

## שמנים אתריים כמעכבי נביטה וצמיחה

נ' דודאי, א' פוליאקוב-מיבר, צ' לרנר וא' פוטיבסקי

### תקציר

תופעת עיכוב הנביטה והצמיחה של צמחים על-ידי צמחים אחרים - אללופתיה - ידועה זה זמן רב והמחקר בנושא זה היה ברובו בעל אוריינטציה אקולוגית. רק באחרונה, לאור העלייה במודעות הציבור לבעיות בריאות וזיהום הסביבה, עלה גם הצורך בהחלפת קוטלירעשבים הסינתטיים בחומרים טבעיים. מסיבה זו קיבל המחקר בתחום זה הבט יישומי. במאמר דלהלן ייסקרו בקצרה עיקרי המחקרים והממצאים שנאספו בנושא זה עד עתה. הסקירה מתרכזת גם בכיוון האקולוגי וגם במאמצים שנעשו במטרה לברר מהם מנגנוני הפעולה החשובים האחראיים לעיכוב הנביטה והצמיחה על מנת לאפשר מחקר יישומי בנושא. במאמר מובאים גם ממצאים ראשוניים ממחקרים שנעשו בארץ במטרה לבדוד מעכבים כאלה בצמחי תבלין ולהשתמש בהם כקוטלירעשבים טבעיים בקנה-מידה מסחרי.

### מבוא

בשנים האחרונות גברה המודעות לנזק הבריאותי והאקולוגי שגורמים חומרים סינתטיים המשמשים כקוטלירעשבים בקנה-מידה נרחב בחקלאות. במקביל גבר העניין בפיתוח אמצעים טבעיים חילופיים לחומרים הללו. תופעות של עיכוב גדילת צמחים על-ידי צמחים אחרים המצויים בסביבתם מוכרות כבר שנים רבות. התופעה כונתה "אללופתיה" והוגדרה כיחסי-גומלין כימיים בין צמחים, לרבות מיקרואורגאניזמים. הגדרה זו כוללת פעילויות-גומלין המתבטאות הן בעיכוב של תהליך מסוים והן בהמרצתו (21, 29).

עדויות על קיום תופעת האללופתיה בטבע ועל עיכוב נביטה וצמיחה על-ידי צמחים המכילים אללוקימיקלים (חומרים צמחיים מעכבי-צמחים), שהם נדיפים, מתוארות במחקרים רבים (3, 5, 6, 24, 31). התופעה הזו בטבע תוארה על-ידי Muller וחובריו (22, 23) כלהלן: בסביבה שבה גדלו שיחי צמחים ארומאטיים, כגון מרווה מלבינה (*Salvia leuocphylla*) ולענה קליפורנית (*Artemisia californica*), היו השטחים

מפרסומי מינהל המחקר החקלאי, סדרה ע', 1994, מסי' 68.

1 היחידה לצמחי תבלין ובושם, מרכז מחקר נוהיער, מינהל המחקר החקלאי, ת"ד 90000, חיפה 31900.

2 המחלקה לבוטניקה, האוניברסיטה העברית, ירושלים 91904.

שביניהם ריקים מצמחים חד-שנתיים. השפעת החומרים הנ"ל ניכרה עד למרחק של 90 ס"מ מן השיחים הארומאטיים, ואפילו במרחקים של 2-6 מ' מנופם היתה אוכלוסיית הצמחים החד-שנתיים דלילה מאוד. זוהי תופעה אקולוגית במהותה, העשויה להקנות לצמחים הארומאטיים יתרון תחרותי בבתי-הגידול שלהם. לאור הממצאים הנ"ל ייתכן שאפשר להשתמש בכמה מהחומרים הפעילים באלופתיה לצרכים חקלאיים כמו לוחמה בעשבים רעים. כדי לפתח נושא זה יש צורך במחקר מקדים על מהות זהותם ופעילותם של החומרים האלה, על תכונותיהם ועל פעילות-הגומלין שביניהם ובין הגורמים השונים הפעילים בשדה. יש גם צורך לפתח שיטות לאפיון פעולתם של החומרים האלופתיים השונים, בהפרדה ובזיהוי המיקטעים (הפראקציות) הפעילים ובמידת השפעתם.

### פרק א': אלופתיה, אללוקימיקלים ושמנים אתרים

רוב המעכבים המיוצרים על-ידי צמחים עילאיים זהו כפנולים וכנגזרות של חומצה צינאמית (29). במינים רבים נמצאים מעכבים מקבוצות כימיות שונות: חומצות פנוליות, קומרינים ופרוקומרינים, פלאונואידים, אלקאלואידים, ציאנרגליקוזידים, חלבונים וחומצות אמיניות, חומצות אמיניות לא-חלבוניות ועוד (18, 25, 30). לרשימה זו יש להוסיף גם טרפנואידים ובהם טרפנים נדיפים שהם הרכיבים החשובים ברוב השמנים האתריים (13, 14, 24).

השמנים האתריים הם חומרים נדיפים בצמח ובעלי רמת מסיסות נמוכה במים, והם המקנים את הארומה האופיינית לצמחי התבלין והבושם ("צמחים ארומאטיים"). מצטברות עדויות כי חלק מרכיבי השמנים האתריים, ובעיקר הטרפנואידים, משמשים כאללוקימיקלים (24) ואנטי-הרביזורים (בעל-חיים אוכלי-צמחים) (15). צמח מכיל בדרך כלל תערובת של אללוקימיקלים שתכונותיהם שונות, ועשויה להיות פעילות-גומלין ביניהם. יתר על כן, חלקי צמח שונים מכילים כמויות שונות של אללוקימיקלים. בצמחים ממשפחת השפתניים, הידועה כעשירה במינים ארומאטיים, מצויים החומרים הנדיפים בריכוז גבוה במיוחד ביחידת התפוצה - עלי הגביע (1, 9). בסוככיים הם מצויים בעיקר בזרעים עצמם (שהם יחידת התפוצה). מכאן שבשני המקרים, פעילות החומרים האלה צפויה באזור תפוצת הזרעים, וצפוי שהשפעתם תתבטא בנביטת זרעי צמחים המצויים בסביבת הצמחים הארומאטיים. חומרים מעכבי-נביטה ביחידת התפוצה ובזרעים נמצאו במינים המכילים אללוקימיקלים נדיפים וגם במינים המכילים אללוקימיקלים שאינם נדיפים (18).

אחת ממטרותיו של המחקר שלנו היא לפתח שיטות מתאימות לכימות ולמיון כושר עיכוב הנביטה והצמיחה של שמנים אתריים שונים, ונעשה מאמץ להפריד בין המיקטעים המרכיבים את השמנים האתריים הטבעיים ולזהות את המיקטעים הפעילים.



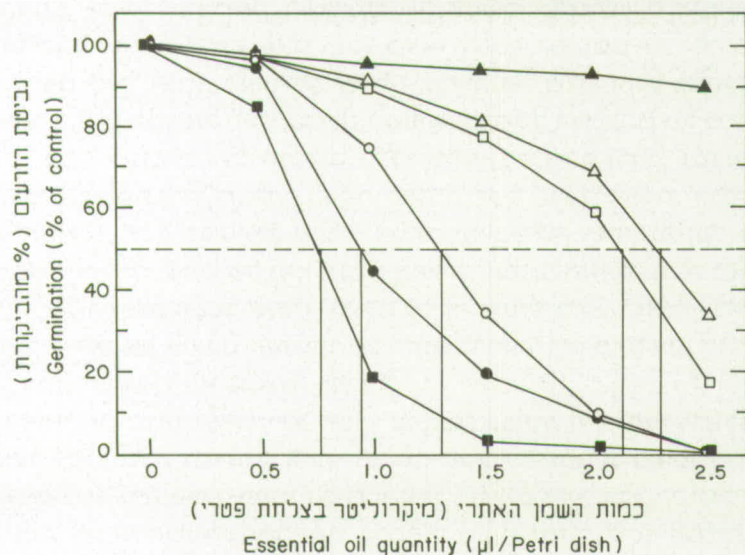
## פרק ב': שמנים אתריים ועיכוב נביטה

הקושי העיקרי בבדיקת השפעתם של שמנים אתריים על הנביטה הוא בכך שמסיסותם במים קטנה מאוד, ועל כן אי אפשר להמיסם במריה הנבטה על-מנת להחדירם לתוך הזרע. הפתרונות שניתנו לבעיה היו כולם זהים במהותם, כלומר - החומר הפעיל הגיע אל הזרע בפאזה הגאזית. בבדיקת השפעתם של פיסות עלים, או חלקי צמח כתושים, על הנביטה בכלי סגור, בתנאי מעבדה, נמצא שהחומרים הנדיפים שהשתחררו מחלקי הצמח לאוויר הכלי גרמו לעיכוב הנביטה וצמיחת הנבטים (16, 22). בניסויים שערכו המחברים בשיטה דומה נתקבל עיכוב נביטה משמעותי על-ידי עלים של מיני תבלין אחדים. אמנם, השיטה אינה מאפשרת ביטוי כמותי של השפעת השמן האתרי, ואולם על-ידי שימוש בשמן האתרי שהופק מן הצמח אפשר לייחס את עוצמת השפעתו של השמן לכמותו באופן מדויק, כי השמן האתרי הוא חומר הומוגני וניתן למדידה כמותית.

בשיטה זו, כמות מדודה של השמן מוספגת בפיסת נייר-סיון המודבקת למכסה צלחת פטרי שבה נמצאים צמחי הבוחן. המערכת נסגרת באופן הרמטי (על-ידי פאראפילם). נפח הכלי, כמות המים ומספר הזרעים זהים בכל הטיפולים וכך אפשר להשוות את השפעת השמן האתרי בכמויות שונות (מיקרוליטר לצלחת). בשיטה זו נסקרה פעילותם של עשרות שמנים אתריים שהופקו ממינים ארומאטיים שונים (איור 1). באיור אפשר להשוות את השפעותיהם של כמה שמנים אתריים על שיעור הנביטה של זרעי הבוחן (חיטה *Triticum aestivum* מהזן "דריאל") לאחר תקופת דגירה בת 48 שעות בטמפרטורה של  $27^{\circ}\text{C}$ . ההשוואה מתבצעת על-ידי קביעת הכמות הגורמת לעיכוב נביטה או צמיחה בשיעור של 50% (לעומת טיפול הביקורת, ללא שמן אתרי), דהיינו - ככל שכמות זו נמוכה יותר, פוטנציאל העיכוב של השמן גדול יותר. בבדיקה הובחנו שלוש קבוצות של שמנים אתריים (איור 1) ואלה הן: א. שמן אתרי חסר השפעה מובהקת (לענת האבסינט - *Artemisia absinthium*); ב. שמנים אתריים בעלי השפעה מתונה (פלרגוניום ריחני - *Pelargonium graveolens* ומיורם מתוק - *Origanum majorana*), שבהם נדרשת כמות גדולה מ-2 מיקרוליטר לצלחת כדי לגרום לעיכוב של 50% בנביטה; ג. שמנים אתריים בעלי השפעה מעכבת חזקה (עשב לימון - *Cymbopogon citratus*; בזיל לימוני - *Ocimum citriodorum* וזוטה לבנה - *Micromeria fruticosa*), שבהם נדרשה כמות של פחות מ-1.5 מיקרוליטר בצלחת כדי לעכב את הנביטה בשיעור של 50%. הפעיל ביותר היה השמן של הזוטה הלבנה (כ-0.7 מיקרוליטר). צמחים מהקבוצה האחרונה באים בחשבון להמשך בדיקתם כמקור למדברי עשבים טבעיים בעתיד.

קיימים אפוא הבדלים בין השפעות השמנים האתריים השונים על זרעי החיטה. כמו כן קיימים הבדלים בגישותם של זרעי המינים השונים לשמנים האתריים (טבלה 1). יתר על כן, גם זרעי המינים הארומאטיים רגישים בדרך כלל לשמנים האתריים, לרבות זה של צמח-האם; לדוגמה, זרעי המליסה רגישים לשמן שלה אפילו יותר מזרעי

איור 1: עיכוב הנביטה של זרעי חיטה על-ידי שמנים אתריים  
 Fig. 1: Effect of essential oils on germination of wheat seeds



מקרא Legend

- זוטה לבנה *Micromeria fruticosa*
- עשב לימון *Cymbopogon citratus*
- בזיל לימוני *Ocimum citriodorum*
- מיורס מתוק *Origanum majorana*
- △ פלארגוניום ריחני *Pelargonium graveolens*
- ▲ לענת האבסינת *Artemisia absinthium*

הקווים האנכיים מציינים את כמות השמן האתרי שגרמה להפחתת הנביטה בשיעור של 50%.  
 The vertical lines indicate the amount of the essential oil necessary to cause 50% inhibition of germination.

החיטה, המשמשים בדרך כלל כזרעי בוחן (טבלה 1). לעומתם ישנם מינים בעלי עמידות יחסית בפני השמן האתרי של צמח-האם, כמו בזיל מתוק מין אקזוטי (*Salvia sclarea*) ומרווה מרששת (*Ocimum basilicum* - Methyl-chavicol type). נמצא כי השמנים האתריים יכולים לעכב התפתחות צמחים לא רק על-ידי הפרעה בנביטה אלא גם על-ידי עיכוב צמיחת הנבט. עיכוב הצמיחה מונע את השתרשותו וכינונו התקין של הנבט בקרקע. בבדיקה במעבדה נמדדה צמיחתם של נבטי חיטה בעלי שורשון באורך של 1-2 מ"מ שהועברו לצלחות פטרי, ובהן מנה מדודה של שמן אתרי שהוספג בפיסת נייר-סיון שהוצמדה למכסה הצלחת. התוצאות מלמדות כי השמן האתרי של עשב לימון, למשל, מעכב את צמיחתם של השורשון והנצרון בנבט



**טבלה 1:** כמות השמן האתרי (מיקרוליטר בצלחת) שגרמה לעיכוב של 50% בנביטת הזרעים של מינים שונים

**Table 1:** Essential oils affecting seed germination - the quantity (ml per Petri dish) which reduced the germination to 50% of the control value

מקור השמן האתרי Essential oil source	מין הזרעים Seeds of	בזיל מתוק <i>Ocimum basilicum</i> (*)	מרווה מרושתת <i>Salvia sclarea</i>	גד-השדה <i>Coriandrum sativum</i>	כרוויה תרבותית (קימל) <i>Carum carvi</i>	מליסה רפואית <i>Melissa officinalis</i>
בזיל מתוק * <i>Ocimum basilicum</i> *		2.50	>2.50	1.75	2.50	1.43
מרווה מרושתת <i>Salvia sclarea</i>		1.44	2.16	0.70	0.88	1.68
כרוויה תרבותית (קימל) <i>Carum carvi</i>		0.79	1.27	1.27	1.35	0.84
מליסה רפואית <i>Melissa officinalis</i>		1.78	1.66	0.28	0.28	0.47
חיטה <i>Triticum aestivum</i>		>2.50	2.30	1.15	1.20	1.87
חרדל <i>Sinapis nigra</i>		>2.50	>2.50	>2.50	2.06	0.95
עגבניה <i>Lycopersicon esculentum</i>		1.10	>2.50	1.92	0.85	1.30

\* Methyl-chavicol type.

\* זן אקזוטי.

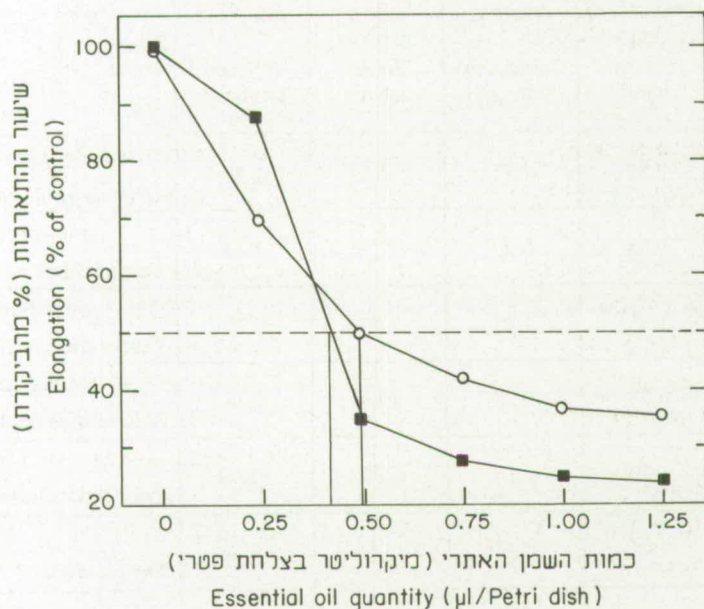
שעבר תהליך נביטה מלא לפני חשיפתו לשמן המעכב (איור 2). כמויות השמן שגרמו לעיכוב 50% מצמיחת השורשון והנצרון היו קטנות מאלה שנדרשו לעיכוב הנביטה. לפיכך הוסק שתהליך צמיחת הנבט רגיש לשמן האתרי יותר מתהליך הנביטה. זרע שנבט למרות שנחשף לשמן אתרי עדיין חשוף לסכנת עיכוב הצמיחה בשלב הנבט הצעיר, עד כדי עצירתה כליל.

## פרק ג': הקשר בין המבנה הכימי ובין פעילות החומרים המעכבים

בעבודות שבהן נחקרה השפעתם של רכיביהם העיקריים של השמנים האתריים נמצאו המונוטרפנים מכילי-החמצן כבעלי הפעילות החזקה ביותר (13). Asplund מצא (2) שלאלה המכילים קבוצה קטונית במולקולה, כדוגמת קאמפור (camphor) ופולגון (pulegone), היתה הפעילות החזקה ביותר, אפילו יותר מחומצה הידרוציאנית

**איור 2:** עיכוב התארכות השורשון והנצרון בנבטי חיטה על-ידי שמן אתרי של עשב לימון

**Fig. 2:** The effect of the essential oil, extracted from lemon grass (*Cymbopogon citratus*) on the growth of the radicle and coleoptile of germinated wheat seeds

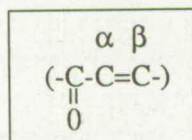


#### מקרא Legend

- The radicle of germinated wheat seeds  
 ○ The coleoptile of germinated wheat seeds

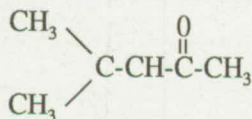
הקווים האנכיים מציינים את כמות השמן האתרי שגרמה להפחתת הנביטה בשיעור של 50%.  
 The vertical lines indicate the amount of the essential oil necessary to cause 50% inhibition of germination.

(HCN) (טבלה 2). Lerner ו-Evenary מצאו (20) שתמצית עלי אקליפטוס עיכבה את נביטת זרעי החסה, וכי התנהגות ספקטרום הבליעה של המיקסע הפעיל אופיינית לזו של חומרים בעלי מערכת קארבונילית מצומדת בלתי ררוויה בעמדות  $\alpha$ ,  $\beta$ :

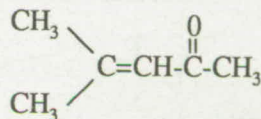




לפיכך הם בדקו את פעילות העיכוב של חומרים בעלי מערכת כזו, ומצאו שהחומר מזיתיל-אוקסיד עיכב את הנביטה במידה משמעותית לעומת מתיל-איזובוטיל-קטון, שהוא חומר דומה אך ללא קשר כפול מחוץ לקבוצת הקארבונל במולקולה:



מתיל-איזובוטיל-קטון  
Methyl-isobutyl-ketone



מזיתיל-אוקסיד  
Mesityl-oxide

גם התוצאות של Reynolds, שסקר את ההשפעה המעכבת של עשרות מונוטרפנים על נביטת זרעי החסה, מצביעות על מגמה דומה (28). Connick ו-Bradow וחבריו מצאו שמתיל-קטונים שונים, שהופקו מירבוז פלמר, עיכבו נביטה על אף שאינם טרפנואידים (4).

ברור שכדי לפתח וליישם בעתיד את השימוש בחומרים המעכבים יש לבדוד מהם את החומר הפעיל. בניסוי שנעשה (איור 3) בשמן אתרי של זוטה לבנה שעבר פראקציונציה (עלידי כרומאטוגרפיה בלחץ נמוך בקולונת סיליקה גיל), נמצא שלמקטע שהכיל בעיקר פולגון היתה פעילות גבוהה לעומת המקטע שהכיל בעיקר את יתר רכיבי השמן האתרי. גם לפולגון נקי (אנאליטי) היתה פעילות חזקה מאוד (8).

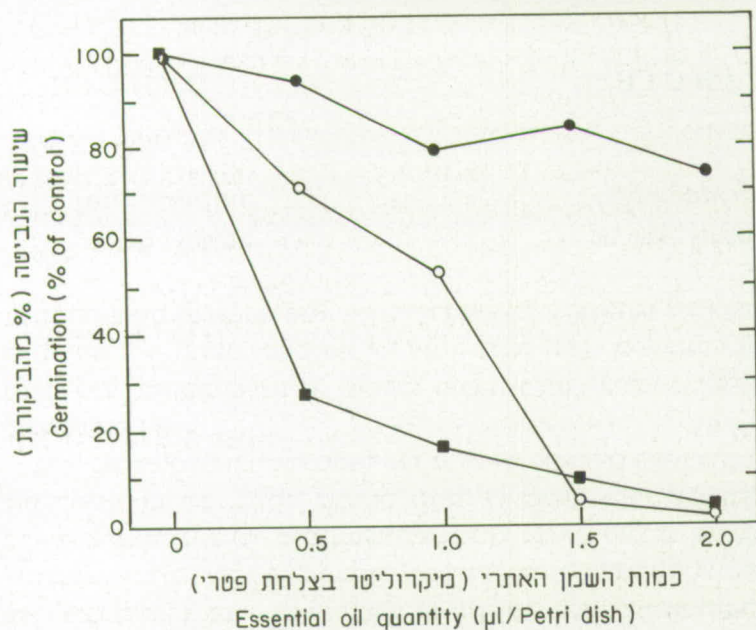
**טבלה 2:** ריכוזי חומרים נדיפים באווירת הגידול שגרמו לעיכוב של 50% בנביטת זרעי חזרת (*Raphanus sativus*), בתוך 48 שעות (2)

**Table 2:** Concentrations of volatile substances in ambient air which yield a 50% reduction in germination of radish seeds (*Raphanus sativus*) (2)

הריכוז (מיקרומול/לי) Concentration (μmole/l)	האיפיון הכימי Chemical category	החומר הנדיף Volatile substance
5.5 ± 0.3	- - -	HCN
3.3 ± 1.2	Ketone	(+)-Camphor
3.1 ± 0.8	Ketone	(-)-Camphor
1.5 ± 0.9	Ketone	(-)-Pulegone
21.0 ± 0.8	Alcohol	(-)-Borneol
78.0 ± 4.6	Ether	1,8-Cineole
45.0 ± 1.3	Diene	Limonene
57.0 ± 2.2	Diene	α-Phellandrene
51.0 ± 5.8	Aromatic	p-Cymene
30.0 ± 1.9	Monoene	α-Pinene
170.0 ± 11.0	Monoene	β-Pinene

איור 3: השפעת מקטעי שמן אתרי של זוטא לבנה על זרעי חיטה

Fig. 3: The effect of two fractions of essential oil extracted from *Micromeria fruticosa* on germination of wheat seeds



#### מקרא Legend

- fraction 1, containing 38% pulegone
  - fraction 2, containing 92% pulegone
  - analytical (+)-pulegone
- מקטע 1, מכיל 38% פולגון  
מקטע 2, מכיל 92% פולגון  
(+)-פולגון אנאליטי

### פרק ד': השפעת שמנים אתריים על תהליכים פיסיולוגיים

בבדיקות אנאטומיות נמצא שהשמן האתרי של "מרור מלבינה" מעכב את החלוקה וההתארכות של התאים בנבטי מלפפון (*Cucumis sativa*). השמן האתרי הזה הפחית במידה מובהקת את המיטוזות של התאים שבקצות השורשים של בצל (*Allium cepa*), ופגע באברונים ובעיקר במיטוכונדריה (24). רכיבים מן השמן הנ"ל גרמו לעלייה בהצטברות קוטין בתאים אפידרמיים בשורשים, ושל ליפידים בתאי הקורטקס. Muller סבר אפוא שעלייה ברמת הקוטין והליפידים תורמת לחדירת הטרפנים לתאים, בהיותם מסיסים בחומרים אלה (24).

בניסויים אחרים נמצאה השפעה של השמן האתרי הנ"ל על קצב הנשימה, מלבד הנזק הפיזי. לא נראתה מגמה קבועה; בעוד שטרפנים מסוימים עיכבו את קצב



הנשימה של נבטי חיטה, הרי אחרים הגבירו אותה. בניסוי אחר נמצאה ירידה בנשימת הנבטים והחומר הצמחי היובנילי (בשלב שעדיין אינו מגיב לגירוי פריחה), בעוד שבעלים בוגרים הוגברה הנשימה כתוצאה מחשיפתם לשמן אתרי של "לענה משולשת" (*Artemisia tridentata*) (11). גם קליטת החמצן על-ידי תרחיף של מיטוכונדריה נפגעה, בעיקר על-ידי 8,1-צינאול (1,8-cineole) וקאמפור (camphor) (24).

באופן כללי אפשר להצביע על שלוש השפעות עיקריות של השמן האתרי על התאים: פגיעה בשלמות הפיזית של הממברנה ושל אברונים, פגיעה בחלוקת תאים ובהתארכותם, ופגיעה בתהליכים מטאבוליים (נשימה). לגבי מנגנוני הפעולה של המעכבים עדיין אין מידע מדויק ומעמיק יותר, בעוד שמנגנון פעילותם של קוטלי-עשבים סינתטיים רבים ידוע ואף קיים מחקר מעמיק בנושא. ברור שכדי להשתמש בחומרים טבעיים כבמקור לעיכוב הנביטה יש להבין קודם את מנגנון פעולתם.

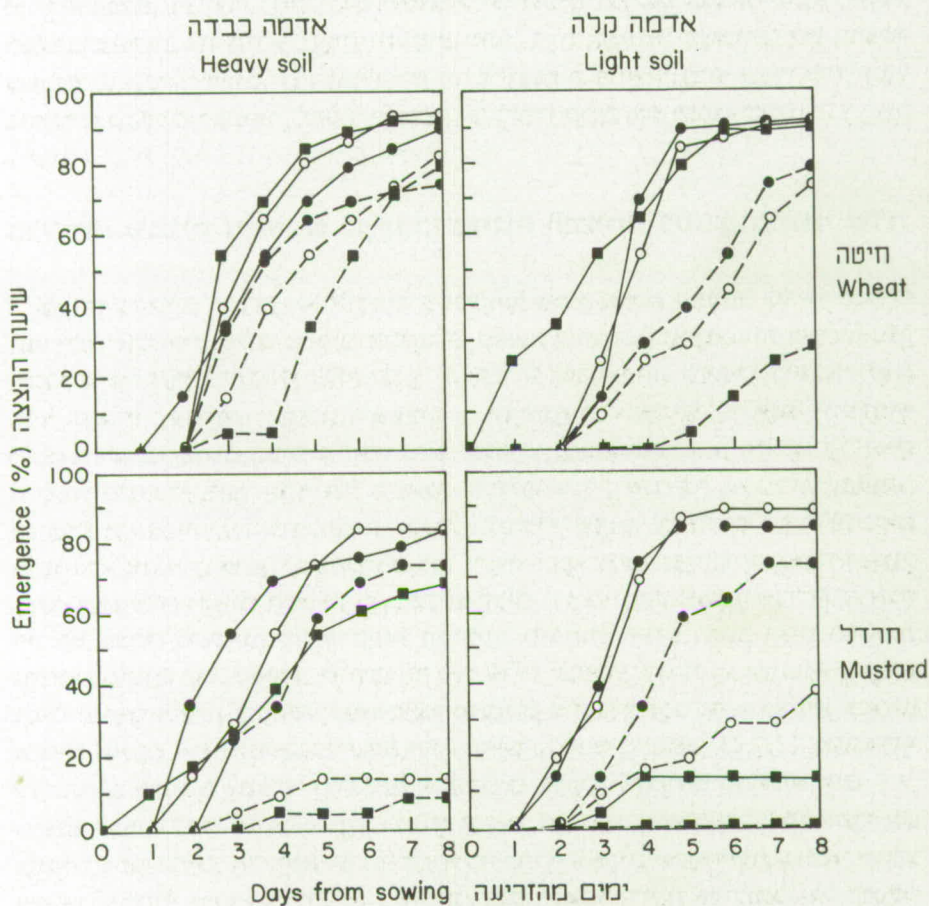
## פרק ה': שמנים אתריים כמעכבי נביטה וצמיחה בטבע ובתנאי שדה

עדויות על קיום תופעת האללופתיה בטבע ועל עיכוב נביטה וצמיחה על-ידי צמחים המכילים אללוקימיקלים נדיפים מתוארות בעבודות רבות, כמו תצפיות של Muller וחובריו, שתוארו ב"מבוא" לעיל (3, 5, 6, 24, 31). בתצפיות שנערכו בישראל (16), נמצאו עדויות לעיכוב עשבים חד-שנתיים על-ידי "לענת המדבר" (*Artemisia sieberi*) בבית גידולה בנגב. כמו כן נמצא שהרכב החומרים הנדיפים ב"לענת המדבר" דומה לזה של ה"לענה הקליפורנית", שנבחנה בעבודות Muller וחובריו. בתצפיות על אוכלוסיות "לענת המדבר" שנעשו באזורים פחות צחיחים מהנגב לא נמצאה השפעה משמעותית כמו זו שנצפתה באזור שדהבוקר. פרידמן הציע (16) שבאזורים יבשים השפעת האללוקימיקלים גדולה יותר, מכיוון שבתנאים אלה ריכוזם בצמח גדול יותר והקרקות החוליות סופחות אותם היטב ואינן נשטפות (מחמת מיעוט המשקעים). להסבר זה אין עדיין תמיכה עובדתית. Muller וחובריו גידלו נבטים מתחת לנוף של צמחים ארומאטיים בחממה, וכביקורת שימשו צמחים אחרים שאינם ארומאטיים, או שלא היו צמחים כלשהם בחממה (22, 23). גם בניסוי זה התקבל עיכוב משמעותי בהתפתחות הנבטים בקרבת הצמחים הארומאטיים.

בנוה-יער נבדקה ההשפעה של ריסוס זרעים בקרקע בתרחיף של שמן אתרי עם חומר משטח במים. הבדיקה נערכה במחלקה לחקר עשבים שבנוה-יער, בתנאי קרקע שונים ובעומקי זריעה בעציצים, בשיטות המקובלות לבדיקת פעילותם של קוטלי-עשבים. נבדקו שלושת הגורמים האלה (איור 4): סוג הזרעים (חיטה וחרדל שחור), סוג הקרקע (קלה וכבדה) ועומק הזריעה (0, 0.5, 1 ס"מ). בהשוואת פעילות השמן האתרי של עשב לימון על חיטה וחרדל נמצא כי החרדל רגיש יותר לשמן בשני סוגי הקרקע שנבדקו. בכל מקרה התקבל עיכוב רב יותר כאשר יישום השמן היה באדמה

**איור 4:** השפעת ריסוס בתרחיף שמן אתרי של עשב לימון (1%) בתוספת "שטח-90" (50%) על הצצת זרעי חרדל שחור וחיטה בעצבים, בשני סוגי אדמה ובעומקי זריעה שונים: 0 (■), 0.5 (○), 1 (●) מ"מ.

**Fig. 4:** Effect of sprayed lemon grass (*Cymbopogon citratus*) essential oil suspension (1%) + surfactant "Shatah-90" (alkyl-phenol-ethylene) oxide 920 gr/1 - SL) (0.5%) on emergence of mustard (*Sinapis nigra*) and wheat (*Triticum aestivum*) seeds in light or heavy soil in pots and at three sowing depths: 0 (■), 0.5 (○) and 1 (●) mm.



#### Legend מקרא

— The control results  
 - - - The spraying-treatment results



קלה, כנראה בגלל כושר הספיחה הגדול יותר של האדמה הכבדה. בבחינת ההשפעה על זרעים בעומקים שונים נמצא שעיקר העיכוב התקבל בנביטת זרעים שהיו בעומק של עד 0.5 ס"מ, אם כי גם בזרעים שהיו בעומק של 1 ס"מ היתה האטה בקצב הנביטה. באדמה הכבדה בלטה סלקטיביות בין המינים: בעוד שזרעי החיטה לא הושפעו באופן משמעותי, הרי נביטת זרעי החרדל עוכבה מאוד, בעיקר בעומק קטן מ-1 ס"מ (איור 4).

מהאמור לעיל נראה שריסוס בתרחיף שמנים אתריים עשוי לשמש כמעכב נביטת זרעים גם בקרקע. בניסויים שבהם בדקנו את ההשפעה המשתיית של השמן האתרי על זרעי החיטה שנזרעו במועדים שונים לאחר ריסוס הקרקע בתרחיף השמן נמצא שכבר לאחר 24 שעות אין כמעט השפעה מעכבת. ההשפעה המשתיית של השמן ופעולתו בקרקע עשויות להיות תלויות במידה משמעותית בהרכב התרחיף ובאופן הכנתו. תוצאות הניסויים והתצפיות בטבע מעודדים פיתוח שיטות לשימוש בשמנים אתריים כמעכבי צמיחה ונביטה טבעיים.

## סיכום

תופעת האללופתיה מתוארת בדרך כלל בספרות באופן שמיצויים, מרשטיפה או חומרים שבודדו מצמחים גרמו בעיקר לעיכוב צמיחה או נביטה של צמחי בוחן, במעבדה או בטבע (19, 27, 30). המידע לגבי מנגנוני העיכוב בכלל והעיכוב הנגרם על ידי השמנים האתריים בפרט הוא מועט מאוד. מלבד החלק העיוני, למחקר היישומי בתחום זה יש חשיבות מעשית: עקב התעוררות המודעות הציבורית לנוק הבריאותי והסביבתי המצטבר כתוצאה מהרחבת השימוש בקוטל-עשבים סינתטיים בחקלאות, גובר בעולם העניין בחומרים טבעיים המסוגלים לעכב נביטה ו/או צמיחה. ואולם, בעוד שהמחקר בקוטל-עשבים הולך ומתרחב, הרי המחקר העוסק באללוקימיקלים מצוי עדיין ברמה התיאורטית בלבד ואין לו כיוונים ושימושים מעשיים (7, 10, 12, 27, 30).

השימוש בחומרי הדברה רעילים מתרחב כתוצאה מהעלייה במינונים המתבקשת בשל התגברות העמידות להם. לחקלאות האורגאנית, שנמנעת מלהשתמש בחומרים הסינתטיים, אין עדיין תשובות מספקות למניעת עשבים רעים. הבנת הפיסיולוגיה של מנגנון העיכוב עשויה אפוא לסייע בפיתוח אמצעי הדברה ביולוגיים כחלופות לשימוש בכימיקלים הסינתטיים. יתכן שבעתיד הלא-רחוק יהיה אפשר לעשות שימוש כלכלי בחומרים בעלי פעילות ביולוגית בכלל ובשמנים אתריים בפרט כתחליף לקוטל-עשבים מסחריים. שימוש זה יאפשר ניצול נוסף של השמנים האתריים, מלבד השימוש המקובל בהם כבמקור לטעם וריח.

זיהוי חומרים טבעיים מעכבי-נביטה עשוי לתרום גם בשל היותו דגם לפיתוח נגזרות וחומרים סינתטיים שהם דמויי חומרים טבעיים, ובכך - להעשיר את המיגוון של קוטל-העשבים העומדים לרשות החקלאים.

## רשימת הספרות

1. דודאי, נ' (1988) השפעת גורמי סביבה על פריחה, מורפולוגיה הצמחים והשמן האתרי באזוב מצוי (*Origanum syriacum* var. *syriacum*). עבודת-גמר לקבלת התואר "מוסמך במדעי החקלאות", הוגשה לאוניברסיטה העברית בירושלים, הפקולטה לחקלאות, רחובות.
2. Asplund, R.O. (1968) Monoterpenes: relationship between structure and inhibition of germination. *Phytochemistry* 7: 1995-1997.
3. Bonner, J. (1950) The role of toxic substances in the interactions of higher plants. *Bot. Rev.* 16: 51-65.
4. Bradow J.M. and Connik, W.J. (1988) Volatile methyl ketone seed germination inhibitors from *Amaranthus palmeri* S. Wats. residues. *J. Chem. Ecol.* 14: 1617-1631.
5. Chou, C.H., (1986) The role of allelopathy in subtropical agroecosystems in Taiwan. in: Putnam, A.R. and Tang, C.S. [Eds.] *The Science of Allelopathy*. Wiley - Interscience, New York. pp. 57-73.
6. Chou, C.H. (1989) The role of allelopathy in phytochemical ecology. in: Chou, C.H. and Waller G.R. [Eds.] *Phytochemical Ecology: Allelochemicals, Mycotoxins and Insect Pheromones and Allomones*. Institute of Botany, Academia Sinica Monograph Series No. 9. Taipei, ROC. pp. 19-38.
7. Cutler, H.G. (1986) Isolating, characterizing, and screening mycotoxins for herbicidal activity. in: Putnam, A.R. and Tang, C.S. [Eds.] *The Science of Allelopathy*. Wiley - Interscience, New York. pp. 147-170.
8. Dudai, N., Poljakoff-Mayber, A., Lerner, H.R., Putievsky, E., Ravid, U. and Katzir, I. (1993) Inhibition of germination and growth by volatile substances from *Micromeria fruticosa*. in: Proc., Int. Symp. on Medicinal and Aromatic Plants, ISHS, Tiberias, Israel.
9. Dudai, N., Werker, E., Putievsky, E., Ravid, U., Palevitch, D. and Halevy, A.H. (1988) Glandular hairs and essential oil in leaves and flowers of *Majorana syriaca* L. *Isr. J. Bot.* 37: 11-18.
10. Duke, S.O., Paul, R.N. and Mark Lee, S. (1988) Terpenoids from the genus *Artemisia* as potential pesticides. in: Cutler H. G. [Ed.] *Biologically Active Natural Products - Potential Use in Agriculture*. American Chemical Society, Washington, DC. pp. 318-333.



11. Einhellig, F. A. (1986) Mechanisms and modes of action of allelochemicals. *in*: Putnam, A.R. and Tang, C.S. [Eds.] *The Science of Allelopathy*. Wiley - Interscience, New York. pp. 171-188.
12. Einhellig, F.A. and Leather, G.R. (1988) Potentials for exploiting allelopathy to enhance crop production. *J. Chem. Ecol.* 14: 1829-1844.
13. Elakovich, S.D. (1988) Terpenoids as models for new agrochemicals. *in*: Cutler, H. G. [Ed.] *Biologically Active Natural Products - Potential Use in Agriculture*. American Chemical Society, Washington, DC. pp. 250-261.
14. Fischer, N.H. (1986) The function of mono and sesquiterpenes in plant germination and growth regulation. *in*: Putnam, A.R. and Tang, C.S. [Eds.] *The Science of Allelopathy*. Wiley - Interscience, New York, pp. 203-218.
15. Fraenkel, G. (1959) The raison d'etre of secondary plant substances. *Science* 129: 1466-1470.
16. Friedman, J. (1987) Allelopathy in desert ecosystems. *in*: Waller, G.R. [Ed.] *Allelochemicals: Role in Agriculture, Forestry and Ecology*. American Chemical Society, Washington, DC. pp. 56-68.
17. Friedman, J., Orshan, G. and Ziger-Cfir, Y. (1977) Suppression of annuals by *Artemisia herba-alba* in the Negev Desert of Israel. *J. Ecol.* 65: 413-426.
18. Friedman, J. and Waller, G.R. (1983) Seeds as allelochemic agents. *J. Chem. Ecol.* 9: 1107-1117.
19. Leather, G.R. and Einhellig, F.A., (1986) Bioassays in the study of allelopathy. *in*: Putnam, A.R. and Tang, C.S. [Eds.] *The Science of Allelopathy*. Wiley - Interscience, New York, pp. 133-145.
20. Lerner, R.H. and Evenary, M. (1961) The nature of the germination inhibitor present in leaves of *Eucalyptus rostrata*. *Physiol. Plant.* 14: 221-229.
21. Molisch, H. (1937) *Der Einfluss einer Pflanze auf die andere - Allelopathie*. G. Fischer. Jena.
22. Muller, C.H., Muller, W.H. and Haines, B.L. (1964) Volatile growth inhibitors production by aromatic shrubs. *Science* 143: 471-473.
23. Muller, W.H. (1965) Volatile materials produced by *Salvia leucophylla*: effect on seedling growth and soil bacteria. *Botan. Gaz.* 126: 195-200.
24. Muller, W.H. (1986) Allelochemical mechanisms in the inhibition of herbs by chaparral shrubs. *in*: Putnam, A.R. and Tang, C.S. [Eds.] *The Science of Allelopathy*. Wiley - Interscience, New York. pp. 189-199.

25. Putnam, A.R. (1985) Weed allelopathy. *in*: Duke, S.O. [Ed.] *Weed Physiology* Vol 1. CRC Press, Boca Raton, FL. pp.131-150.
26. Putnam, A.R. (1988) Allelochemicals from plants as herbicides. *Weed Tech.* 2: 510-518.
27. Putnam, A.R. and Tang, C.S. (1986) Allelopathy: state of the science. *in*: Putnam, A.R. and Tang, C.S. [Eds.] *The Science of Allelopathy*. Wiley - Interscience, New York. pp. 1-19.
28. Reynolds, T. (1987) Comparative effect of alicyclic compounds and quinones on inhibition of lettuce fruit germination. *Ann. Bot.* 60: 215-223.
29. Rice, E.L. (1984) *Allelopathy*. 2nd ed. Academic Press Inc., Orlando, FL.
30. Waller, G.R. (1989) Allelochemical action of some natural products. *in*: Chou, C.H. and Waller G.R. [Eds.] *Phytochemical Ecology: Allelochemicals, Mycotoxins and Insect Pheromones and Allomones*. Institute of Botany, Academia Sinica Monograph Series No. 9. Taipei, ROC. pp. 129-154.
31. Went, F. W. (1942) The dependence of annual plants on shrubs in Southern California deserts. *Bull. Torrey Bot. Club* 69: 100-114.