

ס"מ מעל הקרקע במרכז החלקה, וריכוז הפחמן הדחמצני נמדד במשך חמש דקות. כל מדידה ארכה שלוש שניות, כך שסך הכול נערכו 100 מדידות בחלקה. מדידה זו פשוטה יחסית, אולם רגישה לתנאים האטמוספריים. לכן, בהיעדר מידע על שכבת הגבול שבין התנוון הצמחי לאוויר הפתוח, היא טעונה בדיקה. ההשפעות של שני הגורמים (חד-שנתיים וצורית) על ריכוז הפחמן הדחמצני באוויר נבדקו בנייתוח דו-גורמי.

ברמת העלה מדדנו קצבי פוטוסינתזה גבוהים (15–20 מ"מ"ש) בתלתן כוכבני (*Trifolium stellatum*) ובתלתן הארגמן (*Trifolium purpureum*), קצבים ביונויים (8–12 מ"מ"ש) בחרצית עטורה (*Chrysanthemum coronarium*), במלעניאל מצוי (*Stipa capensis*) ובמקור חסידה חלמתי (*Erodium malacoides*), וקצבים נמוכים (4–6 מ"מ"ש) בזנב ארנבת ביצני (*Lagurus ovatus*) ובציפורנית מצרית (*Silene aegyptiaca*). הקצבים הנמוכים ביותר נמדדו אצל הצורית (1.5 מ"מ"ש) (איור 2). השפעת הטיפול לא הייתה מובהקת ברמת המין, אולם תלתן הארגמן קיבע יותר בטיפול ללא הצורית, ואילו התלתן הכוכבני – עם הצורית. עם זאת, יש לציין כי לצורית קיבוע פחמן במסלול CAM (Crassulacean Acid Metabolism), כלומר הצמח קולט פחמן דחמצני בלילה ומבצע פוטוסינתזה ביום), ולכן ניתן לצפות לערכי קיבוע פחמן גבוהים יותר בשעות הלילה, שלא נמדדו כאן. ברמת החלקה מצאנו השפעה של הגגות הירוקים על ריכוזי הפחמן הדחמצני בקרבה המידית לחלקה. בהתאם להשערותנו, ריכוזי הפחמן הדו-

איור 1. מדידת ריכוז CO_2 בחלקה צורית גבוהה באמצעות מכשיר נייד Lutron AQ עם גלאי מסוג Non-Dispersive Infra-Red (Red



השפעת הרכב הצמחייה על קצב קיבוע פחמן בגגות ירוקים

הראל אגרא^[1], תמיר קליין^[2], עמיאל וסל^[1], גיונגיבר קדס^[1] וליאון בלאושטיין^[1]

^[1] מרכז קדס לגגות ירוקים, המכון לאבולוציה, אוניברסיטת חיפה
^[2] המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מנהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני
HarelAgra@gmail.com *

גגות ירוקים ("גגות חיים") הם גגות שיש עליהם שכבת מצע גידול וצמחייה. בשנים האחרונות נאסף מידע רב על תרומתם של גגות ירוקים במגוון היבטים: בידוד תרמי של הבניינים וחיסכון באנרגיה; ספיגה וסיוע בניקוז של מי גשמים; תרומה למגוון הביולוגי במרחב העירוני^[3]. עם זאת, חסר עדיין מידע לגבי תרומתם לקיבוע פחמן דחמצני בתהליך הפוטוסינתזה, ועל-ידי כך הפחתת ריכוז באוויר העיר, המאופייין ברמות גבוהות יחסית של פחמן דחמצני^[1]. במחקר המתואר כאן אנו מודדים את קצב קיבוע הפחמן בגגות ירוקים עם הרכבי צמחייה שונים, כאלה המקובלים בגגות בעלי שכבת מצע גידול דקה (אקסטנסיביים). גגות אלה ניתנים להקמה על מרבית המבנים הקיימים, הם מצריכים אחזקה מינימלית, ולכן הם הנפוצים יותר בשימוש. הניסוי מתקיים על גג בית הסטודנט באוניברסיטת חיפה מאז סתיו 2013. בניסוי ארבעה סוגי חלקות (טיפוליים), ומכל סוג ישנן חמש חלקות (חזרות) – סך הכול 20 חלקות, בגודל 1x1 מטר. סוגי החלקות הן: א. צמחים חד-שנתיים ממינים ומשפחות שונים; ב. מין בשרני רב-שנתי (צורית גבוהה, *Sedum sediforme*, להלן צורית); ג. שילוב של חד-שנתיים וצורית; ד. חלקות ביקורת (ללא צמחים). בחלקות החד-שנתיים נזרעה תערובת הומוגנית של כ-1,000 זרעים של 20 מינים חד-שנתיים מקומיים. בחלקות הצורית נשתלו בפיזור אחיד 36 צמחי צורית בני גודל אחיד. קצב קיבוע הפחמן נטו בעלים לכל מין בחלקה נמדד ישירות באמצעות מערכת מדידה מסוג LiCor XT 6400 המצוידת בפנס LED (איור 1). המדידה התבצעה בפברואר תחת אור גבוה (1,000 מיקרומול למ"ר בשנייה; להלן מ"מ"ש), בריכוז פחמן דחמצני של 400 חלקיקים למיליון ובטמפרטורת הסביבה. קצב הקיבוע נקבע לאחר השגת שיווי משקל בערכי המדידה, תוך 4–8 דקות מתחילתה. ההבדלים בין המינים ובין הטיפולים נבדקו באמצעות ניתוח שוניות. מדידת ריכוזי הפחמן הדחמצני בחלקה התבצעה באמצעות מכשיר נייד Lutron AQ-9901SD בעל גלאי מסוג NDIR^[2]. המדידות נערכו בארבעה ימים שונים במהלך חודש פברואר 2016. החיפוש נתלה בגובה של כ-50

בהתחשב בהיצע המינים העומדים לרשות מתכנני גגות ירוקים בארץ ובעולם, נדרשת שיטת הערכה מהירה לקצב קיבוע הפחמן של הגג כתלות בהרכב המינים. חשיבות נוספת של המחקר היא בדיקת שיטת המדידה הישירה מעל החלקה באמצעות שקלול קצבי הקיבוע של כל אחד מהמינים השונים (ברמת העלה, כפי שביצענו לעיל), שטחי העלווה שלהם, תזמון הפעילות שלהם ורגישותם לאור. אם תצליח המדידה הישירה לספק מדידות אמיונות בהתאם למצופה משקלול הגורמים שלעיל, ניתן יהיה לשלבה במערך התכנון של גגות ירוקים.

מקורות

- [1] Getter K, Rowe BD, Robertson GP, et al. 2009. Carbon sequestration of extensive green roofs. *Environmental Science and Technology* 43: 7564-7570.
- [2] Neethirajan S, Jayas DS, and Sadistap S. 2009. Carbon dioxide (CO₂) sensors for the agri-food industry – a review. *Food and Bioprocess Technology* 2: 115-121.
- [3] Oberndorfer E, Lundholm J, Bass B, et al. 2007. Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. *BioScience* 57: 823-833.

חמצני היו נמוכים יותר בחלקות של החד-שנתיים והצורית מאשר בחלקות ללא הצמחייה (איור 2). לא נמצאו הבדלים מובהקים בין טיפולי הצורית לחד-שנתיים, אולם ניתוח התוצאות הראה כי קיימת השפעת גומלין ביניהם: השפעת החד-שנתיים על ריכוזי הפחמן הדו-חמצני הייתה גדולה יותר ללא נוכחות הצורית. צמחים חד-שנתיים, ומיני התלתן בפרט, הם מקבעי פחמן חזקים, אך הם מסיימים את מחזור חייהם עם תום עונת הגשמים, ולכן השימוש בהם בגגות ירוקים בעייתי מבחינה אסתטית. הצורית נשארת ירוקה לאורך כל השנה ללא צורך בתחזוקה ובהשקיה, ולכן היא אידאלית לשימוש בגגות ירוקים אקסטנסיביים [3] ובתנאי האקלים בישראל בפרט. אולם על פי תצפיותינו, כאשר מביאים בחשבון שיקולים של קיבוע פחמן ותרומה להקטנת אפקט החממה, השימוש בצורית בנפרד או בשילוב שלה עם חד-שנתיים אינו מיטבי. נראה כי כדי להבטיח קיבוע פחמן מרבי במהלך השנה יש לשלב בגגות המבוססים על צורית גם חלקות סמוכות נפרדות של חד-שנתיים מקבעי פחמן חזקים, כדוגמת התלתן הכוכבי. נוסף על כך, יש לשקול שימוש במינים רב-שנתיים נוספים, המשלבים עמידות ליובש וקיבוע פחמן ברמה שמעל ל-2 מ"ש, ובעדיפות לשעות היום, ששיאי פליטות הפחמן הדו-חמצני בעיר מתרחשים בהן.

איור 2. קיבוע פחמן דו-חמצני (CO₂) בניסוי גגות ירוקים באוניברסיטת חיפה

מימין: קצב קיבוע CO₂ בחמישה מינים נבחרים בחלקות, עם שילוב ובלעדיו. תוצאות מבחן שונויות להבדלים בין המינים: $F_{(7,47)}=24.05$, $p < 0.001$ פוסט-הוק; משמאל: הפחתת ריכוז ה-CO₂ בטיפולים השונים לעומת חלקות הביקורת. תוצאות מבחן שונויות דו-גורמי מקנן: השפעת הצורית: $\chi^2_1=1.50$, $p=0.220$, השפעת החד-שנתיים: $\chi^2_1=5.41$, $p=0.020$, השפעת האינטראקציה צורית*חד-שנתיים: $\chi^2_1=9.12$, $p=0.003$

