



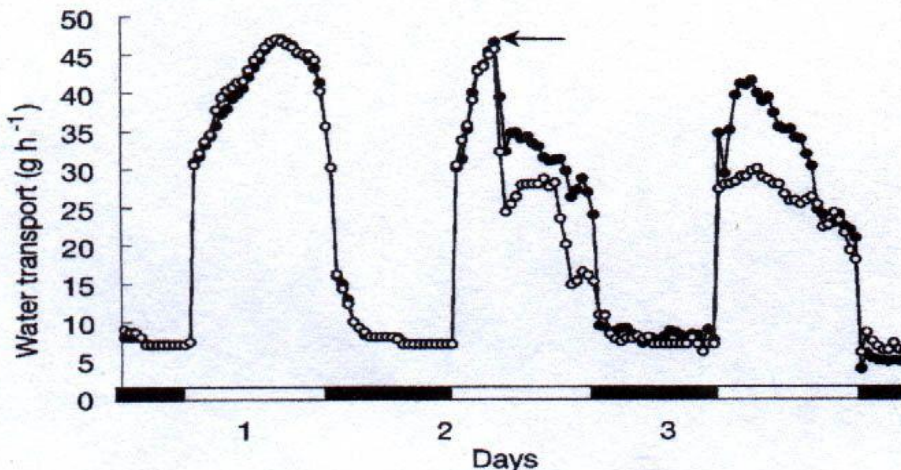
### השפעת טמפרטורת שורשים נמוכה על ספיקת המים והזנת הצמח

חיפוי הקרקע של טל-יה© נועד (פרט לתועלות האחרות), גם למתן את ההשפעות של תנאי סביבה קיצוניים על מערכת השורשים, בעיקר טמפרטורת הקרקע והרטיבות בפני הקרקע. לתנודות קיצוניות של טמפרטורה השורש, יש השפעות לטווח ארוך על העברת המים מהשורש, כפי שניתן לראות בתרשים שלהלן.

אזור השורשים משמש כמאגר וכמוליך להזנת הצמח. אופטימיזציה של תנובת הצמח, תלויה באופטימיזציה של מרכיבים התלויים זה בזה. המכלול של בית השורשים והקרקע, מתחת חיפוי טל-יה©, מאד תלויים בתמהיל מרכיבים רבים המעורבים, ולא רק במרכיב מרכזי אחד או שניים. סביבת קרקע שונה לחלוטין, נוצרת ומתהווה מרגע כיסוי איזור השורשים – פעילות פיזית, כימית וביולוגית מתחילה להתרחש כתלות ברטיבות או יובש, המאפשרים לשרשי הצמח הפעילים לגשר על פני שינוי פיתאומי שגם אם יתאזן ויעלם, התוצאה שלו תישאר כ"זיכרון" למשך זמן ארוך על התנהגות השורשים ומכאן על גידול הצמח כולו.

פעילויות השורשים הם: תמיכה מכאנית, קליטת מים, קליטת מזון, ייצור והולכה של מרכיבים אורגניים והורמוניים צמחיים.

תנאים הכרחיים לתמיכה מכאנית של השורשים הם התפשטות מהירה לעומק ולרוחב. מכיוון שהקרקע עשויה להתהדק עקב תנועה מכאנית של אדם או גלגלי כלים חקלאיים, ההידוק מהווה גורם מגביל על קצב התארכות מערכת השורשים. מחסור בחמצן סביב השורש, עוצר את התארכות השורש, באופן מידי ותוך עשר דקות לאחר תחילת המחסור בחמצן, מתחיל נמק באיזור ההתארכות של השרש והפסקת הצימוח של השורש. אספקת חמצן מאוחרת לא תביא לצמיחה חדשה של קצה השורש אלא להווצרות שורשים צדדיים להם אין את התכונה של חדירת השרש לעומק הקרקע. שמירה על שורשים פעילים, המשכיות בצימוח שורשים והתארכותם, משרת את קליטת הזרחה (פוספט) ויתר יסודות ההזנה מהקרקע, ובעיקר חנקן (בצורת חנקה) או אמוניום.



**Fig. 2** Effect of low root temperature on the water transport in cucumber plants. Root temperature was either lowered ( $2^{\circ}\text{C}$  per h) from  $20^{\circ}\text{C}$  to  $10^{\circ}\text{C}$  gradually (●), or dropped to  $10^{\circ}\text{C}$  in one step (○) on day 2 as indicated by the arrow. Signals were collected every 60 s and averaged over 15 min to give hourly mean values. Shaded and unshaded bars indicate night- and daytime, respectively

התרשים שלהלן מתוך Lee et al., (2004), מדגים את ההשפעה של קירור שנעשה ביום השני של הניסוי, אשר עכב את קליטת המים גם ביום שלמחרת, למרות שבו לא היתה עקת מים כלל. "זיכרון" של השורש ניכר בדפוסי הולכת המים, באם מכת הקור היתה הדרגתית או פתאומית. חיפוי הקרקע טל-יה©, מונע מהשורש להיחשף לתנודות קור קיצוניות.

השורשים מפעילים השפעה מרבית על הקרקע שורשים משפיעים על הקרקע גם באופן עקיף דרך פעילות של פטריות וחיידקים הניזונים מהפרשות השורש לריזוספרה. רכוז המינרלים משפיע על גודל וצפיפות מערכת השורשים. ההשפעות הללו הן כתוצאה מסוגי המזון, ריכוזם בסביבת השורש, מצע הקרקע, סוג הקרקע ותנאי הסביבה של הקרקע.

השורש הוא האיבר הראשון היוצא מהזרע. התארכות השורש היא תהליך מתמשך וחינוי לצמח כולו. כל ירידה בקצב הצימוח וההתארכות של השורש, גוררת השפעה על צימוח הנוף והתפקוד של כלל מרכיבי הצמח ויבולו.

הדוגמה הקלאסית, הקיצונית בהגבלת השורשים, היא עץ הבונסאי היפני (盆栽 מילולית: "גננות על מגש"), שיטת גידול עצים המבוססת על הגבלת השורשים בעת גידולם, ואילוצם לצמוח בכלי קיבול זעיר. בגידולי שדה, הצימוח והתארכות שורשים נמשכת כל עוד הצמח גדל.

תנאי סביבה הידועים בפגיעתם בצימוח הם: הדוק הקרקע, עקת יובש (מחסור במים), המלחה או נטרון של הקרקע, טמפרטורת קרקע קיצונית וכן מחסור או עודף של יסודות קורט או עודף של מתכות כבדות הגורם לרעילות יתר או לרגישות לאלומיניום חליף בקרקעות חומציות (בעלות pH נמוך מ-5.5).



### קליטת המים

"וְהָיָה כְּעֵץ שֶׁתוֹלַע עָלָיו פְּלִגֵּי מַיִם אֲשֶׁר פָּרְיוֹ יִתֵּן בְּעֵתוֹ וְעָלְהוּ לֹא יִבּוֹל... (תהלים א, ג).  
עומקה של מערכת השורשים משתנה כתוצאה מהשפעה של גורמים סביבתיים כגון חום הקרקע, הידוק הקרקע, רטיבות הקרקע וריכוז חומרי המזון בסביבת השורשים. השתרשות עמוקה, חיונית לאבטחת אספקת מים בתנאי יובש יחסי של הקרקע. כאשר אספקת המים מובטחת, הצמחים מסתפקים במערכת שורשים רדודה. קרקע חולית נתנת בקלות להידוק ולשורשי הצמחים קשה אז לפלס בה דרך.  
מערכת טל-יה © צפויה לספק יתרונות מסויימים בגידול בדיונות חול וקרקע חולית ע"י מניעת הידוק בסביבת גבעול הצמח.

### תגובת צימוח שורשים לריכוזי חומרי הזנה – דשני זרחה (פוספט) וחנקן

קליטת יסודות ההזנה:  
באופן רגיל, חומרי ההזנה המינרליים נקלטים דרך שורשי הצמח. קיימת ברקמות תאי השורש מערכת, המאפשרת קליטה ודחיית של המלחים המינרליים מתמיסת הקרקע. אשלגן נקלט בשורש ונע בקלות לעלים, בעוד שחדירת נתרן ותנועתו בצמח מוגבלת על ידי צמחים רבים. הקליטה והתנועה של יסודות ההזנה בצמח, מאוד רגישה לכל שינוי בסביבת השורשים. טמפרטורה, הדוק, מליחות ואוורור, משפיעים על התארכות השורש ועל קליטת יסודות ההזנה והובלתם בצמח.

### התארכות השורש וספיחת זרחן

זרחה (פוספט) כמעט ואינה נעה בקרקע כאשר היא מפוזרת כדשן גרגירי. אם מקור זרחן מזוהה על ידי השורש, הוא מגיב בגידול מהיר סביב מקור הזרחן. מרבית ספיחת הזרחן בצמח, מקורה בהתפתחות שורשי צד לטראליים. מרבית ספיגת הזרחה נעשית בקצוות השורשים. מארג השורשונים הסבוך מתחת חיפוי הקרקע טל-יה ©, עושה שימוש עדיף בזרחה שבקרקע, עקב צפיפות גדולה של השורשונים. מכיוון שחלקה העליון של הקרקע מתחת חיפוי טל-יה © מכיל בד"כ את ריכוז הזרחן הגבוה ביותר, והוא גם נשמר בתנאי רטיבות ואיורור טובים, יקל לשורשים לקלוט זרחות ללא אילוצי קרקע.

ספיחת זרחן על ידי השורשים לא תלויה רק בריכוז הזרחן בקרקע, כפי שניתן למדוד בבדיקה ישירה. סוג מקור החנקן בסמוך לשורש, משפיע על ספיחת הזרחן. תחת תנאים ארוביים טבעיים, מרבית החנקן הופך לחנקה (ניטריט) ההופכת למקור הצריכה העיקרי של חנקן לצמח. בתנאי מחסור בחמצן בקרקע, החנקן החנקתי  $N-NO_3$  מחוזר לגז חנקן  $N_2$ , בעוד שהחנקן האורגני משוחרר לקרקע כ  $NH_4^+$ . צמחים יכולים להשתמש בשני המקורות של החנקן, אולם ה"העדפה הטבעית" של הצמחים, תוצרי חומר יבש ומאזן יוני של חמרי ההזנה, מושפע בעיקר על ידי תצורת החנקן הזמינה באזור השורשים. ספיחת זרחן, ברזל, מוליבדן ואבק, תלויה בחומציות סביבת השורשים. חומציות זו היא פועל יוצא של חמצון האמוניום לצורת חנקות. לצורת החנקן הנקלט ע"י השורש יש השפעה על חומציות הקרקע בפני השורש. לצורת החנקן הנצרכת על ידי השורשים יש השפעה רבה על התפתחות והסתעפות השורשים וקליטת המים וחומרי ההזנה דרכם.



### השורשים כמקור וכמוצא של מרכיבים אורגניים והורמונים

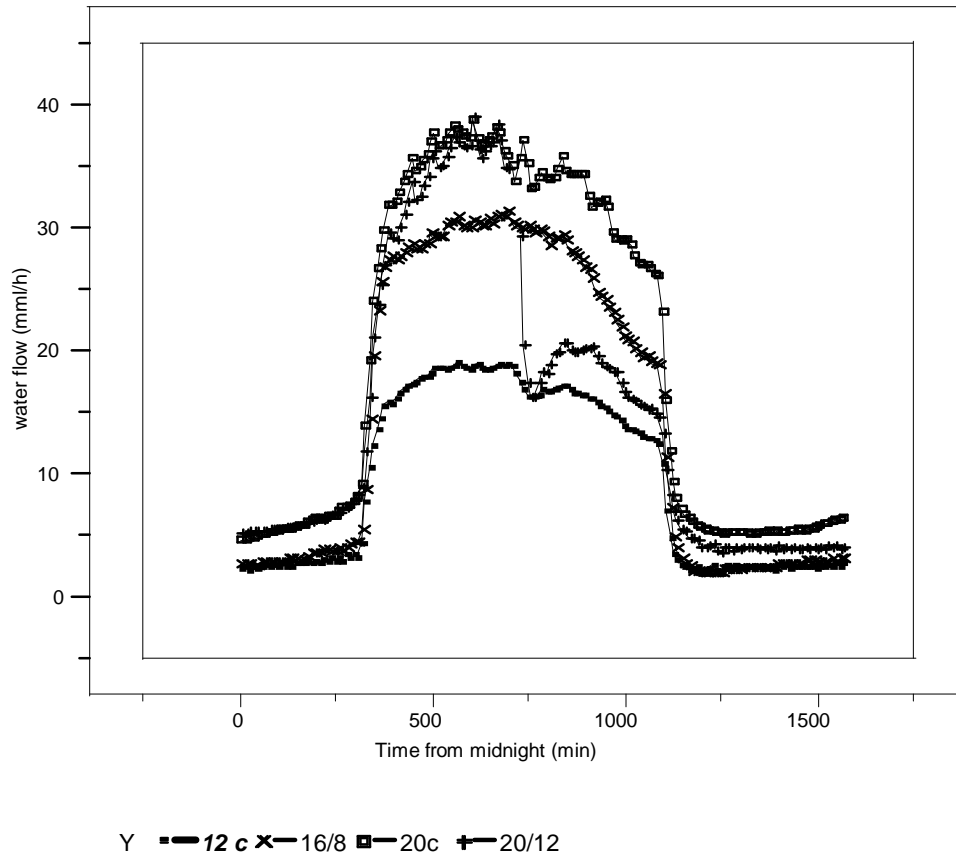
כמות הפחמן הכוללת המגיעה מהאוויר וזורמת אל השורשים, משתנה בין סוגי הצמחים השונים. בקטניות, כמות הפחמן המוצא את דרכו אל השורשים, יכולה להגיע לשני שלישי מהפחמן שעבר פוטוסינטזה בעלים. השונות בין סוגי הצמחים היא משמעותית. כששורשיהם משמשים מרכיב בעל משמעות של מאגר פחמימות לריבוי עתידי בשנה הבאה, שורשים הופכים למאגר פחמן מרכזי של הצמח. למבחר הרחב של כימיכלים המיוצרים בשורשים, יש השפעה לא רק על השימוש של בני האדם, אלא בעיקר כדי להגן על הצמח ממיקרואורגניזמים ויצורי קרקע אחרים או כמקור לשיתוף פעולה בין השורש וסביבתו בקרקע.

### פעילות הורמונלית

המאזן בין ההורמונים הלוקחים חלק בתהליכי גידול והתארכות שורשים, IAA, ABA, ציטוקינינים, ג'יברלין (GA) ואתילן, למעשה בא לידי ביטוי בבקרה על גידול השורש והנוף. כל שינוי בתנאי הסביבה בסמוך לשורש בעת גידולו, מתורגם לשינויים במרכיבים הפנימיים הללו, וכך נגרם שינוי חד בקצב התארכות השורש והתפתחותו.

### טמפרטורה וגידול שורשים

הצרכים הבסיסיים להתארכות שורשים הם: לחות, חמצן וסידן. מכיוון שגידול השורש קשור בהרבה תגובות פיזיולוגיות, הטמפרטורה האופטימלית לגידול שורש מוגדרת לכל זן, מין ואף הכלאה. התנאים הבאים מהווים סיכון לצמחים רדודי-שורש בשדה הפתוח: לילה קר שלאחריו יום בהיר. בתנאים אלו, צמחים רגישים כגון מלפפון ומלון, המכסים את הקרקע בנוף עליהם, דוחים את תחילת התחממות הקרקע ומונעים קליטת מים ע"י השורשים. בעוד שמעבר המים בצמח מתחיל עם הנץ החמה. מלפפון ומלון לא מאפשרים מעבר מים לשורשים מתחת טמפרטורה של 13 מעלות צלזיוס. לכן צמח בעל שורשים שטחיים יתיבש עם צאת השמש כי מים לא יחדרו לשרש.



Root temperature influence on water transport through tomato plant stem. Ali et al.1996

את העגבניה בתרשים לעיל, גידלו בארבעה משטרי טמפרטורת קרקע:  
טפול רצוף ב 12 מ"צ, 16 מ"צ ביום ו 8 מ"צ בלילה, 20 מ"צ ביום ובלילה והרביעי 20 מ"צ ביום ובלילה  
אך בשעה 12 בצהרים קוררו השרשים ל 8 מ"צ.  
ניתן לראות שבאופן מידי פחתה קליטת המים מהשרש למרות שטמפרטורת הנוף לא השתנתה.  
תופעה זו גוררת איבוד לחץ המים בצמח ותופעת קמילת עלים באמצע היום.

מקורות לתרשימים:

Lee SH, Singh AP Chung GC Kim YS Kong IB 2002. Chilling root temperature causes rapid ultrastructural changes in cortical cells of cucumber (*Cucumis sativus* L.) root tips. *J. Exp. Bot.* 53, (378) 2225-2237.

Ali, I. Kafkafi, U., Yamaguchi, I Sugimoto, Y. and S. Inanaga 1996. Effect of low root temperature on sap flow rate, soluble carbohydrates, nitrate contents and on cytokinins and gibberellin levels in root xylem exudates of sand grown tomato *J. Plant Nutr.*19: 619-634