ความต้องการธาตุอาหารของอนูเบียส (*Anubias* sp.) ในระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT

Nutrient Requirement of Aubias(*Anubias* sp.) for Hydrophonic in DFT system.

ความนำ

ในปัจจุบันพรรณไม้น้ำกำลังเป็นที่ต้องการเป็นอย่างมากทั้งตลาดภายในประเทศและนอกประเทศและมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นตามลำดับ อนูเบียส(*Anudias* sp.) จัดอยู่ในวงศ์ Araceae เป็นพรรณไม้น้ำชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากและมีราคาที่สูงคุ้มค่าต่อการผลิตโดยนิยมใช้ประดับทั้งตู้ปลาและตู้พรรณไม้น้ำโดยจัดเป็นไม้หน้าตู้ เนื่องจากการเจริญเติบโตที่ช้า สูงสุดไม่เกิน 15 เซนติเมตรทำให้ไม่ต้องเปลี่ยนตู้บ่อยครั้งและไม่บดบังทัศนียภาพในส่วนของหลังตู้ มีสีที่เขียวเข้ม มีรากที่สามารถเกาะได้กับขอนไม้ที่ใช้เป็นจุดดึงดูดความสนใจของผู้พบเห็น

แต่เนื่องจากการเจริญเติบโตที่ช้านี้เองเป็นทั้งจุดอ่อนและจุดแข็งของพรรณไม้น้ำชนิดนี้เพราะในส่วนของการผลิตแล้วจะใช้เวลาค่อนข้างนาน ดังนั้นการผลิตในปัจจุบันจึงใช้ระบบการปลูกพืชไร้ดินและเนื่องจากเป็นพืชน้ำจึงใช้ระบบ DFT แต่สิ่งสำคัญคือสูตรธาตุอาหารที่เหมาะสมของอนูเบียสตลอดพรรณไม้น้ำต่างๆยังไม่ชัดเจนและยังต้องปรับปรุง เพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดและประหยัดที่สุด ในที่นี้จะใช้สูตรอาหาร MS เป็นหลักเพราะมีธาตุอาหารต่างๆครบถ้วนและมั่นใจว่าพืชในการทดลองจะเจริญเติบโตเป็นปกติ ดังนั้นการศึกษาระดับความต้องการธาตุอาหารจึงเป็นแนวทางที่พัฒนาจัดหาสูตรอาหารที่เหมาะสมเพื่อเสริมประสิทธิภาพและศักยภาพในการผลิตพรรณไม้น้ำของเกษตรกรต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

8.1 เพื่อต้องการทราบระดับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง จุลธาตุ ที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของอนูเบียสโดยศึกษาจาก

- จำนวนใบ
- ความสูง
- ความกว้างใบ
- ความยาวใบ
- ความยาวราก

ตรวจเอกสาร

พรรณไม้น้ำหรือพืชน้ำ มีชื่อภาษาอังกฤษว่า aquatic plants , water plants , aquarium plants หรือ hydrophytes นั้นโดยทั่วไปมักเข้าใจว่าต้องเป็นพืชที่มีชีวิตอยู่ใต้น้ำเท่านั้น แต่โดยแท้จริงแล้วพรรณไม้น้ำในความหมายของผู้นิยมปลูกไม้น้ำนั้น ได้รวมครอบคลุมถึงพืชที่ลอยอยู่เหนือน้ำ พืชที่ชอบขึ้นอยู่ในที่ชื้นแฉะหรือน้ำท่วมขัง พืชที่ขึ้นอยู่ตามริมธาร แม่น้ำหรือพืชที่ขึ้นอยู่ตามก้อนหินในบริเวณน้ำตกด้วย แต่ทั้งนี้พรรณไม้น้ำดังกล่าวต้องเป็นชนิดที่สามารถเจริญเติบโตได้เมื่อนำมาปลูกไว้ใต้ระดับน้ำ

พรรณไม้น้ำออกเป็น 4 ประเภท ตามแหล่งที่อยู่อาศัย คือ

1. พืชใต้น้ำ (submerged plants) ได้แก่ พรรณไม้น้ำที่เจริญเติบโตอยู่ใต้น้ำ มีทั้งราก เกาะยึดกับพื้นดินใต้น้ำ แต่ลำต้นและใบเจริญเติบโตอยู่ใต้ระดับน้ำ หรือบางชนิดทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำ ส่วนใบเจริญอยู่เหนือพื้นดินใต้น้ำ พืชในกลุ่มนี้เมื่อเจริญเต็มที่จะส่งดอกขึ้นมาเจริญที่ผิวน้ำ เช่น ไส้ปลาไหล *Barclaya longifolia* , เทป *Vallisneria* sp. เป็นต้น

2. พืชโผล่เหนือน้ำ (emerged plants) พรรณไม้น้ำประเภทนี้เป็นพวกที่เจริญใต้น้ำบางส่วนและโผล่เหนือน้ำบางส่วน โดยมีรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำ แล้วส่งส่วนใบและดอกขึ้นมาเจริญเหนือน้ำ เช่น บัวต่างๆ *Nymphaea* sp.

3. พืชลอยน้ำ (floating plants) เป็นกลุ่มที่เจริญลอยอยู่ที่ระดับผิวน้ำ โดยรากจะห้อยอยู่ใต้ระดับน้ำ ส่วนลำต้น ใบและดอกเจริญอยู่เหนือน้ำ พรรณไม้น้ำประเภทนี้นิยมนำมาประดับตู้ปลาน้อยกว่าประเภทอื่นๆ เนื่องจากการเจริญของพรรณไม้น้ำบริเวณผิวน้ำมักจะบดบังแสงสว่างมิให้ส่องถึงพื้นตู้ หรือพื้นบ่อด้านล่าง เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสงของพรรณไม้น้ำที่อยู่ด้านล่าง แต่จะมีประโยชน์สำหรับตู้หรือบ่อที่ใช้เพาะพันธุ์ปลา พรรณไม้น้ำที่อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ จอก *Pistia stratiotes* จอกหูหนู *Salvenia* sp. และ ผักตบชวา *Eichhornia crassipes* เป็นต้น

4. พืชชายน้ำ (marginal plants) ได้แก่ พืชที่ชอบขึ้นอยู่ริมตลิ่ง ชายคลอง ริมสระน้ำ ริมทะเลสาบ หรือบริเวณหนองน้ำที่มีน้ำท่วมขังระดับตื้นๆ พืชประเภทนี้จะมีราก หรือทั้งรากและลำต้นเจริญอยู่ในพื้นดินใต้น้ำแล้วส่งบางส่วนของลำต้น ใบ และดอกเจริญอยู่เหนือผิวน้ำ พืชในกลุ่มนี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีเมื่อมีน้ำท่วมขังลำต้น และมีแสงสว่างเพียงพอ พืชในกลุ่มนี้มีหลายชนิดและเป็นที่นิยมทั่วไปเช่น อเมซอน *Echinodorus* sp. ใบพาย *Cryptocoryne* sp..เป็นต้น (สุชาดา, 2530)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ชื่อสามัญ	anubias
ชื่อวิทยาศาสตร์	*Anubias* sp.
วงศ์	Araceae
ถิ่นกำเนิด	แอฟริกาตะวันตก

อนูเบียสจัดเป็นพืชชั้นสูงอยู่ได้ทั้งในสภาพกึ่งน้ำกึ่งบกและใต้น้ำ มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนแถบตอนกลางและตะวันตกของแอฟริกา มีมากมายหลายสกุลสามารถจำแนกความแตกต่างโดยใช้ลักษณะของช่อดอก(inflorescence) (www.wikipedia.com) พืชในวงศ์นี้มีลำต้นหลายแบบ เช่นเป็นเหง้า(rhizome) เป็นไหล(stolon) ใบมีทั้งที่เป็นใบเดี่ยวและใบประกอบใบแตกรอบลำต้นเป็นกอ รูปร่างของใบมีหลายแบบแตกต่างกันไป ดอกเป็นช่อดอกแบบดอกย่อยไม่มีก้านเกิดร่วมกันเป็นแท่งบน(spacdix) มีใบประดับรองรับช่อดอก(spathe) ไม่จำกัดเวลาในการออกดอก ตัวอย่างของพืชในวงศ์นี้ได้แก่ บอน เผือก หน้าวัว จอก ว่านน้ำ เป็นต้น (สุชาดา, 2542)

อนูเบียส มีด้วยกัน 8 สกุล พบในธรรมชาติพบทั่งไปในเขต สาวันนา และในแม่น้ำ Zaire และ Ogowe ชนิดที่มีต้นเตี้ยเจริญได้สูงสุดไม่เกิน 10 เซนติเมตร เช่น *A. barteri var.* nana หรือสูงมากว่า 1 เมตร เช่น *A. afzelii* และ *A. gigantean* (Han, 2002) มีใบหนาส่วนใหญ่เป็นรูปไข่ (ovate) แต่มีบางชนิดที่ค่อนข้างเรียวปลายใบแหลม(pointed) ใบหอก สีเขียวเข้ม เป็นพรรณไม้น้ำที่ดูแลรักษาง่าย เนื่องจากมีความทนทานสามารถอยู่ในน้ำได้ยาวนาน และมีการเจริญเติบโตช้า ในแต่ละปีจะเกิดใบใหม่ขึ้นเพียง 8-10 ใบจึงไม่ค่อยตัดแต่งบ่อย พรรณไม้ชนิดนี้เป็นที่นิยมของตลาดมาก มีราคาสูง เนื่องจากเจริญในน้ำได้ดี และมีการประดับในตู้ปลาหรือจัดสวนไม้น้ำในรูปแบบต่างๆ เช่นการนำไปเกาะหิน หรือตอไม้ สามารถขยายพันธุ์ได้ดี โดยการแยกหน่อหรือตัดแบ่งไรโซมไปชำในที่ชื้นแฉะและปลูกเลี้ยงในสภาพครึ่งบกครึ่งน้ำ จัดเป็นพรรณไม้น้ำที่เพาะขยายพันธุ์ได้ช้า และมีการเจริญเติบโตช้ามาก (วันเพ็ญ และ กาญจนรี, 2543)

เป็นพรรณไม้น้ำที่มีราคาสูงและมีความเป็นไปได้ในทางเศรษฐกิจ และเนื่องจากการที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่ช้ากลับเป็นจุดดีของการจัดตู้พรรณไม้น้ำเพราะไม่ต้องตัดแต่งบ่อยครั้งและไม่บดบัง ทัศนียภาพของกลุ่มพรรณไม้ที่อยู่ด้านหลัง

การปลูกพืชไร้ดิน

การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน (soilless culture)เป็นเทคนิคหนึ่งที่จัดอยู่ในระบบการปลูกพืชภายใต้ระบบควบคุมสภาพแวดล้อม เนื่องจากเทคนิคนี้สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ สำหรับการเจริญเติบโตของพืชได้ เช่น ปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ แสง และความชื้น เป็นต้น และผลผลิตที่ได้ก็ปลอดภัยจากสารพิษ เนื่องจากสามารถควบคุมปริมาณการใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช(Jensen, 1997) เป็นวิธีการปลูกพืชเพื่อให้ได้คุณภาพและช่วยประหยัดทรัพยากร หลักการพื้นฐานในการทำให้พืชเจริญเติบโตคือ เป็นวิธีการปลูกพืชที่ใช้หลักการแบบวิทยาศาสตร โดยไม่นำดินมาใช้เป็นวัสดุในการปลูกแต่จะใช้น้ำที่มีการเติมธาตุอาหารต่างๆ ทดแทนธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในดิน

การปลูกพืชด้วยสารละลาย มาจากคำในภาษากรีกสองคำ คือ คำว่า "hudor"หมายถึง น้ำ และ "ponos" หมายถึง งาน ซึ่งเมื่อรวมกันคือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับน้ำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้สารละลายหรือการใช้ปุ๋ยเคมีกับการปลูกพืช การปลูกพืชแบบใช้สารละลายหรือการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินสามารถปลูกได้ในทุกที่โดยไม่มีของเขตจำกัดไม่ว่าจะปลูกจำนวนน้อยหรือปลูกแบบเศรษฐกิจเชิงการค้า มีการศึกษาค้นคว้าเรื่อยๆมาจนถึงปีในปี ค.ศ. 1860-1865 Sachs และKnop เป็นผู้เริ่มต้นปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินด้วยหลักการวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ได้อย่างแท้จริง คือสามารถปลูกพืชด้วยสารละลายหรือการปลูกพืชในน้ำ โดยใช้เกลืออนินทรีย์ต่างๆ ใส่ลงไปซึ่งปุ๋ยทั้งหมดเหล่านี้ให้ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน แคลเซียม และเหล็ก ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาค้นคว้าด้านสูตรอาหารกันเรื่อยมา จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1920-1930 DR. William F. Gericke แห่งมหาวิทยาลัยแคลลิฟอร์เนีย ได้ทำการทดลองปลูกมะเขือเทศในสารละลายเป็นผลสำเร็จ ซึ่งมีเจริญเติบโตดีและสมบูรณ์ สามารถให้ผลผลิตได้รวดเร็ว จึงเรียกวิธีการปลูกแบบนี้ว่า "Hydroponics" มีความพยายามพัฒนาเทคนิควิธีการและส่วนประกอบต่างๆ ของสารละลายกันอย่างแพร่หลายจนถึงในปัจจุบัน (Sholto, 1975)

ระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

ระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน สามารถจัดแบ่งตามลักษณะวิธีการให้สารละลายธาตุอาหารแก่บริเวณรอบๆ รากพืชออกเป็น 3 ระบบหลัก คือ

1. ปลูกแบบปลูกให้รากลอยอยู่กลางอากาศ (aeroponics) คือการปลูกพืชโดยการฉีดพ่นน้ำสารละลายธาตอาหารให้กับรากพืชที่ลอยอยู่ในอากาศการปลูกพืชในระบบแอโรโพนิคส์ (aeroponics) คล้าย ๆ กับไฮโดรโพนิคส์ แต่แทนที่รากพืชจะแช่อยู่ในน้ำยาซึ่งเป็นสารละลายธาตุอาหารพืช ก็ใช้วิธีการฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหารพืชให้แก่พืชทางรากเป็นระยะ ๆ ตลอด 24

ชั่วโมงแทน เป็นระยะๆ ตามช่วงเวลาที่กำหนด ข้อเสียของวิธีการปลูกนี้คือมีค่าใช้จ่ายณ์ค่อนข้างสูงมาก

2. แบบปลูกในวัสดุปลูก(substrate culture) เป็นการปลูกโดยใช้วัสดุปลูกแทนการปลูกด้วยดิน วัสดุปลูกดังกล่าวได้แก่ วัสดุอินทรีย์สาร วัสดุอนินทรีย์สารและวัสดุสังเคราะห์ หลักสำคัญในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุปลูก คือจะต้องให้เหมาะกับสภาวะต่างๆ ตามที่พืชต้องการ เช่น มีการระบายอากาศที่ดี อุ้มน้ำได้พอเหมาะ เป็นต้น และเนื่องจากวัสดุปลูกที่ใช้อาจไม่มีสารอาหารหรือมีแต่ไม่เพียงพอ จึงจำเป็นที่จะต้องเติมสารละลายธาตุอาหารลงในวัสดุปลูกด้วย เพื่อต้องการให้พืชได้รับธาตุอาหารอย่างครบถ้วน ควรมีการตรวจสอบระมัดระวังไม่ปล่อยให้วัสดุปลูกแห้งจนไม่มีความชื้นอยู่ เพราะถ้าแห้งถึงระดับหนึ่งรากอาจจะไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพที่ดีดังเดิมได้ ส่วนในด้านความแตกต่างของการให้สารละลาย สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

2.1 การให้สารละลายท่วมภาชนะปลูก เริ่มภายหลังจากการย้ายต้นกล้ามาลงปลูกใหม่ในภาชนะปลูกถาวรที่มีวัสดุปลูกตามที่ได้จัดเตรียมไว้ โดยภาชนะนี้มีท่อสำหรับให้สารละลายไหลเข้าไปในภาชนะ ท่วมวัสดุปลูกไม่ต่ำกว่าวันละ 2 ครั้ง คือในช่วงเช้าและเย็นและสำหรับในระหว่างฤดูร้อน อาจต้องเพิ่มจำนวนขึ้นถึงวันละ 3-4 ครั้ง ในครั้งหนึ่งๆ จะปล่อยให้สารละลายแช่ขังอยู่ 1/2 ถึง 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงปล่อยให้สารละลายไหลกลับออกมาเก็บในถังไว้ใช้ในครั้งถัดไป

2.2 การให้สารละลายโดยการหยด ลักษณะการทำงาน จะต้องมีถังสำหรับการเตรียมผสมธาตุอาหาร ถังนี้จะต้องอยู่ในระดับความสูงเหนือภาชนะปลูกเล็กน้อย และต่อท่อในระดับต่ำกว่าลงมาโดยวางไปเป็นแนวยาว ที่ท่อเจาะรูเป็นระยะๆ สำหรับให้สารละลายไหลลงมาตามแรงโน้มถ่วงเพื่อให้หยดลงรากพืชแต่ละต้นได้อย่างต่อเนื่อง สารละลายจะซึมผ่านวัสดุปลูกลงมาทีละน้อยมายังรางปลูก และไหลลงมารวมกันอยู่ในถังเก็บโดยมีกลไกที่ดูดสารละลายกลับไปใช้ใหม่ หรือบางเทคนิคที่มีการควบการหยดของน้ำได้สามารถกำหนดปริมาณการให้สารละลายธาตุอาหารในแต่ละวันที่เหมาะสมได้โดยไม่ต้องนำกลับมาใช้ใหม่

3. แบบปลูกในสารละลายธาตุอาหาร (hydroponics) หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่า ปลูกพืชลอยน้ำคือการปลูกพืชโดยให้รากพืชแช่อยู่ในน้ำสารละลายธาตุอาหารโดยตรง โดยการนำรากพืชจุ่มแช่อยู่ในสารละลายโดยตรง ซึ่งรากพืชไม่มีสิ่งใดสัมผัสเกาะยึด ยังสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ ดังนั้น ด้วยลักษณะตามที่ปรากฏ การให้ระบบการรองรับแก่ต้นพืช จึงมักใช้การยึดเหนี่ยวในส่วนของลำต้นแทนเพื่อการทรงตัว สำหรับวิธีการนี้ต้องพัฒนารากพืชในต้นเดียวกันนั้นให้สามารถทำงานได้ 2 หน้าที่พร้อมๆ กันคือ

- รากดูดออกซิเจน (oxygen roots)
- รากดูดน้ำและธาตุอาหาร (water nutrient roots)

การจะทำให้รากพืชทำงานได้ทั้ง 2 หน้าที่นั้น โดยการพยายามให้ส่วนหนึ่งของรากพืชสัมผัสกับอากาศได้โดยตรงในบริเวณโคนราก ส่วนนี้ต้องให้มีช่องว่างของอากาศไว้สำหรับให้รากหายใจเอาออกซิเจนเข้าไป และอีกส่วนหนึ่งตรงปลายรากจุ่มแช่อยู่ในสารละลายทำหน้าที่ดูดน้ำและอาหารและ ด้วยหลักการดังกล่าว ต้นพืชจึงสามารถจุ่มแช่อยู่ในสารละลายได้โดยไม่เน่าตาย และไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ในการเติมอากาศกับพืชบางชนิด โดยจะต้องคำนึงถึงระดับของสารละลาย ให้เหมาะสมกับความยาวของรากในแต่ละช่วงอายุของพืชด้วย หรืออาจใช้เครื่องปั๊มอากาศช่วยเติมออกซิเจนให้แก่รากพืช สำหรับระบบการให้สารละลายธาตุอาหารแก่พืชนั้นแบ่งเป็น 2 วิธี คือ

3.1 แบบสารละลายไม่หมุนเวียน สามารถทำได้โดยเตรียมภาชนะปลูกเช่นกล่องโฟม หรือลังพลาสติกที่ไม่มีรอยรั่วซึม นำสารละลายที่เตรียมไว้เติมลงในระดับที่พอเหมาะ แล้วนำแผ่นวัสดุเช่นตะแกรงหรือแผ่นโฟมเจาะรูวางทาบที่ปากภาชนะสำหรับใส่กระถางหรือภาชนะปลูกเพื่อช่วยในการพยุงต้นพืชให้ทรงตัวได้ หลังจากนั้นนำต้นกล้าที่เพาะได้ไปลงปลูกในระบบ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงประการสำคัญ ก็คือ การเว้นช่องว่างระหว่างพื้นผิวสารละลายกับแผ่นโฟมเพื่อ ช่องว่างนี้จะเป็นพื้นที่สำหรับให้ออกซิเจนแก่รากพืช และการปลูกแบบสารละลายไม่หมุนเวียนนี้สามารถทำได้ 2 วิธี คือ ชนิดเติมอากาศโดยใช้แอร์ปั๊มและชนิดไม่เติมอากาศให้แก่รากพืช

3.2 แบบสารละลายหมุนเวียน ในระบบนี้จะมีการใช้ปั๊มเป็นตัวช่วยหมุนเวียนสารละลายให้มีการไหลเวียนเกิดขึ้น ข้อดีของระบบคือ นอกจากจะเป็นการเพิ่มออกซิเจนแก่รากพืชได้โดยตรง ยังเป็นการช่วยให้สารละลายเกิดการเคลื่อนไหวช่วยไม่ให้ธาตุอาหารเกิดการตกตะกอนซึ่งต้นพืชจะได้รับอาหารได้อย่างเต็มที่ โดยเป็นแบบที่ใช้ได้ผลสำเร็จในเชิงการค้า

ระบบการปลูกพืชแบบปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่นิยมใช้มีด้วยกันหลายระบบเช่น

1. Nutrient Film Technique (NFT) การปลูกแบบนี้จะเป็นการปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลายโดยตรง สารละลายธาตุอาหารจะไหลเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (หนาประมาณ 2-3 มิลิเมตร) ในรางปลูกพืชกว้าง ตั้งแต่ 5-35 ซม. สูงประมาณ 5 - 10 ซม. ความกว้างราง ขึ้นอยู่กับชนิดพืชที่ปลูก ความยาวของราง ตั้งแต่ 5 - 20 เมตร การไหลของสารละลายอาจเป็นแบบต่อเนื่องหรือแบบสลับก็ได้ โดยทั่วไปสารละลายจะไหลแบบต่อเนื่อง อัตราไหลอยู่ในช่วง 1 - 2 ลิตร/นาที/ราง รางอาจทำจากแผ่นพลาสติกสองหน้าขาวและดำ หนา 80 - 200 ไมครอน หรือจาก PVC ขึ้นรูปเป็นรางสำเร็จรูป ,ทำจากโลหะ เช่น สังกะสี หรือ อะลูมิเนียม และบุภายในด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของสารละลาย โดยจะมีปั๊มดูดสารละลายให้ไหลผ่านรางและรากพืชและเวียนกลับมายังถังเก็บสารละลาย(อิทธิสุนทร, ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์) สำหรับปลูกพืชกินใบได้หลายชนิด เช่น ผัก

สลัดพันธุ์ต่างประเทศ อย่างเช่น Green Oak Red Oak Red Coral Frillice Iceberg Butterhead Cos (Romaine) และผักของไทย เช่น คะน้า กวางตุ้ง ผักบุ้ง คื่นฉ่าย

2. Deep Flow Technique (DFT) คือการปลูกพืชโดยให้รากพืชแช่อยู่ในกระบะน้ำสารละลายธาตุอาหารที่มีระดับความลึกประมาณ 2-15 ซ.ม. เป็นระบบที่มีการให้สารละลายธาตุอาหารพืชแบบหมุนเวียน รากพืชจะจุ่มในสารละลายธาตุอาหารที่ไหลอย่างช้าๆ เพื่อเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับรากพืชสามารถลดระดับน้ำให้น้อยลง ช่วยให้พืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วโดยระบบนี้จะเหมาะสำหรับปลูกพรรณไม้น้ำเกือบทุกชนิด ส่วนปลูกผักไทยประเภทกินใบ เช่น ผักคะน้า กวางตุ้ง ผักบุ้ง คื่นฉ่าย ผักชี ไดโตเกียว ผักขม เป็นต้น

3. Dynamic Root Floating Technique (DRFT) เป็นระบบการปลูกพืชที่พัฒนามาจากระบบของ ดร.เกอริค (Prof. Dr.William F.Gericke) ที่เน้นการปลูกพืชให้รากพืชแช่อยู่ในน้ำส่วน หนึ่งและอีกส่วนหนึ่งสร้างรากอากาศ เพื่อช่วยในการหายใจ โดยจะทำให้พืชที่ปลูกในระบบนี้ สามารถเจริญได้ในอุณหภูมิของสารละลายที่สูงมากกว่าระบบอื่นๆ ได้ดี ดร.เกา (Kao Te Chen) นักวิจัยและพัฒนาระบบไฮโดรโพนิคส์ ชาวไต้หวัน ได้พัฒนาระบบของ ดร.เกอริค โดยเพิ่มระบบท่อรับน้ำในกระบะ ที่ช่วยให้ระดับน้ำสูงขึ้นหรือลดลงได้ตามความต้องการของพืช โดย ดร.เกา ได้กำหนดให้ระดับน้ำควรสูงเพียงพอที่จะทำให้ รากพืชแช่อยู่ในน้ำได้ ประมาณ 4 เซนติเมตร โดยรากส่วนนี้ จะเป็นรากที่ดูดอาหาร (nutrient root) และรากส่วนเหนือจากนี้จะเป็นรากที่หายใจ และดูดออกซิเจนเข้าสู่ราก จึงเรียกรากส่วนนี้ว่า รากอากาศ (aero root) ดังนั้นระบบดีอาร์เอฟก็คือระบบที่สามารถปรับความสูงต่ำของน้ำในกระบะปลูกได้ตามความต้องการ ของรากพืชแต่ละ ชนิดและเพื่อให้รากพืชลอยอยู่ในน้ำในระดับเพียง 4 เซนติเมตร ระบบดีอาร์เอฟได้มีการพัฒนาหลายครั้ง และปัจจุบันได้จดสิทธิบัตรในไต้หวัน(http://www.maejohydroponics.org/topic5.htm)

วัสดุปลูก

วัสดุปลูก หมายถึงวัตถุต่างๆ ที่เลือกมาเพื่อใช้ปลูกพืชและทำให้ต้นพืชเจริญเติบโตได้เป็นปกติ วัสดุดังกล่าวอาจเป็นชนิดเดียวกันหรือหลายชนิดผสมกัน ชนิดของวัสดุปลูกอาจเป็นอินทรีย์วัตถุก็ได้ โดยทั่วไปวัสดุปลูกจะมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตพืช 4 ประการ ค้ำจุนส่วนของพืชที่อยู่เหนือวัสดุปลูกให้ตั้งตรงอยู่ได้ เก็บสำรองธาตุอาหารพืช กักเก็บน้ำเพื่อเป็นประโยชน์ต่อพืชและแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างรากพืชกับบรรยากาศเหนือวัสดุปลูก

ประเภทของวัสดุปลูก

วัสดุปลูกควร ราคาถูก ปราศจากพิษ และศัตรูพืชและเป็นวัสดุที่หาง่ายในท้องถิ่นนั้น และไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ลักษณะของวัสดุปลูกที่ดี ภาพรวมในการเลือกใช้วัสดุปลูกให้

คำนึงถึง คือ ต้องสะอาด และทำความสะอาดง่าย มีความแข็งแรง มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี เช่น ไม่ทรุดตัวง่าย ถ่ายเทน้ำและอากาศได้ดี มีอนุภาคสม่ำเสมอ ส่วนคุณสมบัติที่เหมาะสมทางเคมี เช่น ระดับของความเป็นกรดด่าง ไม่มีสารทำลายรากพืช วัสดุปลูกที่เป็นของแข็ง สามารถจำแนกตามที่มาและแหล่งกำเนิดของวัสดุได้ดังต่อไปนี้

1. วัสดุปลูกที่เป็นอนินทรีย์สาร เช่น

- วัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ทราย ก้อนกรวด หินภูเขาไฟ หินซีลท์ ฯลฯ
- วัสดุที่ผ่านขบวนการโดยใช้ความร้อน ทำให้วัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิมเช่น ดินเผา เม็ดดินเผา ที่ได้จากการเผาเม็ดดินเหนียวที่อุณหภูมิสูง 1,100 องศา-เซลเซียส ใยหิน ที่ได้จากการหลอมหินภูเขาไฟที่ทำให้เป็นเส้นใยแล้วผสมด้วยสารเลซิน เปอร์ไลท์ ที่ได้จากทรายที่มีต้นกำเนิดจากภูเขาที่อุณหภูมิสูง 1,200 องศา-เซลเซียส เวอร์มิคูไลท์ (vermiculite) ที่ได้จากการเผาแร่ไมก้าที่อุณหภูมิสูง 800 องศาเซลเซียส เป็นต้น
- วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเช่น เศษจากการทำอิฐมอญ เศษดินเผาจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผา

2. วัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร เช่น วัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ฟางข้าว ขุยและเส้นใยมะพร้าว แกลบและขี้เถ้า เปลือกถั่ว พีท หรือวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ชานอ้อย กากตะกอนจากโรงงานน้ำตาล วัสดุเหลือใช้จากโรงงานกระดาษ

3. วัสดุสังเคราะห์ เช่น เม็ดโฟม แผ่นฟองน้ำ และเส้นใยพลาสติก

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในการปลูกพืชไร้ดิน

การปลูกพืชในสารละลายไฮโดรโปนิกส์ต้องการปัจจัยต่างๆเช่นเดียวกับการปลูกพืชในโดยทั่วไป สามารถแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

1 พันธุกรรม ความแตกต่างทางพันธุกรรมเป็นปัจจัยพื้นฐานที่ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ต้นไม้ที่มีลักษณะทางพันธุกรรมที่ดีย่อมส่งผลให้มีการเจริญเติบโตที่ดี หรือมีความต้านทานโรค ซึ่งลักษณะที่ปรากฏให้เห็นนั้นจะมีความเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม ในต่างประเทศเช่น ญี่ปุ่น เนเธอร์แลนด์ เบลเยี่ยม ซึ่งการปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์เป็นการปลูกพืชหลักที่สำคัญอย่างหนึ่ง จะให้ความสำคัญกับการปรับปรุงพันธุ์พืช

2 สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชหรือฮอร์โมนพืช สารประกอบอินทรีย์ โดยพืชจะสังเคราะห์ที่ส่วนหนึ่งแล้วเคลื่อนย้ายไปยังอีกส่วนหนึ่ง และมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาที่ค่อนข้างเฉพาะเจาะจง ซึ่งสามารถมีผลกระทบแม้ในปริมาณที่น้อยมาก โดยทั่วไปแล้วจะเกี่ยวข้องกับการเจริญของพืชทั้งในภาพรวมและการเจริญแต่ละส่วน ซึ่งนอกจากนี้ฮอร์โมนบาง

กลุ่มจะทำหน้าที่ยับยั้งการเจริญเติบโต โดยธรรมชาติทั้ง 2 กลุ่มนี้จะมีสัดส่วน ปริมาณแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น อายุ ฤดูกาล ช่วงอายุ เป็นต้น ในปัจจุบันมีการสังเคราะห์ขึ้นมาใช้ในวงการเกษตรกันอย่างกว้างขวางเช่นการกระตุ้นให้ผลไม้ออกผลนอกฤดูกาล การกระตุ้นให้มีการออกดอก เร่งให้กิ่งที่ปักชำมีรากพัฒนาที่เร็วขึ้น เป็นการทดแทนสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชสามารถแบ่ง ออกเป็นกลุ่มตามคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนี้

1.1 ออกซิน (auxins) พบในพืชชั้นสูงทั่วๆ ไป สังเคราะห์ได้จากส่วนเนื้อเยื่อเจริญของลำต้น ปลายราก ใบอ่อน ดอกและผล และพบมากที่บริเวณเนื้อเยื่อเจริญ โคลีออพไทด์และคัพภะ รวมทั้งใบที่กำลังเจริญ สารกลุ่มนี้มีทั้งฮอร์โมนและสารสังเคราะห์ มีหน้าที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ควบคุมการขยายขนาดของเซลล์ การเจริญเติบโตของใบ การติดผล การเกิดราก การเปลี่ยนเพศดอก ช่วยให้ติดผล ขยายขนาดของผล และบางชนิดสามารถใช้เป็นสารกำจัดวัชพืชได้หรือ ใช้ในการเร่งให้ส่วนที่จะนำไปปักชำเกิดรากเร็วขึ้น ตัวอย่างของสารสังเคราะห์ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ คือ Indole Butyric Acid (IBA) Indole Acetic Acid (IAA) Napthalene Acetic Acid (NAA) Phenoxy Acetic Acid และ Benzoic Acid มีการใช้ NAA ในการเร่งการเกิดรากของอนูเบียส นานาโดยวิธีเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ที่ความเข้มข้น 0-16 ไมโครโมล พบว่ามีอิทธิพลชักนำให้เกิดรากอย่างมีนัยสำคัญแต่ในขณะเดียวกันจะทำให้ลดการเกิดยอดด้วย (กาญจนรี และคณะ, 2547)

2.2 จิบเบอเรลลิน (gibberellins)หรือกรดจิบเบอเรลลิค (Gibberellic Acid) สารชนิดนี้พืชสร้างขึ้นได้เองและยังไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ แต่สามารถสกัดได้จากเชื้อราบางชนิดที่สร้างสารกลุ่มนี้ได้คือ *Gibberella fujikuroi* สารจิบเบลเรลริลได้ จิบเบอเรลลินเป็นฮอร์โมนพืชซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีเป็นไดเทอพีนส์ (diterpenes) ซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดตามธรรมชาติในพืช ในกลุ่มของเทอพีนอยส์ (Terpenoids) การสังเคราะห์ GA จึงเกิดมาจากวิถีการสังเคราะห์สารเทอพีนอยส์ โดยที่มีบางส่วนยังไม่เข้าใจเด่นชัดนัก หน้าที่ของสารในกลุ่มนี้คือ ควบคุมการยืดตัวของเซลล์ และเร่งการเจิญเติบโตของพืชกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชทั้งต้น ในพืชบางชนิดสามารถกระตุ้นการยืดยาวของข่อดอกไม้ กระตุ้นการงอกของเมล็ดที่พักตัวและตาที่พักตัว สามารถกระตุ้นการเคลื่อนที่ของอาหารในเซลล์สะสมอาหารหลังจากที่เมล็ดงอกแล้ว กระตุ้นให้เกิดผล ในปัจจุบันมีจิบเบอเรลลินมากกว่า 80 ชนิด

2.3 ไซโตไคนิน (cytokinins) เป็นฮอร์โมนพืชที่พบมากในผลอ่อนและเมล็ดเช่นในน้ำมะพร้าว ในผลอ่อนของข้าวโพด และราก ซึ่งไซโตไคนิน อาจจะสังเคราะห์ที่บริเวณดังกล่าวหรืออาจจะเคลื่อนย้ายมาจากส่วนอื่น ในรากนั้นมีหลักฐานที่ชี้ชัดว่าไซโตไคนินสังเคราะห์ที่บริเวณนี้ได้ เป็นฮอร์โมนที่จำเป็นต่อการแบ่งเซลล์และการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพของเนื้อเยื่อ

เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพ (senescence) และการควบคุมการเจริญของตาข้างโดยตายอด (apical dominance) ทำลายระยะพักตัวของเมล็ด ดังนั้นสารในกลุ่มนี้จึงมักถูกใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ใช้เร่งการแตกตาข้างและชลอการเสื่อมชรา สารสังเคราะห์ที่ใช้กันมาก คือ kinetin และ benzyl adenine(BA) tetrahydropyranylbenzyladenine หรือ PBA มีรายงานการใช้ BA ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของอนูเบียสนานาพบว่าที่ระดับ 8 ไมโครโมลในสูตรอาหาร MS สามารถชักนำให้เกิดยอดได้สูงสุด 6.8 ยอดและถ้าใช้ในความเข้มข้นที่สูงจะลดการเกิดรากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (กาญจนรี และคณะ, 2547) นอกจากนี้การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของอนูเบียสมินิมามีการใช้ BA ที่ระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถชักนำให้เกิดยอดได้สูงสุด 10 ยอด (อารดา, 2548)

2.4 เอทิลีน (ethylene) เอทธิลีนเป็นฮอร์โมนที่มีสภาพเป็นแก๊สซึ่งรู้จักกันมานานแล้ว จากการบ่มผลไม้ สารเริ่มต้นที่พืชใช้ในการสังเคราะห์เอทธิลีนคือเมทไธโอนีน (Methionine) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่ง พืชชั้นสูงทั้งหมดและเชื้อราบางชนิดสามารถสังเคราะห์เอทธิลีนได้ ในต้นอ่อนนั้นยอดอ่อนเป็นส่วนสำคัญที่สังเคราะห์เอทธิลีน หน้าที่ของฮอร์โมนในกลุ่มนี้จะเกี่ยวข้องกับการควบคุมการเจริญเติบโตในหลายแง่ เช่น การพัฒนา การเสื่อมสลาย ซึ่งขึ้นอยู่กับเวลาและสถานที่ ซึ่งเกิดเอทธิลีนขึ้นมา กระตุ้นให้ผลไม้สุก กระตุ้นการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพ เช่น กระตุ้นให้เกิด Abcission zone ขึ้น ทำให้ใบและกลีบดอกร่วงได้ กระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพของราก กระตุ้นให้พืชออกจากการพักตัว เช่น กรณีของมันฝรั่ง กระตุ้นให้เกิดดอกตัวเมียมากขึ้นในพืช Dioecious ส่วนสารควบคุมการเจริญเติบโตที่นำมาใช้ประโยชน์ในปัจจุบันก็มีหลายชนิด เช่น Paclobutrazol กระตุ้นให้มะม่วงออกผลนอกฤดูกาล ซึ่งใช้ควบคุมความสูงของพืช Ethephon ใช้ในการเร่งการไหลของน้ำยางของยางพาราเป็นต้น

2.5 สารชลอการเจริญเติบโต (plants growth retardants) สารในกลุ่มนี้เป็นสารสังเคราะห์ทั้งหมด สามารถยับยั้งการสร้างและการทำงานของสารกลุ่มจิบเบลเรลลิน มีคุณสมบัติลดการเจริญเติบโตของพืชในด้านความสูง ช่วยทำให้พืชออกดอก เนื่องจากสารในกลุ่มนี้ สารชลอการเจริญเติบโตที่สามารถยับยั้งจิบเบลเรลลิน เช่น CCC หรือ Cycocel AM0-1618 Phosfon-D และ SADH หรือ Alar

2.6 กรดแอบซิสิค (Abscisic Acid) หรือ ABA เป็นสารที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช ABA สังเคราะห์ในใบแก่และผลแก่ และจะถูกกระตุ้นให้สังเคราะห์เมื่อขาดน้ำ โดยการสังเคราะห์เกิดในคลอโรพลาสต์ ดังนั้น ใบ ลำต้น และผลไม้สีเขียวจึงสังเคราะห์ ABA ได้ เมื่อเกิดการสังเคราะห์ ABA แล้วจะเคลื่อนย้ายจากใบไปสู่ส่วนอื่นๆ เช่น ยอดและไประงับการเจริญที่บริเวณนั้น ในเมล็ดมักจะมีปริมาณของ ABA อยู่มาก มีอิทธิพลที่สำคัญได้แก่ ลดการคายน้ำโดย

กระตุ้นให้ปากใบปิด กระตุ้นให้เกิดการพักตัวของตา การร่วงของใบและดอก เช่น ในฝ้าย ผลแก่ที่ร่วงเองจะมี ABA สูงมาก และเร่งกระบวนการเสื่อมสภาพของใบ

3. สิ่งแวดล้อม เป็นปัจจัยภายนอกที่สำคัญและส่งผลกระทบทั้งโดยตรงและโดยอ้อมกับพืช ถ้าสิ่งแวดล้อมมีความเหมาะสมจะส่งผลให้มีการเจริญเติบโตที่ดี ในกรณีที่มีการปลูกพืชต่างถิ่นหรือปลูกในช่วงที่มีสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมนั้นถ้าสามารถควบคุมและปรับสิ่งแวดล้อมได้ก็สามารถที่จะปลูกพืชชนิดนั้นๆได้ พืชแต่ละชนิดมีความต้องการสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไป ที่สำคัญได้แก่

3.1 แสง (light) แสงเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการสังเคราะห์แสงของพืชโดยมีคลอโรฟิลล์เป็นตัวรับแสงเพื่อนำไปเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ให้เป็นกลูโคสและออกซิเจน ความต้องการแสงของพืชมีทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ

- เชิงคุณภาพ ที่สำคัญคือ ความเข้มและสีของแสงที่พืชได้รับ ถ้าแสงมีเข้มที่ต่ำกว่าจุดชดเชยพืชจะไม่สามารถสังเคราะห์แสงหรือถ้าแดดจัดเกินไปพืชก็จะแสดงอาการเหี่ยวเป็นต้นซึ่งในปัจจุบันจะมีการใช้วัสดุกรองแสงเพื่อช่วยให้แสงมีความเหมาะสมกับพืชแต่ละชนิดซึ่งโดยทั่วไปแล้วพรรณไม้น้ำหลายชนิดมักต้องการความเข้มแสงที่ต่ำ ในตู้พรรณไม้น้ำความเข้มที่เหมาะสมอยู่ที่ประมณ 2000-3000 Lux โดยพืชน้ำในกลุ่มมอสและพืชชายน้ำมีความต้องการแสงที่ต่ำกว่ากลุ่มสาหร่ายคอมบาบา(มณีรัตน์ และคณะ, 2547) ส่วนแสงที่มีอิทธิพลกับพืชน้ำมากคือแสงสีแดง

- เชิงปริมาณ พืชแต่ละชนิดมีความต้องการแสงต่างกันออกไปสามารถจำแนกได้อย่างกว้างๆได้แก่ พืชวันสั้นซึ่งต้องการแสงน้อยกว่าวันละ 12 ชั่วโมงโดยและพืชวันยาวที่ต้องการแสงค่อนข้างมากในแต่วันวันโดยเฉลี่ยมากกว่า 12 ชั่วโมง

3.2 อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับแสง กล่าวคือ เมื่อแสงมีความเข้มสูงขึ้นอุณหภูมิก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย อุณหภูมิมีผลกับขบวนการเมแทบอลิซึมของพืช สำหรับการปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์นั้นนอกจากปริมาณแสงและอุณหภูมิในอากาศแล้วอุณหภูมิของสารละลายก็มีความสำคัญอย่างมากต่อ กระบวนการหายใจของราก ซึ่งหากไม่เหมาะสมก็จะก่อให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช และโดยทั่วไปช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับพืชคือ 18 – 24 องศาเซลเซียส สำหรับพรรณไม้น้ำนั้นการฉีดพ่นน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นและลดอุณหภูมิมีความสำคัญมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกที่ลงปลูกในระบบ

3.3 อากาศ พืชมีความจำเป็นต้องใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์แสง ซึ่งส่วนใหญ่จะมีปริมาณเพียงพอยกเว้นการเลี้ยงพรรณไม้น้ำที่ต้องมีการให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในตู้ โดยพบว่าพืชในกลุ่มมอส กลุ่มพืชใต้น้ำและกลุ่มพืชชายน้ำมีความ

ต้องการคาร์บอนไดออกไซด์ที่ประมาณ 30 40 และ 50 มิลกรัมต่อลิตรตามลำดับ (มณีรัตน์ และคณะ, 2547) ส่วนในกระบวนการหายใจพืชต้องการแก๊สออกซิเจนเพื่อใช้เปลี่ยนพลังงานเคมีที่สะสมในรูปกลูโคสเป็นพลังงานเพื่อใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม พืชที่ปลูกด้วยในสารละลายไฮโดรโปนิกส์นั้นกระบวนการหายใจของพืชส่วนที่อยู่เหนือสารละลายมักจะไม่เกิดปัญหาการขาดออกซิเจน เนื่องจากในบรรยากาศมีออกซิเจนอยู่ถึงร้อยละ 20 ซึ่งเป็นปริมาณที่มากเกินพอ แต่ในส่วนของรากที่อยู่ในสารละลายมักจะเกิดปัญหาขึ้นเนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ดังนั้นจึงต้องเติมออกซิเจนให้แก่รากพืช เช่น ใช้ปั๊มน้ำหรืออาจใช้การระบบหมุนเวียนสารละลายให้แก่ระบบ

4. น้ำและความชื้น สำหรับการปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์นั้นคุณภาพน้ำเป็นสิ่งที่สำคัญ กล่าวคือ น้ำที่ไม่สะอาดอาจมีจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคต่างๆ ในพืชและในการปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์นี้ต้องใช้น้ำเป็นหลักจึงอาจทำให้เกิดการแพร่กระจายโรคได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้หากองค์ประกอบทางเคมีของน้ำไม่เหมาะสม เช่น อาจมีปริมาณของธาตุอาหารบางอย่างที่พืชต้องการในปริมาณน้อยมากเกินไปจนส่งผลกระทบในด้านลบต่อพืชและการที่น้ำมีอิออนต่างๆ ไม่สมดุลจะมีผลต่อการนำธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ของพืช แหล่งน้ำที่ดีที่สุดสำหรับการปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์ปริมาณมากในเชิงการค้าก็คือน้ำฝนหรือน้ำจากคลองชลประทาน

5. ธาตุอาหารพืช ธาตุอาหารสำคัญ (essential element) ของพืชมีทั้งหมด 16 ธาตุ เป็นธาตุอาหารที่พืชชั้นสูงทุกชนิดจำเป็นต้องได้รับ เพื่อการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์ แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ มหาธาตุอาหาร และจุลธาตุอาหาร

5.1 มหาธาตุอาหาร (macronutrient) หมายถึงธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อพืชมากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิดลกรัม ของน้ำหนักแห้ง แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

5.1.1 ธาตุอาหารที่พืชได้จากน้ำและอากาศ มี 3 ธาตุ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ธาตุทั้ง 3 นี้เป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อพืชร้อยละ 94-99 ของน้ำหนักสด

5.1.2 ธาตุอาหารที่พืชได้จากดิน แบ่งย่อยออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

ธาตุอาหารหลัก (primary nutrient) มี 3 ธาตุ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแตสเซียม ซึ่งในดินมักจะไม่เพียงพอ

- ไนโตรเจน (N) ในแง่ของพรรณไม้น้ำซึ่งส่วนใหญ่เป็ไม้ใบ ธาตุไนโตรเจนนับว่ามีบทบาทสำคัญในการช่วยเร่งการเจริญเติบโตในส่วนที่เป็นลำต้นและใบ พืชสามารถนำไนโตรเจนขึ้นมาใช้ในรูปของแอมโมเนียมอิออน(NH_4^+) และไนเตรทอิออน (NO_3^-) ซึ่งไนโตรเจนส่วนใหญ่ในสารละลายธาตุอาหารพืชจะอยู่ในรูป NO_3^- ส่วนใหญ่แล้วแพลงค์ตอนพืชจะชอบใช้แอมโมเนียมากกว่าไนเตรทส่วนพืชบกถ้ามี NH_4^+ มากจะเป็นอันตรายต่อพืชได้โดยสัดส่วนของแอมโมเนียต่อ

ไนเตรท 10 ต่อ 90 ในการปลูกด้วยระบบ DFT มีผลต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำชนิดใบพาย เขาใหญ่ (*Cryptocoryne crispatula* var. balansae) ดีที่สุด(ยุทธนา, 2547) สำหรับความต้องการไนโตรเจนในตู้พรรณไม้น้ำควรมีไนเตรตที่ประมาณ 10 มิลิกรัม/ลิตรที่เหลือจะได้รับจากอาหารและสิ่งตกค้างที่เหลือขับถ่าย (Eu Tian Han, 2002) ซึ่งสารเคมีที่ให้ NO_3^- ก็คือ แอมโมเนียมไนเตรท ยูเรีย แคลเซียมไนเตรท และโปตัสเซียมไนเตรท

- ฟอสฟอรัส (P) พบในพืชประมาณร้อยละ 0.1-0.4 หรือน้อยกว่าไนโตรเจนประมาณ 10 เท่า ฟอสฟอรัสมีหน้าที่เกี่ยวกับการถ่ายเทพลังงาน ซึ่งพลังงานที่ได้จากการสังเคราะห์แสงและเมแทบอลิซึมของสารประกอบคาร์โบไฮเดรทจะถูกเก็บไว้ในรูปของสารประกอบฟอสเฟตสำหรับใช้ในการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของพืช นอกจากนั้นฟอสฟอรัสยังเป็นส่วนประกอบของ นิวคลีโอไทด์และฟอสโฟไลปิด อีกด้วยส่วนสำคัญของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของพืช คือช่วยทำให้การแบ่งเซลล์และการพัฒนาของส่วนที่เจริญเติบโตของพืช (ยอด และราก) เป็นไปได้ดี ฟอสฟอรัสช่วยให้พืชออกดอก และแก่เร็วทำให้พืชมีความแข็งแรง ต้านทานต่อโรคและแมลง รูปของฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ คือโมโนไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{-2})และไดไฮโดรเจนฟอสเฟต(H_2PO^{4-}) ซึ่งจะอยู่ในรูปไหนมากกว่ากันก็ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดด่างของสารละลาย สำหรับตู้พรรณไม้น้ำฟอสฟอรัสต้องการค่อนข้างน้อยที่ประมาณ 0.1-0.3 มิลิกรัมต่อลิตร(Eu Tian Han, 2002)

- โพแทสเซียม (K) มีอยู่ในพืชประมาณร้อยละ 1.25–3 มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการทำงานทางด้านสรีรวิทยา เนื่องจากโพแทสเซียมจำเป็นต่อการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต การเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลภายในพืช ควบคุมการปิดเปิดของปากใบ และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ รูปของโปตัสเซียมที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ก็ คือ โปตัสเซียมอิออน (K^+) แต่หากมีโพตัสเซียมมากเกินไปก็จะรบกวนการนำแคลเซียมและแมกนีเซียมไปใช้ของพืช สารเคมีที่ให้โพตัสเซียมคือ โพตัสเซียมไนเตรท และโพตัสเซียมฟอสเฟต เป็นต้น สำหรับตู้พรรณไม้น้ำควรมีโพแตสเซียมที่ประมาณ 15-40 มิลิกรัม/ลิตร

5.1.3 ธาตุอาหารรอง (secondary nutrient) มี 3 ธาตุ คือ แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์ โดยทั่วไปแล้วในดินจะมีปริมาณที่เพียงพอ

- แคลเซียม (K) พบในพืชระหว่างร้อยละ 0.5-2 ขึ้นกับชนิดของพืชอัตราการดูดธาตุแคลเซียมจะช้ากว่าโพแทสเซียม แต่จะค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงวงจรชีวิตพืช การดูดใช้แคลเซียมจะขึ้นกับอิออนตัวอื่นๆ ในสารละลายโดยเฉพาะเมื่อมีไนเตรท จะทำให้การดูดใช้แคลเซียมสูงขึ้น แคลเซียมมีหน้าที่เกี่ยวกับความแข็งแรงของเนื้อเยื่อและเซลล์พืช มีส่วนช่วยทำให้พืชมีลำต้นที่แข็งแรงขึ้นและเป็นธาตุที่กระตุ้นให้เอนไซม์ทำงาน รูปของแคลเซียมที่พืชสามารถนำมาใช้ได้คือ

แคลเซียมอิออน (Ca^{+2}) และแหล่งแคลเซียมที่ดีที่สุด คือ แคลเซียมไนเตรทเนื่องจากละลายง่าย ราคาไม่แพง และยังให้ธาตุไนโตรเจนด้วย แต่ก็ควรจะต้องระวังเรื่องปริมาณแคลเซียมที่มากเกินไป เพราะแคลเซียมที่มากเกินไปจะรบกวนการนำโพตัสเซียมและแมกนีเซียมมาใช้ของพืชสำหรับตู้พรรณไม้น้ำควรมีแคลเซียม 20-40 มิลิกรัม/ลิตร(Eu Tian Han, 2002)

- แมกนีเซียม (Mg) พบในพืชประมาณร้ยละ 0.2–0.5 แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ประมาณร้อยละ 2.7 ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการสังเคราะห์แสง นอกจากนั้นยังเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ และเป็นส่วนช่วยในการเคลื่อนย้ายน้ำตาลภายในพืชรูปของแมกนีเซียมที่พืชสามารถนำไปใช้ได้คือแมกนีเซียมอิออน (Mg^{+2}) และสารเคมีที่ให้แมกนีเซียมก็คือ แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSo_4$) แต่ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชก็ควรคำนึงถึงปริมาณแมกนีเซียมด้วย เพราะปริมาณแมกนีเซียมที่มากเกินพอจะรบกวนการนำโพตัสเซียมและแมกนีเซียมมาใช้ของพืช สำหรับตู้พรรณไม้น้ำควรมีแมกนีซียมที่ประมาณ 10-15 มิลิกรัม/ลิตร(Eu Tian Han, 2002)

- กำมะถัน (S) พบในพืชประมาณร้อยละ 0.15–0.5 กำมะถันเป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโนบางชนิดเช่น cysteine และ methionine โปรตีน และโคเอนไซม์ (Co-enzyme) นักวิชาการหลายท่านมองว่า ความสัมพันธ์ระหว่างกำมะถันต่อไนโตรเจนมีความสำคัญกับพืชมากกว่าตัวกำมะถันเดี่ยวๆ ดังนั้นสัดส่วนระหว่างไนโตรเจนกับกำมะถัน (N/S) น่าจะเป็นตัวบ่งบอกถึงความเพียงพอหรือขาดได้ดีกว่าปริมาณกำมะถันทั้งหมดรูปของกำมะถันที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ก็คือ ซัลเฟตอิออน (SO_4^{2-}) แหล่งของเกลือที่ให้ธาตุ เช่นแมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมซัลเฟต เป็นต้น

5.2 จุลธาตุอาหาร (micronutrient) หมายถึง ธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อพืชน้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิดลกรัมของน้ำหนักแห้งมี 7 ธาตุ คือ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดีนัม และคลอรีน

- เหล็ก (Fe)พืชมีความเข้มข้นของเหล็กประมาณ 50 – 100 ppm เป็นธาตุที่ไม่ค่อยเกิดการเคลื่อนย้ายภายในพืช มีหน้าที่สำคัญช่วยในการสร้างคลอโรฟิลล์ ช่วยในขบวนการเพิ่มหรือลดจำนวนออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจของพืชและช่วยในการดูดธาตุอาหารอื่นๆ รูปของเหล็กที่พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ก็คือ Fe^{2+} และFe^{3+} และสารเคมีที่ให้ธาตุเหล็กและมีราคาถูกก็คือ เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) ซึ่งละลายน้ำได้ง่ายแต่ก็จะตกเป็นตะกอนได้เร็วจึงต้องควบคุมสภาพความเป็นกรด – ด่างของสารละลาย แต่หากจะหลีกเลี่ยงปัญหานี้ก็สามารถใช้เหล็กในรูปคีเลต ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ สามารถคงตัวอยู่ในรูปสารละลายธาตุอาหารพืชและพืชก็สามารถนำไปใช้ได้ โดยเหล็กคีเลตที่นิยมใช้ในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารก็คือ EDTA DTPA และ EDDHA

- แมงกานีส (Mn)ในพืชมีอยู่ประมาณ 20 – 100 ppm เป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชั่น–รีดักชั่น (Oxidation-reduction) ในกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็คตรอนและเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์และทำงานร่วมกับธาตุอื่นๆ เช่น เหล็ก แคลเซียม และแมกนีเซียม ความเป็นประโยชน์ของแมงกานีสจะถูกควบคุมด้วยค่าความเป็นกรด – ด่างของสารละลายธาตุอาหารเช่นเดียวกับเหล็กรูปที่พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้คือ แมงกานีสอิออน (Mn^{+2})

- สังกะสี (Zn)มีอยู่ในพืชประมาณ 15 – 50 ppm มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสร้างฮอร์โมนพืชที่ควบคุมการเจริญเติบโต มีความสำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดเพราะมีความจำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์สาร IAA (indole acetic acid) ซึ่งเป็นสารที่เกี่ยวข้องกับการขยายตัวของเซลล์ นอกจากนั้นยังมีบทบาทเกี่ยวกับการสร้างแป้งในพืช และมีบทบาททางอ้อมในการสร้างคลอโรฟิลล์ การขาดเพียง 1 – 2 ppm อาจทำให้เกิดความผิดปกติของพืชได้ รูปที่พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้คือ ซิงค์อิออน (Zn^{+2}) ที่อาจได้จากซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO^{4}$) หรือ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

- ทองแดง (Cu) ในพืชมีปริมาณค่อนข้างน้อยระหว่าง 2 – 10 ppm มีความสำคัญกับพืชเนื่องจากเป็นองค์ประกอบของโปรตีน ปีนองค์ประกอบของคลอโรพลาสต์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงของพืชนอกจากนี้ยังมีบทบาทในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ และช่วยในการสร้างวิตามินเอในพืช ช่วยในกระบวนการหายใจ และส่งเสริมให้พืชนำเหล็กมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น รูปที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชคือ คอปเปอร์อิออน (Cu^{+2}) ที่อาจได้จากคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) หรือ คอปเปอร์คลอไรด์ ($CuCl_2$)

- โบรอน (B)พบอยู่ในพืชระหว่าง 10–50 ppm หน้าที่ของโบรอนยังไม่ทราบแน่ชัด เชื่อกันว่ามีหน้าที่สำคัญในการเคลื่อนย้ายน้ำตาล และช่วยให้พืชใช้ไนโตรเจนและโปตัสเซียมได้มากขึ้น รูปที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชก็คือ โบเรทอิออน (BO_3^{-3}) ซึ่งสามารถได้จากน้ำในธรรมชาติหรือให้โดยการเติมกรดบอริค (H_3BO_3)

- โมลิบดินัม (Mo)ในพืชปริมาณต่ำมากประมาณ 0.5 – 1 ppm มีความสำคัญก่อให้เกิดเมแทโบลิซึมของไนโตรเจนและเอนไซม์บางชนิดไนโตรจีเนส (nitrogenase)และไนเตรทรีดักเตส (nitrate reductase)พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในรูปโมลิบเดรตอิออน(MoO_4^{-2}) ซึ่งอาจได้จากสารแอมโมเนียมโมลิบเดต หรือโซเดียมโมลิบเดต

- คลอรีน (Cl_2) เป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อขบวนการสังเคราะห์แสง และช่วยทำให้พืชแก่เร็วขึ้น และในน้ำจะมีคลอรีนในรูปของคลอไรด์อิออน (Cl^-) ซึ่งเป็นรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้เจือปนอยู่แล้ว ดังนั้นในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชจึงควรคำนึงถึงปริมาณของ

คลอไรด์ที่มากเกินพอด้วย เนื่องจากจะไปยับยั้งการนำธาตุที่อยู่ในรูปประจุลบตัวอื่นๆ มาใช้ประโยชน์ ได้ถ้าความเข้มข้นของครอรีนสูงกว่าร้อยละ 1

นอกจากนี้พืชบางชนิดอาจต้องการธาตุอาหารอื่นนอกเหนือไปจากนี้ เช่น ข้าวต้องการธาตุซิลิกอน พืชตระกูลถั่วต้องการโคบอล์ท ผักกาดหวานต้องการโซเดียม เป็นต้น ธาตุอาหารที่พืชบางชนิดต้องการเป็นพิเศษนี้เรียกว่า ธาตุเป็นประโยชน์ (beneficial element)

สารละลายธาตุอาหารพืช

สูตรสารละลายธาตุอาหารสำหรับการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชที่สมบูรณ์จะต้องมีธาตุอาหารพืชทุกชนิดใน ปริมาณที่สมดุลย์และเพียงพอต่อความต้องการ ปัจจุบันสูตรธาตุอาหารพืชที่ใช้กันมีมากมายหลายสูตรมีการประยุกต์ปรับเปลี่ยนเพื่อเหตุผลหลายประการเช่นชนิดพืชที่ปลูก ฤดูปลูก แสง อุณหภูมิในช่วงปลูก สถานที่ปลูกตลอดจนวัตถุประสงค์ของการปลูก (Meier, 1994) โดยทั่วไปแล้วธาตุอาหารที่ใช้ในปริมาณมากมักจะอยู่ในรูปของปุ๋ยทั่วไปเพราะมีราคาถูกกว่าสารเคมีทั่วไป แต่บางชนิดก็ต้องใช้เป็นสารเคมีโดยเฉพาะพวกจุลธาตุ มีหลายปัจจัยที่สำคัญที่ต้องพิจารณาในการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชซึ่งได้กำหนดไว้ดังนี้

1.คุณภาพน้ำที่ใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (water quality) น้ำเป็นสิ่งจำเป็นที่สุดในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน โดยต้องคำนึงถึงคุณภาพของน้ำที่เหมาะสม ถ้าคุณภาพน้ำไม่ดีเราไม่สามารถที่จะทำการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินได้เลย โดย ทั่วไปคุณสมบัติของน้ำที่ สามารถนำมาใช้ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 1

โดยทั่วไปแล้วน้ำฝนจะเป็นน้ำที่ดีมากซึ่งในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินควรที่จะระมัดระวังการปนเปื้อนของธาตุต่างๆเช่นเกลือของ NaCl fluoride และซัลเฟตซึ่งเป็นพิษต่อพืชและจะมีการสะสมเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการปลูก ส่วนไบคาร์บอเนต(Bicarbonate) จะทำให้ค่า pH ของน้ำและสารละลายธาตุอาหารสูงขึ้น ทำให้การละลายตัวของธาตุอาหารบางตัวไม่ดีเช่นในกลุ่มของแคลเซียม และถ้า pH ของสารละลายสูงกว่า 6.5 พวกเหล็กคีเลต (iron chelate) เช่น Fe-EDTA จะเริ่มเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถดูดใช้ได้ การกำจัดอนุมูล Bicarbonate ในน้ำทำได้โดยใช้กรด ซึ่งกรดที่ใช้ส่วนใหญ่ใช้กรด HNO_3 ดังตารางที่ 2 ส่วนเหล็กที่อยู่ในน้ำถ้ามีปริมาณมากจะเกิดการตกตะกอนเป็น Ferric hydroxide $Fe(OH)_3$ ซึ่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ จะเกิดการตกตะกอนของเหล็กเป็นคราบสีน้ำตาลแดง ตามชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องมือ และ ที่รากพืช

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชไร้ดิน

ค่าสูงสุดของธาตุที่สามารถมีอยู่ในน้ำได้

สารที่เจือปนในน้ำ		นน.โมเลกุล	Millimol/liter	Milligram/liter(ppm)
Sodium	Na^{+}	23.0	0.5	11.5
Chlorine	Cl^{-}	35.5	1.0	35.5
Calcium	Ca^{++}	40.1	2.0	80.2
Magnesium	Mg^{++}	24.3	0.5	12.2
Sulfate	$SO_4^{=}$	96.1	0.5	48.1
Bicarbonate	HCO_3^{-}	61.0	4.0	244.0
Iron	Fe	55.9	0.5	28.0
Manganese	Mn^{++}	54.9	10.0	549.0
Copper	Cu^{++}	63.5	1.0	63.5
Zinc	Zn^{++}	65.4	5.0	327.0
Boron	B	10.8	25.0	270.0
Fluorine	F	19.0	25.0	475.0
Electric conductivity		EC	0.5 mS/cm 25 ^{o}C	

ที่มา : อิทธิสุนทร, ไม่ประกฏปีที่พิมพ์

ตารางที่ 2 ปริมาณของกรด HNO_3 ที่ต้องเติมลงในสารละลาย 1000 ลิตร ของสารละลายเข้มข้น 100 เท่า เพื่อทำลายฤทธิ์ ของ Bicarbonate

ปริมาณของอนุมูล Bicarbonate ในน้ำ		จำนวนที่ต้องการเอาออก	จำนวนกรด HNO_3 ข้น 60% ที่ต้องใช้
mg/l (ppm)	millimol	mg/l	ลิตร
50	0.8	-	-
125	2.1	75	10.54
250	4.1	200	28.11
375	6.2	325	45.67

ที่มา : อิทธิสุนทร, ไม่ประกฏปีที่พิมพ์

2.ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (water quantity) ในสภาพภูมิอากาศโดยทั่วๆไปการคายน้ำสูงสุดของพืชโดยทั่วๆไป(maximum evapotranspiration) จะประมาณ 6 ลิตร/ตารางเมตร/วัน ดังนั้นในพื้นที่ 6.25 ไร่ พืชจะต้องการน้ำ 60 ลูกบาศก์เมตร/วัน

3. การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชโดยทั่วไปในบ้านเราจะเตรียมตามสูตรต่างๆ ซึ่งจะต้องเตรียมจากน้ำที่ค่อนข้างบริสุทธิ์มีสารต่างๆ ละลายเจือปนอยู่น้อย เช่น น้ำฝน น้ำกรอง แต่ถ้าในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเพื่อเป็นการค้าจำเป็นจะต้องใช้น้ำจากแหล่งน้ำในท้องถิ่น เช่นจากน้ำประปา น้ำบาดาล หรือจากแม่น้ำลำธาร (ที่ผ่านการกรองเอาสารแขวนลอยต่างๆ ออกไปแล้ว) ซึ่งน้ำเหล่านี้จะมีพวกแร่ธาตุต่างๆ ละลายอยู่ไม่มากก็น้อย วิธีการเตรียมสารละลาย จะเตรียมสารละลายแยกเป็น 2 ถัง เนื่องจากปุ๋ยบางชนิดไม่สามารถผสมกันโดยตรงที่ระดับความเข้มข้นสูงๆ ซึ่งวิธีการเตรียมจะมีขั้นตอนดังนี้

3.1 ถังที่ 1 ใส่กรด HNO_3 เพื่อปรับ pH โดยอาจใส่ N, K, Mg ในรูปของ ซัลเฟต ไนเตรท ฟอสเฟต แอมโมเนียม ที่ละลายในน้ำก่อนผสม แต่ในถังนี้ห้ามใส่แคลเซียมเด็ดขาดเพราะจะทำปฏิกริยา กับฟอสเฟตและใส่จุลธาตุอาหารทั้งหมดในถังนี้ ยกเว้นเหล็ก เติมน้ำให้ได้ปริมาตรที่ต้องการ pH ของสารละลายในถังนี้จะต้องต่ำกว่า 2

3.2 ถังที่ 2 ใส่กรด HNO_3 เพื่อปรับ pH ใส่ปุ๋ยที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบทั้งหมดในถังนี้ ใส่เหล็กทั้งหมดในรูปคีเลต (chelate) เติมน้ำลงในถังให้ครบ กวนสารละลายให้เข้ากันดี pH ของสารละลายในถังที่ 2 จะอยู่ในช่วง 4 ถึง 6 และในถังนี้ห้ามใส่ ปุ๋ยที่มี อนุมูลซัลเฟต และ ฟอสเฟต

4. ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในการเตรียมสารละลายธาตุอาหาร ที่สำคัญเช่น

4.1 ในกรณีที่น้ำที่ใช้เตรียมสารละลายมีการเปลี่ยนปริมาณ carbonate หรือ bicarbonate อยู่ตลอดเวลาไม่แน่นอน ทำให้ปริมาณกรดที่ใช้ในการปรับค่า pH ไม่แน่นอน จำเป็นต้องเพิ่มถังกรดเป็นถังที่ 3 และมีเครื่อง pH meter คอยควบคุมเพื่อรักษาให้ระดับ pH อยู่ในช่วงที่ต้องการ

4.2 ในกรณีที่น้ำที่ใช้มีความเป็นกรด (pH น้อยกว่า 5.5) ต้องใช้ Potassium bicarbonate เพื่อใช้ปรับค่า pH)

4.3 ในกรณีที่น้ำที่ใช้มีปริมาณ Ca มากเกินไป (มากกว่า200 mg/l) จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณของ Mg และ K เพื่อรักษาอัตราส่วนของ Ca:K:Mg ตามที่กำหนดไว้ และลดปริมาณ $CaNO_3$ ลง

4.4 ในกรณีที่น้ำมี Mg มากกว่า 4 me/l ต้องเพิ่มปริมาณ Ca และ K เพื่อรักษาอัตราส่วนของ K : Ca : Mg ให้คงที่

4.5 ในกรณีน้ำที่ใช้มีปริมาณ Fe มากเกินไป (>1 ppm) เมื่อเหล็กอยู่ในรูป ferrous จะอยู่ในรูปสารละลายแต่เมื่อสัมผัสกับอากาศจะทำปฏิกริยากับออกซิเจนตกตะกอน ทำให้เกิดการอุดตันที่หัวหยดหรือที่ถังกรอง เพื่อแก้ปัญหานี้จะต้อง oxidize เหล็กให้อยู่ในรูป ferric ก่อนและกรองตะกอนที่เกิดขึ้นโดยใช้ถังกรองทราย สารที่ใช้ oxidize เหล็กอาจใช้พวก Potassium permanganate โดยใช้อัตราสาร 0.6 ppm ต่อความเข้มข้นเหล็ก 1 ppm แต่เป็นวิธีการที่แพงมากอาจไม่คุ้มกับการลงทุน อาจใช้วิธีฉีดน้ำให้เป็นฝอยในอากาศเพื่อให้เกิดการ oxidize โดยตรงกับอากาศ

4.6 ในกรณีที่น้ำที่ใช้มีปริมาณ $NaHCO_3$ มากมีผลให้ pH ของน้ำสูงและต้องใช้กรด HNO_3 เป็นปริมาณมากในการปรับ pH ของสารละลายมีผลให้ปริมาณ$CaNO_3$ ที่ใช้น้อยจนปริมาณ Ca ไม่พอ ในกรณีนี้ให้ใช้กรดH_3PO_4 แทนกรด HNO_3บางส่วน

4.7 ถ้าน้ำที่ใช้มีปริมาณของ $SO4^{=}$ มาก ให้ใช้ $Mg(NO_3)_2$ แทน $MgSO_4$ (อิทธิสุนทร , ไม่ระบุปีที่พิมพ์)

สูตรของสารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้ในการปลูกพืชไร้ดินนั้นมีด้วยกันมากมายหลายสูตร มีการดัดแปลงพัฒนาไปจากสูตรเดิมเพื่อความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่แต่ละช่วงฤดูกาลเช่น

สูตรสารละลาย(ปุ๋ย) KMITL3 ที่สามารถเตรียมสารละลายเข้มข้น 200 เท่าได้จำนวน 40 ลิตร มีองค์ประกอบดังตารางที่ 3 สาระลายสูตรของ Knop 1865 และ Hoagland ในตารางที่ 4 และสูตร MSในตารางที่ 5

ตารางที่ 3 ปุ๋ยและสารเคมีของสูตรKMITL3

ชื่อปุ๋ย	สูตรปุ๋ย	กก.
ถัง A		
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$ (แคลเซี่ยมไนเตรท)	สูตรปุ๋ย(12-0-0)	8.5
Fe-EDTA(12 % Fe) (เหล็กคีเลต)		0.3
ถัง B		
KNO_3 (โปแตสเซี่ยมไนเตรท)	สูตรปุ๋ย(13-0-46)	6.0
KH_2PO_4 (โมโนโปแตสเซี่ยมฟอสเฟต)	สูตรปุ๋ย(0-52-34)	1.0
$NH_4H_2PO_4$ (โมโน แอมโมเนียมฟอสเฟต)	สูตรปุ๋ย(12-60-0)	1.0
$MgSO_4$ (แมกนีเซี่ยมซัลเฟต)		3.8
Nicspray (นิคสเปรย์)	(ธาตุอาหารรอง)	0.2

ที่มา : อิทธิสุนทร, ไม่ประกฎปีที่พิมพ์

ตารางที่4 ปุ๋ยและสารเคมีของสูตร Knop 1865 และ Hoagland

ชนิดสารเคมี	ปริมาณความเข้มข้นที่ใช้ (กรัม/ลิตร)	
	Knop 1865	Hoagland
KNO_3	0.2	0.51
KH_2PO_4	0.2	0.14
$Ca(NO_3)$ $2.4H_2O$	0.8	1.18
$MgSO_4$.7H2O	0.2	0.49
$FePO_4$	Trace	
Ferric tartrete		0.005

ที่มา : ดิเรก, 2546)

ตารางที่ 5 ปุ๋ยและสารเคมีของสูตร MS

สารเคมี	ปริมาณที่ใช้(g/1 L)
NH_4NO_3	82.5
KNO_3	95
$MgSO_47H_2O$	37
$CaC_{l2}H_2O$	44
KH_2PO_4	17
$MnSO_4H_2O$	1.69
$ZnSO_47H_2O$	0.86
$CuSO_45H_2O$	0.0025
KI	0.083
$CoCl_26H_2O$	0.0025
H_3BO_3	0.62
$Na_2MoO_42H_2O$	0.025
$FeSO_4$	2.78
NaEDTA	7.75

อุปกรณและวิธีการ

1. อุปกรณ์

1.1 กระบะปลูกพืชไร้ดินระบบ DFT

1.2 แอร์ปั๊ม

1.3 ต้นพันธุ์อนูเบียสจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

1.4 กระถางพลาสติกสำหรับปลูก

1.5 วัสดุปลูกชนิดใยหิน

1.6 สารละลายธาตุอาหารสูตร MS

1.7 ตาข่ายพรางแสงร้อยละ 70

1.8 แผ่นพลาสติกกันฝนและละอองน้ำ

1.9 เครื่องชั่งไฟฟ้า

1.10 เวอร์เนีย

2. วิธีการทดลอง

1. การทดลองครั้งนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (RCBD) 3 ซ้ำ มีด้วยกันจำนวน 2 โครงการย่อย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 การทดสอบความต้องการธาตุอาหารหลัก(NPK)ของอนูเบียส ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ซ้ำละ 50 ต้น สิ่งทดลองในกลุ่มนี้ได้แก่

- สารละลายธาตุอาหาร MS (กลุ่มควบคุม)
- สารละลายธาตุอาหาร MS ที่มีระดับธาตุอาหารปริมาณมากร้อยละ 75
- สารละลายธาตุอาหาร MS ที่มีระดับธาตุอาหารปริมาณมากร้อยละ 50
- สารละลายธาตุอาหาร MS ที่มีระดับธาตุอาหารปริมาณมากร้อยละ 25

1.2 การทดสอบความต้องการธาตุอาหารรองและจุลธาตุของอนูเบียส ประกอบด้วย 3 สิ่งทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ซ้ำละ 50 ต้น สิ่งทดลองในกลุ่มนี้ได้แก่

- สารละลายธาตุอาหาร MS 50 (กลุ่มควบคุม)
- สารละลายธาตุอาหาร MS ที่มีระดับธาตุอาหารปริมาณน้อยร้อยละ 75
- สารละลายธาตุอาหาร MS ที่มีระดับธาตุอาหารปริมาณน้อยร้อยละ 50
- สารละลายธาตุอาหาร MS ที่มีระดับธาตุอาหารปริมาณน้อยร้อยละ 25

ทั้งหมดจะมีการปรับปริมาตรให้ได้ 10 ลิตร และผสมกับน้ำ 90 ลิตรเพื่อใช้ในการศึกษา

2. วิธีการศึกษา

2.1 ทำการพักต้นอ่อนของต้นอนูเบียสที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในน้ำปกติเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 1 สัปดาห์

2.2 ทำการเตรียมสารละลายตามที่ได้กำหนดทำการเจือจาง 1:90 ปรับควบคุมค่า pH ให้อยู่ในช่วง 6.5-7.5

2.3 นำต้นอ่อนที่เตรียมไว้ปลูกลงในกระถางพร้อมกับวัสดุปลูก นำไปเลี้ยงในรางปลูกระบบ DFT จำนวนชุดละ 50 ต้น/ซ้ำ ในโรงเรือนที่มีการพรางแสงด้วยตาข่ายพรางแสงร้อยละ 50 พร้อมกับระบบพ่นหมอกในโรงเรือนเพื่อควบคุมความชื้นในบรรยากาศ

2.4 ทำการทดลองระยะเวลา 5 เดือน

3. การเก็บข้อมูล

- อัตราการเจริญเติบโต เก็บน้ำหนักสด เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง
- จำนวนใบ นับจำนวนใบที่เกิดขึ้นหลังจากเริ่มทดลองและคลี่แล้วทุก 1 เดือน
- ความสูง ทำการรวบใบเข้าหากันและวัด ณ จุดที่สูงที่สุด ทุก 1 เดือน
- อัตราการพัฒนาของไหล ทำการวัดความยาวไหล ทุก 1 เดือน

4 การวัดผลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ได้แก่

- ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ร้อยละ
- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (anova)
- การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี duncan

5 สถานที่ทำการทดลอง

โรงเพาะเลี้ยงพรรณไม้น้ำ ภาควิชาวิทยาการผลิตและการจัดการเกษตร
คณะเกษตรและชีวภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

ผลการทดลอง

1. การศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารหลักที่มีต่อการเจริญเติบโตของอนูเบียส

1.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของธาตุอาหารหลักที่มีจำนวนใบ

จำนวนใบเฉลี่ยของอนูเบียสที่ใช้เริ่มต้นในการทดลอง เฉลี่ยอยู่ที่ 3-4 ใบ โดยการวิเคราะห์จำนวนใบจะเริ่มเมื่ออายุ 2 เดือนมีข้อมูลดังต่อไปนี้

จำนวนใบ เมื่ออายุ 2 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมค่อนข้างน้อยสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.1 6.1 7.6 และ 6.4 ใบ ส่วนจำนวนใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 5.7 7.2 และ 6 ใบตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสิ่งทดลองแล้วพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความแปรปรวนของ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

5.1^{a} 6.1^{a} 6.4^{ab} 7.6^{b}

T1 T2 T4 T3

จำนวนใบ เมื่ออายุ 3 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.4 7 7.7 และ 7 ใบ ส่วนจำนวนใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 6.4 7.6 และ 6.4ใบตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

5.4^{a} 7^{b} 7^{b} 7.7^{b}

T1 T2 T4 T3

6.4^{a} 6.4^{a} 7.6^{b}

b1 b3 b2

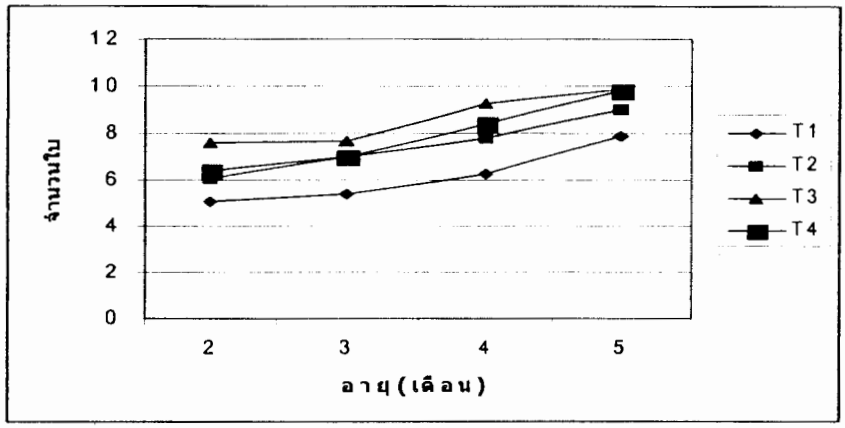
จำนวนใบ เมื่ออายุ 4 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.3 7.8 9.3 และ 8.4 ใบ ส่วนจำนวนใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 7.5 8.5 และ 8.0ใบตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความแปรปรวนของ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

6.3^{a} 7.8^{b} 8.4^{bc} 9.3^{d}

T1 T2 T4 T3

จำนวนใบ เมื่ออายุ 5 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.9 9.0 9.9 และ 9.8 ใบ ส่วนจำนวนใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 8.4 9.9 และ 9.2 ใบตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าพบว่าสิ่งทดลองและ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ภาพที่ 1แผนภูมิแสดงจำนวนใบของอนูเบียสแต่ละกลุ่มที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารหลัก แตกต่างกัน



1.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของธาตุอาหารหลักที่มีต่อน้ำหนักสด

น้ำหนักสดเริ่มต้น น้ำหนักสดของอนูเบียสที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ของกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.60 0.58 0.74 และ 0.6 กรัม ส่วนน้ำหนักสดเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 0.57 0.63 และ 0.69 กรัมตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

น้ำหนักสดเมื่ออายุ 1 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมค่อนข้างน้อยสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.67 0.77 0.67 และ 0.9 กรัม ส่วนน้ำหนักสดเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 0.83 0.85 และ 0.59 กรัมตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

น้ำหนักสด เมื่ออายุ 2 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.0 1.19 1.79 และ 1.15 กรัม ส่วนน้ำหนักสดเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ1.20 1.40 และ 1.25 กรัมตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความแปรปรวนของแต่ละ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.0^{a} 1.15^{a} 1.19^{a} 1.79^{b}

T1 T4 T2 T3

น้ำหนักสด เมื่ออายุ 3 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.10 1.42 2.75 และ 1.66 กรัม ส่วนน้ำหนักสดเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 1.51 1.91 และ 1.76 กรัมตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความแปรปรวนของแต่ละ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.10^{a} 1.42^{a} 1.66^{a} 2.75^{b}

T1 T2 T4 T3

น้ำหนักสด เมื่ออายุ 4 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.70 1.86 2.94 และ 2.44 กรัม ส่วนน้ำหนักสดเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 1.76 2.56 และ 2.38 กรัมตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลอง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วน block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.7^{a} 1.86^{a} 2.44^{ab} 2.94^{b}

T1 T2 T4 T3

น้ำหนักสด เมื่ออายุ 5 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.10 2.83 4.25 และ 3.63 กรัม ส่วนน้ำหนักสดเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 2.65 3.75 และ 3.21 กรัมตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

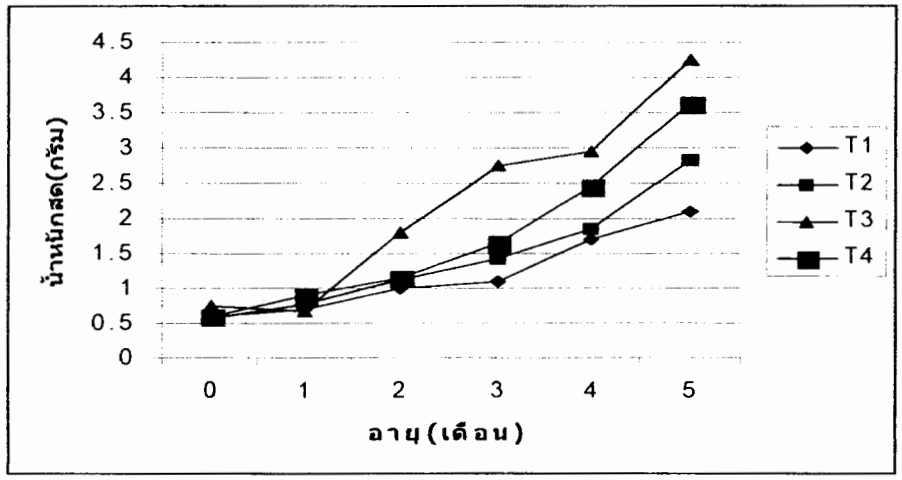
2.10^{a} 2.83^{b} 3.63^{c} 4.25^{d}

T1 T2 T4 T3

2.65^{a} 3.21^{b} 3.75^{c}

b1 b3 b2

ภาพที่ 2 แผนภูมิแสดงน้ำหนักสดของอนูเบียสแต่ละกลุ่มที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารหลักแตกต่างกัน



1.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของธาตุอาหารหลักที่มีต่อความสูง

ความสูงเริ่มต้น ความสูงของอนูเบียสที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ของกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.5 21.5 20.2 และ 22.2 มิลลิเมตร ส่วนความสูงเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 21.6 21.0 และ 21.3 มิลลิเมตรตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความสูง เมื่ออายุ 1 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมค่อนข้างน้อยสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.9 22.7 22.4 และ 23.63 มิลลิเมตร ส่วนความสูงเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 22.7 22.7 และ 21.8 มิลลิเมตร ตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความสูง เมื่ออายุ 2 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.8 24.8 29.5 และ 28.9 มิลลิเมตร ส่วนความสูงเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 25.8 27.4 และ 26.9 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความแปรปรวนของแต่ละ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

23.8^{a} 24.8^{ab} 28.9^{bc} 29.5^{c}

T1 T2 T4 T3

อจ
631.585
ก9418
ก.1

ความสูง เมื่ออายุ 3 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.1 31.7 36.7 และ 36.2 มิลลิเมตร ส่วนความสูงเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 31.4 35.5 และ 32.7 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความแปรปรวนของแต่ละ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

28.1^{a} 31.7^{ab} 36.2^{b} 36.7^{b}

T1 T2 T4 T3

ความสูง เมื่ออายุ 4 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.2 37.5 45.7 และ 42.8 มิลลิเมตร ส่วนความสูงเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 37.8 41.1 และ 42.6 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความแปรปรวนของแต่ละ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

36.2^{a} 37.5^{ab} 42.8^{bc} 45.7^{bc}

T1 T2 T4 T3

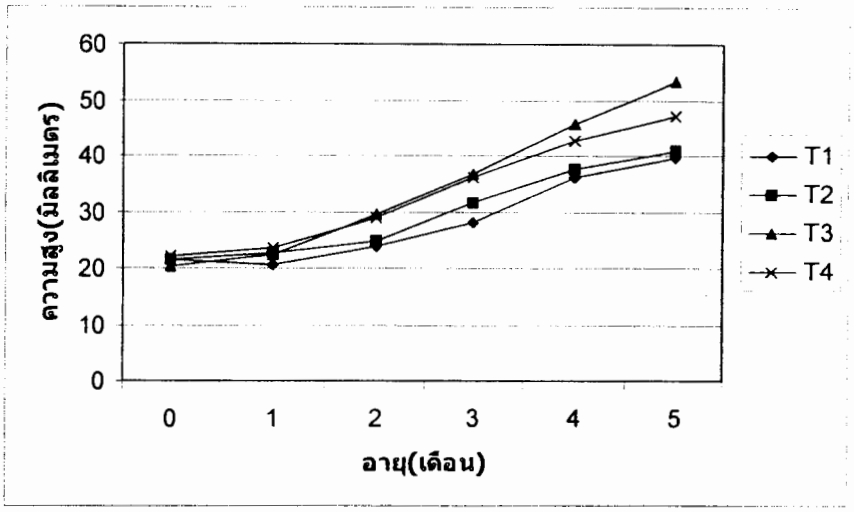
ความสูง เมื่ออายุ 5 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.8 40.9 53.3 และ 47.1 มิลลิเมตร ส่วนความสูงเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 41.8 47.7 และ 46.4 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความแปรปรวนของแต่ละ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

39.8^{a} 40.9^{a} 47.1^{ab} 53.3^{b}

T1 T2 T4 T3

176140

ภาพที่ 3 แผนภูมิแสดงความสูงของอนูเบียสแต่ละกลุ่มที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารหลักแตกต่างกัน



1.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของธาตุอาหารหลักที่มีต่อความกว้างใบ

ความกว้างใบเริ่มต้น ความสูงของอนูเบียสที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ของกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.7 12.6 13.3 และ 13.1 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 13.1 13.2 และ 12.6 มิลลิเมตรตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความกว้างใบ เมื่ออายุ 1 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมค่อนข้างน้อยสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.8 13.1 14.9 และ 13.0 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 14.2 13.9 และ 12.3 มิลลิเมตรตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความกว้างใบ เมื่ออายุ 2 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.5 15.9 18.3 และ 16.5 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 16.4 17.8 และ 15.5 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

15.5^{a} 15.9^{a} 16.5^{a} 18.3^{b}

T1 T2 T4 T3

15.5[a] 16.4[a] 17.8[b]

b3 b1 b2

ความกว้างใบ เมื่ออายุ 3 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.6 18.6 21.6 และ 20.6 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 19.1 20.9 และ 18.8 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความแปรปรวนของแต่ละ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

17.6[a] 18.6[ab] 20.6[bc] 21.6[c]

T1 T2 T4 T3

ความกว้างใบ เมื่ออายุ 4 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.4 21.0 24.2 และ 23.3 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 21.5 23.5 และ 21.7 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

20.4[a] 21.0[a] 23.3[b] 24.2[b]

T1 T2 T4 T3

21.5[a] 21.7[a] 23.5[b]

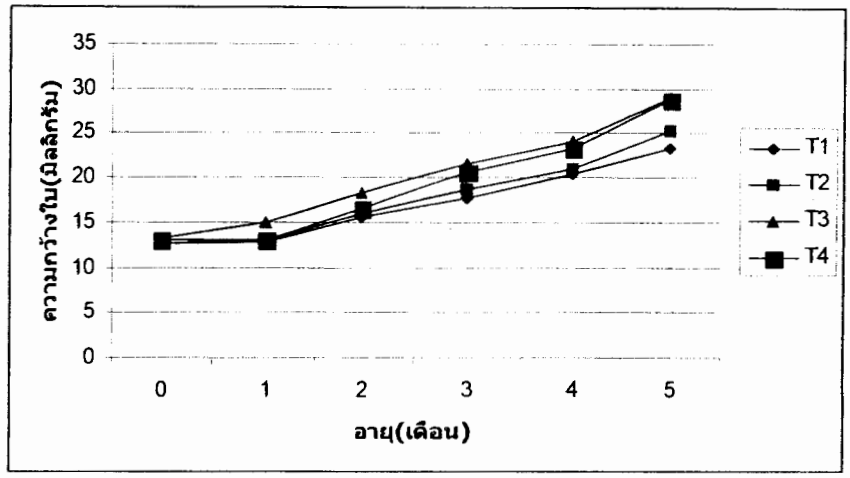
b1 b3 b2

ความกว้างใบ เมื่ออายุ 5 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.4 25.3 28.9 และ 28.7 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 24.9 27.6 และ 27.2 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความแปรปรวนของแต่ละ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

23.4[a] 25.3[ab] 28.7[b] 28.9[b]

T1 T2 T4 T3

ภาพที่ 4 แผนภูมิแสดงความกว้างใบของอนูเบียสแต่ละกลุ่มที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารหลักแตกต่างกัน



1.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของธาตุอาหารหลักที่มีต่อความยาวใบ

ความยาวใบเริ่มต้น ความสูงของอนูเบียสที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ของกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.6 16.9 17.5 และ 17.13 มิลลิเมตร ส่วนความยาวใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 17.2 17.4 และ 16.9 มิลลิเมตรตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความยาวใบ เมื่ออายุ 1 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมค่อนข้างน้อยสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.0 17.4 20.5 และ 17.8 มิลลิเมตร ส่วนความยาวใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 19.2 19.0 และ 17.0 มิลลิเมตรตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความยาวใบ เมื่ออายุ 2 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.2 21.3 24.7 และ 22.4 มิลลิเมตร ส่วนความยาวใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 22.5 23.9 และ 20.9 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

21.2^{a} 21.3^{a} 22.4^{a} 24.7^{b}

T1 T2 T4 T3

20.9^{a} 22.5^{a} 23.9^{b}

b3 b1 b2

ความยาวใบ เมื่ออายุ 3 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.7 25.2 29.4 และ 27.1 มิลลิเมตร ส่วนความยาวใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 25.7 28.4 และ 25.0 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

23.7^{a} 25.2^{ab} 27.07^{bc} 29.4^{c}

T1 T2 T4 T3

25.0^{a} 25.7^{a} 28.4^{b}

b3 b1 b2

ความยาวใบ เมื่ออายุ 4 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.6 28.5 34.8 และ 33.2 มิลลิเมตร ส่วนความยาวใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 29.8 33.1 และ 30.3 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

27.6^{a} 28.5^{a} 33.2^{b} 34.8^{b}

T1 T2 T4 T3

29.8^{a} 30.3^{a} 33.1^{b}

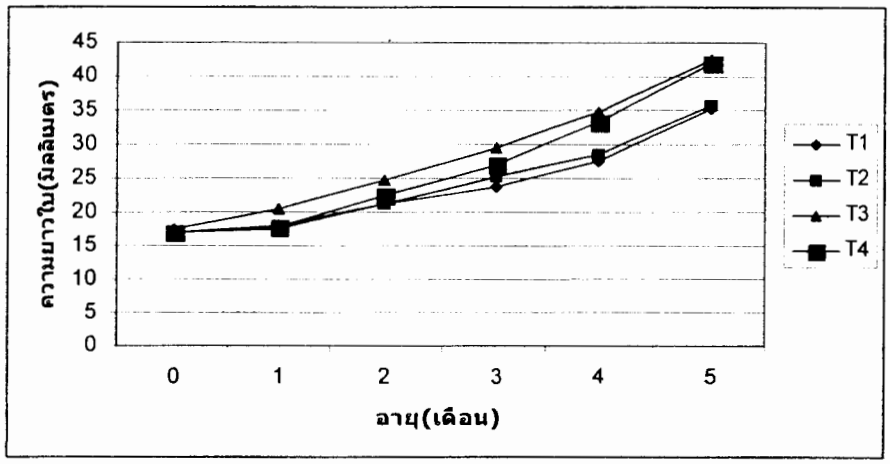
b3 b1 b2

ความยาวใบ เมื่ออายุ 5 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.3 35.8 42.6 และ 41.9 มิลลิเมตร ส่วนความยาวใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 36.6 40.6 และ 39.6 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความแปรปรวนของแต่ละ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

35.3^{a} 35.8^{a} 41.9^{b} 42.6^{b}

T1 T2 T4 T3

ภาพที่ 5 แผนภูมิแสดงความยาวใบของอนูเบียสแต่ละกลุ่มที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารหลักแตกต่างกัน



1.6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของธาตุอาหารหลักที่มีต่อความยาวราก

ความยาวรากเมื่ออายุ 1 เดือน หลักจากที่ความยาวรากริ่มต้นได้ถูกตัดให้เท่ากันที่ความยาว 1 นิ้ว การพัฒนาความยาวของรากในกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.1 29.8 33.7 และ 33.7 มิลลิเมตร ส่วนความยาวรากเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 29.0 33.3 และ 33.3 มิลลิเมตรตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความยาวราก เมื่ออายุ 2 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมค่อนข้างน้อยสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 51.5 52.3 52.1 และ 53.4 มิลลิเมตร ส่วนความยาวรากเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 51.7 52.0 และ 53.3 มิลลิเมตรตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความยาวราก เมื่ออายุ 3 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54.2 53.7 55.5 และ 58.5 มิลลิเมตร ส่วนความยาวรากเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 55.1 55.8 และ 55.6 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

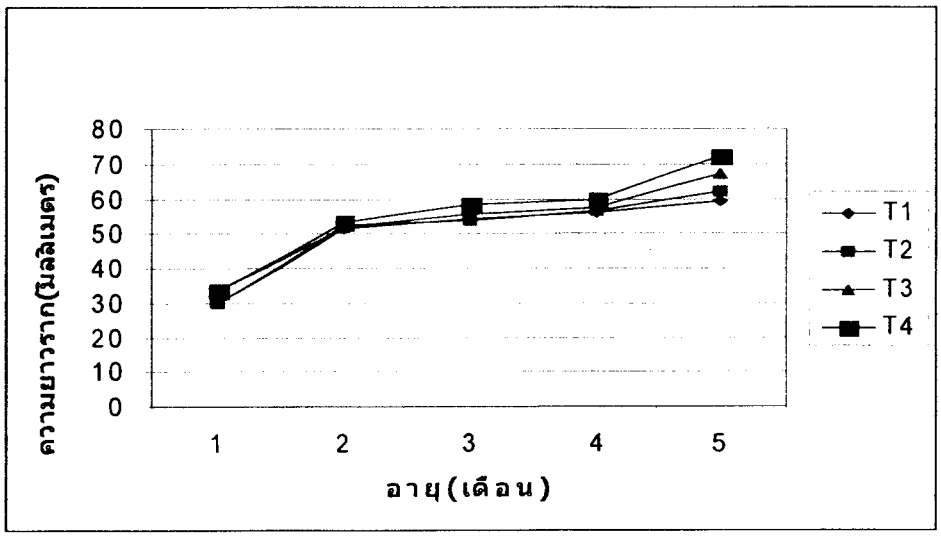
ความยาวราก เมื่ออายุ 4 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.1 56.6 57.7 และ 59.7 มิลลิเมตร ส่วนความยาวรากเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 55.8 57.9 และ 58.8 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ความยาวราก เมื่ออายุ 5 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 59.2 62.2 67.2 และ 72.2 มิลลิเมตร ส่วนความยาวรากเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 62.6 66.3 และ 66.6 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลอง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความแปรปรวนของ block ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

59.2^{a} 62.2^{ab} 67.2^{bc} 72.1^{b}

T1 T2 T4 T3

ภาพที่ 6 แผนภูมิแสดงความยาวรากของอนูเบียสแต่ละกลุ่มที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารหลักแตกต่างกัน



2. การศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารรองและจุลธาตุที่มีต่อการเจริญเติบโตของอนูเบียส

2.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของธาตุอาหารรองที่มีต่อจำนวนใบ

จำนวนใบเฉลี่ยของอนูเบียสที่ใช้เริ่มต้นในการทดลอง เฉลี่ยอยู่ที่ 3-4 ใบ โดยการวิเคราะห์จำนวนใบจะเริ่มเมื่ออายุ 2 เดือนมีข้อมูลดังต่อไปนี้

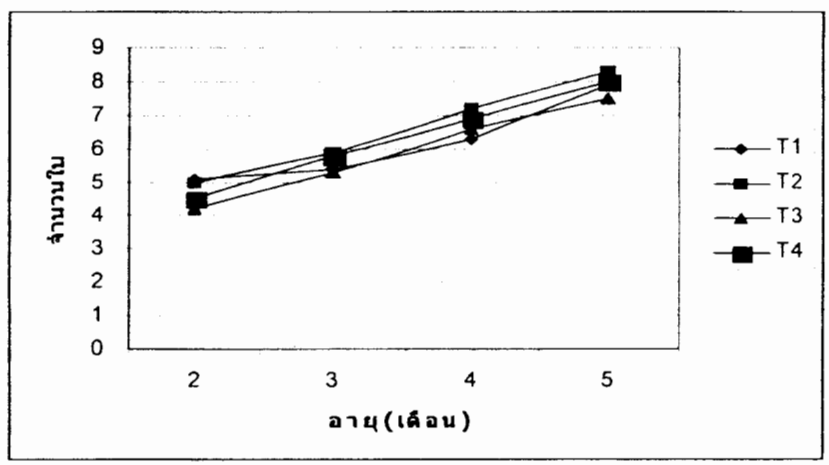
จำนวนใบ เมื่ออายุ 2 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมค่อนข้างน้อยสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.1 5 4.2 และ 4.5 ใบ ส่วนจำนวนใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 4.5 5 และ 4.7 ใบตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของสิ่งทดลองและ block พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

จำนวนใบ เมื่ออายุ 3 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.4 6 5.3 และ 5.8 ใบ ส่วนจำนวนใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 5.5 5.8 และ 5.6ใบตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

จำนวนใบ เมื่ออายุ 4 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.3 7.1 6.6 และ 6.9 ใบ ส่วนจำนวนใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 6.6 6.9 และ 6.7ใบตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

จำนวนใบ เมื่ออายุ 5 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.9 8.3 7.5 และ 8.0 ใบ ส่วนจำนวนใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 7.7 8.0 และ 8.0 ใบตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ภาพที่ 7 แผนภูมิแสดงจำนวนใบของอนูเบียสแต่ละกลุ่มที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารรองและจุลธาตุแตกต่างกัน



2.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของธาตุอาหารรองและจุลธาตุที่มีต่อน้ำหนักสด

น้ำหนักสดเริ่มต้น น้ำหนักสดของอนูเบียสที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ของกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.59 0.51 0.60 และ 0.57 กรัม ส่วนน้ำหนักสดเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 0.63 0.59 และ 0.49 กรัมตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

น้ำหนักสดเมื่ออายุ 1 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมค่อนข้างน้อยสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ0.60 0.78 0.67 และ 0.59 กรัม ส่วนน้ำหนักสดเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 0.50 0.88 และ 0.67 กรัม ตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลอง แต่ block มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

0.50^{a} 0.67^{ab} 0.88^{b}

b1 b3 b2

น้ำหนักสดเมื่ออายุ 2 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมค่อนข้างน้อยสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.0 1.14 0.77 และ 0.73 กรัม ส่วนน้ำหนักสดเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 0.67 1.19 และ 0.87 กรัม ตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลอง แต่ block มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

0.67^{a} 0.87^{a} 1.19^{b}

b1 b3 b2

น้ำหนักสด เมื่ออายุ 3 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.10 1.59 1.22 และ 1.10 กรัม ส่วนน้ำหนักสดเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 0.84 1.81 และ 1.09 กรัมตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ block มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

0.84^{a} 1.09^{a} 1.81^{b}

b1 b3 b2

น้ำหนักสด เมื่ออายุ 4 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.70 2.12 1.74 และ 1.50 กรัม ส่วนน้ำหนักสดเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 1.22 2.49 และ 1.59 กรัมตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลอง แต่ block มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

1.22^{a} 1.58^{a} 2.49^{b}

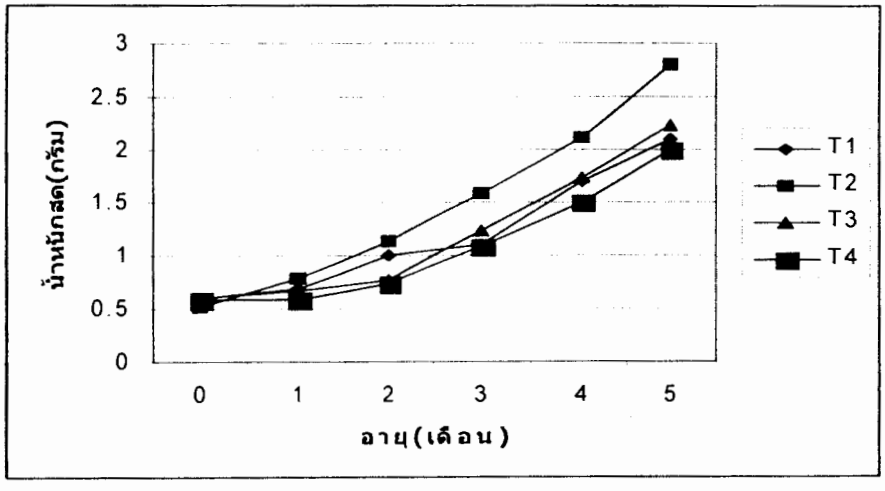
b1 b3 b2

น้ำหนักสด เมื่ออายุ 5 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.10 2.79 2.23 และ 2.0 กรัม ส่วนน้ำหนักสดเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 1.71 3.03 และ 2.10 กรัมตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลอง แต่ block มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

1.72^{a} 2.10^{a} 3.03^{b}

b1 b3 b2

ภาพที่ 8 แผนภูมิแสดงน้ำหนักสดของอนูเบียสแต่ละกลุ่มที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารรองและจุลธาตุแตกต่างกัน



2.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของธาตุอาหารรองและจุลธาตุที่มีต่อความสูง

ความสูงเริ่มต้น ความสูงของอนูเบียสที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ของกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.5 22.0 22.0 และ 20.2 มิลลิเมตร ส่วนความสูงเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 21.1 21.3 และ 21.8 มิลลิเมตรตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความสูง เมื่ออายุ 1 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมค่อนข้างน้อยสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.9 23.7 22.0 และ 22.0 มิลลิเมตร ส่วนความสูงเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 22.3 22.7 และ 22.7 มิลลิเมตร ตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความสูง เมื่ออายุ 2 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.8 27.8 26.6 และ 24.8 มิลลิเมตร ส่วนความสูงเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 25.6 25.4 และ 26.2 มิลลิเมตรตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความสูง เมื่ออายุ 3 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.1 36.0 34.2 และ 29.8 มิลลิเมตร ส่วนความสูงเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 29.1 33.0 และ 34.1 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

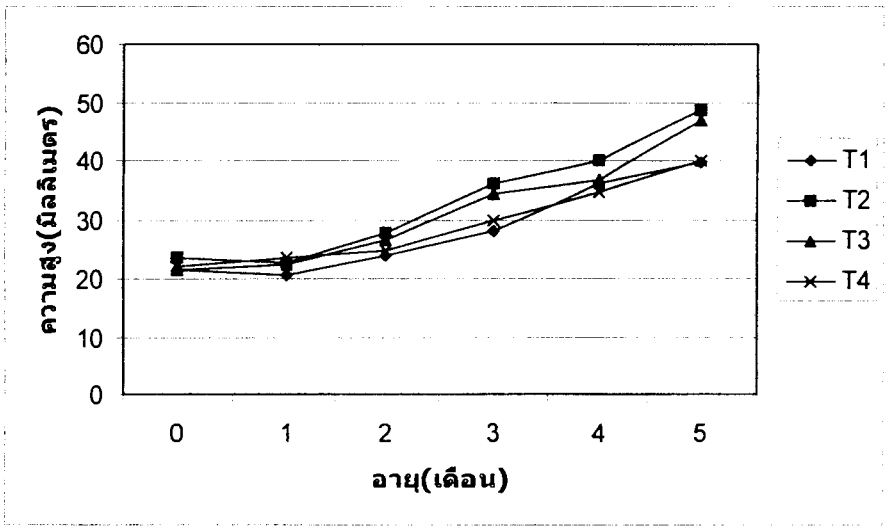
ความสูง เมื่ออายุ 4 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.2 40.0 36.87 และ 34.5 มิลลิเมตร ส่วนความสูงเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 34.8 36.1 และ 39.7 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความสูง เมื่ออายุ 5 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.8 48.6 47.0 และ 40.0 มิลลิเมตร ส่วนความสูงเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 41.5 46.2 และ 43.9 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความแปรปรวนของแต่ละ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

39.8^{a} 40.0^{a} 47.0^{b} 48.7^{b}

T1 T4 T3 T2

ภาพที่ 9 แผนภูมิแสดงความสูงของอนูเบียสแต่ละกลุ่มที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารรองและจุลธาตุแตกต่างกัน



2.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของธาตุอาหารรองและจุลธาตุที่มีต่อความกว้างใบ

ความกว้างใบเริ่มต้น ความสูงของอนูเบียสที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ของกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.7 12.6 13.8 และ 12.5 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 12.7 13.1 และ 13.0 มิลลิเมตรตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความกว้างใบ เมื่ออายุ 1 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมค่อนข้างน้อยสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.8 13.3 14.0 และ 11.9 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 13.1 13.6 และ 12.3 มิลลิเมตรตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความกว้างใบ เมื่ออายุ 2 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.5 17.5 15.8 และ 15.1 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 15.2 16.5 และ 16.2

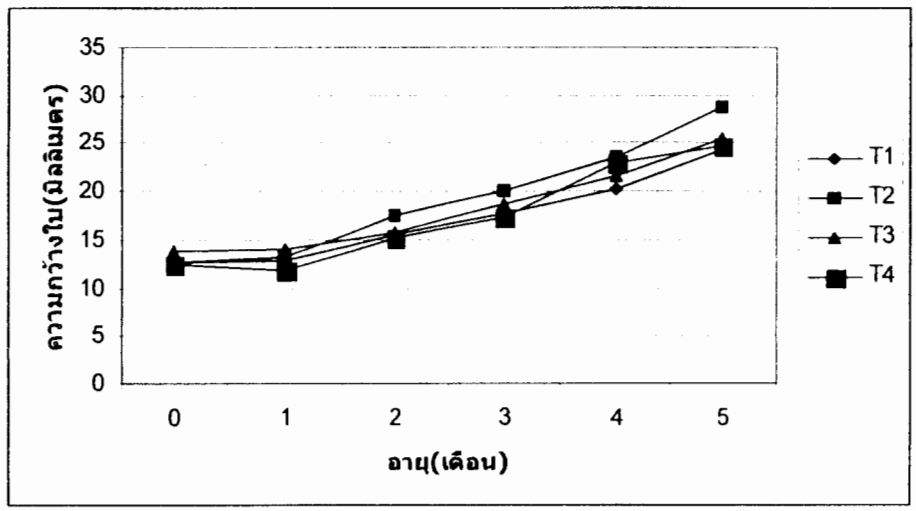
มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความกว้างใบ เมื่ออายุ 3 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.6 20.1 18.6 และ 17.4 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 17.3 19.0 และ 19.0 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความกว้างใบ เมื่ออายุ 4 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.4 23.6 21.5 และ 23.0 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 23.0 21.4 และ 22.0 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความกว้างใบ เมื่ออายุ 5 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.4 28.8 25.5 และ 24.7 มิลลิเมตร ส่วนความกว้างใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 24.1 27.0 และ 26.4 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ภาพที่ 10 แผนภูมิแสดงความกว้างใบของอนูเบียสแต่ละกลุ่มที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารรองและจุลธาตุแตกต่างกัน



2.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของธาตุอาหารรองและจุลธาตุที่มีต่อความยาวใบ

ความยาวใบเริ่มต้น ความสูงของอนูเบียสที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ของกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.6 16.4 18.2 และ 16.3 มิลลิเมตร ส่วนความยาวใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 16.6 17.1 และ 17 มิลลิเมตรตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ความยาวใบ เมื่ออายุ 1 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมค่อนข้างน้อยสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.0 18.1 16.8 และ 16.1 มิลลิเมตร ส่วนความยาวใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 17.7 17.2 และ 16.8 มิลลิเมตรตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ความยาวใบ เมื่ออายุ 2 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.2 22.6 21.0 และ 19.6 มิลลิเมตร ส่วนความยาวใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 20.6 21.3 และ 21.4 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ความยาวใบ เมื่ออายุ 3 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.7 26.7 24.5 และ 22.5 มิลลิเมตร ส่วนความยาวใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 22.7 25.3 และ 25.1 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ความยาวใบ เมื่ออายุ 4 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.6 31.9 29.8 และ 26.8 มิลลิเมตร ส่วนความยาวใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 27.2 29.9 และ 30.0 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลอง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความแปรปรวนของแต่ละ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

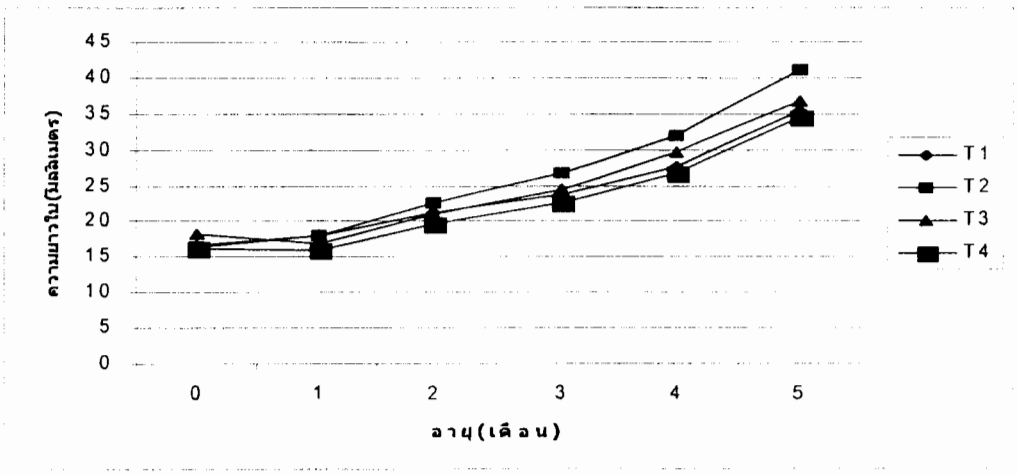
26.8^{a} 27.6^{a} 29.8^{ab} 31.9^{b}

T4 T1 T3 T2

ความยาวใบ เมื่ออายุ 5 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.3 41.1 36.8 และ 35.8 มิลลิเมตร ส่วนความยาวใบเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 34.6 38.4 และ 38.9 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความแปรปรวนของแต่ละ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

35.3^{a}	35.8^{a}	36.7^{a}	41.1^{b}
T1	T4	T3	T2

ภาพที่ 11 แผนภูมิแสดงความยาวใบของอนูเบียสแต่ละกลุ่มที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารรองและจุลธาตุแตกต่างกัน



2.6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของธาตุอาหารรองที่มีต่อความยาวราก

ความยาวรากเมื่ออายุ 1 เดือน หลักจากที่ความยาวรากริ่มต้นได้ถูกตัดให้เท่ากันที่ความยาว 1 นิ้ว การพัฒนาความยาวของรากในกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.1 29.7 34.4 และ 23.7 มิลลิเมตร ส่วนความยาวรากเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 29.6 28.7 และ 30.1 มิลลิเมตรตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความยาวราก เมื่ออายุ 2 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิมค่อนข้างน้อยสามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 51.5 55.3 51.1 และ 39.5 มิลลิเมตร ส่วนความยาวรากเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 47.3 50.6 และ 50.1

มิลลิเมตรตามลำดับซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้งในส่วนของสิ่งทดลองและblock

ความยาวราก เมื่ออายุ 3 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54.2 57.6 60.5 และ 41.2 มิลลิเมตร ส่วนความยาวรากเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 55.1 55.8 และ 55.6 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความแปรปรวนของ block ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

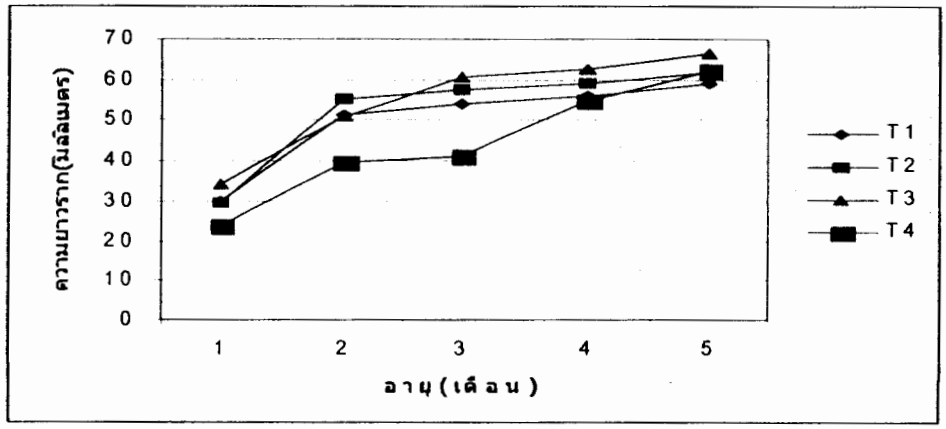
41.2^{a} 54.2^{b} 57.7^{b} 60.5^{bc}

T4 T1 T2 T3

ความยาวราก เมื่ออายุ 4 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.1 59.2 62.6 และ 54.8 มิลลิเมตร ส่วนความยาวรากเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 58.4 59.0 และ 57.2 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ความยาวราก เมื่ออายุ 5 เดือนหลังการทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเดิม สามารถสรุปได้คือกลุ่มทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 59.2 61.7 66.4 และ 62.1 มิลลิเมตร ส่วนความยาวรากเฉลี่ยของ block ที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 61.3 66.1 และ 59.5 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแล้วพบว่าสิ่งทดลองและ block ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ภาพที่ 12 แผนภูมิแสดงความยาวรากของอนูเบียสแต่ละกลุ่มที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารรองและจุลธาตุแตกต่างกัน



ตารางที่ 6 สรุปผลการศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารหลักที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นอนูเบียส

อายุ/เดือน	กลุ่ม ควบคุม	ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก(ร้อยละ)		
	(100)	75	50	25
จำนวนใบ				
2	5.10^{a}	6.10^{a}	7.60^{b}	6.40^{ab}
3	5.40^{a}	7.00^{b}	7.67^{b}	7.00^{b}
4	6.30^{a}	7.80^{b}	9.30^{d}	8.40^{bc}
5	7.80	8.90	9.90	9.80
น้ำหนักสด(กรัม)				
เริ่มต้น	0.60	0.58	0.74	0.59
1	0.67	0.77	0.67	0.90
2	1.00^{a}	1.20^{a}	1.79^{b}	1.15^{a}
3	1.10^{a}	1.42^{a}	2.75^{b}	1.66^{a}
4	1.70^{a}	1.86^{a}	2.94^{b}	2.44^{ab}
5	2.10^{a}	2.80^{b}	4.25^{d}	3.63^{c}
ความสูง(มิลลิเมตร)				
เริ่มต้น	21.50	21.50	20.20	22.20
1	20.90	22.70	22.40	23.60
2	23.80^{a}	24.80^{ab}	29.50^{c}	28.90^{bc}
3	28.10^{a}	31.70^{ab}	36.70^{b}	36.20^{b}
4	36.20^{a}	37.50^{ab}	45.70^{bc}	42.80^{bc}
5	39.80^{a}	40.90^{a}	53.30^{b}	47.10^{ab}

ตารางที่ 6 สรุปผลการศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารหลักที่มีต่อการเจริญเติบโตของอนูเบียส(ต่อ)

อายุ/เดือน	กลุ่ม ควบคุม	ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก(ร้อยละ)		
	(100)	75	50	25
ความกว้างใบ(มิลลิเมตร)				
เริ่มต้น	12.73	12.60	13.33	13.07
1	12.83	13.13	14.93	13.03
2	15.50^{a}	15.93^{a}	18.33^{b}	16.47^{a}
3	17.6^{a}	18.63^{ab}	21.63^{c}	20.6^{bc}
4	20.37^{a}	21.00^{a}	24.20^{b}	23.27^{b}
5	23.37^{a}	25.27^{ab}	28.9^{c}	28.67^{bc}
ความยาวใบ(มิลลิเมตร)				
เริ่มต้น	16.80	16.93	17.53	17.13
1	17.97	17.43	20.47	17.77
2	21.23^{a}	21.33^{a}	24.73^{b}	22.40^{a}
3	23.70^{a}	25.20^{ab}	29.40^{bc}	27.07^{b}
4	27.63^{a}	28.50^{a}	34.80^{b}	33.20^{b}
5	35.30^{a}	35.80^{a}	42.63^{b}	41.93^{b}
ความยาวราก(มิลลิเมตร)				
1	30.08	29.84	33.71	33.72
2	51.49	52.27	52.09	53.45
3	54.24	53.71	55.49	58.53
4	56.09	56.55	57.70	59.69
5	59.15^{a}	62.19^{a}	67.24^{ab}	72.16^{b}

ตารางที่ 7 สรุปผลการศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารรองและจุลธาตุที่มีต่อการเจริญเติบโตของอนูเบียส

อายุ/เดือน	กลุ่ม ควบคุม	ความเข้มข้นของธาตุอาหารรอง(ร้อยละ)		
	(100)	75	50	25
จำนวนใบ				
2	5.10	5.00	4.20	4.50
3	5.40	5.97	5.30	5.77
4	6.30	7.20	6.60	6.90
5	7.80	8.30	7.50	7.90
น้ำหนักสด(กรัม)				
เริ่มต้น	0.60	0.51	0.60	0.58
1	0.67	0.78	0.67	0.59
2	1.00	1.14	0.77	0.73
3	1.10	1.59	1.22	1.08
4	1.70	2.12	1.74	1.5
5	2.10	2.80	2.23	2.00
ความสูง(มิลลิเมตร)				
เริ่มต้น	21.50	22.00	22.00	20.20
1	20.90	23.70	21.60	22.00
2	23.80	27.80	26.60	24.80
3	28.10	36.00	34.20	29.80
4	36.20	40.00	36.80	34.50
5	39.80[a]	48.60[b]	47.00[b]	40.00[a]

ตารางที่ 7 สรุปผลการศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารรองและจุลธาตุต่อการเจริญเติบโตของอนูเบียส(ต่อ)

อายุ/เดือน	กลุ่ม ควบคุม	ความเข้มข้นของธาตุอาหารรอง(ร้อยละ)		
	(100)	75	50	25
ความกว้างใบ(มิลลิเมตร)				
เริ่มต้น	12.73	12.57	13.80	12.53
1	12.83	13.27	14.03	11.90
2	15.50	14.47	15.83	15.10
3	17.6	20.13	18.6	17.43
4	20.37	23.57	21.47	23.00
5	23.37	28.77	25.53	24.67
ความยาวใบ(มิลลิเมตร)				
เริ่มต้น	16.80	16.40	18.23	16.30
1	17.97	18.07	16.77	16.13
2	21.23	22.60	21.03	19.57
3	23.70	26.70	24.50	22.50
4	27.63^{a}	31.90^{b}	29.77^{ab}	26.77^{a}
5	35.30^{a}	41.10^{b}	36.77^{a}	34.50^{a}
ความยาวราก(มิลลิเมตร)				
1	30.08	29.72	34.42	23.69
2	51.49	55.27	51.09	39.46
3	54.24^{b}	57.65^{b}	60.47^{b}	41.23^{a}
4	56.09	59.23	62.59	54.81
5	59.15	61.67	66.43	62.08

วิจารณ์ผลการทดลอง

การเจริญเติบโตของอนูเบียสเมื่อปรับเปลี่ยนสัดส่วนธาตุอาหารหลัก

จากการศึกษาการเจริญเติบโตด้านต่างๆพบว่าความสูง นักหนักสด ความยาวใบ และจำนวนใบเริ่มเห็นความแตกต่างเมื่ออายุ 2-3 เดือนหลังจากเริ่มต้นการทดลอง โดยสูตรที่มีปริมาณธาตุอาหารหลักร้อยละ 50 และ 25 จากสูตรปกติมีการเจริญเติบโตที่ดีมากและแตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มทดลองอื่นๆเกือบทุกระดับโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และเมื่อสิ้นสุดการทดลองกลุ่มที่มีแนวโน้มการเจริญเติบโตดีที่สุดคือที่ระดับความเข้มข้นธาตุอาหารหลักร้อยละ 50 แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกลุ่มที่ลดความเข้มข้นธาตุอาหารหลักลงร้อยละ 25 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่ากลุ่มนี้เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชไร้ดิน ลักษณะที่สำคัญของอนูเบียสที่สำคัญในเชิงพานิชคือจำนวนใบ ถึงแม้ว่าสุดท้ายแล้วจำนวนใบของทุกกลุ่มการทดลองจะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่7.8-9.9 ใบก็ตามแต่เมื่อศึกษาจากแนวโน้มแล้วพบว่ามีในช่วงแรกจะทำให้ต้นไม้มีการเจริญเติบโตที่ดีมีการพัฒนาใบและแตกต่างกันทางสถิติอย่างชัดเจนกับกลุ่มควบคุมไม่ว่าจะเป็นความสูง น้ำหนักสด ความยาวใบและความกว้างของใบ รวมทั้งการพัฒนาความยาวราก

สูตรที่ใช้ในการเลี้ยงล้วนแต่ดัดแปลงมาจากพืชบกทั้งสิ้นดังนั้นการประยุกต์สูตรและสัดส่วนของธาตุอาหารจึงเป็นสิ่งจำเป็น จากผลดังกล่าวสามารถสรุปได้ชัดเจนว่าสัดส่วนความต้องการธาตุอาหารหลักของพรรณไม้น้ำในระบบไฮโดรโปนิกส์มีความแตกต่างจากพืชบก ในที่นี้จะขอวิเคราะห์เน้นไปที่ธาตุในกลุ่มไนโตรเจนเพราะพรรณไม้น้ำจะเน้นที่ไม้ใบเป็นส่วนใหญ่ ข้อมูลความต้องการไนโตรเจนของพรรณไม้น้ำนั้นพบว่าถ้าเป็นตู้พรรณไม้น้ำระดับไนโตรเจนที่เหมาะสมอยู่ที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนั้นพรรณไม้น้ำในตู้จะได้รับจากอาหารที่เหลือตกค้างและสิ่งขับถ่ายของปลาสวยงามที่เลี้ยงร่วมกัน(Han, 2002) โดยในสูตรอาหาร MS ที่เตรียมเป็นขวดแม่เพื่อที่จะง่ายต่อการนำไปเจือจางนั้นจะมีระดับไนโตรเจนอยู่ที่ 42000 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือ 42 กรัมต่อลิตร และเมื่อนำทำการทดลองในกลุ่มควบคุม กลุ่มที่มีความเข้มข้นธาตุอาหารหลักร้อยละ 75 50 และ 25 จากระดับปกติจะมีระดับไนโตรเจนอยู่ที่ 112 84 58 และ 28 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ดังนั้นไนโตรเจนที่ระดับ 28 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของอนูเบียส และเมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการ N ของพืชบกแล้วนั้นพบว่ามีระดับไนโตรเจนที่ต่ำกว่ามากดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักที่มีการปรับจากสูตรมาตรฐาน MS ที่ให้การเจริญเติบโตที่ดีที่สุดกับระดับ N P K จากสูตรมาตรฐานอื่นๆที่นิยมใช้ในระบบไฮโดรโพนิคส์กับพืชบก(มิลลิกรัมต่อลิตร)

ธาตุอาหาร	MSที่มีระดับธาตุอาหารหลักร้อยละ25 จากสูตรปกติ	Knops 1860	Wilcox1	Pfeffers 1865	Cooper	Hoagland/ Arnon
N	28.4	140	132	164	200	210
P	2.6	100	58	46	60	31
K	28.1	386	200	134	300	234

ที่มา : ดัดแปลงจากดิเรก, 2544 หน้า142

สูตรสารละลายธาตุอาหารที่แสดงในตารางที่ 8 นั้นเป็นสูตรโดยทั่วไปซึ่งถ้าจะนำไปใช้อาจต้องมีการปรับสูตรบ้างเพื่อความเหมาะสมของพืชแต่ละชนิดเช่น ฐิติพันธุ์, 2542 ได้ศึกษาสูตรสารละลายที่เหมาะสมสำหรับการปลูกขึ้นฉ่ายด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์โดยใช้สารละลายแตกต่างกัน 9 สูตรซึ่งดัดแปลงจากสูตรมาตรฐาน 3 สูตรคือ Knop's 1865 Hoagland's และ Shive's ด้วยการเพิ่มปริมาณแคลเซียมไนเตรท (Ca(NO3)2) แตกต่างกันที่ร้อยละ 0 25 และ 50 ตามลำดับโดยใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ผลการศึกษาพบว่าสารละลายสูตร Knop's 1865 ที่เพิ่มแคลเซียมไนเตรทอีกร้อยละ 50 ทำให้ขึ้นฉ่ายมีอัตราการเจริญเติบโตของส่วนยอดทั้ง Shoot growth curve และShoot growth rate ดีกว่าสารละลายสูตรอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าสารละลายสูตร Knop's 1865 ที่เพิ่มแคลเซียมไนเตรทอีกร้อยละ 50 ทำให้ Crop growth rate (CGR) Relative growth rate (RGR) Leaf area index (LAI) Specific leaf area (SLA) และ Net assimilation rate (NAR) น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง พื้นที่ใบ และปริมาณน้ำคั้นสูงที่สุด

ส่วนธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในกลุ่มควบคุม กลุ่มที่มีระดับธาตุอาหารหลักร้อยละ 75 50 และ 25 จากสูตรปกตินั้นมีระดับฟอสฟอรัสอยู่ที่ 10.4 7.8 5.2 และ2.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนระดับโพแทสเซียมอยู่ที่ 112.4 84.3 56.2 และ 28.1 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งเมื่อลดลงแล้วกระทบต่อการเจริญเติบโตน้อยมากแสดงว่าธาตุทั้ง 2 เพียงพอสำหรับอนูเบียสและมีเปรียบเทียบกับสูตรอาหารที่ใช้กับพืชบกโดยทั่วไปแล้วพบว่ามีความต้องการน้อยกว่ามากดังเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 8

การเจริญเติบโตของอนูเบียสเมื่อปรับเปลี่ยนสัดส่วนธาตุอาหารรองและจุลธาตุ

การปรับลดปริมาณธาตุอาหารรองลงจากระดับปกติโดยภาพรวมแล้วมีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมค่อนข้างน้อย และผลที่ได้ไม่ชัดเท่ากับการปรับลดลงของปริมาณธาตุอาหารหลัก กลุ่มที่มีระดับธาตุอาหารรองและจุลธาตุร้อยละ 75 และ 50 จากสูตรปกติจะมีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่ดีกว่าระดับอื่นและมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในด้านความสูง และความยาวใบถึงแม้สุดท้ายแล้วจะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในด้านจำนวนใบ ความยาวของใบ และรากก็ตาม แต่ที่ดีที่สุดควรจะลดลงไม่เกินกว่าร้อยละ 75 จากสูตรปกติและถ้าลดลงเหลือเพียงร้อยละ 25 จากสูตรปกติจะส่งผลทำให้การเจริญเติบโตในหลายๆ ด้านต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งระดับซึ่งมีปริมาณจุลธาตุของสูตร MS โดยเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐานดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุที่มีการปรับจากสูตรมาตรฐาน MS ที่ให้การเจริญเติบโตที่ดีที่สุดกับระดับธาตุอาหารรองจากสูตรมาตรฐานอื่นๆที่นิยมใช้กับพืชบกในระบบไฮโดรโพนิคส์

ธาตุอาหาร	MSที่มีระดับธาตุอาหารหลักร้อยละ75	Hoagland/ Arnon	Cooper	Wilcox1	modified Steiner
Ca	27.7	200	170	136	180
Mg	7.4	48	50	47	48
B	0.11	0.5	1.5	1.5	0.3
Cu	.0006	0.02	0.1	0.1	0.2
Fe	1.03	5	12	4	3
Mn	0.56	0.5	2	0.5	1
Mo	0.01	.01	0.2	0.1	0.1
Zn	0.2	.05	0.1	0.3	0.4

ที่มา : ดัดแปลงจากดิเรก, 2544 หน้า142

แต่อย่างไรก็ตามแต่ผลที่ได้มีความเกี่ยวเนื่องกับสัดส่วนของธาตุอาหารหลักด้วยเช่นกัน เพราะระดับที่ลดลงของธาตุอาหารหลักเหลือที่ร้อยละ 25 จากสูตรปกติโดยคงระดับธาตุอาหารรองไว้ให้การเจริญเติบโตที่แตกต่างชัดเจน นั้นย่อมหมายความว่าธาตุอาหารรองในสูตรอยู่ในสภาพที่พอเพียงหรือเกินพอสำหรับพรรณไม้น้ำ และปริมาณธาตุอาหารหลักที่เกินพอในสูตรมีอิทธิพลโดยตรงส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตในการทดลองที่ 2

การปรับเปลี่ยนปริมาณธาตุอาหารส่งผลกระทบโดยตรงกับระดับค่าการนำไฟฟ้ามีอิทธิพลอย่างชัดเจนในการศึกษาครั้งนี้เพราะความเข้มข้นระหว่างสารละลายภายในและภายนอกของพืชมีความสำคัญอย่างยิ่ง เกี่ยวข้องกับระบบออสโมเลคกูเรชันควบคุมการเคลื่อนที่เข้าออกของสารละลายและการที่น้ำมีอิออนต่างๆ ไม่สมดุลย์ก็จะมีผลต่อการนำธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ของพืช ความเข้มข้นสารละลายมักจะวัดออกมาในค่า EC ค่า EC ที่เหมาะสมสำหรับพืชบกส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 1.5 – 3.0 mS/cm พืชที่ต้องการค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำเช่นแตงกวาอยู่ที่ช่วง 1.5-2.0 mS/cm แต่ถ้าเป็นมะเขือเทศระดับที่เหมาะสมควรอยู่ที่ 2.5-3.5 mS/cm ส่วนไม้ดอกไม้ประดับพืชผักทั่วไปอยู่ที่ 1.8-2 mS/cm(ราเชนทร์และคณะ, 2548) ถ้าค่า EC สูงหรือต่ำกว่านี้จะส่งผลกระทบในด้านลบกับพืช ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยเจือจางสารละลายให้มีความเข้มข้นน้อยลงหากค่า EC สูงเกินไปและหากค่า EC ต่ำเกินไปก็แก้ไขได้โดยเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร แต่ในกรณีของพรรณไม้น้ำนั้นมีค่าEC ที่เหมาะสมต่ำกว่าพืชบก การลดลงของปริมาณธาตุอาหารหลักทั้ง 3 ระดับนั้นส่งผลทำให้ค่า EC ของสารละลายลดลงมากกว่าการปรับลดของปริมาณธาตุอาหารรองโดยที่ ดังตารางที่ 10 และจากการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าค่าEC ที่เหมาะสมสำหรับพรรณไม้นำการปลูกระบบไฮโดรโพนิกส์ควรอยู่ที่ 0.5-0.7 mS/cm เพราะระดับค่า EC ที่สูงกว่านี้มีแนวโน้มทำให้การเจริญเติบโตที่ลดลง 10

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละสิ่งทดลอง

ความเข้มข้น	ค่า EC(mS/cm)
กลุ่มควบคุม	0.96-1
กลุ่มที่มีธาตุอาหารหลักร้อยละ75	0.86-0.9
กลุ่มที่มีธาตุอาหารหลักร้อยละ50	0.66-0.74
กลุ่มที่มีธาตุอาหารหลักร้อยละ25	0.53-0.60
กลุ่มที่มีธาตุอาหารรองร้อยละ75	0.96-1
กลุ่มที่มีธาตุอาหารรองร้อยละ50	0.95-0.97
กลุ่มที่มีธาตุอาหารรองร้อยละ25	0.88.0.92

ผลการทดลองด้านการเจริญเติบโตของอนูเบียสในครั้งนี้อาจต่ำกว่าที่ควรจะเป็นจริง ทั้งนี้เพราะว่าในการทดลองได้มีการใช้พลาสติกใสคลุมกระบะปลูกเอาไว้เพื่อป้องกันน้ำฝนและน้ำที่มีการพ่นฝอยเพื่อควบคุมความชื้นในโรงเรือนลงไปเจือจางในกระบะปลูกเพราะพืชน้ำต้องการความชื้นที่สูงมากกว่าพืชบกดังนั้นการเสปรย์น้ำจึงต้องใช้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน แผ่น

พลาสติกดังกล่าวถึงแม้จะกันน้ำได้แต่ทำให้เกิดสภาวะที่อบอ้าวและกีดขวางการพัดผ่านของลม ซึ่งในสภาวะปกติไม่ควรทำ ดังนั้นในการปฏิบัติงานจริงควรจะเตรียมความเข้มข้นของสารละลายให้สูงกว่าที่ควรจะเป็นเล็กน้อยเพราะเมื่อมีการเสปรย์น้ำในรอบวันแล้วจะมีการลงไปผสมกับสารละลายทำให้ค่า EC ลดลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าระบบท่านใช้ป้องกันการเข้าของน้ำสู่ถังสารละลายได้มากน้อยเพียงไร

สรุป

1. การทดลองที่ 1 การเจริญเติบโตของอนูเบียสเมื่อปรับเปลี่ยนสัดส่วนธาตุอาหารหลัก

การเจริญเติบโตที่ดีที่สุดโดยที่เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 5 เดือนพบว่า

1.1 จำนวนใบ กลุ่มที่มีใบเฉลี่ยมากที่สุดคือที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 50 จากสูตรปกติ เฉลี่ย 9.8 ใบ และกลุ่มที่ต่ำที่สุดคือกลุ่มควบคุม 7.8 ใบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.2 น้ำหนัก กลุ่มที่มีน้ำหนักเฉลี่ยมากที่สุดคือที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 50 จากสูตรปกติ เฉลี่ย 4.25 กรัม และกลุ่มที่ต่ำที่สุดคือกลุ่มควบคุม 2.1 กรัม มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95

1.3 ความสูง กลุ่มที่มีความสูงเฉลี่ยมากที่สุดคือที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 50 จากสูตรปกติ เฉลี่ย 53.3 มิลลิเมตร และกลุ่มที่ต่ำที่สุดคือกลุ่มควบคุม 39.8 มิลลิเมตร มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95

1.4 ความกว้างของใบ กลุ่มที่มีความกว้างของใบเฉลี่ยมากที่สุดคือที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 50 จากสูตรปกติ เฉลี่ย 28.9 มิลลิเมตร และกลุ่มที่ต่ำที่สุดคือกลุ่มควบคุม 23.37 มิลลิเมตร มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95

1.5 ความยาวของใบ กลุ่มที่มีความยาวของใบเฉลี่ยมากที่สุดคือที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 25 จากสูตรปกติ เฉลี่ย 42.63 มิลลิเมตร และกลุ่มที่ต่ำที่สุดคือกลุ่มควบคุม 35.3 มิลลิเมตร มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95

1.6 ความยาวของราก กลุ่มที่มีความยาวของรากเฉลี่ยมากที่สุดคือที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 50 จากสูตรปกติ เฉลี่ย 72.16 มิลลิเมตร และกลุ่มที่ต่ำที่สุดคือกลุ่มควบคุม 59.15 มิลลิเมตร มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95

ปริมาณธาตุอาหารหลักที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 25 จากสูตรปกติโดยมี N : P :K เท่ากับ 28 : 2.6 : 28 ตามลำดับ เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดเพราะการเจริญเติบโตไม่แตกต่างทางสถิติจากกลุ่มที่มีธาตุอาหารหลักที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 50 แต่ประหยัดธาตุอาหารที่ใช้มากกว่า

2. การเจริญเติบโตของอนูเบียสเมื่อปรับเปลี่ยนสัดส่วนธาตุอาหารรองและจุลธาตุ

การเจริญเติบโตที่ดีที่สุดโดยที่เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 5 เดือนพบว่า

1.1 จำนวนใบ กลุ่มที่มีใบเฉลี่ยมากที่สุดคือที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 75 จากสูตรปกติ เฉลี่ย 8.3 ใบ และกลุ่มที่ต่ำที่สุดคือกลุ่มที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 50 คือ 7.5 ใบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.2 น้ำหนัก กลุ่มที่มีน้ำหนักเฉลี่ยมากที่สุดคือที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 75 จากสูตรปกติ เฉลี่ย 2.8 กรัม และกลุ่มที่ต่ำที่สุดคือกลุ่มที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 25 คือ 2.0 กรัม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.3 ความสูง กลุ่มที่มีความสูงเฉลี่ยมากที่สุดคือที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 75 จากสูตรปกติ เฉลี่ย 48.6 มิลลิเมตร และกลุ่มที่ต่ำที่สุดคือกลุ่มควบคุม 39.8 มิลลิเมตร มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95

1.4 ความกว้างของใบ กลุ่มที่มีความกว้างของใบเฉลี่ยมากที่สุดคือที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 75 จากสูตรปกติ เฉลี่ย 28.9 มิลลิเมตร และกลุ่มที่ต่ำที่สุดคือกลุ่มควบคุม 23.37มิลลิเมตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

1.5 ความยาวของใบ กลุ่มที่มีความยาวของใบเฉลี่ยมากที่สุดคือที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 75 จากสูตรปกติ เฉลี่ย 41.1 มิลลิเมตร และกลุ่มที่ต่ำที่สุดคือกลุ่มที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 25 34.5มิลลิเมตร มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95

1.6 ความยาวของราก กลุ่มที่มีความยาวของรากเฉลี่ยมากที่สุดคือที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 50 จากสูตรปกติ เฉลี่ย 66.43 มิลลิเมตร และกลุ่มที่ต่ำที่สุดคือกลุ่มควบคุม 59.15 มิลลิเมตร มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95

ปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 75 จากสูตรปกติโดยมี เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดเพราะมีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด