชบางชนิด และเกี่ยวข้องกับการหลุดร่วงของใบ ดอก ผล กล่าวคือ กระตุ้นให้พืชแก่เร็วซึ่งเป็นฮอร์โมนชนิดเดียวที่อยู่ในรูปที่เป็นแก๊ส $CH_2=CH_2$ เอทธิลีนเกิดขึ้นตามธรรมชาติในผลไม้ที่

แหล่งสร้างไซโตไคนินอยู่ที่ปลายราก ปมราก
(ที่มาภาพ : r01.ld.go.th)

แก่เต็มที่และกำลังสุก นอกจากนี้ยังพบในส่วนของดอก เมล็ด ใบ ราก ในพืชที่มีความเครียดหรือถูกทำลาย พืชจะเร่งสร้างเอทธิลีนจำนวนมาก แต่ในสภาพที่ออกซิเจนต่ำ อุณหภูมิต่ำ พืชจะผลิตเอทธิลีนน้อยลง พืชสังเคราะห์เอทธิลีนจากกรดอะมิโน เมทิโอนิน ซึ่งพบมากในพืชที่แก่เต็มที่ และกำลังสุก

เอทิลีนควบคุมการออกดอกของสับปะรด
(ที่มาภาพ www.rakbankerd.com)

บริเวณหมวกราก เป็นแหล่งสร้างกรดแอบไซซิก (ที่มาภาพ : www.orchidsiam.com)

5. กรดแอบไซซิก (Abscisic acid: ABA) มีคุณสมบัติกระตุ้นการหลุดร่วงของใบและผลที่แก่ ยับยั้งการเจริญและการยืดตัวของเซลล์บริเวณตา ทำให้ตาไม่เจริญ (bud dormancy) กระตุ้นให้ปากใบปิดเพื่อลดการคายน้ำ พืชสร้างขึ้นเมื่อมีความเครียด เช่น แล้ง หรืออากาศหนาวเย็น เพื่อให้สามารถยังชีพอยู่ได้ในสภาพแวดล้อมนั้นๆ แหล่งสร้างกรดแอบไซซิกในพืชอยู่ที่ใบแก่จัด ผล และรากบริเวณหมวกราก พบว่าเมล็ดพืชที่อยู่ในระยะพักตัวจะมีสารนี้ในปริมาณสูง พืชสังเคราะห์กรดแอบไซซิกขึ้นตามธรรมชาติจากกรดเมวาโลนิก (Mevalonic acid)

พืชนอกจากสร้างฮอร์โมนเองได้แล้ว ยังตอบสนองต่อสารฮอร์โมนที่ได้รับจากภายนอกได้ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากในบางสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมพืชอาจสร้างเองได้ไม่เพียงพอ จึงมีการผลิตสารทดแทนฮอร์โมนพืชสำหรับใช้ทางการเกษตรอย่างกว้างขวาง ซึ่งเรียกว่า สารควบคุมการเจริญเติบโต (Plant Growth Regulators: PGR) โดยผลิตจากจุลินทรีย์และสารสังเคราะห์ ทั้งนี้เนื่องจากการสกัดฮอร์โมนพืชจากพืชนั้นทำได้ยาก ได้ปริมาณน้อย และใช้ต้นทุนสูงมากนั่นเอง

นอกจากนี้ในน้ำหมักชีวภาพก็พบว่ามีฮอร์โมนพืชด้วยเช่นกัน โดยในการทำน้ำหมักนั้นวัสดุหลักที่มักใช้นำมาผลิตส่วนใหญ่จะเป็นพืชและสัตว์ ซึ่งภายในเซลล์พืชและสัตว์เหล่านั้นจะประกอบด้วย น้ำ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน กรดนิวคลีอิก วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ รวมทั้งฮอร์โมนพืชและสัตว์ด้วย เมื่อนำพืชหรือสัตว์มาหมักปริมาณธาตุอาหารพืชและฮอร์โมนจึงขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุที่นำมาหมักว่ามีปริมาณสารเหล่านี้มากน้อยเพียงใด ฮอร์โมนพืช 3 ชนิด คือ ออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน ที่พบในน้ำหมักชีวภาพทั่วไปนั้น มักพบปริมาณมากน้อยแตกต่างกันไป แต่ส่วนใหญ่จะพบในน้ำหมักที่ผลิตจากสัตว์สูงกว่าน้ำหมักที่ผลิตจากพืช ทั้งนี้ฮอร์โมนบางชนิดพบในพืชไม่พบในสัตว์ก็มี ขึ้นอยู่กับการเลือก ชนิด อายุของพืชและสัตว์ที่นำมาใช้ผลิตด้วย เนื่องจากความเข้มข้นของสารและบริเวณที่พืชได้รับสารแตกต่างกันในแต่ละช่วงวงจรการเจริญเติบโต

จุลินทรีย์หลายชนิดในน้ำหมักชีวภาพนั้นก็สามารถสังเคราะห์สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชได้โดยใช้สารประกอบอินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดอะมิโน กรดไขมัน กรดนิวคลีอิก ฯลฯ ที่มีอยู่ในน้ำหมักชีวภาพเป็นสารตั้งต้น ชนิดและปริมาณฮอร์โมนที่เกิดขึ้นจึงแตกต่างกันตามชนิดจุลินทรีย์และวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ทำน้ำหมักชีวภาพ กรรมวิธีการหมัก และสภาพแวดล้อมในขณะทำ

ปริมาณสูงสุดของสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชที่วิเคราะห์พบในน้ำหมักชีวภาพ

สารควบคุมการเจริญเติบโตพืช	ปริมาณสูงสุดในน้ำหมักจากพืช (มิลลิกรัม/ลิตร)	ปริมาณสูงสุดในน้ำหมักจากสัตว์ (มิลลิกรัม/ลิตร)
ออกซิน : กรดอินโดล-3-อะซิติก	5.82 (84%)	9.78 (90%)
จิบเบอเรลลิน : กรดจิบเบอเรลลิก	215.51 (47%)	620.00 (43%)
ไซโทไคนิน : ซีอาติน	90.00 (66%)	87.29 (70%)
: ซีอาติน ไรโบไซด์	28.73 (28%)	76.40 (50%)
: ไดเมติน	97.26 (61%)	26.37 (65%)

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2546)

น้ำหมัก รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก ซึ่งจากการทดลองของสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6 (สวพ.6) พบว่า น้ำหมักจากผลไม้ (กล้วยสุก : มะละกอสุก : ฟักทองแก่จัด อย่างละ 1 ส่วน หมักด้วยกากน้ำตาล 1 ส่วน) ให้ปริมาณสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกันตามระยะเวลาการหมัก โดยพบว่า หลังหมัก 7 วัน จะพบ ออกซิน และไซโตไคนิน 1 ชนิด คือ ซีอาตินและหลังหมักเป็นเวลา 1-2 เดือน พบ ออกซิน, กรดจิบเบิเรลลิน, ไซโตไคนิน 2 ชนิด คือ ซีอาตินและไคเนติน แต่หลังจากหมักนาน 6 เดือน ปริมาณสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชลดลง แต่ยังคงตรวจสอบพบสารทั้ง 3 กลุ่ม จนถึง 1 ปี ดังนั้นการใช้น้ำหมักเพื่อให้ได้ผลดีทั้งในแง่ของธาตุอาหารพืช จุลินทรีย์ และฮอร์โมนพืชแล้ว ควรใช้ทันทีหลังหมัก 1 เดือน และใช้ให้หมดภายใน 6 เดือน ถึง 1 ปี

สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชหรือฮอร์โมนพืชนั้นไม่ใช่อาหารพืช ดังนั้นไม่สามารถใช้ได้ผลดีกับพืชที่ปลูกในดินที่มีธาตุอาหารพืชต่ำ พืชแคระแกรน ขาดธาตุอาหาร นั่นคือ ฮอร์โมนพืชจะส่งเสริมให้วงจรการเจริญเติบโตของพืชเกิดได้อย่างปกติในกรณีที่พืชมีการเจริญเติบโตดีเป็นปกติในดิน ที่อุดมสมบูรณ์พอให้พืชมีการสะสมสารอาหารซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตส่วนต่างๆ ของพืชและเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืชจนครบวงจรได้ แต่ในกรณีที่ใช้ฮอร์โมนพืชจากน้ำหมักชีวภาพถือว่าดีกว่าการใช้ฮอร์โมนสังเคราะห์มากนั่นคือ การใช้ฮอร์โมนพืชจากน้ำหมักนั้นนอกจากจะส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในวงจรชีวิตของพืชตามที่เราต้องการแล้ว ยังทำให้พืชได้รับธาตุอาหารรอง ธาตุอาหารเสริม และกรดฮิวมิกต่างๆ เพิ่มจากการใช้น้ำหมักชีวภาพด้วย

ในปัจจุบันเกษตรกรใช้ปุ๋ยเคมีจำนวนมากในการปลูกพืชซึ่งมีเฉพาะธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองบางชนิดเท่านั้น ทำให้ดินขาดธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริมหลายชนิดในหลายพื้นที่ ดังนั้นการใช้น้ำหมักชีวภาพจะเป็นตัวแทนได้ดีทั้งในมิติของธาตุอาหาร มิติของสารชีวภาพ และมิติของฮอร์โมนพืช นับเป็นทางเลือกหนึ่งของการเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิตพืชได้อย่างปลอดภัยและคุ้มค่าจริงๆ

การใช้น้ำหมักมูลไส้เดือนดินในการแช่กิ่งลีลาวดีเพื่อกระตุ้นการแตกราก

ปริมาณสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่พบในวัสดุชนิดต่างๆ ที่นำมาทำน้ำหมัก

วัสดุหลัก	ออกซิน	จิบเบอเรลลิน	ไซโตไคนิน
ผัก	> 0.10 - 3.00	9.05 - 38.50	ซีอาติน 1.40 - 13.32 ซีอาตินไรโบไซด์ 0.51 - 2.09 ไคเนติน 1.80 - 5.39
ผลไม้	0.13 - 1.40	5.19 - 215.51	ซีอาติน 1.50 - 64.50 ซีอาตินไรโบไซด์ 0.53 - 28.73 ไคเนติน 1.56 - 22.62
สมุนไพร	0.1 - 9.75	9.51 - 49.02	ซีอาติน 0.93 - 90.09 ไคเนติน 2.65 - 97.26
ปลา	16.88 - 620.20	16.88 - 620.20	ซีอาติน 1.61 - 15.50 ซีอาตินไรโบไซด์ 0.25 - 13.37 ไคเนติน 2.24 - 8.55
หอยเชอรี่	0.22 - 3.99	15.13 - 322.96	ซีอาติน 1.30 - 12.80 ซีอาตินไรโบไซด์ 0.63 - 4.23 ไคเนติน 1.00 - 26.37
ไข่ไก่ นม ถั่ว	0.1 - 1.94	39.65 - 217.7	ซีอาติน 2.13 - 87.29 ซีอาตินไรโบไซด์ 0.54 - 1.33 ไคเนติน 2.10 - 76.40

ตัวอย่างฮอร์โมนพืชในน้ำหมักสูตรต่างๆ

1.น้ำหมักชีวภาพจากยอดพืช

ส่วนผสม

ยอดไม้ผลหรือผักหลายชนิดรวมกัน 6 กก.
กากน้ำตาล 2 กก. หัวเชื้อจุลินทรีย์ 5 ลิตร

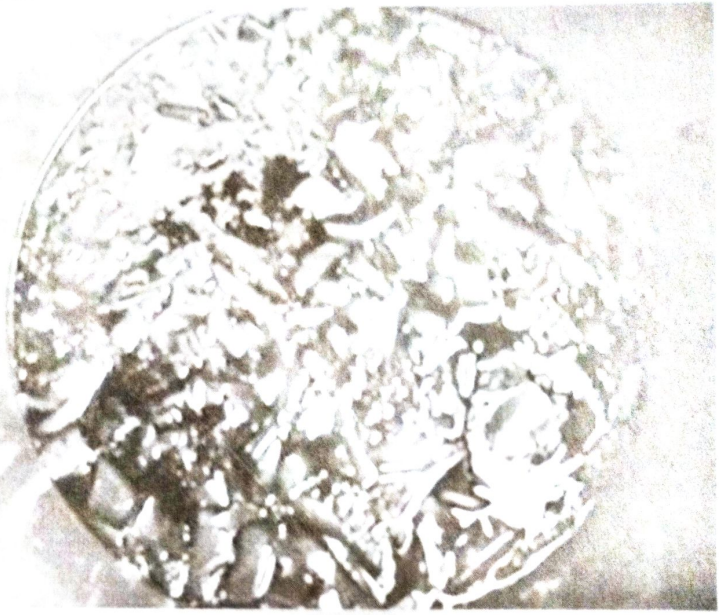
วิธีทำ

สับวัสดุใส่ถัง เติมกากน้ำตาลและจุลินทรีย์ หุ้มปากถังอย่าให้อากาศเข้า เก็บในที่ร่มและลมผ่าน เมื่อหมักรบ 3 วัน ให้คน 1 ครั้ง แล้วหมักต่ออีก 7 วัน กรองน้ำออกใส่ขวดเก็บที่มืด

ผลวิเคราะห์สารควบคุมการเจริญเติบโตพืช

กรดอินโดล - 3 - อะซิติก (IAA) 1.62 มิลลิกรัม/ลิตร

กรดจิบเบอเรลลิก (GA) ไม่พบ
ซีอาติน (Zeatin) ไม่พบ
ซีอาติน ไรโบไซด์ (Zeatin riboside) ไม่พบ
ไคเนติน (Kinetin) ไม่พบ



2.น้ำหมักชีวภาพจากผลไม้

ส่วนผสม

ฝรั่ง + กล้วย + มะละกอ + ฟักทอง 3 ส่วน
กากน้ำตาล 1 ส่วน
เติมน้ำมะพร้าวเล็กน้อย

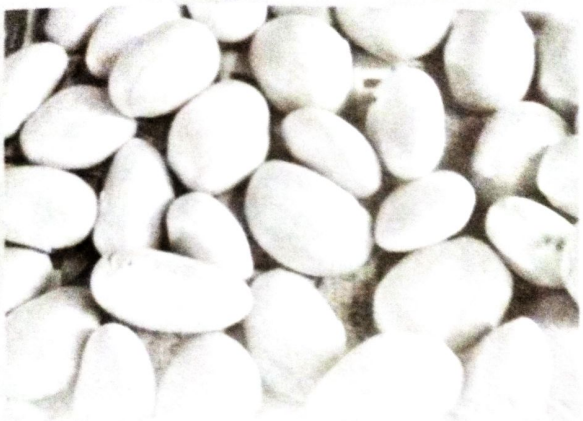
วิธีทำ

นำผลไม้สุกที่ได้ใส่โอ่งแล้วเทกากน้ำตาลลงไป คลุกให้เข้ากัน ปิดฝา ในการหมักครั้งแรกจะมีการเติมน้ำมะพร้าวลงไปเล็กน้อย หมักประมาณ 1 เดือนขึ้นไปก็ใช้ได้

ผลวิเคราะห์สารควบคุมการเจริญเติบโตพืช

กรดอินโดล - 3 - อะซิติก (IAA) 0.83 มิลลิกรัม/ลิตร

กรดจิบเบอเรลลิก (GA) 61.45 มิลลิกรัม/ลิตร
ซีอาติน (Zeatin) 2.30 มิลลิกรัม/ลิตร
ซีอาติน ไรโบไซด์ (Zeatin riboside) 7.82 มิลลิกรัม/ลิตร
ไคเนติน (Kinetin) 2.70 มิลลิกรัม/ลิตร



3.น้ำหมักชีวภาพจากเมล็ด

ส่วนผสม

เมล็ดผลไม้ เช่น ทุเรียน เงาะ มะม่วง มะละกอ ขนุน รวม 3 ส่วน กากน้ำตาล 1 ส่วน

วิธีทำ

หั่นหรือบดวัตถุที่เตรียมไว้ คลุกให้เข้ากันแล้วใส่ลงในถังหมัก คน 3 วัน/ครั้ง หมักประมาณ 1-3 เดือน

ผลวิเคราะห์สารควบคุมการเจริญเติบโตพืช

กรดอินโดล - 3 - อะซิติก (IAA) 1.40 มิลลิกรัม/ลิตร

กรดจิบเบอเรลลิก (GA) 102.66 มิลลิกรัม/ลิตร

ซีอาติน (Zeatin) 4.28 มิลลิกรัม/ลิตร

ซีอาติน ไรโบไซด์ (Zeatin riboside) ไม่พบ

ไคเนติน (Kinetin) ไม่พบ

4.น้ำหมักชีวภาพจากปลา

ส่วนผสม

ปลา 20 กก. กากน้ำตาล 7.5 กก. น้ำ 100 ลิตร สับปะรด

วิธีใช้

ใช้ 500 - 1000 มิลลิลิตร/น้ำ 200 ลิตร พ่นทางใบหรือราดโคนต้นไม้

ผลวิเคราะห์สารควบคุมการเจริญเติบโตพืช

กรดอินโดล - 3 - อะซิติก (IAA) 9.75 มิลลิกรัม/ลิตร

กรดจิบเบอเรลลิก (GA) 58.02 มิลลิกรัม/ลิตร

ซีอาติน (Zeatin) 4.28 มิลลิกรัม/ลิตร

ซีอาติน ไรโบไซด์ (Zeatin riboside) 8.56 มิลลิกรัม/ลิตร

ไคเนติน (Kinetin) 2.24 มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารอ้างอิง กรมวิชาการเกษตร. 2546. ฮอร์โมนพืชและธาตุอาหารพืชในน้ำหมักชีวภาพ. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ .144 หน้า

อานัฐ ตันโช. 2551. เกษตรธรรมชาติประยุกต์ แนวคิด หลักการ เทคนิคปฏิบัติในประเทศไทย. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). ปทุมธานี. 371 หน้า