

החיגור ונוערות זרימה של מוטמעים בשורשי הדר*

המוטמעים הבאים מן הנוף כוללים בין השאר שני מרכיבים יסודיים: (א) סוכרים ו- (ב) הור-מונים. בעצי הדר מבוגרים נמצא שמבין ההור-מונים (אוקסינים, ג'יברלינים ומעכבים) התנו-עה של הג'יברלינים מן הנוף אל השורש וכן יצירתם בשורש, או אחד מהם לפחות, מושפעים בצורה ניכרת ע"י החיגור. מאחר ויש קשר בין תנועת הסוכר והתנועה הפולרית של ההורמונים הצמחיים, הקדשנו מאמץ ללמוד את אופי ההור-בלה של הסוכרים וחלק מן הממצאים מובאים להלן.

חומרים ושיטות

מערכת הבדיקות היתה פשוטה עקרונית; לקחנו שתילי חושחש בני כשנה שעדיין אינם מסתעפים וגידלנו אותם בחדר גידול מבוקר כדי שתהיה לנו שליטה סבירה על אחידות הפעילות המטאבולית שלהם (14 שעות אור 25°C ו-18 $^{\circ}\text{C}$ לילה). לחלק מהשתילים סיפקנו סוכרוז — ולחלק סיפקנו CO_2 רדיואקטיבי ובחנו את הובלת הסוכרוז או המוטמעים בעזרת עיקוב אחר פיזור ה- ^{14}C בתנאים שונים. באותם צמחים שקיבלו סוכרוז- ^{14}C השארנו שני עלים בוגרים במרכז הגבעול ו-7—8 עלים צעירים ומלבלבים בקצה; כל שאר העלים הוסרו. לאחד מהעלים הבוגרים סיפקנו את הסוכרוז המסומן (1.5 uci) לצמח) בתוספת בורון 5 ח"מ. בגמר תקופת ההור-בלה חולקו הצמחים לקטעים באורך של 5—10 ס"מ ונקבעה כמות ה- ^{14}C שבהם. בצמחים שסומנו בעזרת $^{14}\text{CO}_2$ הושארו 8 עלים עליונים, שאר העלים הוסרו, קטע הגבעול הכולל את העלים הוכנס לתא שקוף בתוכו היה $^{14}\text{CO}_2$. התא השקוף איפשר קיום רצוף ותקין של ההטמעה. בסיום

הראינו במאמר נפרד שהחיגור גורם להפרעות בתנועת ההורמונים מן הנוף לשורשים וכן שהוא מערער את שיווי המשקל המטאבולי של פחמי-מות בשורשים. בממצאים ראשונים שעדיין לא פורסמו נמצא, שבמקביל גורם החיגור גם הפ-חתה של גשימת השורשים ויתכן שכתוצאה מכך נפגעות מערכות מטאבוליות נוספות כגון קליטת יונים, קליטת מים, סינתזה של חומרים אורגנים שונים וכד'. ברור שפעולה תקינה של שורשים קשורה באספקה מתמדת של מוטמעים מן הנוף. בחיי המעשה אנחנו פוגעים ע"י החיגור במער-כות האחריות להובלת מוטמעים. יש לקחת איפוא בחשבון שלחיגור עלולות להיות השפעות קצרות טווח וארוכות טווח ולכן נראה לנו שיש הכרח חיוני ללמוד את דרכי ההובלה של המוט-מעים אל השורשים ואת השפעת החיגור על הובלה זו. הננו מיחסים חשיבות רבה ללימוד מערכות ההובלה בעצים בכלל ובעצי הדר בפרט, מאחר ויחסית ידוע אך מעט על מערכות אלה והשפעת פעולתן על חיי העץ. כל מחקר העוסק בבעיות הובלה צריך לקחת בחשבון את הקינטיקה של זרימת המוטמעים והגורמים המשפיעים עליה וכן את התלות שבין הזרימה לבין הארועים המטאבוליים המושפעים ממנה אם בנוף ואם בשור-רש. למעשה ניתן לומר שיחסי נוף-שורש קשורים קשר אמיץ ביחסי הגומלין בין תהליך יצירת המוטמעים וניצולם במקומות אחרים בעץ. לכן, כל פעולה אשר משבשת יחסים אלה תביא בעק-בותיה שינויים מרחיקי לכת, כפי שאמנם ידוע לנו שעושה החיגור.

* סיכום מוקדם של פרק מעבודת הדוקטור של ישראל ורשטיין.

הניסוי נותק הצמח, חולק למקטעים של 5 ס"מ ונבדקה כמות ה- ^{14}C שבהם. בכל המקרים שבוצע חיגור הוא היה סטנדרטי ברוחב של 3 מ"מ.

תוצאות ודיון

הסתכלות בטבלה מס' 1 מבליטה את העובדה שקיימת בשתילי הדר מערכת הובלה המורכבת לפחות משני מרכיבים בולטים: (א) זרימה מהירה מאד המתייחסת לרמה נמוכה של רדיואקטיביות ו- (ב) זרימה איטית ונמשכת האחראית להובלת עיקר הרדיואקטיביות אל השורשים. התוצאות המובאות בטבלה מס' 1 מתייחסות רק לנתונים שהושגו לאחר הטמעה של פחמן דו חמצני רדיואקטיבי והממצאים היו בעיקרם דומים לאלה שהושגו לאחר החדרת של סוכרוז רדיואקטיבי. לכן בחרנו, בגלל קוצר היריעה, להביא רק את הנתונים המתייחסים להובלת מוטמעים, מאחר והמשמעותיות הן דומות בשני המקרים. גובה השתילים היה בערך 34 ס"מ ולכן ניתן להגיע לחישוב מהירות התנועה של המוטמעים הרדיואקטיביים, האומר שקצב התנועה הוא 34 ס"מ לדקה, לפחות. בגלל סיבות טכניות, לא ניתן היה לבחון פרקי זמן קצרים יותר. יש להעיר כבר עתה, שבדרך כלל לא מקובלת תנועה כל כך מהירה ומדובר על תנועת מוטמעים שנעה בקצב של 60 עד 120 ס"מ/שעה. מכאן, לאחר שהבטיחנו בכל האמצעים שאין בשיטה ליקוי טכני, מתברר שבשתיל הדר קיימת תנועה מהירה במיוחד, האחראית ליציאה הראשונה של המוטמעים מן העלה, אולם סדר הגודל של הרדיואקטיביות שהוא קטן יחסית מדגיש שאין זו התנועה העיקרית. גם אופי הזרימה שונה בזמנים הקצרים והארוכים. כאשר בוחנים את קצב היציאה מן העלה מסתבר שללא חיגור כמעט ואין יציאה של רדיואקטיביות מן העלה. בפרק זמן עד 2 שעות לאחר הטיפול, בעוד שרמת הרדיואקטיביות בעלה הקולט מתחילה לרדת בצורה יותר חדה, אם כי הדרגתית, לאחר 19 שעות מהטיפול. עד לתקופה זו ועד בכלל רמת הרדיואקטיביות בשורשים עדיין נמוכה, אם כי משמעותית מבחינה סטטיסטית ורק לאחר 48 שעות ניתן היה להבחין בעליה רבה יותר של הרדיואקטיביות בשורשים.

טבלה 1. סה"כ רדיואקטיביות (dpm) בצמח, רדיואקטיביות בשורשים וכן אחוז מהרדיואקטיביות הכללית נעלים קולטים ובשורשים לאחר קליטת $^{14}\text{CO}_2$

30 ימים	11 ימים	72 שעות	48 שעות	19 שעות	2 שעות	2 דקות	1 דקה	זמן קליפה והובלה	אבר נבדק
6,072,548	10,374,417	7,808,904	4,181,190	14,293,371	7,296,903	2,636,042	715,623	סה"כ dpm בצמח	
188,286	646,000	354,344	39,250	1145	1410	1629	117	גרי/שורשים	
75.3	45.9	67.1	84.6	93.3	99.0	99.2	99.7	עלים קולטים %	
3.10	2.18	6.13	1.28	0.02	0.05	0.12	0.06	שורשים %	

שמהלך יציאת המוטמעים הרדיואקטיביים דומה בשתילים אלה לזה שבשתילים בלתי מחוגרים עד 19 שעות ועד בכלל. לאחר מכן חלה האטה ביציאת המוטמעים, דבר המתבטא מצד אחד

עליה זו מצביעה על כך, שלאחר 48 שעות מהטי" פול מתחילה להגיע אל השורשים הזרימה העיקרית של מוטמעים רדיואקטיביים שונים. השפעת החיגור מובאת בטבלה מס' 2. מסתבר

טבלה 2. השפעת חיגור על סה"כ רדיואקטיביות (dpm) בצמח, על רדיואקטיביות בשורשונים וכן על אחוז מהרדיואקטיביות הכללית בעלים קולטים ובשורשונים לאחר קליטת $^{14}\text{CO}_2$

30 ימים	11 ימים	72 שעות	19 שעות	2 דקות	זמני קליטה והובלה	אבר נבדק
4,824,628	20,889,096	6,346,804	3,557,667	1,613,674	סה"כ dpm בצמח	
739	8108	1601	720	978	dpm/גר' שורשונים	
88.1	75.5	84.0	93.6	98.4	עלים קולטים %	
0.02	0.02	0.04	0.02	0.12	שורשונים %	

חזקה של רדיואקטיביות אל מערכת העצה והדבר נכון כבר לאחר 1 דקה מן הטיפול. זמן זה קצר מכדי לאפשר למוטמעים או לסוכרוז להגיע אל השורשים ולחזור שנית במערכת העצה אל הנוף בצורת חומצות אמינו או מרכיבים אורגניים אחרים וכן מכדי להביא להצטברות בעמילן. מכאן, שמערכת ההובלה בשתיל ההדר מורכבת יותר מן הצפוי ושאלת השאלה איזה תפקיד ממלאת מערכת העצה בהובלת המוטמעים אל השורשים. במקביל מסתבר שיש רמזים ברורים לכך שהחיגור אינו מסוגל למנוע את המעבר של הכמות יות הקטנות של המוטמעים, הנעשית כנראה דרך העצה בלבד או ע"י שילוב של עצה ושיפה הכולל עקיפת החיגור דרך העצה.

עלה ההדר ידוע בכך שאינו צובר מוטמעים בצורת עמילן; מצד שני יש לו מאגר גדול של מוטמעים מומסים ולכן דרוש זמן רב יחסית עד שהמוטמעים הרדיואקטיביים מתחילים לזרום החוצה מן העלה במסה גדולה. ואמנם הראו בעבר דות אחרות שקשה מאד להרעיב את עלה ההדר אפילו אם מחזיקים אותו בחושך תקופה ארוכה יחסית.

לסיכום

במחקר זה אמנם עבדנו בשתילים ולא בעצים מבוגרים, אך הממצאים מראים בפירוש שלחיגור

ברמה גבוהה יותר יחסית של רדיואקטיביות בעלה הקולט ומצד שני לא הובחנה כל עליה ברמת הרדיואקטיביות בשורשים. מכאן שהזרימה העיקרית של המוטמעים מעוכבת ע"י החיגור, דבר שגם מאשר ממצאים קודמים, הקשורים לסוגיות העמילן, עליהם דיווחנו בנפרד. הרמה היחסית, הנמוכה אבל הקבועה, של רדיואקטיביות בשורשים, מצביעה על כך שהזרימה המהירה, המתאפיינת ע"י תנועה של כמות מועטה של מוטמעים, אינה מושפעת על ידי החיגור ומצד שני שעיקוב התנועה האיטית ע"י החיגור אינו פוגע בהמשך התנועה של הכמויות הקטנות כפי שעברו בזמן הקצר שלאחר החיגור. כפי שכבר צויין לעיל לא היה הבדל משמעותי בין התוצאות שהושגו לאחר אספקה של ^{14}C -סוכרוז בהשוואה להטמעה של $^{14}\text{CO}_2$.

במהלך המחקר בוצעו בדיקות רבות שבאו לבחון האם התנועה המהירה והאיטית מתקיימות באותן מערכות הובלה ומה מידת ההתקדמות של התנועה הרדיואקטיבית מן העלים המטופלים כלפי מעלה אל הנוף וכלפי מטה אל השורשים. הסתבר שלמרות שצפוי היה, לאור הטכניקות של אספקת הסוכרוז או הפחמן הדוחמצני המסומנים, שנמצא את הרדיואקטיביות רק בקליפה, מקום בו נמצאים צינורות השיפה המובילים את המוטמעים אל השורש, נמצא למעשה שקיימת דליפה

נודעת השפעה מרחיקת לכת במניעת זרימת מוט-
מעים אל השורשים לתקופה ארוכה המסתיימת
לאחר כחודש ימים עם סגירת החיגור. מצד שני
זרימה מסויימת של מוטמעים אינה מעוכבת ע"י
החיגור והיא מאופיינת ע"י כך שהיא מסוגלת
לנוע גם במערכת העצה. מכאן שאין החיגור
מסוגל לפגוע בה בצורה ישירה. אמנם לא בחנו
עדיין האם הזרימה המהירה דומה גם כאשר
מדובר בהורמונים צמחיים, אך יש מקום להניח
שיכולה להיות הקבלה כזו אם כי הדבר עוד
דורש מחקר.

כיום ברור לנו מעל לכל ספק שגם מערכת
ההובלה וגם המערכות המטאבוליות הקשורות
בהורמונים: צבירת חומרי תשמורת, נשימה וכד',
מושפעות ע"י חיגור וכנרא השהן אחראיות לתו-
פעות ההורטיקולטוריות השונות הידועות לנו
מניסויי השדה בעצים מבוגרים. לדעתנו יש הכרח
להגיע להגדרה רחבה ומעמיקה ויתר של השפ-
עות אלה כדי שנוכל להגיע להערכה נכונה יותר
באשר להשפעות הלואי, כאשר מעונינים לחגר
אם לצורך העלאת פוריות הגדלת מימדי הפרי
וכדומה.