

1993/94

## אופטימיזציה של גידול מודלה בחממה באזורים חמים

בחינה וניתוח של גידול מלונים מודלים בחממה גבוהה במזרע סתווי

בחינת השקית מלונים במבנים

אריה קניג, גרגורי יפיטוב, משה בן דר - תחנת נסיונות "ערבה"

שלמה קרמר - שה"מ - לניכת הדרכה נגב

הקו המנחה בטיפול המלחה מקורות המים בערבה הינו הגברת יעילות השימוש במים, אשר פירושו הגדלת התפוקה ליחידת מים. נראה כי הדרך היעילה ביותר לכך במצב הידע הקיים הינה גידול בבתי צמיחה. דרך זו משתלבת גם במטרות נוספות של הגדלת כמויות הפרי הראויות ליצוא וזאת על-ידי הכוונת העונה ושיפור איכות הפרי. הבעיה העיקרית הכרוכה במעבר לשימוש בבתי צמיחה כתחליף לגידול בשטח פתוח, (שכן אחרת אין מניעה של דחיקת מלחים למי תהום), הינה משך הזמן הארוך בו צריך בית הגידול לפעול. כלומר, יש להתמודד עם בעיית סילוק עודפי חום בתקופת הסתיו והאביב תוך שמירה על רוחיות הגידול. לשם כך יש לפתח ממשק אשר ינצל את יכולת הצינון העצמית של הצמח באמצעות תהליך הדיות (transpiration). טמפרטורות גבוהות ורמת קרינה גבוהה המאפיינות את האזור מקשות על ההתמודדות עם בעיית סילוק עודפי חום. לא ניתן לפתור את הבעיה במערך ניסוי שאיננו ממוקם באזור משום חוסר היכולת להדמות את תנאי האקלים המיוחדים השוררים באזור. מאידך, כל מידע וידע בפתרון הבעיה שיצטבר בתנאים הקשים של הערבה הדרומית יוכל לשמש גם לאזורים בעלי תנאי אקלים קשים פחות.

בהתאם לקווים מנחים אלה סיימו בסוף 1993 את בנייתו של מתקן למחקר אקלימי. המתקן מיועד לשמש לבחינה של תגובות צמחים למשטרי אקלים שונים. המתקן בנוי מ-4 חדרים מבוקרי אקלים בשטח של 120 מ"ר כל חדר. בכל חדר ניתן להפעיל מגוון של שיטות קירור לשמירה על תנאים מבוקרים

של טמפרטורה, לחות יחסית ואור: אורור גג, מאוררי יניקה, ערפול, מזרון לח ומסך תרמי. המתקן מופעל באמצעות מערכת בקרה אוטומטית אשר משמשת גם לאיסוף נתוני אקלים באופן שוטף: מהירות וכיוון רוח, קרינת PAR, קרינה גלובלית, לחות יחסית, טמפרטורת אויר, טמפרטורת קרקע, טמפרטורת נוף, טמפרטורת עלים וטמפרטורת פרי. בשנים הבאות ישמש המתקן לכיווני המחקר הבאים:

1. ניצול יכולת הקירור העצמית של הצמח כאמצעי היעיל ביותר לקירור חממות, במטרה להאריך את עונת הגידול המקובלת בחממות בערבה.
  2. תגובת צמחים למשטרי השקיה בתנאים שונים של לחות יחסית ושטף קרינה במבנה, במטרה לשפר את יעילות השימוש במים בחממות.
- במהלך 1993 אורגנה תכנית המחקר כאשר הדגש הושם על הכיוון התיאורטי של הבעיה במטרה לנסח תכנון נכון של המערך הניסויי.
- תקופת ההתארגנות כללה שני שלבים עיקריים:
- א. כתיבת הצעת המחקר.
  - ב. ניסוח הבעיה ודרכי הפתרון.
- הדו"ח הנוכחי בא לכסות את הסעיף השני.
- הגדרת הבעיה: בכדי לנסות ולהבין את צרכי מערכת הגידול ניתן לבחון את הגידול כמערכת ביולוגית המופעלת תחת שני תהליכים מנוגדים. מצד אחד, מטרת המגדל היא להפיק כמה שיותר פירות וזאת באמצעות הפניית מירב שטף המוטמעים לפירות על חשבון העלים המסנטזים. בדרך זו ישמר איזון דינמי בין מספר מינימלי של עלים לבין מספר פירות מקסימלי. מאידך, העלים מקררים את עצמם ואת אוירת הנוף בתהליך הדיות. קירור נוף הצמח על-ידי העלים הוא הגורם לקירור הפירות. מכאן, שבגידול מלונים, באזורים חמים, יש לשמור על מקסימום כזה של מספר עלים אשר יספק את יכולת הקירור הרצויה לצמח ללא פגיעה משמעותית במספר הפירות הסופי. בהתאם, המטרת העיקרית של המחקר היא להגביר את יעילות הקירור העצמי של הצמח ככלי

בסיסי בצינון חממות. לשם כך הוצע לבחון את היחסים הרצויים בין מספר עלים למספר פירות, אשר יניבו מקסימום יכולת צינון של העלים וסביבתם המיידית, ללא פגיעה משמעותית ביבול (מספר ומשקל פירות).

דרכי פתרון - השנה נבחנו שתי דרכים לניתוח הבעיה:

א. מודלים סטטיים

ב. מודל עץ החלטות

הדגש הושם על ניסוח וניתוח המודל הסטטי לפתרון בעיית האופטימיזציה משום שיישום דרך זו נראה מבטיח יותר בהיבט המעשי של גידול מסחרי של מלונים מודלים בערבה.

מודלים סטטיים

בנינו מודל אשר בבסיסו מגדיר את מהלך ההחלטות אותם מבצע החקלאי. החקלאי בוחן את הצמח, מנתח את מצבו ובהתאם מחליט על סידרת פעולות המשנות את יחס מספר פירות למספר עלים. לפיכך, נבנה מודל אופטימיזציה סטטי, המניח אופן פעולה דיסקרטי של חלוקת מוטמעים בין האברים הווגטיביים (עלים) לאברים הרפרודוקטיביים (פירות). כלומר, ברגע נתון הצמח המתואר במודל מכריע האם לספק את המוטמעים לעלים או לפירות. כמו כן, המודל מנסח שאלה נוספת: האם כדאי לייצר עלה ו/או פרי חדשים.

שאלות אלה מנוסחות מתמטית בצורת מודל הבנוי ממערכת אי-שיווינים אשר פתרונם מניב את הכיוון האופטימלי של הספקת המוטמעים: לגידול עלים קיימים לעומת גידול פירות קיימים וליצירת אברים חדשים לעומת גידול אברים קיימים. על-סמך נתונים אלה ממליץ המודל על היחס הרצוי של מספר עלים למספר פירות. ברור כי התשובות שמספק המודל הסטטי נכונות עבור הזמן הנוכחי ואין בהן משום היכולת לענות על הגידול האופטימלי של הצמח בעתיד. היתרון המשמעותי לדרך זו הוא חוסר הצורך לתאר את מערכת הגידול באמצעות מערכת משוואות מפורטות, משימה קשה הן ביצירת המודל והן בכיולו למערכת הממשית והבאתו ליישום במערכות מסחריות של גידול

מלונים.

### מודל עץ החלטות

אותן השאלות שניסחנו במודל הסטטי נבחנות בצורה דינמית באמצעות עץ החלטות. כלומר, בוחנים כל החלטה אפשרית ובהתאם את ההחלטות הנובעות מהחלטה זו לגבי גידול וייצור של אברי הצמח. ההחלטות החדשות גוררות החלטות אפשריות חדשות וחוזר חלילה. בניית כל ההחלטות האפשריות לאורך עונת הגידול בונה את עץ ההחלטות, אשר ממנו יש לבחור את המסלול האופטימלי של הפעולות אשר יתנו יחס אופטימלי של מספר עלים למספר פירות לאורך העונה כולה. ברור, כי מספר הפעולות האפשרי בעץ החלטות כזה הוא עצום ולמעשה אינסופי. משום כך אנו נעזרים בתוכנה המשלבת אלגוריתמים מתמטיים מתחום האופטימיזציה והבינה המלאכותית. בנינו מודל דינמי פשוט ביחס אשר הרצתו באמצעות תוכנת עץ ההחלטות מניבה תשובות בזמן סביר. המודל הנוכחי אינו עבור גידול מסוים אלא עבור גידול גנרי אשר מייצר מוטמעים המשמשים לגידול אברי הצמח הקיימים וייצור אברים חדשים. בכדי לבחון את סבירות מודל עץ ההחלטות ובכדי להעריך את יכולת המודל הסטטי לענות על בעיית האופטימיזציה של גידול מלונים בערבה תוכנן ניסוי מפורט בחממה למחקר אקלימי המתוארת לעיל.

### ניסוי מלונים

הדו"ח הנוכחי מתאר רק את הצבת הניסוי וסידרת המדידות המתוכננת, משום שהניסוי עדיין בעיצומו ומתוכנן להסתיים במהלך פברואר 1995. המטרה העיקרית של המחקר גורסת כי יש להגדיר את היחס האופטימלי של מספר עלים למספר פירות בכל רגע במהלך הגידול. בהתאם, תוכנן ניסוי שמטרתו העיקרית היא לבחון את ביצועי גידול מלונים בתחום רחב של משטרי אקלים ותחת מסלולי עיצוב שונים של הצמח המודלה.

הניסוי נערך במתכונת של ניסוי פקטוריאלי בבלוקים באקראי עם חלקות מפוצלות. זרעי מלונים מזן גליה נזרעו בתאריך 13 בספטמבר, 1994

בצפיפות של 3.3 צמחים למ"ר. תאריך זה נבחר לשם קבלת מלונים בשלים מסוף נובמבר ועד סוף דצמבר שהיא עונה בה התמורה עבור מלונים באירופה גבוהה במיוחד.

כטיפולים ראשיים נבחרו 4 טיפולי אקלים, כך שבכל חדר ישרו תנאים שונים:

1. החלפת אוויר באמצעות אוורור טבעי על-ידי פתיחת וילונות וחלון גג.  
2. החלפת אוויר באמצעות מאוררי יניקה.

3. החלפת אוויר באמצעות מאוררי יניקה + הפעלת מסך סולרי להקטנת שטף הקרינה הסולרית הנכנסת.

4. קירור אוירת החממה בקירור אדיאבטי באמצעות מזרון לח ומאוררי יניקה.

בכל הטיפולים טמפרטורת היעד היא  $35^{\circ}\text{C}$  באוירת נוף הצמח. ברור כי לא כל הטיפולים יכולים להשיג את טמפרטורת היעד וכי תנאי הלחות גם הם משתנים בהתאם לטיפולים.

בכל חדר מ-4 החדרים קיימים שני טיפולי מישנה של עומס פרי: 1. פרי אחד לכל צמח. 2. 3 פירות לכל צמח.

טיפולים אלה באים במטרה לבחון את השפעת עומס הפירות על יכולת העלים לקרר את הפירות בסביבתם באמצעות תהליך הטרנספירציה.

כל טיפול מישני מתפצל ל-3 טיפולים משניים של עיצוב הצמח:

1. שיטת גידול מקובלת בהדליה. הדליה רגילה כשהגבעול המרכזי מוביל. זירוד (הסרה) של כל הענפים הצדדיים עד לגובה של כ-60 ס"מ. פרי מופיע מפרחים נקביים על ענפים צדדיים. לאחר מכן, קיטום ענפים צדדיים והשארת 2 עלים בלבד על כל ענף צדדי.

2. בדומה לשיטה הקודמת, אך ממשיכים בזירוד עד לגובה של כ-1.7 מ'. בהמשך קוטמים כמו בשיטה הקודמת. היתרונות של עיצוב כזה של הצמח הוא בקבלת צמח חזק ווגטיבית (עלווה ושורשים) ובכך שחנטת הפירות

מתרחשת מאוחר יותר (תחילת נובמבר) בטמפרטורות נוחות יותר לגידול הפירות.

3. מדלים את הצמח לאורך 2 ענפים צדדיים, לעומת גבעול מרכזי בשתי השיטות הקודמות. בשיטה זו מקבלים חנטת פירות מוקדמת יותר משום שפירות המילון מתפתחים על ענפים צדדיים. בנוסף, השיטה מאפשרת בחינה של ההנחה שפירות המתפתחים בתוך נוף סבוך יותר, המקורר אדיאבטי על-ידי מספר רב של עלים, יגדלו ויתפתחו בצורה טובה יותר. סך הכל הניסוי בוחן את תגובת הגידול ל-24 טיפולים שונים. המספר הגדול של טיפולים מבטיח תחום רחב של תנאי מיקרו-אקלים. כתוצאה מכך, תוצאות הניסוי יאפשרו לתחום את שיטת הגידול הרצויה בעונה החמה בהדליית מלונים בערבה. השיטה שתיבחר תשמש ללימוד יישום שיטת האופטימיזציה היעילה ביותר לשם מקסימיזציה של גידול מלונים מודלים בתקופה החמה בערבה.

במהלך הניסוי נאספות מדידות רבות באופן רציף של: טמפרטורת אוויר, טמפרטורת אווירת הנוף, טמפרטורת קרקע, טמפרטורות עלה ופרי בכל טיפול וטיפול, עוצמות שטף קרינה סולרית ושטף קרינת PAR. בנוסף, בהתאם להתפתחות הצמחים בטיפולים השונים נערכים דיגומים הרסניים של כל הצמח לקבלת מהלך הגידול של אברים שונים בצמח עם הזמן. הניסוי מלווה גם במעקב אינטנסיבי של בדיקות לא-הרסניות של גידול הפרי.

כמו כן נערך מעקב פנולוגי אינטנסיבי אחר התפתחות הצמח על איבריו השונים בכדי לנסח את שיגרת (Subroutine) התפתחות הצמח במודל. שיגרה זו מהווה שלד הכרחי לכל מודל דינמי המתאר גידול צמחים.