

## מאזן החנקן בפרדס

מאת ש. דסברג, המחלקה לפיסיקה של הקרקע, מינהל המחקר החקלאי\*

מה מקור החנקן הנקלט בעצי ההדר — דשן, זבל אורגני, חומר אורגני שבקרקע, מי השקיה או מי גשמים? איזה חלק מהחנקן הנכנס לקרקע נקלט בעץ, ואיזה חלק שוקע \*\* אל מי התהום?

על שאלות אלו ניסינו לעמוד, לאור הידוע מהספרות ועל סמך בדיקות קרקע בפרדס שבו נערך ניסוי-דישון ממושך.

התברר, שחלק גדול מתצרוכת החנקן של הפרדס, שהניב יכול מועט — סופק על-ידי החנקות שבמי ההשקיה. לא הצלחנו להוכיח קשר בין שקיעת הניטרטים לבין הדישון בפרדס, כי הואריאביליות בתוצאות היתה גדולה. יש להניח, שהפרדסים מקבלים זיבול ודישון בעודף, בשל חוסר התגובה לדישון, ובשל הגדלה מתמדת של ריכוזי החנקות במי התהום.

והעריך שמתוך 21,000 טונות חנקן לשנה באיזור החוף — 11,000 טונות מקורן בדישון ובזיבול. פירוש הדבר, שבאיזור החוף בלבד יש הפרש של 11,000 טונה בין כמות החנקן המוספת בדישון ובזיבול לגידולים החקלאיים לבין כמות החנקן שהם צורכים. ברור, שהמדובר בהערכות כלליות, על סמך שטחי מזרע ונהגי דישון. השאלה המרכזית היא: האם כל הכמות הזאת של חנקן מגיעה למי התהום, ומה קצב התנועה? כדי להשיב על שאלה זו נערכו מספר סקרים על השינויים בתכולת החנקות של מי התהום, על סמך בדיקות במספר רב של בארות (3, 5).

העבודה של כהנוביץ ובלנק (2) מהווה סיכום וניתוח של כל הנתונים שהצטברו. הם מציינים, שבשנת 1972 היה ריכוז החנקת במים מקידוחים באקוויפר החוף, בממוצע, 50.6 מ"ג/ל', בערך פי שניים מהריכוז שנמצא בשנות החמישים. קצב הגדלת הריכוז נאמד ב-1.11 מ"ג חנקת לליטר בשנה. ההגדלה הרבה ביותר נמצאה בפרדסים, 1.64 מ"ג חנקת לליטר בשנה; בייחוד בקרקעות החמרה הקלות.

תשובה מפורטת יותר לשאלה הנדונה אפשר למצוא בעבודתם של רווה וחובריו (4). הם בדקו ריכוזי חנקן בצורותיו השונות בכתכי קרקע עד עומק של 10 מ', ועם זה אספו נתונים לגבי תשומות חנקן בכל אתר — בדשנים, זבלים, מי השקיה ועוד. נאספו גם נתונים לגבי מאזן המים, והוערך המילוי החוזר השנתי, ז"א כמות המים המגיעה למי התהום. סיכום הממצאים שלהם, שהתפרסמו בזמן האחרון בעיבוד קצת שונה (7), מובא בטבלה 1.

עודף החנקן מוגדר כתשומת החנקן — פחות החנקן המורחק מהשטח ביבול. שקיעת החנקן היא המכפלה של ריכוז החנקן באיזור הבלתי רווי והמילוי החוזר. נמצא, כי בשטחי מחזור הבעל מרובה שקיעת החנקן מעודף החנקן, כנראה בשל פירוק חומר אורגני כתוצאה מהתחלת עיבוד הקרקע.

החנקן שבקרקע, שמקורו בחומר האורגני, בדשן, במי ההשקיה או במי הגשמים, עובר בתנאים אארו-ביים רגילים למצב של חנקת. בצורה זו הוא נע עם המים ועשוי להגיע למי התהום. צורות אחרות של חנקן אינן נעות בקלות: רק חלק זעיר מהחנקן האורגני נמצא בתמיסה. האמון, שאינו מקובע בחר-סית, עובר ריאקציות חילוף עם חרסית וחומר אור-גני בקרקע, מה שאינו נכון לגבי יון החנקת. מובן, שהסעת החנקות נעשית על-ידי המים, כאשר בתנאי תנועה בלתי רוויה אפשר להתעלם מאפקטים אוס-מוטיים ומדחייה אניונית (8). ריכוז החנקת בקרקע יכול להשתנות בתהליך הדניטריפיקציה, שהוא חיזור החנקת לחנקן גזי בעזרת מיקרואורגניזמים. מקובל, שלצורך זה צריכה הקרקע להכיל חומר אורגני קליט וריכוזי חמצן קטנים (11). לכן אין להניח, שתהיה דניטריפיקציה ניכרת למטה מבית-השרשים באיזור הבלתי רווי של הקרקע.

נמצא בעבודות שונות, שריכוזי הניטרט למטה מבית-השרשים, והיחס ניטרט/כלוריד — קבועים למדי (6, 7, 10, 12), דבר המעיד על חוסר תהלי-כים המשנים את ריכוזו של הניטרט.

### המצב בארץ

בארץ נערכו מספר סקרים ומחקרים, כדי להעריך את מידת זיהום מי התהום בחנקות. הרפז (1) סיכם, שהזיהום בולט באקוויפר החוף. הוא ניסה להעריך את פוטנציאל הזיהום בארץ ובאיזור החוף בנפרד,

\* מפרסומי מינהל המחקר החקלאי, סדרה ה' 1978, מס' 1976.

\*\* להלן במאמר זה, פעמים רבות, מדובר על שקיעת חנקן, כשהכוונה להסתננותו לעומק דרך הקרקע, עם המים. המחבר גורס דולף, דליפה; ואולם משום הקושי הטכני לסדר מחדש, מכיון שהמונח חוזר פעמים רבות במאמר, הוא לא תוקן כבקשת המחבר. — המערכת.



ט ב ל ה 1. שקיעת חנקות בקרקעות שונות באיזור החוף.

הגידול	הקרקע	עודף חנקן, ק"ג/ד' שנה	מילוי חוזר, מ"מ/שנה	ריכוז חנקן חנקתי בתמיסת הקרקע, 10—2 מ', ח"מ	דליפת חנקן חנקתי, ק"ג/ד' לשנה
בלתי מעובד	חמרה	1	120	11	1.3
מחזור בעל	בינונית	2	210	23	5.0
מחזור שלחין	בינונית	10	300	11	3.7
פרדס	חמרה	20	350	35	12.7
פרדס, בננות	בינונית	44	340	13	5.0

### השפעת הדישון

נשאלת השאלה, באיזו מידה יש קשר בין רמת הדישון בפרדס — לבין שקיעת החנקן למטה מבית-השרשים. בסקר של רווה וחובריו (4) שציטטנו, היתה רמת הדישון בפרדסים שנסקרו — אחידה למדי, בהתאם לרמה המקובלת בפרדסנות.

פראט וחובריו (12) בדקו את ריכוזי החנקה באיזור הבלתי רווי בקרקע בפרדסים בקליפורניה במשטרי דישון שונים. בניסוי דישון, בחלקות שקיבלו דישון של 17 ק"ג לדונם לשנה במשך 7 שנים, היה

בשדות ובמטעים המעובדים תקופה ארוכה יותר נראה, שיש פחות דליפה מעודף, כי חלק מהחנקן הולך לאיבוד בדרכים אחרות, בעיקר בדניטרפיקציה. מעניין ההבדל בין פרדסים באדמות קלות לעומת כבדות, שבהן שיעור השקיעה רב במידה ניכרת.

ממצא זה מאשר את תוצאות הסקר של בארות של תה"ל, שלפיו נמצאו יותר חנקות בבארות בפרדסים מאשר בשטחים אחרים, ויותר באדמות קלות מאשר בכבדות.



ריכוז החנקן באיזור הבלתי רווי 21 ח"מ  $\text{NO}_3 - \text{N}$  בתמיסת הקרקע, בממוצע; ואילו בחלקות שקיבלו בעבר דישון רב יותר היה הריכוז 47 ח"מ. פירוש הדבר — שקיעת חנקן כדי 7—18 ק"ג לשנה, בהתאם לתשומה. ערכים דומים מאוד של דליפת חנקן (4—14 ק"ג לשנה) נתקבלו על סמך בדיקות קרקע בפרדסים מסחריים, למרות העובדה שרמת הדישון היתה אחידה למדי (15—19 ק"ג לשנה). הם הסבירו הבדלים אלה בשינויים בפרופיל הקרקע.

ניסונו לברר את השאלה הזאת בעזרת בדיקות קרקע, בפרדס שבו נערך ניסוי דישון רב-שנתי בקרקע חמרה בבית-דגן. ניסוי זה נערך בידי בר-עקיבא וחובריו בחוות המרכז בבית-דגן, במטרה לבדוק את השפעת הדישון והזיבול האורגני על היבול, על טיב הפרי ועל ריכוזי היסודות בעלים.

### תיאור הפרדס ובדיקות קרקע

פרדס הניסוי נמצא מערבית לכביש ראשון-לציון—בית-דגן, בשטח של 70 דונם, בקרקע חמרה. זהו פרדס גטוש של שמוטי על חושחש, 9 טיפולים בשש חזרות, בכל חלקה ששה עצים, ברווחים של  $10 \times 5$  מ'. ניסוי הדישון התחיל ב-1960 ושונה ב-1965.

במאי 1977, עם תום הגשמים ולפני עונת ה-השקיה, נלקחו מדגמי קרקע בארבע חלקות בפרדס, עד עומק של 4.20 מ', בשכבות של 60 ס"מ. בכל חלקה נעשו 2 קידוחים במקדח ספירלי, ומדגמי הקרקע יובשו מיד בחממה ליובש אווירי. החלקות שנדגמו היו כלהלן:

8 ו-19 — לא קיבלו שום דישון מאז אביב 1965. לפני זה קיבלו זבל רפת.

9 — קיבלה בכל שנה 15 ק"ג חנקן כגפרת אמון, ובכל שנה שנייה (מאז 1960) תוספת זרחן ואשלגן.

14 — קיבלה בכל שנה 15 ק"ג חנקן כגפרת אמון, ובכל שנה שנייה (מאז 1960) 4 טונות זבל רפת.

לאחר ייבוש הקרקע וטחינתה הוכן מיצוי של 1:5 במים מזוקקים, ובו נבדקו ריכוזי הניטרט והכלוריד. התוצאות בוטאו בח"מ  $\text{NO}_3 - \text{N}$ ,  $\text{Cl}$  בקרקע יבשה.

### תוצאות הבדיקות

בטבלה 2 מובאות התוצאות של בדיקות הקרקע, בהשוואה לממצאים מהפרדסים בקרקע קלה מתוך דו"ח תה"ל (5). בחלק העליון של הטבלה נעשה נסיון להעריך את מאזן החנקן. אין נתונים מדויקים על ריכוזי הניטרט במי ההשקיה בפרדס הניסוי. על-סמך ידיעות כלליות על טיב המים (כ-12 מ"ג לליטר  $\text{NO}_3 - \text{N}$  בכ-50% ממנת המים להשקיה) הוערך החנקן במי ההשקיה ב-5 ק"ג/ד' לשנה. היבול הממוצע (69—75) של פרדס הניסוי — מועט למדי, ואין הפרשים בנידון זה בין חלקות ההיקש לבין החלקות שקיבלו חנקן. גם בבדיקות בעלים לא היו הפרשים (2.28%—2.37%, בממוצע לתקופה). אין בדיקות חנקן בפרי בתקופת הניסוי, והסתמכתי



על היידע הכללי של ריכוזי חנקן בפרי הדר (9). לפי זה הגענו למאזן חנקן כמעט סגור בחלקות ללא דישון, ובעודף של כ-20 ק"ג חנקן לשנה בחלקות ובפרדסים עם דישון. מפליא היה לראות שכמעט לא היו הפרשים בריכוזי החנקן בבית-השרשים בחלקות עם דישון ובלעדיו. בחלקות 8 ו-9, שבהן הקרקע קצת יותר

קלה מאשר בחלקות 19 ו-14, היו ריכוזים קצת יותר גדולים, בלי קשר עם הדישון. יש להניח, שמקור החנקן הזה הוא בחומר האורגני שהוסף לקרקע בצורת זבל בתקופה שעד 1965, העובר לאט ניטריפיקציה. המקור לא יכול להיות מי ה-השקיה, כי עדיין לא השקו בעונה זו.

טבלה 2. מאזן החנקן בחלקות פרדס בקרקע חמרה באזור החוף.

בסקר תה"ל 5 פרדסים 10 קידוחים	בניסוי דישון, פרדס 202 בית-דגן				חלקה:
	9 N, NPK	14 +N זבל	19 היקש	8 היקש	
15	15	15	0	0	תשומת חנקן, ק"ג/ד' לשנה (גפרת אמון) זבל אורגני מי השקיה
6		10		5	ס"ה חנקן מוסף
7	5	5	5	5	יבול (מוצע) (ס' / ד')
28	20	30	5	2.8	ק"ג חנקן בפרי (1.2 ק"ג/ס')
5.3	3.3	3.3	3.4	3.4	עודף חנקן נסו לשנה
9.0	4.0	4.0	4.1	1.6	ריכוז $\text{NO}_3\text{-N}$ בקרקע 0-120 ס"מ
19	16	26	0.9		(ח"מ)
$\pm 2.9$	$\pm 3.9$	$\pm 0.5$	$\pm 1.7$	$\pm 3.2$	ריכוז $\text{NO}_3\text{-N}$ בקרקע 120-410 ס"מ
5.9	10.9	4.1	3.4	6.8	(ח"מ)
$\pm 2.0$	$\pm 2.8$	$\pm 2.8$	$\pm 1.9$	$\pm 1.2$	ריכוז $\text{NO}_3\text{-N}$ בתמיסת הקרקע (ח"מ)
2.8	4.0	4.2	3.2	2.8	מלוי חוזר (מ"מ לשנה)
35.4	26.7	21.0	13.1	18.7	דליפת חנקן (ק"ג/ד' לשנה)
360	300	300	300	300	אי התאמה במאזן החנקן (ק"ג/ד' לשנה)
13	8.9	7.0	3.9	5.6	
-6	-7	-19	+3	+4	

שיצירת החנקן מרובה יותר. הסבר אחרון זה נראה קצת דחוק, ודרושות הוכחות נוספות לשם ביסוסו.

### מסקנות

לא הצלחנו להוכיח קשר בין שקיעת הניטריטים למי התהום — לבין הדישון בפרדס. הואריאביליות בתוצאות היתה מרובה. יש להניח, שהחומר האורגני שהוסף בעודף בשנים קודמות — פעולתו ארוכת טווח. מתקבל הרושם, שהפרדסים מקבלים דישון וזיבול בעודף, וזה נוכח חוסר תגובה לדישון חנקני, ריכוזי ניטרט גדולים למדי בעומק הקרקע, והגדלה מתמדת של ריכוזי הניטריטים במי התהום. יש צורך בדגימה לעומק רב יותר, במספר גדול יותר של קידוחים, ובבדיקות של צורות חנקן אחרות (חומר אורגני, אמון) לשם ביסוס המסקנות.

### הבעת תודה

תודתי נתונה לד"ר א. רביץ ולג. ליפרמן מה-פקולטה לחקלאות, על עזרתם בביצוע הקידוחים.

### ספרות

1. הרפז י. (1972): זיהום מי תהום בישראל על ידי חנקות. תה"ל, דו"ח מס' 4/72/096.
2. כהנוביץ י., בלנק ד. (1974): זיהום מי תהום על ידי חנקות בישראל. תה"ל, דו"ח 01/74/47.

בקרע שלמטה מבית השרשים, עד עומק של 4.20 מ', יש ריכוזים גדולים במקצת של ניטרט בחלקות שקיבלו דשן, אך ההפרש אינו מובהק. זמן המעבר של תמיסת הקרקע לעומק של 4 מטרים הוא 2-3 שנים, על סמך הידוע על המילוי החוזר ושיעור הרטיבות בקרקע.

הנחנו מילוי חוזר של כ-300 מ"מ לשנה ושיעור רטיבות ממוצע של 15% לפי נפח הקרקע. לפי זה הגענו לשקיעת חנקן כדי 4-9 ק"ג/ד' לשנה.

אם משווים את המספרים האלה עם הנתונים על עודף החנקן — מתקבל חוסר התאמה במאזן החנקן. בחלקות שלא קיבלו דישון חנקני בשנים האחרונות — שקיעת החנקן מרובה מעודף החנקן המוסף. פירוש הדבר, שנמשך שחרור הניטרט מהחומר האורגני שהוסף לקרקע לפני יותר משמונה שנים. זה מתקשר גם עם ריכוזי הניטרט בבית-השרשים ועם חוסר התגובה של הפרדס לדישון החנקני.

מאידך גיסא, בחלקות שדושנו, שקיעת החנקן על-סמך ריכוזי הניטרט בקרקע למטה מבית השרשים — פחותה בהרבה מעודף החנקן. דבר זה אולי אפשר להסביר בהפסדי חנקן בדניטריפיקציה, שיתכן כי ישנם גם בחלקות שלא דושנו, אלא



8. Bresler, E. and Laufer, A. (1974). Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38: 213—219.
9. Chapman, H.D. (1973): Citrus composition. In Reuter, W. (Ed.) The Citrus Industry. Rev. Ed. III.
10. Lund, L.J., D.C. Adriano and P.F. Pratt (1974). J. Environ Qual. 3: 79—82.
11. Nommik, H. (1956). Acta. Agr. Scand. 6: 195—228.
12. Pratt, P.F., W.W. Jones and V.E. Hunsaker (1972). J. Environ. Qual. 1: 97—102.

3. סליטרניק ח., כהנוביץ י., רווח י., שבח י., רונן ד. (1972): זיהום מי תהום בישראל — איסוף ועיבוד נתונים. תה"ל, דו"ח 72/043.
4. רווח י., סליטרניק ח., אבנימלך י. (1972): פילוג ריכוזי תרכובת חנקן בחתך הקרקע שמעל למי התהום באזור החוף. תה"ל, דו"ח 72/073.
5. רונן ד. (1972): זיהום מי התהום בחנקות באזור ראשון-לציון — רחובות. תה"ל, דו"ח 72/046.
6. Adriano, D.C., P.F. Pratt and F.H. Takatori (1972). J. Environ. Qual. 1: 418—422.
7. Avnimelech, Y. and J. Raveh (1976). J. Environ. Qual. 5: 79—82.

#### NITROGEN BALANCE IN A CITRUS GROVE S. Dasberg\*

An attempt was made to construct a nitrogen balance in a citrus orchard, using data from a long-term fertilizer trial and soil nitrate determinations below the root zone. It was found that the nitrogen contained in the harvested fruit (4 kg/1000m /year) was supplied by the nitrates in the irrigation water. No increase in yield or leaf nitrogen content was obtained by nitrogen fertilizer and manure application. No relationship could be found between nitrate leakage below the root zone and fertilizer application, due to variability and too shallow measurements.

---

\*Div. of Soil Physics, Agricultural Research Organization,  
The Volcani Center, Bet Dagan.