



מדינת ישראל
משרד החקלאות ופיתוח הכפר
שירות ההדרכה והמקצוע



חוברת הדרכה גידול ירקות בהידרופוניקה

מולי זקס¹, אורי אדלר², נביל עומרי¹, שלי גנץ¹, רוני אמיר¹,
איציק אסקירה² וארז רחמים³
¹ שה"מ משרד החקלאות, ² מועצת הצמחים, ³ כפר הנוער בן שמן



תוכן העניינים

3	הבעת תודה
3	מבוא
3	גידול בבריכות - Deep water culture DWC
3	גידול בתעלות - Nutrient Film Technique NFT
3	טבלא 1- השוואה בין שיטות הגידול הנפוצות בהידרופוניקה
4	איזה גידולים אפשר לגדל בהידרופוניקה ?
5	יתרונות וחסרונות לעומת גידול בקרקע
5	תשתית הפרויקט
5	איכות מים
5	תחזוקה
5	המבנה
6	תנאים אופטימלים לגידול צמחים
7	גידול במבנים בעלי בקרת אקלים פאסיבית
7	מנהרות עבירות
7	חממה מרובת גמלוניס
7	בקרת אקלים ידנית
8	חממות מבוקרות אקלים
8	שיטות גידול:
9	שיטת הברכות העמוקות גידול על קלקר צף ללא אוטומציה
11	שיטת NFT
13	סניטציה וניקוי המגשים ותעלות לאחר קטיף
13	תמיסת הזנה
15	הרכבת תמיסות הזנה
15	מרשמים להכנה עמצית של תמיסת ההזנה
16	הוראות להמסת הדשנים במי השקיה
17	בקרת תמיסת ההזנה
17	חמצן מומס במים
17	סימני מחסור בעלים
21	הצמחים
22	טיפוסי חסה וזנים מובילים
22	הגנת הצומח
22	טיפול ותחזוקה
23	היבטים כלכליים
23	ניסויים ותצפיות שנעשו בחממה לימודית בבן שמן
24	ספרות

הבעת תודה

אנו מביעים את תודתנו הכנה למנהל מחוז השפלה וההר, צפניה שאולקר, ולעובדי המחוז, ציון גזל ויאיר גליק, שליוו את הבנייה ואת התפעול של החממה הלימודית בכפר הנוער בן שמן. תודה מיוחדת לשמשון עומר, מנהל אגף ירקות בשה"מ, ולאילנה טישלר, מנהלת כפר הנוער בן שמן, ולכל המגדלים שפתחו בפנינו את לבם ואת החממות שלהם, כדי שנוכל להכיר טוב יותר את הגידול בהידרופוניקה, לאמוד את ההצלחות והכשלונות וללמוד כיצד לבצע שיפורים באופן המיטבי.

מבוא

שיטת הגידול ההידרופונית החדשנית הופכת נפוצה יותר ויותר בישראל בשל התאמתה לשטחי גידול קטנים וגדולים כאחד, והודות לחיסכון במים ובדשן המאפיין אותה. בהידרופוניקה גדלים הצמחים ללא קרקע או מצע גידול, ושורשי הצמחים מצויים במגע תמידי עם תמיסת ההזנה - תמיסת מים ודשן, וניזונים ממנה בהתאם לצורכיהם. שתי שיטות גידול מובילות נהוגות בחקלאות ההידרופונית:

גידול בבריכות - Deep water culture - DWC, השתילים עצמם שתולים בתוך מגשי קלקר הצפים על פני הבריכה. המגשים הללו שטוחים ומחוררים בחורים קוניים, המאפשרים את מעבר השורשים, אך מונעים מהשתילים ליפול לתוך הבריכה. בשיטה זו מגדלים את הצמחים על פני מאגרים שעומקם בין 5-40 ס"מ, עומקים רדודים על שולחנות, לעומת עומקים גדולים בבריכות על הקרקע (אפשר גם בבריכות עמוקות על שולחנות, היכולים לשאת את משקל המים). הבריכות מלאות בתמיסת ההשקיה, המוזרמת מנקודה אחת או מנקודות אחדות בבריכה, היוצרות תנועה של המים. לתנועת המים הזו חשיבות ביצירת אחידות של תמיסת ההזנה ובאבטחת קליטה מקסימלית של החמצן על ידי שורשי הצמחים. אם זרימת המים אינה אחידה, עשוי להיווצר מחסור חמצן באזור הבריכה, שבו הזרימה לקויה.

גידול בתעלות - Nutrient Film Technique - NFT, שיטה לגידול צמחים בתמיסה זורמת בעומק של עד כ-1 ס"מ. תמיסת ההזנה זורמת בגרביטציה מהצד הגבוה של התעלה לכל אורכה. עצמת ההזרמה של מי ההשקיה חייבת להבטיח שהצמח האחרון בתעלה יקבל מספיק מים, יסודות הזנה וחמצן מומס. בגידול בתעלות יש יותר סיכון לגידול מגידול בבריכות, מכיוון שרק קצה השורש נתון בתוך שכבה דקה של מים הזורמים במהירות של 0.84-0.17 ליטר לדקה. במקרה של תקלה במערכת המים, הפסקת חשמל או קלקול במשאבות, הצמחים ימותו במהירות. בשיטה זו נחוץ גנרטור חירום, שייכנס מיד לפעולה בצורה אוטומטית בעת הפסקת חשמל, כדי לספק חשמל למשאבות ולמנוע את הפסקת זרימת המים בתעלות.

טבלה 1. השוואת שתי שיטות הגידול הנפוצות בהידרופוניקה

המרכיב	DWC	NFT
נפח המים במערכת	עד 50-180 מ"ק לדונם	3-6 מ"ק לדונם
רגישות לשינויים, זמן תגובה	שינויים איטיים ברמות הדשן, חומציות וטמפרטורה	שינויים מהירים ברמות הדשן, חומציות וטמפרטורה
עלויות הקמת המערכת (ללא מבנה וללא בקרת אקלים ותשתית), עלויות תפעול ותפוקות	עלויות שתי המערכות דומות; פירוט בפרק 'היבטים כלכליים'	עלויות שתי המערכות דומות; פירוט בפרק 'היבטים כלכליים'
רגישות לטמפרטורה	עלייה וירידה מתונות; ניתן לשמור על טמפרטורות הנמוכות מ-29 מ"צ גם בשיא החום; יש הבדלים קטנים בין היום ללילה	עלייה וירידה חדות במהלך העונות והיממה; יש חשיפה לטמפרטורות הגבוהות מ-30 מ"צ בשיא החום
גמישות תפעולית	צורך בהפעלת בריכה מלאה גם אם מגדלים חלקית; נפח מים גדול להחלפה או לניקוז במקרה הצורך	יכולת עבודה גם במקטעים קצרים; שינויי הצפיפות והניוד במהלך הגידול פשוטים
רגישות לתקלות טכניות ולהפסקות חשמל	הגידולים יכולים לשרוד במשך שעות וימים ללא פגיעה משמעותית; אין צורך בתיקון ערכי המים (דשנים וחומציות)	הגידולים ייפגעו משמעותית, עד תמותתם המוחלטת במקרה של הפסקת חשמל של שעה ומעלה; רמת הדישון והחומציות מצריכים תיקון מדי כמה שעות; סתימות בצינוריות של התעלות עשויות לפגוע באופן נקודתי בשורת צמחים
חמצון המים	יש צורך בשימוש באמצעים אקטיביים להגברת החמצון, או באמצעים פסיביים כגון מפל מים;	ניתן לשמור על רמת חמצון טובה באמצעים פסיביים; אפשר להשתמש במי חמצן במינון נמוך באופן קבוע; תגבור חמצון נדרש

המרכיב	DWC	NFT
	נטייה לחוסר אחידות ברמות החמצון בנקודות שונות בבריכות בשיטות החמצון השונות	רק בעת התחממות המים בשיא הקיץ
נוחות עבודה והנדסת אנוש	במקרה של בריכות יש קושי בהגעה לצמחים או למגשים שבמרכזן; הריסוסים אינם מיושמים היטב באזורים שבמרכז הבריכות	עבודה בגובה השולחן נוחה; ניתן להגיע לכל תעלה בכל שלב; יישום הריסוסים נוח, גם מתחת לעלווה
תחזוקה וחיטוי	במקרה של חיטוי כללי, ריקון הבריכות וניקוי המערכת מסורבלים וממושכים; יש צורך בהוצאת המגשים ובניקויים בתום כל מחזור שתילה; הצטברות האצות קשה יחסית לניקוי; לא נדרש סינון המים וניקוי מוצקים ומרחפים באופן שוטף	ריקון וחיטוי המערכת נעשה בפשטות לאחר כל מחזור; אפשר להזרים חומרי חיטוי נקודתית ולהחליף נפח מים קטן; הניקוי מאצות קל יחסית; סינון המים נעשה ברציפות (לרמה של 200-100 מיקרון), והוא חיוני למניעת סתימות

הגידולים המתאימים לגידול בהידרופוניקה

הגידולים הנפוצים בחקלאות ההידרופונית הם בעלי מחזור גידול של בין 10-50 ימים, ובהם מגוון גדול של זני חסה, צמחי תבלין, פאק ציוי, סלרי, בצל ירוק, מנגולד, תרד, קולרבי וקייל. בשיטה זו אפשר לגדל כמעט כל גידול, אך בהתאמת המערכת לתנאים הנדרשים לו. בגידולים מודלים, יש צורך בהכנת תשתית מתאימה. ניתן לגדל בשיטה רב-קצירית ולהגדיל את משך מחזור גידול הצמחים (עלי קייל, עלי רוקט, בזיליקום וכו'), אך יש לבצע התאמות של המערכת לנגישות לכל אזור הקטיפה ולשורשים מעובים של הצמחים, העלולים לגרום לסתימות בתעלות הגידול.



תמונה 1 ו-2: גידול הידרופוני - חסה רומית בעלת שורשים לבנים, הגדלה במים בבריכות עמוקות



תמונה 3: גידול חסה מזן סלנובה בתעלות (NFT)

יתרונות וחסרונות של הגידול ההידרופוני לעומת גידול בקרקע

יתרונות: בשיטות אלה משתמשים בעיקר בגידול חסה ובגידולי עלים, ובהשוואה לגידול בקרקע, הגידול בהידרופוניה מניב כמות של יבולים הגדולה פי עשרה ליחידת שטח וליחידת זמן, תוך צריכה מזערית של 15% בלבד מכמות המים וכ-50% מכמות הדשן. בנוסף, קיימת פתיחה ניכרת בשימוש בחומרי הדברה וניתן בקלות יחסית לבצע טיפול בהגמעה או חיטוי של המערכת. אין צורך בהכנת השטח בין מחזור גידול אחד למשנהו. אין צורך בכלים מכניים לעיבוד הקרקע, ונמנעות חלק מהבעיות הקשורות בגידול בקרקע, כמו מבנה קרקע לקוי, ניקוז לקוי ומרקם לא אחיד, הצצת עשבים והופעת מחלות קרקע.

חסרונות: חובה לשמור על הרמות הנכונות ועל האיזון של יסודות ההזנה וכמובן על סביבה ביולוגית לגידול צמחים. המערכת רגישה לעומת הגידול בקרקע, ועלויות התשתיות והאנרגיה הן גבוהות ביחס לגידול בקרקע. הגידול בהידרופוניה בשיטת ה-NFT עלול להינזק מאוד כתוצאה מהפסקות חשמל ולהיפגע קשות מהתייבשות. בנוסף, המערכת ההידרופונית רגישה לפגעי מחלות, העשויים להתפשט במים במהירות, ולכן יש חשיבות עליונה לשמירה על סניטציה. הידרופוניה מתאימה בעיקר לגידולים שתקופת גידולם קצרה, כמו חסה, שבה ניתן להשלים כעשרה עד ארבעה עשר מחזורי גידול בשנה. בגידולים, שמשך גידולם ארוך יותר, נפגעת רווחיות הגידול בהידרופוניה.

תשתית הפרויקט

מיקום: חשוב לוודא שהפרויקט ימוקם במקום שאינו חשוף לקרה, אינו מוצל על ידי עצים ובניינים ומוגן ממשבי רוח קיצוניים. רצוי לוודא נתוני אקלים ועוצמת רוחות בכדי לתכנן נכון את המבנה ואת סביבת הגידול. חממה רצוי לבנות עם מרזבים בכיוון שמצפון לדרום; מנהרות עבירות ניתן גם לבנות בכיוון מזרח-מערב, כך שיתאפשרו רמות קרינה גבוהות יותר בתקופת החורף. בבניית המערכת יש חשיבות עליונה לתשתית, מכיוון שאחרי הבנייה וההתקנה קשה מאוד, אם בכלל אפשרי, לתקן תשתית שהוקמה בצורה לא נכונה. שיפוע התשתית הרצוי הוא של 1% כלפי דרום, שיפוע גדול יותר עשוי לגרום להבדלי טמפרטורה גדולים בתוך המבנה, בעיקר בשעות הלילה, עקב תנועת האוויר הקר כלפי האזור הנמוך בחממה. התשתית חייבת לכלול דרכי גישה לחממות לצורך הכנסת שתילים ודשנים ולהוצאת סחורה גם בימי גשם ובז. מערכת אספקת המים לפרויקט צריכה להיות בספיקה, בלחץ ובאיכות הנדרשים. מערכת הניקוז תותאם לניקוז מי גשם, למניעת חדירת מי שטפונות ולריקון מכלי תמיסת הדישון, בעת הצורך, ותמיסת ההזנה מהמערכת. רצוי שיהיה ערוץ ניקוז זרימה בחוץ למי נקז עודפים או למי ריקון המערכת, אם יידרש, ולמניעת שחרור מים עם דשן לסביבה. בשיטת NFT רצוי שיהיה מכל מים רזרבי לגיבוי בעת הפסקות מים בנפח מתאים.

מרבית הגידולים ההידרופוניים מצריכים שמירה בקירור לאחר הקטיף, ויש להיערך בשלב התכנון להקמת אזור לאריזה ולקירור או מכולת קירור, בסמוך ככל הניתן לחממות הגידול. רצוי ליצור מעבר פנימי בין החממה לאזור האריזה והאחסון.

יש לתכנן ניקוז מים מהמערכת אל מחוץ לחממה. ניתן להשתמש במי המערכת המנוקזים להשקיה של גידולי חוץ אחרים.

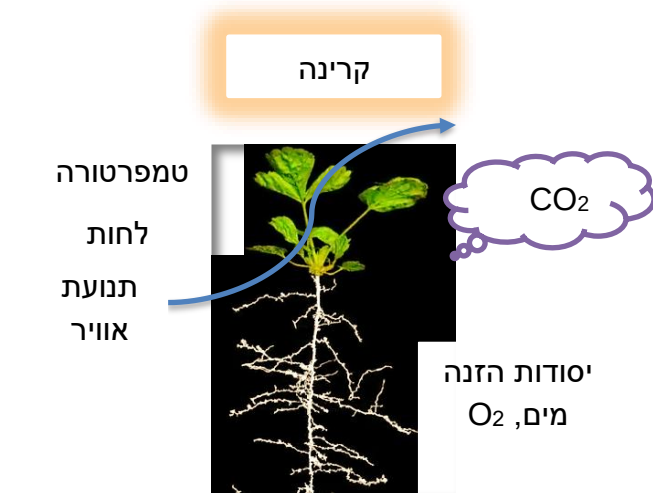
יש להקפיד על **איכות המים** המסופקים לפרויקט - חובה להשתמש רק במים באיכות שתייה, ואם המים המסופקים מליחים, יש להתקין מערכת אוסמוזה הפוכה, כדי להבטיח מי כניסה ברמה הדרושה.

תחזוקה - מערכת הידרופוניה הינה מערכת מורכבת הדורשת תחזוקה קבועה, ולכן נדרשת גישה נוחה למרכיביה, כמו מסננים, משאבות, צנרת, מערכת החשמל וכדומה, כך שתתאפשר תחזוקה, תיקון והחלפת רכיבים שכשלו, בקלות, במהירות, ללא עצירה ממושכת של המערכת ובעלות הגיונית. תקלה במערכת בתנאים של חוסר נגישות עלולה לגרום להשבתת כל החווה או חלק ממנה לתקופה ארוכה, תוך גרימת נזק לגידול הקיים ומניעת המשכיות בייצור, שהיא קריטית בגידול בהידרופוניה.

המבנה

גידול בהידרופוניה מבוצע לרוב בבית צמיחה. ניתן לגדל בשיטה זו במנהרות עבירות, בבתי צמיחה ואף בחס-רשת שהוא בית גידול המכוסה ברשת בקיץ ובפלסטיק בחורף. בית הצמיחה הינו אמצעי לבידוד הצמחים הגדלים בתוכו מהסביבה ומקנה להם תנאי גידול מטיביים, בתנאי שהמבנה הוקם בצורה מקצועית ומנוהל נכון. גידול בתנאים הטובים ביותר מאפשר התפתחות תקינה של הצמח ויצירת יכולת רב ואיכותי כל ימות השנה. גידול בתנאים אופטימליים מקצר את משכו ומאפשר מחזורי גידול רבים יותר במהלך השנה. שליטה מרבית בתנאי הגידול והגדלת כמות המחזוריים השנתיים יחייבו מערכת של בקרת אקלים, הכוללת שליטה על הקרינה (אור),

על הטמפרטורה, על הלחות היחסית של האוויר, על תנועת האוויר בין הצמחים ועל החלפת האוויר בתוך החממה, תוך שמירה על רמה אופטימלית של פחמן דו-חמצני, טמפרטורת תמיסת ההזנה, הרכבה הכימית של תמיסת ההזנה, רמת החמצן המומס בתמיסה וסניטציה של סביבת הגידול. המבנה מיועד אף להגנה על הגידול ממזיקים וממחלות באמצעות סינון יעיל של האוויר שנכנס לתוך המבנה ומניעת טפטוף מים על הצמחים. בעולם קיימות גם מערכות הידרופוניות סגורות - INDOOR - שבהן הגידול מבודד כולו מהסביבה, כאשר יוצרים לו סביבה מלאכותית, הכוללת תאורה, שליטה על טמפרטורה, לחות וריכוז הפחמן הדו-חמצני. מערכות אלו נחשבות יקרות יחסית, אף כי תאורת הLED שפותחה בשנים האחרונות מאפשרת תאורה יעילה וחסכונית באנרגיה, שהפכה את השיטה לכלכלית יותר.

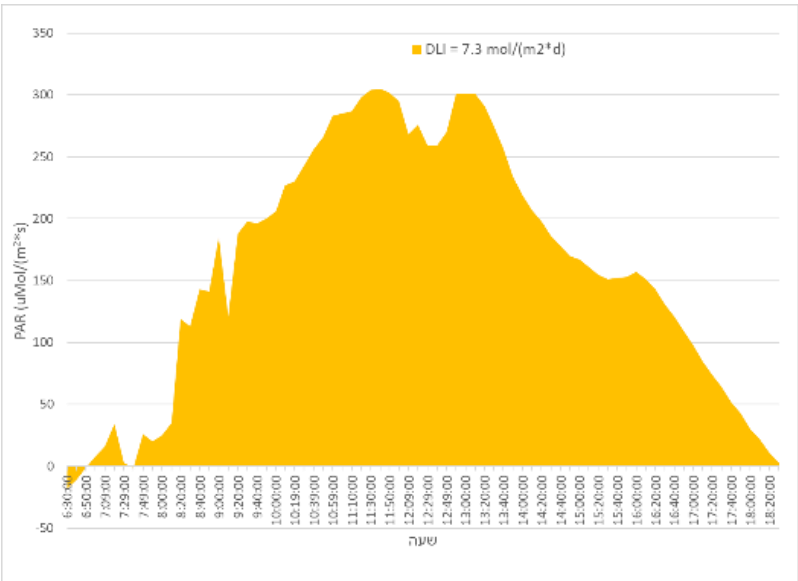


תמונה 4: הפרמטרים המשפיעים על הגידול

התנאים האופטימליים לגידול צמחים

ישנם תשעה פרמטרים חשובים בגידול צמחים, הניתנים להגדרה.

1. הממד החשוב ביותר הוא הקרינה (אור), הנקראת PAR - קרינה פעילה פוטוסינתטית. הקרינה משפיעה על כל יתר הפרמטרים והיא נמדדת בכמות הפוטונים (מיקרומול) ליחידת שטח (מ"ר) בזמן (שנייה). מסיכום הקרינה במשך כל שעות היום מתקבל ה- DLI אינטגרל אור יומי. בסביבה מוארת טבעית (ללא תאורה מלאכותית) הקרינה משתנה לאורך היום - מתחילה בחושך, האור עולה למקסימום בצהריים, והיא יורדת שוב לקראת הערב. באיור 1 מתואר ה- DLI באמצע יולי בחממה עם גג פלסטיק ורשת אלומינט 50% צל בתוכה.



איור 1: אינטגרל הקרינה היומי בתאריך 15.07.2020

2. טמפרטורת האוויר - ככל שרמת הקרינה גבוהה יותר - כך טמפרטורת הצמח עולה.
3. לחות - הצמחים מאדים מים, ולכן הלחות ליד העלים גבוהה מאוד. כדי למנוע רטיבות יתר, יש צורך להפחית את הלחות מסביבת העלים, באמצעות זרימת האוויר במבנה.
4. תנועת האוויר או מהירות הרוח במבנה - חשוב ליצור תנועת אוויר ליד הצמחים, כדי לגרום לתנועה עדינה של העלים.

5. פחמן דו-חמצני – משבי רוח תורמים להתחדשות של הפחמן הדו-חמצני. הצמח משתמש בפחמן כדי לייצר סוכרים. הריכוז של הפחמן הדו-חמצני באוויר הוא כ-400 ח"מ. אם יש מספיק תנועה של אוויר וזרימה של אוויר מבחוץ, הריכוז הנומינלי מספיק, אולם יכול להיות שהגורם המגביל של הצמח הוא ריכוז ה- CO_2 , ולכן יש מצבים שעדיף לספק ריכוז גבוה יותר של פחמן דו חמצני.
- הפרמטרים שלהלן מתייחסים למערכת השורשים.
6. טמפרטורת המים – לא רצוי שתעלה על 28 מ"צ.
7. המים – חייב להיות זמינים.
8. יסודות הזנה במים – חייבים לספק את כל יסודות ההזנה החיוניים לצמח.
9. חמצן מומס במים – חייב להיות זמין.

טבלה 2: תנאי גידול אופטימליים לחסה: ערכי הסף לתכנון בקר אקלים

מדד	מינימום	אופטימום	מקסימום
טמפרטורת אוויר ביום (מ"צ)	15	24	29
טמפרטורת אוויר בלילה (מ"צ)	4	19	19
טמפרטורת המים (מעלות)	18	25	28
לחות יחסית (אחוז)	40%	60%	70%
קרינה - אינטגרל יומי DLI (מול/מ"ר/יום)	12	15-17	22
או מיקרומול מ"ר לשנייה למשך 10-18 שעות		400	
CO_2 ח"מ	400		1000
ריכוז חמצן מומס במים	4	7	10

גידול במבנים בעלי בקרת אקלים פסיבית

מבנים פסיביים הם מבנים, שהאורור בהם הוא טבעי, במינימום התערבות, שתבוצע רק באופן ידני. יתרונה של גישה זו מתבטא בעלות נמוכה בהשקעה; וחסרונותיה - בקושי להגיב לתנאי אקלים משתנים, בעיקר בשעות ובימים שבהם לא נמצא צוות לתפעול החממה, כמו למשל בסופי השבוע. גם בחממה פסיבית יש להקפיד על אטימה מרבית של כניסת חרקים, ולהתקין רשתות 50 מ"ש על כל הפתחים ודלתות כניסה כפולות. שיטת האורור תלויה בתנאי הסביבה החיצונית. ניתן להתבסס על אורור טבעי, כאשר גג המבנה והצדדים מכוסים ברשת נגד חרקים, ובתוספת של רשת צל בעונת הקיץ. ניתן לשלוט באורור בעזרת חלונות צד נגללים ידנית, הנסגרים לקראת ערב ונפתחים בשעות הבוקר. בימים גשומים ניתן לשמור על מבנה סגור, אך גם אז רצוי להשאיר פתח של כ- 20 ס"מ לאורור ולמניעת יצירת מצב של אוויר רווי מים בתוך החממה.

מנהרות עבירות - רוחבן לרוב כ-9-10 מטרים והן מצוידות בחלונות צד נגללים. הכיוון הרצוי של מנהרות עבירות הוא ממזרח למערב, אלא אם כיוון הרוח השגורה או השיפוע הטבעי של השטח מחייב כיוון אחר. אורך המנהרה מושפע בעיקר מיעילות העבודה, ורצוי שלא יעבור את 50 המטרים. אחד היתרונות של מנהרות עבירות הוא היכולת לגדל בתאים נפרדים, כך שאם הזדהמה מערכת אחת במזיקים, ניתן לנטרל אותה ולהמשיך בגידול בשאר המבנים. במנהרה עבירה חשוב לדאוג על אורור בחלונות צד אטומים ברשת 50 מ"ש, הניתנים לסגירה ולפתיחה באמצעות וילונות נגללים.

חממה מרובת גמלוני

גובה מרזב: ככל שהמרזב גבוה יותר - האקלים בגובה החסה יהיה ממוזג יותר ותידרש פחות אנרגיה לחימום או לקירור. בארץ מקובל להשתמש במרזב שגובהו 4-5 מטרים.

האורור המקובל בישראל הוא מקירות הצד, ובמקרה כזה יוגבל אורך המרזב ל-30-40 מטרים. אם מותקנים בחממה חלונות גג, אין הגבלה באורך המרזב, אך עדיין כדאי לחשוב על שטח כל יחידת גידול, כדי שניתן יהיה להפריד יחידות לצורך שמירה על ניקיון ממזיקים, אף כי מבחינת יעילות בעבודה יש עדיפות למבנים גדולים. גם בחממה פסיבית יש לדאוג לדלת כניסה כפולה, שתימנע כניסת חרקים, אולם תאפשר הובלה של סחורה והכנסה נוחה של שתילים.

בקרת אקלים ידנית: בחממה פסיבית ישנם כמה אמצעים המאפשרים לשלוט באקלים, בהתאם לצרכים המשתנים בין העונות: כיסוי המבנה בפלסטיק עם תוסף IR; החלפת גג החממה מרשת לפלסטיק בעונת החורף - גישה המכונה במקומותינו חם-רשת; תוספת רשת צל קבועה לתקופת הקיץ, המפחיתה את עוצמת הקרינה ואת עומס החום בעונת הקיץ; הצבת מערכת פוגרים (מערכת עילית), המנדפים מים לתוך המבנה לשם צינונו

לבקרת אקלים; ושליטה ידנית על פתיחה וסגירה של חלונות צד וחלונות גג, בהתאם לדגם החממה. במרבית המקרים בתנאי הארץ טכנולוגיה זו מועדפת על החקלאים, בעיקר עקב עלותה הנמוכה יחסית.

חממות מבוקרות אקלים: חממות אלו מצוידות ברמות שונות של טכנולוגיה ובאמצעים המאפשרים לשלוט על האקלים בתוך החממה: חלונות צד נגללים בעזרת מנוע חשמלי; חלונות גג נגללים חשמלית; מסך הצללה זחית המאפשר לשלוט ברמת הקרינה בתוך החממה - ישנם מסכי הצללה המותקנים בתוך המבנה, ומסכי הצללה זחיתים המותקנים מעל המבנה; מסך טרמי זחית המיועד להקטנת אובדן החום בשעות הלילה; מאווררי ניקה המיועדים להחלפת האוויר בתוך המבנה; מזרן לח המיועד לצנן בנידוף את האוויר הנשאב לתוך המבנה. אם משתמשים במערפלים (פוגרים), יש להתקנים ככל הניתן כך שטיפות המים תתאדינה לפני הגעתן לנוף הצמחים. במקרה שמשתמשים במערפלים היוצרים טיפות גדולות, שמגיעות לנוף הצמחים, יש להקפיד על הפעלת מתזים, אם קיימים, בתדירות שתאפשר את ייבוש נוף הצמחים בין כל שתי הפעלות, כדי למנוע התפתחות של מחלות עלים, כמו כשותית בחסה.

כדי לשלוט בתנאי האקלים, אפשר להקים חממה עם בקרת אקלים אקטיבית, שבה הגג מכוסה בפלסטיק כל השנה, ובקיץ מותקנת מעליו רשת צל שחורה או רשת מסוג אלומינט, המפחיתה את הקרינה החודרת לחממה בכ-40% צל להקטנת עומס החום. את הרשת מסירים בחורף. קירות החממה יחופו ברשת 50 מ"ש ובוילונות פלסטיק נגללים. בקיר אחד, לרוב בקיר הצפוני, יותקנו מאווררים להחלפת האוויר בחממה, כלומר להכנסת אוויר מהחוץ, ולהוצאת האוויר החם והלח, כך שהמאווררים ייצרו בין 40-60 החלפות אוויר לשעה. הצד הנגדי של החממה יכוסה ברשת 50 מ"ש או במזרן לח, וגם הוא מוגן ברשת 50 מ"ש, רצוי במרפסת משופעת שתגדיל את שטח הפנים של הרשת, כשיתר הקירות סגורים להבטחת זרימת אוויר לאורך כל החממה. כאשר אין מזרן לח, אפשר להתקין מפל מים (פרטים מפורטים בהמשך) בגובה, בצד הנגדי למאווררים. מים אלה יסייעו לקירור האוויר הזורם לאורך החממה. גם כשיש מזרן לח וגם כשאין – מציבים את המפל בקיר הנגדי למאווררים, כדי למנוע התזת מים ישירות על המאווררים למניעת החלדתם. ניתן להתקין מסכים במבנה, מסך טרמי או מסך להצללה (במקום על הגג). בקרת האקלים בחממה תתבצע בעזרת חיישני טמפרטורה ולחות פנימיים, חיישן קרינה וחיישן פחמן דו-חמצני (פד"ח) (אופציונלי). במקרה שמתקנים מזרן לח, חשוב ביותר שמחוץ לו תותקן מרפסת מחופה ברשת 50 מ"ש או 75 מ"ש, כדי שהאוויר הנכנס לחממה יסונן וימנע חדירת חרקים. אם הרשת 50 מ"ש צמוד למזרון לח מהצד שמחוץ לחממה, הרשת מפחיתה את זרימת האוויר דרך המזרון לח, והמזרון לא עובדת בצורה יעילה. חשוב לייצר גידולי עלים נקיים ככל הניתן מחרקים, תוך הימנעות מרבית משימוש בחומרי הדברה.

במבנים מסוג חם-רשת מחליפים את הרשת, המכסה את גג המבנה, לחיפוי פלסטיק לקראת עונת הגשמים. שיטה זו מתאימה לאזורים שאינם נחשפים לאבק רב ושקיימת בהם תנועת אוויר טובה רוב הזמן. ניתן גם להתקין מאווררי סחרור לשיפור תנועת האוויר בתוך המבנה, אך בהקפדה על יצירת תנועת אוויר מתונה בתוך נוף הצמחים, כיוון שהיא אמצעי מוכח להפחתת התפתחות מחלות עלים, כמו כשותית או בוטריטיס. במבנים או במנהרות יש ליצור כניסות כפולות עם שתי דלתות, כדי למנוע כניסת חרקים בכניסה וביציאה מהחממה. חשוב שהכניסה הכפולה תיבנה כך שיתאפשר מעבר נוח למבנה ותופרע כמה שפחות הפעילות השוטפת, כמו הוצאת תוצרת לשיווק. יש להניח במעבר ספוג עם אקונומיקה לדריכה לניקוי נעלים בכניסה לחממה. כאמור, יש להקפיד על סגירת החממה עם דלתות כפולות ולהפחית ככל הניתן את כמות המבקרים בה כדי לשמור על הסניטציה בחממה.

שיטות הגידול

ניתן לשתול בעומד משתנה או בעומד סופי. לקרינה תפקיד מרכזי ומשפיעה ישירות על גודל החסה ורמת היבול, ככל שהגידול צפוף יש עלים שלא נמצאים באור אלא בצל של העלים השכנים, ואין עליהם מספיק קרינה. עומד משתנה - שותלים חסה בצפיפות גבוהה - עד 54 צמחים למ"ר. בתנאי גידול מבוקרים מעתיקים את השתילים כשבועיים לפני האסיף לתבנית של 25 צמחים למ"ר. עומד קבוע - המרחק המומלץ בין השתילים הוא של 18-20 ס"מ. בארץ נהוגות שתי שיטות גידול: בריכות עמוקות – DWT, ותמיסה זורמת.

בשיטת הבריכות העמוקות הגידול נעשה על קלקר צף, ללא אוטומציה. הבריכות תהיינה מפלדה מגולוונת, ואטומות בפוליאתילן לבן בעובי 0.5 מ"מ. אפשר להוסיף לפני הפוליאתילן בד גיאטרמי למניעת נזילות.



תמונה 5: בניית הבריכות, קירוי הבריכה, ריפודה וכיסויה ביריעת פוליאתילן



תמונה 7: גידול חסה בבריכה מורמת



תמונה 6: תשתית לבריכות מורמות

רוחב הבריכה יהיה תלוי ברוחב מפתח המבנה ובנוחות העבודה (3-4 מטרים). הבריכה יכולה להיות מורמת, מונחת על פני הקרקע או שקועה, כך שמפלס המים יגיע לפני הקרקע. למשקל המים יש השפעה על עומק הבריכה המורמת, ובדרך כלל נהוג שבריכה מורמת תהיה בעומק של כ-5-10 ס"מ, בעוד שעומקה של הבריכה המונחת על פני הקרקע נע בין 20-40 ס"מ. אורך הבריכה יכול להיות כאורך המבנה, תוך התחשבות בשבילי העבודה. בריכה אופרטיבית היא בריכה שממנה זורמים מים לצד הנגדי לכניסה, מכניסים את הדשנים ויסודות ההזנה, משלימים את המים שהתאדו ואפשר להתקין משאבה טבולה כדי לדחוף את המים לכניסת הבריכה. המים יסוחררו במערכת אוטונומית לכל בריכה על ידי משאבות (טבולות או לא טבולות) בספיקה של 10-13 מ"ק/שעה, כך שהמים ממוחזרים מצד אחד לצד האחר 10-17 פעמים ביממה. תנועת המים מסחררת את יסודות ההזנה ושומרת על הטמפרטורה שלהם. השיטה המומלצת היא שלכל בריכה יהיה מכל אופרטיבי בנפח 1 מ"ק, המוצב מעט מעל גובה מפלס המים של הבריכה. תוספת גובה זו תמנע זרימה שתגלוש מעל לגובה הבריכה, כאשר יש הפסקת חשמל והמשאבה אינה פועלת. מחברים את המכל לבריכה בעזרת צינור תת-קרקעי, המוחדר אליה, כך שזרימת המים היוצאים מהבריכה אל המכל תהיה גרביטציונית. המים מושבים לבריכה מצדה הנגדי דרך צינור מחורר או מכמה נקבים (טושים) הנמצאים לרוחב הבריכה בגובה 1.5 מ' מעל מפלס המים. מפל המים מבטיח ספיחת חמצן מומס למים וקירורם. נפח המים בבריכה משמש כבופר לשינויים של טמפרטורת המים. ככל שהנפח גדול יותר, יהיו שינויי הטמפרטורה קטנים ואיטיים יותר. נמצא שטמפרטורת המים בקיץ בבריכה יכולה לעלות מעל 28-29 מ"צ, ובתנאים אלו נדרש צינון המים. מקובל לצנן את הבריכה באמצעות מגדל קירור, צילר או מפל מים בגובה של כ-1.5 מטר. באמצעות המפל ניתן לשמור על טמפרטורת מים הנמוכה מ-29 מ"צ במשך הקיץ ועל ריכוז החמצן המומס בין 7-8 ח"מ. יש יחס ישיר בין ריכוז החמצן המומס במים לבין הטמפרטורה. כאשר הטמפרטורה עולה - ריכוז החמצן המומס יורד. הצמח צורך חמצן בנשימת השורשים, לכן מפחית את הריכוז בסביבתם.



תמונה 9: מפל מים בכניסת המים לבריכה



תמונה 8: מכל אופירטיבי לכל בריכה



תמונה 10: מפלי מים בכניסה לבריכה, המוצבים בגובה ובסמוך לבריכה, לשם הורדת טמפרטורת המים, ומתאימים לשימוש בעיקר בחורף, כאשר לא רצוי לקרר את המים



אחת הבעיות היא התפתחות של אצות ליד מפל המים. המים הזורמים מטה מתיזים גם לצדדים, ולכן חייבים לבלום את הרסיסים על ידי מחסום פלסטיק או רשת, כדי שלא יפגעו בצמחים. על הרשת נוטות להתפתח אצות, מכיוון שישנה חשיפה לאור וליסודות הזנה בתוך המים. בשל הנפח של המים בבריכה משתנים ריכוזי יסודות ההזנה וטמפרטורת המים בקצב איטי יחסית, כך שאפשר להשלים את החסר בתדירות של פעם עד פעמיים בשבוע. חשוב לבקר את ריכוז החמצן המומס במים באזור הצמחים ולדאוג שיהיה בטווח של 7-8 ח"מ. בריכוז הנמוך מ-3 ח"מ ייגרם נזק לשורשים והצמח ימות.

במקרה שאין מספיק חמצן מומס במים, חייבים לספק חמצן על ידי מדחס, הקשור לאבני אוויר שנמצאים בתוך המים או באמצעות משאבות ונטוריות, המחדירות אוויר לאורך הבריכה. גודל הבועה משפיע על מסיסות החמצן בתוך המים: בועות גדולות יעלו לפני השטח, ופחות חמצן יהיה מומס בתוך המים. יש מכשירים המייצרים בועות זעירות (ננו), ושיטה זו נמצאת עתה בבדיקה. הבעיה של מחסור בחמצן נפוצה בקיץ, כיוון שבחורף אין צורך בדרך כלל בהעברת המים בכניסה לבריכה דרך מגדל מים כי בחורף ריכוז החמצן במים יותר גבוה עקב טמפרטורות הנמוכות של המים. אפשרות נוספת לאספקת חמצן לשורשי הצמחים היא על ידי הגבהת משטחי הקלקר הצפים בכ-2-3 ס"מ מעל למים, וכך נוצרת שכבת אוויר לח, המספקת את החמצן הדרוש לשורשי האוויר המתפתחים בה.

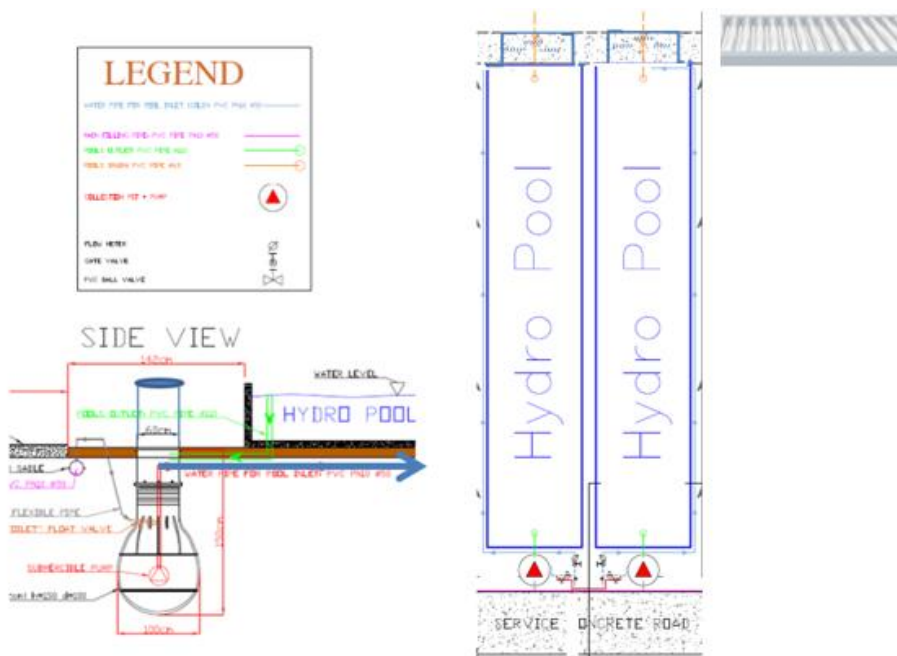
חשוב ביותר לשמור על תנאים אירוביים במים. מיקרו-בועות וננו-בועות עשויות לדכא את הצמיחה של מיקרואורגניזמים אנאירוביים.

השתילים יישתלו במגשי קלקר במידות נוחות, שאפשר יהיה בקלות להרימם מחוץ לבריכה בתום הגידול, לדוגמה: 100 ס"מ X 60 ס"מ X 5 ס"מ, כאשר בכל מגש יהיו 15 קדחים קוניים (3 שורות של 5 חורי שתילה במרחק של 20 ס"מ מכל חור). צפיפות הקלקר: 30 גרם/סמ"ק.



תמונה 11: קידוח חורי השתילה בקלקר

ברגע הכנסת הדשנים למים, חייבים לחסות את פני המים, כדי למנוע התפתחות של אצות בבריכה. בתכנון הבריכה יש לחשוב על דרך לרוקנה בעת הצורך. רוב המגדלים שואבים את המים החוצה בעזרת משאבה טבולה, כשנדרש לנקז את המים החוצה. חשוב לדאוג לאגן איסוף למים המוצאים מהחממה או לנצלם להשקיית מטע או גידולי שדה סמוכים, כדי למנוע זיהום של הסביבה.



איור 2: תמונה סכמטית של בריכות, צנרת ומכל אופרטיבי; רצוי שמפלס המכל יוגבה ממפלס הבריכה, ושיוצב מערך של פס נע בקצה הבריכה לשם מעבר החסות לבית אריזה

שיטת NFT

גידול בתעלות מסוכן מגידול בבריכות, כיוון שקצה השורש בלבד נמצא בתוך שכבה דקה של מים הזורמים במהירות של 0.17-0.84 ליטר לדקה. במקרה של תקלה במערכת המים, בחשמל או במשאבות, ימותו הצמחים מהר. בשיטה הזאת חובה להצטייד בגנרטור חירום, שיספק חשמל למשאבות בעת הפסקת חשמל, כדי שהמים יזרמו בתעלות. חשוב ביותר לבדוק את הגנרטור באופן תדיר ולוודא שאכן ייכנס לפעולה בשעת הצורך, כשבו כמות דלק שתספיק ל-34 שעות (במקרה שתהיה תקלה בערב שבת). רצפת החממה תכוסה בפלריג או בבטון יצוק כדי למנוע צמיחת עשבייה ולשמור על רצפה נקייה. שולחנות לתמיכה בתעלות יונחו על גבי הפלריג או רצפת הבטון.

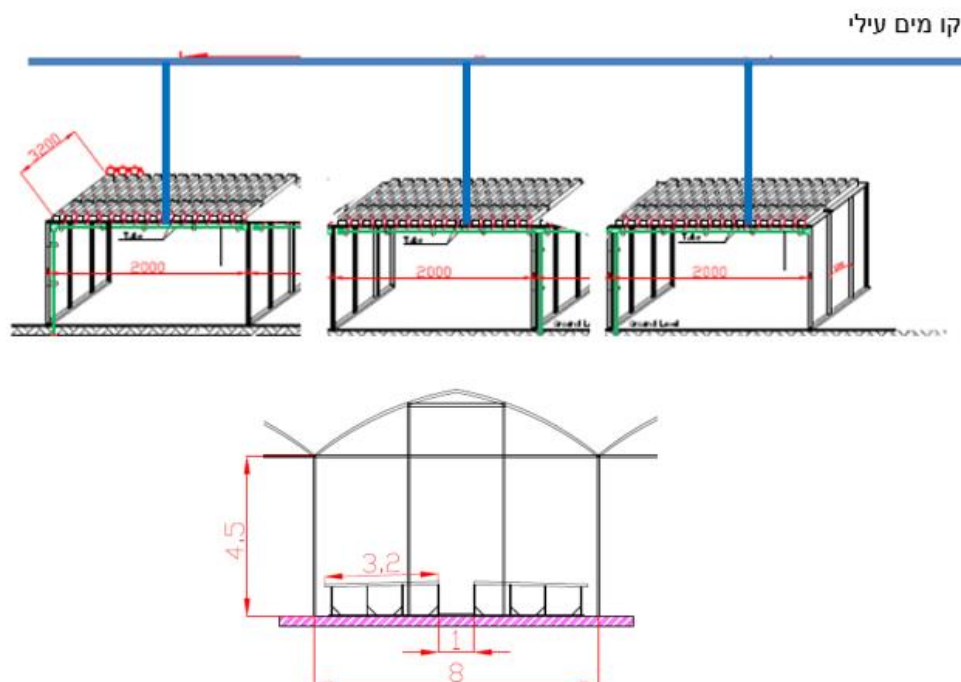
מומלץ שאורך התעלה המינימלי יהיה 3 מטרים, ואורכה המקסימלי יהיה 9 מטרים. רוחב התעלה הרצוי: כ- 15-16 ס"מ, ועומק התעלה בין 4-8 ס"מ. בארץ התעלות צרות יותר - רוחבן 12.5 ס"מ. עדיף שהתעלה תהיה שטוחה בתחתית (לא עגולה). יש תעלות המחורצות בתחתיתן. התעלות מונחות על שולחנות. אפשר לסדר את התעלות בשיפוע של 1% עד 3%, כאשר הן מתנקזות למרזב (תעלת ניקוז). תעלת הניקוז יכולה להיות נמוכה יותר מהשולחן ב-20 ס"מ, כדי ליצור מפל מים לתוך צינור הניקוז ולהעשיר את המים בחמצן. בקרת הספיקה תיעשה באמצעות חיבור מתז לראש כל תעלה או בצינורית לכל תעלה כדי להבטיח מהירות זרימה מספקת. עדיף שקוטר הצינור בכניסה לתעלה יהיה 8-9 מ"מ למניעת סתימות בצינורית. אם מהירות הזרימה אטית מדי או אם התעלה ארוכה מדי, תמיסת ההזנה לא תהיה אחידה, והצמחים במורד התעלה עלולים שלא לקבל את יסודות ההזנה הדרושים להם. אסור שיהיו נזילות או דליפות, כך שכל תמיסת הזנה תוחזר למכל מרכזי, שבו מערבבים את המים עם הדשנים, כדי לשמור על pH קבוע (בין 5.0-7.0) ועל EC בסביבת 1.2-2.3 דציסימנס למטר. טמפרטורת המים הרצויה נמוכה מ-29 מ"צ, כדי להבטיח מספיק חמצן מומס במים. מערכת זו מחייבת בקרה קפדנית אחר טמפרטורת המים, ה-EC וה-pH, וכן מסננים (עדיף עם שטיפה אוטומטית) ביציאה מהמכל, כדי להבטיח מיחזור מים ללא חומר אורגני למניעת סתימות בצינורות ההובלה. נדרשים גם צינורות הובלה בקוטר 2" לחיבור בין המכל לכניסה לתעלות, וכן משאבת מים חיצונית, טבולה או שאינה טבולה, ועדיף שתי משאבות למקרה הצורך.



תמונה 12: השוני בפריסת השורשים בין שתי שיטות הגידול: בריכות (מימין), ו-NFT (משמאל)



תמונה 13: זרימת המים מתעלות NFT למרזב למיחזור המים; מפל קטן ביציאה מעשיר את המים בחמצן



איור 3: תמונה סכמטית של NFT

סניטציה וניקוי המגשים והתעלות לאחר הקטיף הן פעולות חשובות ביותר. מיד לאחר הקטיף יש לשטוף את הקלקרים ואת תעלות הזרימה במברשת, במים ובסבון ולהסיר את כל העלים, השורשים והחומר האורגני שנדבק לקלקר, כולל אצות שהתפתחו במהלך הגידול. קיימות מכוונות שטיפה מכניות לשטיפת הקלקרים. לאחר השטיפה יש להניח את הקלקרים בשמש על גבי משטחים, כדי שיתייבשו ויחוטאו סולרית, למניעת מחלות בהמשך. אפשר להזרים בתעלות מי חמצן בריכוז גבוה יחסית בסוף הגידול, בתנאי שהנקז אינו חוזר למכל האגירה.



תמונה 14: ניקוי וייבוש הקלקר בשמש לפני שימוש חוזר

תמיסת ההזנה

יש לקבוע את הרכב התמיסה (יחס היסודות המזינים) לפי הריכוזים הרצויים של כל אחד מהיסודות בצמח (טבלה 3 להלן). מגדלים רבים סבורים כי עדיף לספק רמה גבוהה יותר של חומרים מזינים בתמיסה מהרמות הדרושות, אך אין זה נכון, כיוון שנוצר חוסר איזון מסוכן בקליטת יסודות ההזנה. כך למשל, האשלגן נקלט במהירות מתמיסת ההזנה, ואם הוא מסופק ברמות עודפות, קליטתו תעכב את קליטת הסיידן ותיצור חוסר סידן ומגנזיום. שמירה על אשלגן בריכוזים נמוכים, כנדרש באזור השורשים, תשפר משמעותית את קליטת הסיידן ותסייע למניעת שחור פיטם או החמות בעלי חסה, הנגרמים כתוצאה ממחסור בסיידן בגידולי עלים. מכיוון שהיסודות נקלטים בקביעות מתמיסת ההזנה וריכוזם בה הולך ופוחת, נראה כי יש להוסיף תוספת אוטומטית של דשנים בתמיסת מילוי, כדי להימנע מהידלדלותם. אין צורך להוסיף בתדירות גבוהה מילוי מחדש. החומרים התזונתיים, הנקלטים במהירות מתמיסה, מתניידים בצמחים, כלומר הצמחים יכולים לאחסן אותם בשורשים, בגבעולים או בעלים ולהניע אותם מחדש לפי הצורך בתהליך שנקרא טרנסלוקציה. בבדיקות מעבדה ריכוז המנגן (Mn) לרוב נמוך מאוד, כך שאינו ניתן למדידה, כי הצמחים קולטים אותו במהירות מתמיסת ההזנה, אך הוא מצוי בהם בשפע בעלים.

חייבים לספק את כל יסודות ההזנה החיוניים בתמיסת ההזנה. כמה ניסוחים תזונתיים טיפוסיים (מרשמים), שהופקו במהלך השנים על ידי חוקרים ומגדלים מסחריים שונים מוצגים בטבלה 5, והריכוזים הרצויים ליסודות בתמיסת ההזנה מופעים בטבלה 6. בירקות עלים ניתן להשתמש בנוסחה דו-שלבית: בשלב הראשון מספקים כמחצית מהריכוז הסופי במשך השבועיים הראשונים של הגידול, ובשלב השני, כעבור שבועיים מתחילת הגידול ועד לקטיף מעלים לריכוז המלא. אפשר להכין את הדשנים, כמו בכל גידול, או להשתמש בדשן נוזלי מוכן.

טבלה 3. טווח רמות יסודות ההזנה בצמחים בריאים בבדיקות עלים

ריכוז יסוד הזנה בחומר יבש	חסה	
%N	3.0-6.0	
%P	0.7-1.3	
%K	5.0-10.8	
%Ca	1.1-2.1	
%Mg	0.3-0.9	
Fe (ppm)	130-600	
Mn (ppm)	20-150	
Zn (ppm)	45-120	
Cu (ppm)	7-17	
Mo (ppm)	1-4	
B (ppm)	25-40	

טבלה 4. שיעורי הקליטה המשוערים של יסודות הזנה חיוניים מתמיסת ההזנה

קבוצה 1 - קליטה אקטיבית, הסרה מהירה מתמיסת ההזנה	NO ₃ , NH ₄ , P, K, Mn
קבוצה 2 - קליטה בינונית	Mg, S, Fe, Zn, Cu, Mo, Cl
קבוצה 3 - קליטה פסיבית, הסרה איטית	Ca, B

טבלה 5. הרכבים שונים של תמיסות הזנה בח"מ

יסוד הזנה		ריכוז מ"ג/ל'			
		הוגלנד וארנון (1938)	שוואץ (ישראל)	רש (אנגווילה) 2011 חסה	קופר (1979)
N-NO ₃	חנקן חנקתי	196	98	185-195	200-236
N-NH ₄	חנקן מאמון	14	0	0	50
P	זרחן	31	93	50	60
K	אשלגן	234	312	210	300
Ca	סידן	160	124	200	170-185
Mg	מגנזיום	48	43	50	50
Fe	ברזל	0.6		5	12
Mn	מנגן	0.5	0.5	0.5	2
Cu	נחושת	0.02	0.05	0.15	0.1
Zn	אבץ	0.05	0.05	0.15	0.1
B	בורון	0.5	0.1	0.3	0.3
Mo	מוליבדין	0.01	0.01	0.05	20
S	גופרית	64	160	66	68
Na	נתרן			50-90	
Cl	כלוריד			65-253	

טבלה 6. ריכוזים מומלצים מהניסיון בארץ של יסודות ההזנה בתמיסת ההזנה

ריכוז מ"ג/לי			יסוד הזנה	
מקסימום	אופטימום	מינימום		
300	100-200	50	חנקן חנקתי	N-NO ₃
200	20-50	3	זרחן	P
800	100-300	50	אשלגן	K
400	100-300	75	סידן	Ca
80	25-50	15	מגנזיום	Mg
12	2-3	0.9	ברזל	Fe
100	32-100	25	גופרית	S
2.5	1	0.5	מנגן	Mn
1	0.1	0.05	נחושת	Cu
2.5	0.1	0.05	אבץ	Zn
1.5	0.3-0.5	0.1	בורון	B
0.1	0.05	0.01	מוליבדין	Mo
250			נתרן	Na
400			כלוריד	Cl

לפני שמרכיבים את תמיסת ההזנה, יש לבצע אנליזה של מי הברז כדי להתחשב ביסודות ההזנה שבמים בהכנתה. בהמשך, בערך אחת לחודש, יש לבדוק את היסודות : pH, EC, Cl, Na, Ca, Mg, N-NO₃, N-NH₄, P, K, SO₄. B, Fe, Mn, Zn, HCO₃. איכות הדשנים צריכה להיות כזו המתאימה לחממה. הדשנים העיקריים המשמשים להרכבת תמיסת ההזנה הם מוצקים בשק של 25 ק"ג, הכולל גופרת מגנזיום, אשלגן גופרתי, פיקאסיד, חנקת אשלגן, MKP, חנקן סידן, חנקת מגנזיום, מיקרואלמנטים וכילאט ברזל; דשנים נוזליים בקנקן של 10 ליטר, הכולל קלניט, מגנזאון, ברטיף, ברקורט, קורטין מנגן, קורטין וחומצה זרחתית. ישנם מכלים גדולים יותר של חומצה חנקתית ושל חומצה גופרתית.

אפשר להשתמש בדשן בסיס, בדשן מורכב נוזלי, כמו דשן מור : 4-2.5-6-2Ca-1Mg+6+600Mn, או בדשן הדומה לו, נטול כלורידים, אשר מרכיב את מרבית יסודות ההזנה (חנקן, זרחן, אשלגן, סידן, מגנזיום וכל המיקרואלמנטים החיוניים), ולהשלים בו את היסודות הנמצאים בחוסר על ידי דשנים בודדים מסיסים. אפשר גם להרכיב את תמיסת ההזנה מדשנים מוצקים. בכל עניין או סוגיה בנושא ניתן לפנות למדריכי שירות שדה היכולים לסייע בהרכבת הדשנים.

הרכבת תמיסות הזנה

מרשמים להכנה עצמית של תמיסת ההזנה

כאשר מכינים תמיסה סופית אפשר לערבב את כל הדשנים יחד בתוך המים בלי לפחד משקיעה של יסודות ההזנה זה בזה (למשל היווצרות גבס עם סידן וגופרית יחד).

יש להשתמש בסידן חנקתי, המספק גם סידן וגם חנקן חנקתי. כל תוספת חנקן נדרש תסופק על ידי אשלגן חנקתי, המספק גם אשלגן. כל הזרחן ניתן להשגה מפוספט חד-אשלגן, המספק אף אשלגן. ניתן להשיג את דרישת האשלגן שנותרה מאשלגן גופרתי, המספק גם מעט גופרית. גופרית נוספת תגיע ממגנזיום סולפט, המספק את צורכי המגנזיום. לגבי המיקרואלמנטים - ניתן להשיגם ממיקסים מסחריים (ראה טבלה 7).

טבלה 7. דוגמה להרכב דשנים לקבלת ריכוזי המקרואלמנטים והמיקרואלמנטים הנדרשים
מקרואלמנטים

S ppm	Ca ppm	Mg ppm	K ppm	P ppm	N-NH4ppm	N-NO3ppm
33	85	20	180	24	0.4	97

דשן	נוסחה כימית	גרם למ"ק
חד אשלגן זרחתי (פיק- (MKP	0-52-34	250
חנקת סידן	15.5-0-0-26.5	450
מגנזיום סולפט MgSO4*7H2O	Mg 9.75% S 13%	200
חנקת אשלגן	13-0-46	250
אשלגן גופרתית (SOP)	0-0-51 S 18%	40

מיקרואלמנטים

דשן	משקל נפחי ג'/סמ"ק	כמות סמ"ק למ"ק	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mo (ppm)	B (ppm)
בר קורט	1.22	200	2.40	1.20	0.60	0.1	0.06	
B-7000	1	24						0.20
סה"כ			2.40	1.20	0.6	0.1	0.06	0.20

תוספת EC (המוליכות החשמלית) למי ברז תיעשה לפי תוכנית הדישון הנה"ל 1.1 dS/m.
ה- pH יהיה כמו במי הברז, אך אם משתמשים בתחילה במים מותפלים, ייתכן שיהיה צורך בהעלאת ה- pH לערך שבין 5.0 ל-7.8.

הוראות להמסת הדשנים במי השקיה

- מלא את מכל תמיסת ההזנה במים עד כשליש ממנו.
- ממיסים כל דשן מוצק בנפרד בדלי של כ- 15 ליטר מים. מוסיפים את המים לדשן ומערבבים במרץ. השתמש בצינור בלחץ כדי לסייע בערבוב. בדרך כלל כל כמות הדשנים לא תתמוסס עם התוספת הראשונה של המים, לכן שופכים את החלק הנוזלי המומס למכל האחסון (אופרטיבי) וחוזרים על הוספת המים, תוך ערבוב הדשן, עד שכולו נמס לתמיסה. כשמדובר במלחים קשי-תמס, יש להשתמש במים חמים.
- ממיסים תחילה את יסודות המקרו, ולאחר מכן את יסודות המיקרו.
- במערכות קטנות ניתן לערבב את הסולפטים יחד בצורה היבשה לפני ההמסה, למשל K₂SO₄ עם MgSO₄. את החנקות ניתן לערבב עם פוספטים בצורה יבשה לפני המסתם, למשל KNO₃ עם KH₂PO₄. את חנקת הסידן יש להוסיף בשלב האחרון.
- במערכות גדולות יותר הוסיפו תחילה אשלגן גופרתי. לערבוב טוב יותר, הפעילו את משאבת ההשקיה של המערכת.
- מלאו את המכל לפחות עד כדי מחציתו, אך לא יותר משני שלישים, ואז הוסיפו את חנקת האשלגן.
- מלאו את המכל עד כדי שלושה רבעים, ואז הוסיפו מגנזיום סולפט ומונופוטסיום פוספט.
- הוסיפו סידן חנקתי לאט, תוך כדי ערבוב התמיסה.
- הוסיפו את יסודות המיקרו, למעט כילאט ברזל.
- בדקו את pH תמיסת ההזנה, ואם צריך להוריד את רמתו - מוסיפים חומצה גופרית (H₂SO₄) ; ואם צריך להעלות את רמתו מוסיפים סודה לשתייה או אשלגן הידרוקסיד (KOH). pH גבוה (יותר מ- 7.8) יוצר משקעים של Ca²⁺, PO₄³⁻, Mn²⁺, Fe²⁺ ו- Mg²⁺, כמלחים שאינם מסיסים ואינם זמינים.

בקרת תמיסת ההזנה

בקרת תמיסת ההזנה חשובה ביותר, במיוחד בשיטת NFT, כאשר נפח המים הזורמים בתעלות אינו גדול (כ- 4 מ"ק לדונם) והשינויים בהרכב התמיסה מתרחשים במהירות. במערכת כזאת כדאי להתקין מד pH ומד EC אונליין, כדי לעקוב אחר הפרמטרים הללו באופן רציף. יש לעקוב גם אחר ריכוז החנקן במים, ואם יש ניטריט במים, הדבר מעיד על חוסר חמצן במים או על חוסר מיקרובים דיניטריפיקנטים. כל מגדל חייב לבצע בדיקות שבועיות של מרכיבים אלו, כולל טמפרטורת המים. רצוי שיהיו ברשות המגדל גם מד אשלגן, מד סידן ומד נתרן, וכן ערכות למדידת כלורידים וחמצן מומס במים. בנוסף לבקרה בשדה, יש לבצע אנזליה במעבדה לכל יסודות ההזנה, אחת למחזור גידול, כדי לשמור על איזון בתמיסת ההזנה לאורך שנים.

חמצן מומס במים

החמצן נקלט דרך השורשים, וישנה חשיבות רבה לריכוז החמצן המומס בתמיסת ההזנה. כאשר הריכוז מספק, צבע השורשים לבנים; וכאשר יש מחסור בחמצן - השורש משחיר ומת. הדרך הקלה ביותר לבדוק אם יש די חמצן במים היא להרים את הצמח ולהתבונן בשורשים. יש דרכים אחדות לספק חמצן במים: באמצעות משאבות ונטוריות המכניסות אוויר למים; מפל מים המחדיר אוויר למים; קומפרסור או מדחס המכניס חמצן למים דרך אבני אוויר (כמו באקווריום) או בשיטות אחרות. ככל שבועות האוויר קטנות יותר - הן נשארות במים זמן ממושך יותר. בועות גדולות עולות לפני השטח ויוצאות לאטמוספירה.

סימני מחסור בעלים

סימני מחסור בעלים מעידים על תקלה בפיזיולוגיה של הצמח, וכתוצאה מכך – על פגיעה בצמיחה הנגרמת על ידי מחסור או עודף במינרליים. התקלה מתבטאת על ידי הצמח באופן חיצוני או פנימי בצורה של סימני מחסור או עודף. אבחון של ההפרעה התזונתית, מחסור או עודף בכל יסוד חיוני הגורם לתסמינים מובהקים, מצריך מיומנות לזיהוי הגורם. יסודות הזנה מסווגים לניידים ולבלתי ניידים; כשלחלקם יש דרגות שונות של ניידות. יסודות ניידים עוברים לכל חלקי הצמח ונעים באופן דו-כיווני. הם יעברו מעלים ישנים יותר לאזור הצמח הנמצא בצמיחה (עלים צעירים יותר), כאשר מתרחש מחסור בתמיסת ההזנה. כתוצאה מכך, הסימפטומים הראשונים יופיעו בעלים ישנים בחלק התחתון של הצמח. היסודות הניידים הם מגנזיום, זרחן, אשלגן, אבץ וחנקן. כאשר מתרחש מחסור במינרלים לא ניידים, הם אינם מתניידים לאזור הצומח, אך נשארים בעלים הישנים שבהם הופקדו במקור. לפיכך, סימני מחסור מופיעים לראשונה בעלים הצעירים העליונים של הצמח. היסודות חסרי התנועה כוללים: סידן, ברזל, גופרית, בורון, נחושת ומנגן.

כאשר נראית הפרעה בהזנה, יש לאתר את החלק או האיבר של הצמח המושפע - עלים ישנים תחתונים או עלים צעירים עליונים, גבעול, פרי, פרחים או קודקוד הצמח; ולבחון את חזות הצמח - מתגמד, מתעוות או מסועף יתר על המידה, אם הרקמות כלורוטיות (צהובות), ניקרוטיות (חומות) או מעוותות. לאחר שהסימפטומים נצפו מקרוב ותוארו, יש לקבוע אם ההפרעה עלולה להיגרם מסיבה שאינה חוסר איזון תזונתי, אלא כתוצאה מחרקים, מחלות טפיליות, נזקי הדברה, זיהום אוויר, חוסר מים ופגיעה מקרינה או מטמפרטורה קיצונית. נזק מהדברה עלול להסב צריבה אם משתמשים במינרלים הגבוהים מהמומלץ. כמו כן, השימוש בקוטלי עשבים, כמו 2,4-D, ליד חממה, עלול להסב עיוותים של עלי הצמח. נזק של רעילות עלול לגרום לבעירה או להלבנה של רקמת עלים או לכתמים כלורוטיים בגודל נקודתי על העלים. מחסור במים או מחסור בחמצן יגרמו להתבקעות (אובדן טורגור) של העלים. אור שמש מוגזם או טמפרטורה עלולים לשרוף ולייבש רקמות עלים, במיוחד בשוליים.



תמונה 15: מחסור במגנזיום בפאק צ'וי



תמונה 16: סימני מחסור בסידן, המתבטאים בהחממה בשולי העלים



תמונה 17: מחסור בחנקן, המתבטא בצבע בהיר של העלים



תמונה 18: מחסור במנגן בפאק צ'וי



תמונה 19: הלבנה של עלים – סימן לטוקסיות של עודף מנגן



תמונה 20: החמה של חסה איסברג בגיל צעיר; במרכז צמחים ללא החמה במגש בבריכה עמוקה



תמונה 21: מחסור בברזל ובסידן

המחסור הנפוץ ביותר בגידול חסה בקיץ הוא מחסור בסידן. אף על פי שריכוז הסידן בתמיסת ההזנה גבוה, ותמיסת ההזנה מאוזנת מבחינת יסודות ההזנה, וה- EC נמוך יחסית, עלולה להיווצר החממה בעלים הפנימיים (גם בסלרי) או בעלים החיצוניים. הסיבה לכך היא קצב צימוח מהיר מאוד עקב טמפרטורת סביבה גבוהה, בשילוב קצב טרנספירציה (האידיוי מהצמחים) שאינו מספיק כדי להביא את הסידן בזמן לקצה העלווה. תנועת אוויר קלה על הצמחים תגרום להגברת הדיות (אופוטורנספרציה) של הצמחים ותוכל לסייע במניעת התופעה. החסה קיבלה את השם *Lactuca*, שפירושו: 'יוצר חלב', משום שבחיתוך הגבעול מופרש נוזל חלבי. תוך זמן קצר נוזל זה מתחמצן ואזור החתך הופך חום. כאשר יש מחסור בסידן, התאים המיוחדים, שמייצרים את החלב, מתמוטטים, ולכן הנזק מתבטא כהחממה. הגורם הישיר להתרחשות התופעה הינו מחסור, ואף זמני, בסידן באתר התפתחות ההחממה בלב הצמח או בשולי העלים. הסידן הוא מרכיב חשוב בדופן התאים של רקמת הצמח. בהיעדרו מתמוטטים התאים והרקמות. היעדרו של הסידן באתר ההחממה נובע מבעיות קליטה במערכת השורשים או מבעיות הולכה מהשורש ללב הצמח. ישנם זנים, הרגישים פחות לתופעה, ולכן הגנטיקה של החסה חשוב ביותר, ויש לבחור זנים המתאימים לקיץ שאינם רגישים או שהם סבילים לתופעת ההחממה.

הצמחים

בדרך כלל, בשל רווחיות הגידול, מגדלים גידולים לטווח קצר במחזור של בין 10-50 ימים. הגידולים העיקריים הם מגוון גדול של זני חסה, כל התבלינים, פאק צ'וי, סלרי, בצל ירוק, תרד, קולורבי וקייל. לפני תחילת הגידול, יש לערוך תוכנית כלכלית ותוכנית שיווקית, משום שהתוצרת רבה, ובתדירות גבוהה, כך למשל, במרבית זני החסה צריך להיאסף היבול בקיץ מדי 18-24 ימים, ובחורף בין 30-40 ימים.

טיפוסי חסה וזנים מובילים

הסוגים הנפוצים ביותר של חסה הם: חסה ערבית (רומית), חסה ננסית; חסת אייסברג (אמריקאית); ראש חמאה כטיפוסי סלנובה; חסה מסולסלת; עלה אלון עם עלים מפורצים. לכל אחד מהטיפוסים הללו זנים בצבע ירוק וסגול. החסה הרומית (בלשון העם: חסה ערבית) מופיעה בכמה צורות: רגילה; יוצרת קולס סגור למחצה או סגור המתאים ללבבות; שושנת עלים, שאינה יוצרת קולס המתאים לחיתוך אחד ולקבלת עלים המופרדים ביניהם; וננסית המתאימה ללבבות (little gem). החסה יוצרת שושנת עלים וקולס על הגבעול הקצר, ולאחר מכן הגבעול מתארך והחסה פורחת. התארכות הגבעול מושפעת מטמפרטורת הסביבה ומטמפרטורת תמיסת ההזנה, והיא מהווה את אחד האתגרים בגידול החסה בקיץ במניעת ההפרגה. **הפרגה (bolting)** - פריחה לא רצויה; התארכות קלה או משמעותית של עמוד הפריחה החבוי בתוך הקולס, כאשר בסיסו המלא של הפריחה עמוד הפריחה פורץ החוצה כתפרחת היוצרת זרעים. ההפרגה נגרמת עקב חשיפת צמחי החסה הגדלים בשדה לטמפרטורות מקסימום גבוהות, המתרחשות ברציפות לאורך זמן.



תמונה 22: הפרגה של זן גוגן סלנובה אדומה, שעלה לפריחה

הגנת הצומח

השיטה הטובה ביותר להגנת הצומח היא מניעת חדירה של חרקים באמצעות הקפדה מרבית על אטימת המבנה. מניעת מחלות עלים תושג על ידי תנועת אוויר מתונה ומתמדת דרך נוף הצמחים. בנוסף, יש לדאוג לכך שרצפת המנהנה או החממה תהיה יבשה כל העת ולא ייקוו בה שלוליות. ההתמודדות עם חרקים ניתנת לביצוע גם בשיטות של הדברה ביולוגית. במקרה הצורך ואם לא נותרה כל ברירה, ניתן גם לרסס. מכיוון שפרק הזמן של הגידול הוא קצר, ולרוב באותה חממה יש גידולים בגילים שונים, רצוי ומומלץ להשתמש רק בחומרים שהשאריות שלהם נמוכה, כך שניתן יהיה לרסס גם בסמוך למועד הקטיף. החומרים, שיתאימו לכך, יופיעו ברשימת חומרי ההדברה המיועדת לחקלאות אורגנית. המחלות הנפוצות ביותר בגידול בהידרופניקה, כאשר חם ולח במבנה, הם פוזריום, ריזוקטוניה, ארוויניה (חיידק) ועובש אפור. יש לנקות את המגשים ואת התעלות לאחר כל מחזור גידול. אפשר לשטוף את התעלות ב- 1 mM מי חמצן H_2O_2 , כלומר כ- 80 סמ"ק למ"ק מי חמצן בריכוז 35%. במשך הגידול אפשר להזרים בזהירות כ- 20 סמ"ק מי חמצן בריכוז 35% למ"ק, לחיטוי המים. ישנם זנים הרגישים לכשותית החסה, לקימחון ולספטוריה. המזיקים הנפוצים ביותר בהידרופניקה הם עשי לילה, אקריות, כנימות עלה, ותרופס הטבק.

טיפול ותחזוקה

פעמים רבות, למען הוזלת ההשקעה, מוותרים על פעולות כלשהן בתחזוקה, אך בגידול זה נושא התחזוקה הוא קריטי ומשמעותי ביותר. יש לדאוג מראש לכך שחלקים רגישים, כמו משאבות, ברזים, מאוררים וכדומה, יותקנו כך שתתאפשר החלפה מהירה ופשוטה במקרה הצורך, ללא השבתת המערכת כולה. עניין זה חשוב במיוחד במערכת ה-NFT, שבה יכולת השרידות של הגידול ללא אספקת מים היא נמוכה ביותר. מומלץ לאפסן במשך חלקי חילוף, כמו משאבות, ברזים חשמליים, מאוררים וגלילי פלסטיק, ולדאוג לחידוש מלאי מידי

במקרה של כשל והחלפה. בתכנון המערכת מומלץ להשתמש ברכיבים סטנדרטיים הקיימים בשוק וקלים להשגה, כמו כן, רצוי להפחית את מגוון הרכיבים, ככל הניתן, ולהגיע לסטנדרטיזציה מרבית. תחזוקה שוטפת היא בסיס להצלחה. חשוב לנקות בצורה שוטפת את המסננים, לדאוג לניקוי תדיר של ברזים, צנרת, רשתות נגד חרקים וכדומה. במבנה עצמו יש צורך בבדיקה מתמדת של הרשתות והפלסטיק ולתקן קרעים מיד עם היווצרותם, כדי למנוע כניסת חרקים והגדלת הנזק, העלול לחייב את החלפת היריעה כולה. בגנרטור חשוב לבדוק את מכל הדלק לפחות אחת לשבוע, ולהשלים את החסר לאחר כל הפעלה. חשוב לבדוק שמן מנוע בגנרטור אחת לשבוע ולדמות הפסקת חשמל כדי לוודא שהגנרטור אכן נכנס לפעולה בזמן אמת. בדיקת הגנרטור חשובה במיוחד לפני סופי שבוע או חגים - זכרו במערכת NFT הפסקת חשמל קצרה עשויה לגרום לתמותת כל הגידולים שנמצאים בנקודת זמן זו בחממה.

היבטים כלכליים

מותאם לשתי שיטות הגידול, בהתבסס על תחשיבי שה"מ ועל נתוני אמת ממגדלים שונים.

יחידת גידול מינימלית רווחית למשק המשפחתי, המתבססת על שיווק חיצוני, נפרשת על כשני דונמים של מתקן הידרופוני בשתי שיטות הגידול, המניב יבול בכמות של כ- 430,000 ראשי חסה בשנה (לפי חישוב של 20,000 ראשים לדונם למשך 12 מחזורים בשנה ובהורדת פחת של 10%), ברווח גולמי שנתי של כ- 350,000 ₪ (במחיר מכירה של 2 ₪ לראש חסה, בפתח החממה, ללא אריזה, בהפחתת כל עלויות הגידול והעבודה וללא החזר הון). ניתן להתחיל במודולים של 1/2 דונם עד 1 דונם ולגדול באופן הדרגתי. בפעולות של אריזה, אחסון, שינוע ושיווק העלויות עשויות להשתנות, בהתאם לשיטת השיווק ולמחירי המוצרים. עלויות ההקמה של מתקן בסיסי במנהרות גידול בשיטת חס-רשת, ללא מערכות בקרה מורכבות וללא מערכות אקלים, נעות בין 250,000 ל-300,000 ₪ לדונם; ובאבזור מלא עם בקרת אקלים ובקרת מערכת עשויות להגיע גם ל-400,000 ₪ לדונם ויותר. עלויות ההקמה אינן כוללות בניית בית אריזה ובית קירור, משרדים ואזור מנהלתי.

ניסויים ותצפיות שנעשו בחממה לימודית בבן שמן

במשך שנה וחצי עקבנו בחממה בכפר הנוער בן שמן אחר הגידולים בה. כתבנו תוכנית ניסויים ותצפיות, וביצענו עבודה לייצור ידע אגרונומי שיאפשר כתיבת פרוטוקולי גידול לירקות מובילים בשתי שיטות הגידול הקיימות בחממה: בריכות ו-NFT. העבודות הללו מצורפות בנפרד. נושאי העבודות הללו מפורטים להלן:

1. אפיון קצב הגדילה וצריכת המים והדשן של זני חסה שונים – נעשה בקיץ 2018.
2. השפעת הטמפרטורה על רמת היבול והאיכות של זני חסה שונים – נעשה בקיץ 2019 ובקיץ 2020 עם מבחן זני חסה.
3. בדיקת זנים חדשים של חסה ממטפח של חברת 'הזרע' – נעשה בחורף 2019; ובדיקת זנים של חברת הזרע וחברות זרעים בקיץ 2019 ובקיץ 2020.
4. בחינת השפעת קצב הזרימה של תמיסת ההזנה בשיטת NFT – עבודה פריילמינרית בקיץ 2019.
5. בדיקת עומד השתילה של זנים שונים בשתי שיטות הגידול – חורף 2018/19 ובקיץ 2020.
6. בדיקת השפעת M.E. (מיקרואורגניזמים מועילים) על קצב הצימוח ועל קליטת יסודות ההזנה וכן אפיון מיקרוביולוגי של סביבת השורש – בדיקה פריילמינרית באביב 2018.
7. בדיקת תוספת חמצן למים להעלת הריכוז של חמצן מומס במים – בדיקה פריילמינרית בקיץ 2019.
8. השוואת חיישני קרינה PAR לחיישני קרינה גלובלית ומדדי הטמפרטורה והלחות בחממה - לצידוד מעבדתי של מכון וולקני, אגרוטראולוגיה.

בנוסף, הופק סרטון המתאר את הקמת החממה, שאף יצרנו צורה של מגן-דוד על ידי חסות צבעניות בשיטת NFT, לביקור של שר החקלאות ומנכ"ל משרד החקלאות שנערך באביב 2019.



תמונה 23: מגן-דוד המשלב חסה סלנובה בירוק (זן סתרה) וחסה סגולה (גוגן)

ספרות

- נביל עומרי ושמעון ביטון, 2019, ירקות עלים בישראל גידול והגנת הצומח.
- Olson. K.C., T.W. Tibbitts. And E.B. Struckmeyer. 1967. Morphology and significance of laticifer rupture in lettuce tipburn. Proc. Amer.Soc. Hort. Sci. 91: 377-385
- Tibbitts. T.W., B. E. Struckmeyer and R.Rama Ram. 1965. Tipburn of lettuce as related to release of latex. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 86: 462-467
- Howard M. Resh, Hydroponic food production, 2013, CRC Press, Taylor & Francis Group