

צריכת מים של בננה בבתי רשת באזורי אקלים שונים בישראל: מדידות ומודלים

אורי דיקן, שבתאי כהן, אברהם גרווה, יוסי טנאי /
המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר
החקלאי, מרכז וולקני

- מפרסומי מינהל המחקר החקלאי מס' 602/11; המאמר עבר
ביקורת מדעית



צילום: אורי דיקן

בשנים האחרונות הולך וגדל בארץ ובעולם השטח של גידולים חקלאיים בסביבה מוגנת (לדוגמה, בית רשת), המשנה את המיקרואקלים של הגידול ואת תצורת המים שלו. גידול בננה בישראל מתבצע בשנים האחרונות בעיקר בבתי רשת בשלושה אזורים: עמק הירדן (סובב כנרת), הגליל המערבי וחוף הכרמל, המאופיינים כל אחד באקלים שונה ולכן גם בתצורת מים שונה. בעבודה זו נמדדה צריכת המים של מטע בננה צעיר בבית רשת בשני אזורים אקלים, עמק הירדן והגליל המערבי, תוך שימוש בשיטה של קורלציית הערבולים (שיטה המודדת בקצב מהיר את התנועה האנכית של אדי המים, ונחשבת המדויקת, הישירה והטובה ביותר הקיימת כיום למדידת התאדות). נמצא, כי צריכת המים היחסית בגליל המערבי הייתה נמוכה מעט מזו שבעמק הירדן, כנראה עקב סוג הרשת השונה שיושם בשני המבנים שנבחנו.

מבוא

מדידות של אוופוטרגנספירציה מספקות לחקלאי מידע לגבי כמות המים הנצרכת על ידי הצמח ומשמשות בסיס להשוואה עם מודלים לחיזוי האוופוטרגנספירציה המבוססים על נתונים מטאורולוגיים וצמחיים. הידע הקיים על אוופוטרגנספירציה של גידולים חקלאיים

אמר זה מסכם מדידות של צריכת המים במטע בננה צעיר בבית רשת בשני אזורים אקלים - עמק הירדן וגליל מערבי, תוך שימוש בשיטה של קורלציית הערבולים. העבודה מתבססת על העיקרון לפיו יש קשר בין המיקרואקלים של הגידול לבין צריכת המים שלו. צריכת המים היחסית בגליל המערבי נמצאה נמוכה מעט מזו שבעמק הירדן, כנראה בשל השוני בסוגי הרשת שיושמו בשני המבנים שנבחנו

תקציר

מדידת שטף האוופוטרגנספירציה (אידי + דיות) של כלל הנוף היא עמוד השדרה של השקיה מודרנית, וידעת שטף זה חיונית לניהול יעיל ובר קיימא של מים. הידע הקיים על אוופוטרגנספירציה של גידולים חקלאיים בשטחים פתוחים מבוסס יחסית היטב, אך

בתמונה למעלה: חיישני מערכות קורלציית הערבולים מותקנים בבית הרשת לגידול בננה בחוף כרסי (2008)

ברשת קריסטל קלה, 10% צל, גם היא תוצרת 'מטאור'. בשני האזורים כאשר הרשת מלאה אבק (בשלהי הקיץ) היא מעבירה רק כ-75% מהאור. הרשת הוצבה מעל המטע בגובה 6 מ' מעל פני הקרקע ומכל הצדדים. שני בתי הרשת שנבחרו היו בעלי שטח גדול מ-60 ד', על מנת לאפשר את התנאים הדרושים למדידות אמינות של אוופוטורנספירציה בשיטה של קורלציית הערבולים (EC) ומדידות מיקרואקלים נלוות, שכללו טמפרטורה, לחות אוויר ורכיבי מאזן קרינה. נציין לגבי קורלציית הערבולים, כי אם השיטה מיושמת בזהירות מספקת ולפי דרישות מסוימות, היא מזויקת ונחשבת לישירה והטובה ביותר הקיימת כיום למדידת התאדות. בכל בית רשת, על אחד העמודים במרכז המבנה, הוצבה מערכת EC בגבהים שבין 3 ל-5 מ' מעל הקרקע. המערכת הוצבה מעל לנוף הצמחים ומתחת לרשת הגג האופקית, היא מודדת בו זמנית את הרוח והלחות מעל למטע ומהם מחשבת את האוופוטורנספירציה של כלל המטע. כל מערכת EC כללה מד רוח תלת צירי (Model CSAT3 Campbell Scientific, USA) וגז אנלייזר הכולל חיישן לחות וחיישן CO₂ (Model LI-7500, LI-COR, USA), באמצעותם נמדדו שטפים טורבולנטיים אנכיים של אדי מים (אוופוטורנספירציה), חום מוחשי ו-CO₂.

מדידות נוספות נערכו לחישוב מאזן האנרגיה של המטע ואיפיון המיקרואקלים. על אותו עמוד של מערכת ה-EC הוצבו בגבהים של 3, 4 ו-5 מ' פסיכרומטרים מאווררים ומוגנים מקרינת שמש ישירה (ייצור עצמי במעבדה) למדידות של טמפרטורת גולה לחה ויבשה. בנוסף הוצבו ארבעה פסיכרומטרים דומים במרחק של 5-6 מ' בכיוונים צפון, דרום, מזרח ומערב ביחס למערכת קורלציית הערבולים (EC). מערך זה של פסיכרומטרים איפיון בצורה טובה את הטמפרטורה ולחות האוויר באזור המדידה. בחלק העליון של העמוד המרכזי, מתחת לרשת ובגובה 5.5 מ', הוצבו חיישנים למדידה של קרינה נטו (Q*7.1, REBS, Seattle, WA, USA), בעזרת חיישן שמודד את הקרינה הפוגעת פחות הקרינה החוזרת, חיישן קרינה גלובלית (CM-5, Kipp and Zonen, Delft, The Netherlands) המודד קרינה פוגעת וחיישן קרינה פוטוסינתטית (PAR) המודד קרינה בתחום הנראה 400-700 ננומטר.

בתוך הקרקע הוטמנו שישה חישני שטף חום קרקעי (HFT-3.1, REBS, Seattle, WA, USA) בעומק של 8 ס"מ בתוך הקרקע. שלושה חיישנים הוטמנו בין השורות, בקרקע היבשה יותר, ושלושה חיישנים נוספים הוטמנו בין הצמחים, באזור הרטוב יותר של הקרקע. חישני טמפרטורה הוטמנו בתוך הקרקע בעומק של 6 ס"מ ו-2 ס"מ (מעל חישני שטף החום), על מנת לחשב את אגירת החום בשכבת הקרקע שמעל חישני שטף החום. גובה הצמחים ומידות העלים (לחישוב מדד שטח העלה - LAI) נמדדו אחת לשבוע.

מערכת ה-EC מדדה בתדירות של 10 Hz וכל 30 דקות בוצעו חישובים של ממוצעים ושונות משותפת (קו-ואריאנסים) מהם חושב השטף של אדי המים. מדידות של קרינה, טמפרטורת קרקע ושטפי חום בקרקע בוצעו כל שנייה וממוצעים חושבו ונרשמו כל 30 דקות. כל הנתונים נרשמו על ידי אוגרי נתונים (מסוג CR23x, Campbell Scientific, CR5000), שקיבלו מתח ממצברי רכב. טעינת המצברים

בשטחים פתוחים מבוסס יחסית היטב, הן על ידי מדידות והן באמצעות מודלים (Allen et al., 1998), אך בשנים האחרונות הולך וגדל בארץ ובעולם שטחם של גידולים חקלאיים בסביבה מוגנת, כמו בית רשת, המשנה את המיקרואקלים של הגידול. על כן, על מנת לנהל השקיה מסודרת ויעילה ישנה דרישה להערכה אמינה של צריכת מים של כלל הנוף בתנאים אלה.

גידול בננה בישראל מתקיים בעיקר בשלושה אזורים: עמק הירדן וסובב כנרת, גליל מערבי וחוף הכרמל, המאופיינים כל אחד באקלים שונה. עמק הירדן, ובפרט אזור סובב כנרת (אזור אקלימי בקעת כנרת, מפה גיאוגרפית, השירות המטאורולוגי הישראלי, 1992), נמצא כ-200 מ' מתחת לפני הים ומאופיין בטמפרטורה גבוהה ולחות יחסית נמוכה במהלך היום בקיץ (בחודש יולי נרשמו שם טמפרטורות מקסימום של 32-35 מ"צ ולחות יחסית מינימלית של 35-40%). מצד שני, הגליל המערבי וחוף הכרמל, הנמצאים סמוך לחוף (אזור אקלימי רצועת החוף, מפה גיאוגרפית, השירות המטאורולוגי הישראלי, 1992), מאופיינים באקלים ממוזג יותר, עם טמפרטורות מקסימום נמוכות יותר ולחות יחסית גבוהה יותר בעונת הקיץ (בחודש יולי נמדדה שם טמפרטורת מקסימום של 28-30 מ"צ ולחות יחסית מינימלית של 65-60%). כתוצאה מהבדלי אקלים אלה צריכת המים בעמק הירדן גבוהה יותר ולכן גם ההשקיה. לפיכך, המטרה העיקרית של גידול בננה בבית רשת שונה בכל אזור ואזור: בעוד שבמעמק הירדן המטרה העיקרית היא הגברת יעילות השימוש במים, הרי שבחוף ובגליל המערבי מדובר בהגדלת היבול לדגום, העלאת איכות הפרי ופיזור הפריחה והקטיף על פני כל העונה (אור וחוב', 2011). כאן האפשרות של חיסכון במים בבית רשת היא משנית.

מטרת העבודה הנוכחית היא השוואת צריכת המים של בננה בבית רשת בשני אזורים האקלים: עמק הירדן והגליל המערבי. עקב הבדלי האקלים המתוארים לעיל צריכת המים המוחלטת תהיה שונה באזורים אלה, ועל כן לצורך ההשוואה חישבנו את צריכת המים גם בעזרת מודל מטאורולוגי, המייצג את תנאי האקלים וצריכת המים בכל אזור. בעבודות קודמות (דיקן וחוב', 2009, Tanny et al., 2010; 2006) הראינו כי קורלציית הערבולים (EC) היא שיטה יעילה למדידת האוופוטורנספירציה של מטע בננה בבית רשת, ועל כן המדידות בעבודה הנוכחית בוצעו בשיטה זו. בשני האזורים המדידות בוצעו סמוך לשתייה, לאורך תקופת הגידול ההתחלתית של הצמחים, ולכן התוצאות מאפיינות מטע צעיר.

חומרים ושיטות

הניסויים נערכו במטע בננות בבית רשת באזור כברי שבגליל המערבי (מטע של קיבוץ יחיעם), ובאזור כורסי שעל שפת הכינרת (מטע של קיבוץ עין גב). בשני האזורים נשתלו צמחי בננה מזן 'גרנד ניון' באביב. הצמחים הושקו בטפטוף, בכמות של 1.5-5.5 מ"מ ליום, כמקובל במטע בננות מסחרי הגדל בבית רשת באזורים אלה. כיסוי הבננות באזור כברי בוצע באמצעות רשת קריסטל קלה, 15% צל, תוצרת 'מטאור', בעוד שבאזור כורסי נעשה שימוש



■ **מודלים של אוופוטנספירציה:** שני מודלים שונים המבוססים על נוסחת פנמן-מונטיס נבחנו במחקר זה. הראשון, RET, מבוסס על נוסחת פנמן-מונטיס קלאסית לגידול בשדה פתוח וכולל התנגדות אווירודינמית (ra) והתנגדות של הנוף (rc). המודל השני, SET, המותאם לבתי רשת (Moller et al., 2004), מבוסס גם הוא על אותם פרמטרים, אך כולל בנוסף התנגדות של שכבת הגבול (rb), הנובעת מנוכחות הרשת האופקית מעל לנוף. המודלים היו מבוססים על נתונים מדויקים של קרינה נטו (Rn), שטף החום לקרקע (G), גירעון לחץ האדים בתוך ומחוץ לבית הרשת וההתנגדויות שחושבו על סמך המדידות שנערכו בזמן הניסוי.

■ **מקדם גידול (Kc):** כמות ההשקיה הניתנת לגידול החקלאי קשורה באופן ישיר לאוופוטנספירציה (ET). מקדם הגידול מבטא את היחס בין האוופוטנספירציה המחושבת (בדרך כלל לפי מודל) לצריכת המים האמיתית של הגידול ותלוי בסוג הגידול ובשלב ההתפתחות שלו. אחת הסיבות לצורך במקדם היא העובדה שהמודלים השונים לחישוב אוופוטנספירציה מניחים כי הגידול מכסה באופן מלא את כל הקרקע שתחתיו. בצמחים קטנים הנחה זו אינה נכונה ומקדם הגידול מהווה גורם תיקון המדריך את החקלאי על כמות המים המעשית שעליו לספק לצמחים ביחס לכמות המחושבת לפי המודל. מקדם הגידול בספרות מבטא את היחס בין צריכת המים בפועל של הגידול לבין אוופוטנספירציית הייחוס המחושבת ממודל של פנמן עבור גידול דשא היפותטי (ET0).

בעבודה זו מקדם הגידול מחושב על ידי הנוסחה שלמטה, בהמשך (FAO, 2006), כלומר הוא מבטא את היחס בין האוופוטנספירציה שנמדדה בשיטת קורלציית הערבולים לבין הערך שחושב לפי מודל SET. בחרנו במודל SET כייחוס מאחר וכפי שנראה בפרק הבא הוא היה בהתאמה טובה יותר עם המדידות.

$$K_c = \frac{ET_{measured}}{ET_{SET}}$$

תוצאות ודין

■ **אוופוטנספירציה, מדידות ומודלים:** האוופוטנספירציה היומית, המייצגת את צריכת המים של המטע בפועל, חושבה על פי סכימה של הערכים המדודים החצי שעתיים במשך יומה. איור 1 מתאר את התוצאות מאזור כברי בגליל המערבי. העמודות באיור 1 מציגות את האוופוטנספירציה היומית המדודה (בשיטה של קורלציית הערבולים - עמודה שחורה) וכן את האוופוטנספירציה שחושבה על ידי שני המודלים. ניתן לראות, כי כאשר הצמחים היו בשלבי גידול התחלתיים (עד יום 201) ההתאמה בין המדידה למודלים פחות טובה מאשר התקופה בה הצמחים גדולים יותר (מיום 203). לדוגמה, עבור מודל SET, היחס היומי הממוצע בין המודל למדידה לצמחים הקטנים יותר היה 60%, ואילו לצמחים הגדולים יותר 94%. ניתן לראות גם שלאורך כל התקופה המוצגת באיור 1, המודל המותאם לבתי רשת, SET, מתאים מעט יותר לערכים המדודים (יחס יומי ממוצע של 76%) בהשוואה לתוצאות מודל פנמן-מונטיס

◀ **סוף בעמ' 24**

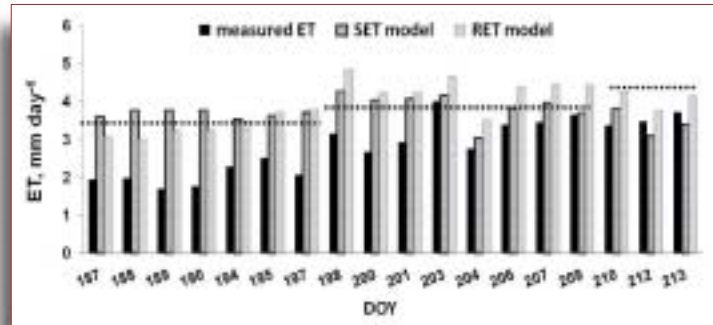
נעשתה באמצעות שישה פאנלים סולריים שהונחו מעל לרשת במרחק של כ-15 מ' מאזור המדידה. תחנה מטאורולוגית חיצונית מדה ורשמה ערכים חצי שעתיים של מהירות וכיוון רוח (בגובה 10 מ'), טמפרטורה ולחות אוויר וקרינה גלובלית (בגובה 2 מ').

עיבוד הנתונים וחישוב המודלים

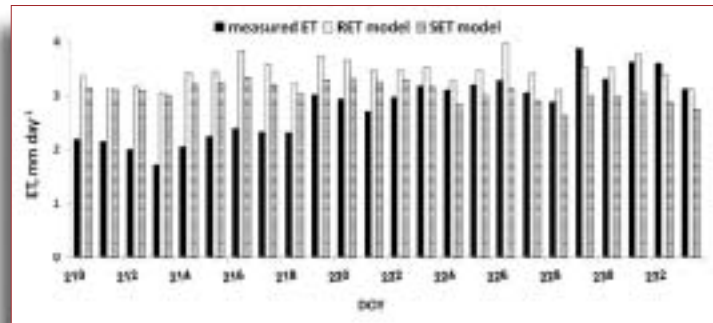
■ **חישוב האוופוטנספירציה:** תנועת האוויר מעל הצמחים היא בדרך כלל טורבולנטית ומאופיינת על ידי מערבולות אוויר. במקרה זה אדי מים המתנדפים מהנוף בתהליך הדיות מועברים אל האטמוספירה באמצעות המערבולות. מערכת קורלציית הערבולים מודדת מערבולות אלו באמצעות מדידה רצופה בתדר גבוה של מהירות האוויר והלחות. האוופוטנספירציה (ET) מחושבת על ידי השונות המשותפת (Covariance) בין תנודות בזמן של הרכיב האנכי של מהירות האוויר (w) שנמדד על ידי מד הרוח התלת-צירי, לבין תנודות בזמן של צפיפות אדי המים (q) שנמדדת על ידי חיישן הגזים (גז אנלייזר), לפי הנוסחה הבאה, כאשר Lv הוא חום האידוד של מים (Tanny et al., 2006):

$$ET = L_v \overline{w'q'}$$

איור 1: אוופוטנספירציה (מ"מ/יום) בבית רשת באזור כברי בגליל המערבי: מדידה בשיטה של קורלציית הערבולים (עמודות שחורות). המודל המותאם לבית רשת (SET - עמודות באפור כהה), מודל פנמן-מונטית (RET - עמודות באפור בהיר). הקו המקווקו לרוחב מייצג את ההשקיה שניתנה על ידי החקלאי



איור 2: אוופוטנספירציה (מ"מ/יום) בבית הרשת באזור כורסי בסובב כנרת: מדידה בשיטה של קורלציית הערבולים (עמודות שחורות). המודל המותאם לבית רשת (SET - עמודות באפור כהה), מודל פנמן-מונטית (RET - עמודות באפור בהיר)



צריכת מים בבננה – סוף מעמ' 22

יחסי התקבלה שם צריכת מים נמוכה יותר. אימות הסבר זו דורש בדיקה השוואתית יסודית של תנאי האקלים בשני בתי הרשת, ניתוח שייערך במאמר אחר.

מסקנות

ערכי האופוטורנספירציה שהתקבלו ממודל SET (המותאם לבית הרשת) נמצאו בהתאמה טובה יותר לערכים המדודים בהשוואה לערכים שהתקבלו ממודל RET. לצמחים מפותחים יותר נמצאה התאמה טובה יותר בין המודלים לבין הערכים המדודים. מקדם הגידול, שחושב על סמך מודל SET, נמצא בהתאמה די טובה לערכים שבספרות. בגליל המערבי התקבלה צריכת מים יחסית נמוכה מאשר בעמק הירדן. ייתכן שהסיבה לכך היא השימוש ברשת בעלת הצללה חזקה יותר בגליל המערבי.

תודה

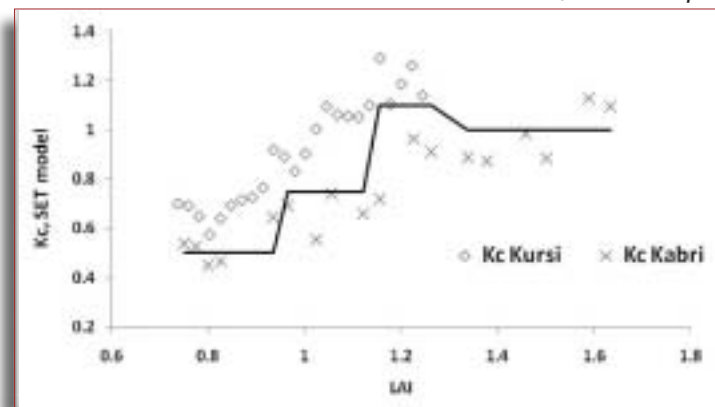
ברצוננו להודות לקרייג ופול מקיבוץ יחיעם ולמיקי מקיבוץ עין גב, שאיפשרו לנו לבצע את המחקר בבתי הרשת. תודותינו גם להלל, אחראי ההשקיה, על עזרתו בהעברת הנתונים הדרושים לביצוע המחקר. המחקר מומן על ידי מענק מחקר מס' IS-3861-06 של BARC, קרן דו-לאומית ארה"ב ישראל למחקר ופיתוח חקלאי. המחקר ממומן גם על ידי קרן המדען הראשי של משרד החקלאות, פרויקט מס' 304-0285.

ספרות

1. אור ג., בן שלום ח., לוינגרט אייז'יי ע., להב ע. (2011): תגובת הבננה למנות מים ולסוג המים בבית רשת ובמטע פתוח, 'עלון הנוטע' 65, עמ' 26-31.
2. דיקן א., טנאי י., גרוה א., כהן ש. (2009): מטע בננה צעיר בבית רשת: מיקרואקלים ויעילות צריכת מים על ידי הצמח. 'עלון הנוטע' 63, עמ' 35-39.
3. Allen RG., Pereira LS., Reas D., Smith M. (1998): Crop Evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy, pp. 300.
4. FAO (2006): <http://www.kimberly.uidaho.edu/water/fao56/fao.pdf>.
5. Moller M., Tanny J., Li Y., Cohen S. (2004): Measuring and predicting evapotranspiration in an insect-proof screenhouse, *Agric. Forest Meteorol.* 127, pp. 35-51.
6. Tanny J., Dicken U., Cohen S. (2010): Vertical variation in turbulence statistics and energy balance in a banana screenhouse. *Biosystems Engineering*, 106(2), 175-187.
7. Tanny J., Haijun L., Cohen S. (2006): Airflow characteristics, energy balance and eddy covariance measurements in a banana screenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, 139 (1-2), 105-118. ☒

(RET), עבורו התקבל יחס יומי ממוצע של 71% בין מדידה למודל. בכל התקופה הייתה ההשקיה גבוהה מהאופוטורנספירציה המדודה, כך שכנראה לא הייתה מגבלת מים למטע. איור 2 (בעמוד הקודם), הבנוי בצורה דומה לאיור 1, מראה את האופוטורנספירציה המדודה והמחושבת על ידי שני המודלים באזור חוף כורסי שעל שפת הכינרת. גם כאן ניתן לראות שלאורך כל התקופה, המודל המותאם לבתי רשת (SET) מתאים יותר לערכים המדודים, עם יחס ממוצע של 91% בין ערכים יומיים מדודים ומחושבים, בהשוואה לתוצאות מודל פנמן-מונטיס (RET), עבורו התקבל יחס יומי ממוצע של 82% לאורך כל התקופה. אם נשווה בין שלבי הגידול השונים, נראה גם כאן התאמה יותר טובה בין המדידה למודל (SET) עבור צמחים בוגרים יותר מיום 219 (יחס יומי ממוצע של 102%) מאשר בצמחים קטנים יותר (83%). גם בניסוי זה לא הייתה מגבלת מים לצמחים וניתנה השקיה בערכים גבוהים יותר מהערכים שנמדדו (לא מוצג בגרף).

איור 3: מקדם הגידול מחושב ממודל SET באזור כברי בגליל המערבי (סימון איקס) ובאזור כורסי בסובב כנרת (מעין) כתלות בממד שטח העלה (LAI) בכל ניסוי. הקו מייצג ערכי K_c מהספרות



איור 3 מציג את מקדם הגידול (K_c) כתלות בממד שטח העלים (LAI). מקדם הגידול התקבל באמצעות חישוב של היחס היומי בין האופוטורנספירציה המדודה לבין הערכים שהתקבלו מהמודל המותאם לבתי רשת (SET) בשני הניסויים, לפי נוסחה 2. עבור צמחים קטנים ($LAI < 1.2$) מקדם הגידול קטן מ-1 (עקב כיסוי חלקי של השטח), אך עבור צמחים בוגרים יותר ערכו מתקרב ל-1. כלומר, בצמחים בוגרים האופוטורנספירציה המדודה שווה בקירוב לערך שהתקבל מהמודל (כפי שנראה גם באיורים 1 ו-2). ערכי K_c שהתקבלו מאוד דומים לערכים שהתקבלו מהספרות (FAO, 2006) (מסומנים בקו). לאורך כל התקופה היה מקדם הגידול בגליל המערבי קטן מעט מזה שהתקבל בעמק הירדן, כלומר צריכת המים היחסית הייתה פחותה בבית הרשת בגליל המערבי. ייתכן כי הצללה של בית הרשת באזור זה, שהייתה חזקה מזו שבעמק הירדן, גרמה למיתון משמעותי יותר בתנאי האקלים ולכן, באופן