

תופעת העטרה: זיקה מרחבית בין שיחים ועשבוניים במערכת רעייה צחיחה למחצה

תיעוד ראשוני והשלכות אפשריות לממשק*

אמיר ארנון⁽¹⁾, יוג'ין דוד אונגר⁽¹⁾, טל סבוראי⁽³⁾, משה שחק⁽²⁾ ואבי פרבולוצקי^(1,2) amirarnon@gmail.com

(1) המחלקה לגידולי שדה ומשאבי טבע, המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, בית דגן

(2) המחלקה לאקולוגיה מדברית ע"ש מיטריני, המכונים לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושיין, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, קמפוס שדה בוקר

(3) המחלקה לגיאוגרפיה ופיתוח סביבתי, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, באר שבע

תקציר

למרות חשיבותן הרבה של מערכות אקולוגיות המורכבות מצמחייה מעוצה ועשבונית, הידע המצוי בידינו לגבי התהליכים המעצבים את המערכות הללו הוא מועט. המחקר המוצג כאן התמקד ביחסי מעוצים-עשבוניים באזור ספר המדבר. הקשר מעוצים-עשבוניים בא לידי ביטוי באזור זה, בין השאר בטבעות עשבוניות סביב השיחים המעוצים, שהם ברובם המכריע שיחי סירה קוצנית (*Sarcopoterium spinosum*). טבעות אלו, שלהן קראנו "עטרות", הן תופעה שטרם נחקרה ותועדה ועשויות להיות לה משמעויות חשובות.

מטרות המחקר היו לקבוע את העוצמה המרחבית של תופעת העטרה – השטח שהיא מכסה סביב השיח הבודד ובמערכת כולה – ולברר מהם המנגנונים היוצרים אותה. ביצענו ארבעה טיפולים בשיח ובסביבתו: השארת השיח וסביבתו פתוחים לרעייה, השארת השיח והגנה על סביבתו מרעייה, כריתת השיח ורעייה, כריתת השיח והגנה מרעייה.

להערכה ולמיפוי של כמויות הביומסה העשבונית פיתחנו שיטה המשתמשת בתצלומי אוויר מגובה נמוך ובעיבוד תמונה, בסביבת מערכות מידע גיאוגרפיות (GIS). בנוסף על כך, דגמנו ריכוזי נוטריינטים בקרקע בכתמים השונים (שיח, עטרה ושטח פתוח) וביצענו תצפיות בהקצאת הזמן של כבשים לרעייה בהם.

תוצאות המחקר מראות, שעטרה של עשבוניים חד-שנתיים מתפתחת באופן עקבי סביב השיחים. רוחב העטרה, זמן קצר לאחר שיא העונה הירוקה, הוא בממוצע כ-15 ס"מ, והביומסה בה גבוהה ב-30% מהביומסה במרחקים גדולים יותר מהשיח. עטרות מכסות אחוזים ניכרים מהנוף – למעלה מ-20%. עטרות נוצרו גם בחלקות שהיו מוגנות מרעייה וגם בחלקות שבהן נכרתו השיחים. אנו מסיקים מכך, שהעטרה אינה תוצאה של הגנה של השיחים על העשבוניים בקרבם מרעייה, אלא של ריכוז משאבים בקרקע בסביבות השיחים. כבשים הגיבו לקיום

העטרה ורעו באזור זה זמן רב מהצפוי, על-פי חלוקת זמן אקראית או אחידה. למרות עוצמות הרעייה הגבוהות בעטרה, הביומסה העשבונית שבה נותרה גבוהה מהביומסה במרחקים גדולים יותר מהשיח.

מחקר זה קובע, שלתופעת העטרה יש הן משמעויות תיאורטיות לגבי יחסי מעוצים-עשבוניים והן משמעויות ממשקיות לגבי ייצור מרעה לצאן, שמירת טבע ומגוון ביולוגי. העטרה חשובה להבנת המבנה של המערכת האקולוגית של ספר המדבר ותפקודו ומחיבת התחשבות מיוחדת בכל פעולת ממשק.

מילות מפתח (נוספות על מילות הכותרת): איים של פוריות, השבחת מרעה, חישה מרחוק, מ"ג, סירה קוצנית

מבוא

אקוסיסטמות של צמחים מעוצים ועשבוניים מכסות 15%-35% משטחו היבשתי של כדור הארץ והן מצויות באזורי אקלים, קרקע וטופוגרפיה מגוונים. שינויים מקומיים וגלובליים באקוסיסטמות אלו – התומכות במגוון ביולוגי רחב ובהן חיים רוב חיות המקנה והיונקים הגדולים – מתחזקים בעשורים האחרונים ועשויים להשפיע עליהן כבתי גידול, כאזורי ייצור של מקנה, וכן על תהליכים גלובליים שבהם הן משתתפות, כגון מחזור מים, פחמן וחנקן (House et al., 2003).

בישראל, מערכות מעוצים-עשבוניים משתנות מחורש סבך בצפון ועד ערבת סוואנה בדרום. במחקר זה בדקנו את יחסי מעוצים-עשבוניים בבתה ים-תיכונית של ספר המדבר. במערכת זו, כמו במערכות מוגבלות מים רבות, הצמחייה מסודרת ככתמים של צומח מעוצה עם ביומסה גבוהה, הפזורים בשטח פתוח, שמכוסה ברובו צומח ירוד, יוצר קרומי-קרקע ביולוגיים (ציאנו-בקטריות, טחבים וחזזיות) (Zaady & Shachak, 1994). לסידור הכתמי יש השפעה מכרעת על טבעם ועל קצבם

* מפרסומי מינהל המחקר החקלאי, בית דגן, סדרה 2006, מס' 143. המאמר עבר ביקורת מדעית.

מטרטנו העיקרית במחקר זה הייתה לבדוק האם ביומסת העשבונים החד-שנתיים גבוהה יותר בקרבת שיחים לעומת האזורים הפתוחים. כלומר, האם העטרה קיימת וניתנת לאפיון כמותי מבחינת הביומסה ומבחינת השטח שהיא מכסה סביב השיח הבודד ובנוף כולו.

בנוסף, ביקשנו לבדוק שתי השערות ליצירת העטרה, העוסקות בהבדלים אפשריים בתנאים תחת השיח ובשטח הפתוח. על-פי השערה אחת, עוצמת הרעייה שונה בין הכתמים – בקרבת השיחים קשה לצאן להגיע לעשבונים, עומס הרעייה פוחת ונוצרת עטרה. השערה חלופית היא, שבקרבת השיח הסיכויים והתנאים לנביטה, להתבססות ולגדילה של העשבונים טובים יותר, בגלל גורמים כמו לחות קרקע וריכוזי נוטריינטים גבוהים יותר, הגנה מקרינה ומניעת התבססות של קרומים ביולוגיים. בהתאם להשערות אלה, תכננו ניסוי המבוסס על שילובים של הגנה על השיח וסביבתו מפני רעייה, ושל כריתתו. חזינו, שאם הרעייה מורידה את הביומסה במרחק מהשיח ובכך יוצרת עטרה, הרי שבטיפול עם שיח וללא רעייה רמת הביומסה שתופיע בשטח הפתוח תהיה דומה לרמתה בעטרה, בעוד שבטיפול רעייה ללא שיח (כריתה), הביומסה בעטרה תקטן עד לזו שבשטח הפתוח. כלומר, בכל אחד משני הטיפולים נראה השתוות של הביומסה בעטרה ובשטח הפתוח.

ריכוזי נוטריינטים, בנק הזרעים ותכונות פיזיקליות של הקרקע לא צפויים להגיב לכריתה באופן מידי, אלא תוך שנים אחדות. לכן, לא צפינו שכריתת השיח תשנה את מאפייני הכתם הקרקעיים בצורה מיידית. עם זאת, אם העטרה תופיע גם בטיפול כריתה ללא רעייה, נוכל לשלול מנגנונים על-קרקעיים ליצירתה (כמו אפקט "מטרייה" המנקז מים לשולי החופה או הגנה מקרינה על-ידי חופת השיח).

של תהליכים א-ביוטיים וביוטיים, בעקבות יחסי מקור-מבלע של חומרים כמו מים, קרקע, חומר אורגני, נוטריינטים וזרעים, שעוברים חלוקה מחדש והסעה מהשטח הפתוח ומתרכזים בכתמים המעוצים (Boeken & Orenstein, 2001; Aguiar & Sala, 1999). כתמיות המערכת מעלה את הייצור הראשוני, תומכת במגוון מינים גבוה יותר, בולמת תהליכי דליפה ומעלה את עמידות המערכת בפני הידרדרות וקריסה ("מידבור") בעקבות בצורת, רעיית יתר או כריתה (Ludwig & Tongway, 1995; Gilad et al., 2004; van de Koppel & Rietkerk, 2004; Oren, 2001). יצירת כתם מעוצה מתחילה בהתבססות נט של שיח. בתהליך זה, שנמשך עשרות ומאות שנים ומחוזק על-ידי משוּב חיובי בין הביומסה הצמחית לריכוז מים בכתם המעוצה (Shachak & Lovett, 1998; Gilad et al., 2004; Schlesinger et al., 1990). לאחר מות השיח – אם אין התבססות של שיחים צעירים – מתפזר הכיסוי הצמחי; המים והרוח מפזרים את הקרקע ואת החומר האורגני שהצטברו עד להיעלמות הכתם, תהליך שעשוי להימשך 3-17 שנים בלבד. במקרה כזה, עלול האזור להתכסות בקרומים ביולוגיים, עם ייצור ראשוני ומגוון מינים נמוכים (Shachak & Lovett, 1998; Oren, 2001). יחסי מעוצים-עשבונים מחד וכתמיות הצומח במערכות מוגבלות מים, מאידך, זכו לתשומת לב רבה בשנים האחרונות. עם זאת, מחקרים מעטים בלבד התייחסו מפורשות לקיום קשר מרחבי במערכות כתמיות בין הצומח העשבוני והמעוצה בתוך הכתם המעוצה (לדוגמה Boeken & Orenstein, 2001; Cipriotti & Aguiar, 2005). בחינה של קשר זה חשובה מאוד, מכיוון שהצמחים העשבונים במערכות מוגבלות מים נמצאים "בין הפטיש לסדן". מצד אחד, התבססותם קשה: באזורים הפתוחים – בגלל הקרומים הביולוגיים, ומתחת לשיחים – בגלל תחרות; מצד שני, לאחר שהתבססו, הם נתונים לרעייה של אוכלי עשב. במהלך מחקרים בלהבים על הסירה הקוצנית (*Sarcopoterium spinosum*) – השיח הנפוץ בכתמים המעוצים באזור – התרשמו שהביומסה העשבונית החד-שנתית גדולה יותר סביב השיחים ויוצרת מעין טבעות ברוחב שבין ס"מ ספורים לעשרות ס"מ, שאותן כינינו "עטרות" (circlets). למרות מימדיה הקטנים יחסית של העטרה הבודדת, לקיומה עשויה להיות חשיבות מרכזית לתפקוד המערכת כולה: לייצור הראשוני, לכמות המרעית ולמגוון המינים. בעקבות כך, עשויות להיות לתופעה השלכות ממשקיות חשובות לשמירת טבע ולייצור חקלאי (השבחת מרעה). דברים אלה מקבלים משנה חשיבות לאור רצונם של גורמים באזור לפעול להשבחת המרעה באותן שיטות שבהן משתמשים בצפון הארץ (חישוף, ריסוס וגיוס). הפעלת שיטות אלו ללא למידה זהירה של המבנה והתפקוד המיוחדים של המערכת, עלולה להביא דווקא להתדרדרות משמעותית בשירותים הניתנים על ידה.



כבשים מלכות עלים וגבעולים של סירה קוצנית. צולם ב-10.02.2004
Sheep browsing green leaves and stems of the shrub *Sarcopoterium spinosum* (prickly burnet). Picture taken on 10 Feb 2004.

שיטות

טיפול מתוך ארבעה טיפולים אפשריים (4-5 חזרות לטיפול): השארת הסירה ורעייה (שיח עם רעייה); השארת הסירה והגנה מרעייה (שיח ללא רעייה); הסרת הסירה ורעייה (כריתה עם רעייה); הסרה ללא רעייה (כריתה ללא רעייה). כריתת השיח נעשתה עד לגובה הקרקע, מבלי לפגוע בקרקע עצמה. הגנה מפני רעייה בוצעה באמצעות גדר מקומית סביב החלקה.

הערכת הבימוסה העשבונית וניתוח פיזור במרחב:

על מנת להעריך את הבימוסה העשבונית ולמפות את פיזור על פני אתר הניסוי, השתמשנו בתצלומי אוויר, בעיבוד תמונה ובמערכות מידע גיאוגרפיות (GIS). פיתחנו שיטה המבוססת על כך שצמחים סופגים את אנרגיית האור ביחס ישר לבימוסה, ומחזירים אור ביחס הפוך לה. יחס זה כימתנו בצורה מספרית, באמצעות הערכים המשמשים לקידוד הצילום במחשב ("ערכי אפור", Digital Numbers – DN). בפורמט צילום סטנדרטי (8 ביט), טווח ערכים אלה הוא בין 0 לפיקסל שחור ל-255 לפיקסל לבן. כדי ליצור משוואת כיוול, קצרנו את הצמחייה העשבונית במספר מקומות במרחב התמונה, בריבועי מדגם ("קוואדרטים") בגודל 10x10 ס"מ. הקצרים בוצעו מיד לאחר הצילום האווירי, באתרים שנבחרו וסומנו בחלקת הניסוי לפני הצילום. את המשקל היבש של העשבוניים בפיקסלים שנדגמו הצבנו כנגד ערכי האפור בפיקסלים אלה וביצענו רגרסיה בין המשתנים.

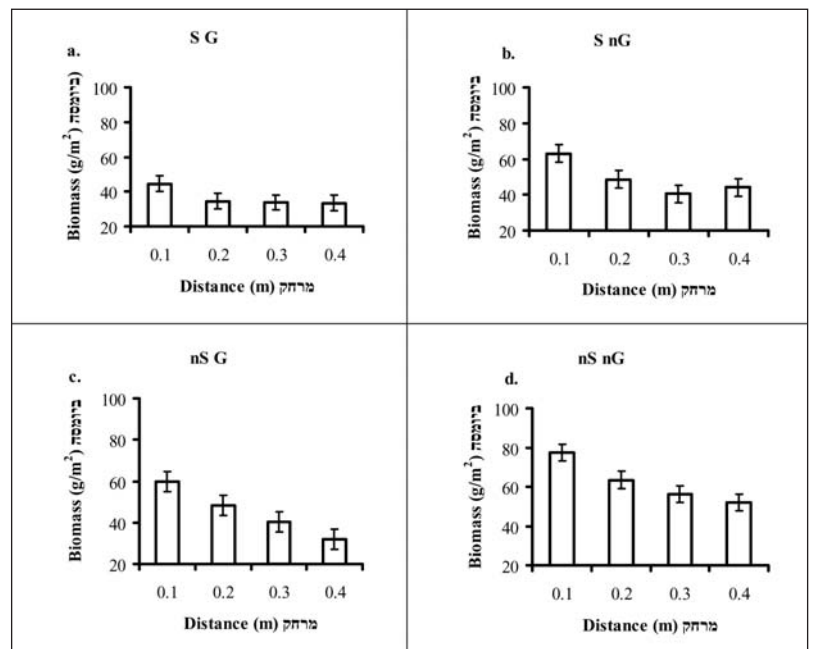
במהלך העונה הירוקה בשנת 2004 בוצעו ארבעה צילומי אוויר מגובה נמוך, באמצעות מצנח רחיפה ממונע. הצילומים בוצעו בתאריכים 6.2.04, 28.2.04, 20.3.04 ו-12.4.04. משוואת כיוול חושבה עבור כל מועד בנפרד ושימשה לחיזוי הבימוסה העשבונית בכל פיקסל באתר המחקר. בהתאם לגודל ריבועי המדגם שנקצרו עבור הכיוול, הרזולוציה של מיפוי הבימוסה העשבונית הייתה 10 ס"מ.

על גבי הצילום האווירי של האתר, באמצעות תוכנת GIS (ArcInfo 8.2), סימנו את שולי השיחים ואת שולי האזורים שכוסו בשיחים לפני שאלה נכרתו. באמצעות התוכנה חושב לפי סימון זה המרחק של כל פיקסל משולי השיח הקרוב אליו. הניתוח הסטטיסטי של ערכי הבימוסה נעשה על-ידי ANOVA, בעזרת מודל פקטוריאלי מלא. הגורמים במודל היו כריתה (כן או לא), רעייה (כן או לא), מרחק משולי השיח (ארבע קטגוריות מרחק: 0.1, 0.2, 0.3 ו-0.4 מטר) והאינטראקציות בינם. כדי להפריד בין ממוצעי הבימוסה במרחקים השונים השתמשנו במבחן Tukey-Kramer.

דגימות קרקע: כדי לבדוק את כתמיות המשאבים בקרקע, דגמנו קרקע בשלושה סוגי כתמים: בלב השיח, בעטרות של החד-שנתיים ובאזורים פתוחים. בכל סוג כתם נלקחו חמש דגימות מעומק של 10-15 ס"מ, שהוא עומק בית השורשים של העשבוניים. ריכוזי ניטרט (NO_3), אמוניה (NH_4), זרחן (P)

אזור המחקר: המחקר התבצע ב"חוות ההדגמה לבדואים" בלהבים (לתיאור מקיף של האתר ראה פרבולוצקי ולנדאו, 1988). האקלים צחיח למחצה (כ-300 מ"מ משקעים בשנה). הנוף גבעי; הגובה הממוצע הוא 370 מטר מעל פני הים. הצמחייה באזור היא בתה ים-תיכונית של ספר המדבר, עם חברת צומח של סירה קוצנית ומספר מלווים בולטים כשלהבת קצרת שיניים, מתנן שעיר, קזוח עקום, בלוטה גלונית, מלעניאל מצוי, כפיות שעירות וגרגרנית ערבית (ויזל, פולק וכהן, 1978). המרחב שבין כתמי הצומח מכוסה ברובו בקרום ביולוגי שעוביו עד 15 מ"מ (Zaady et al., 1997).

מערך הניסוי: בתחילת דצמבר 2003, כחודשיים לפני ההצצה של נבטי העשבוניים, מיקמנו אתר ניסוי בגודל 30x50 מ"ר על מפנה צפון-מערבי. האתר גודר בגדר בגובה 1.2 מטר, ובתוכו נבחרו 20 חלקות בגודל 3x3 מטר, הכוללות כל אחת שיח או קבוצת שיחים צפופים ושטח פתוח סביבן. לכל חלקה הוקצה



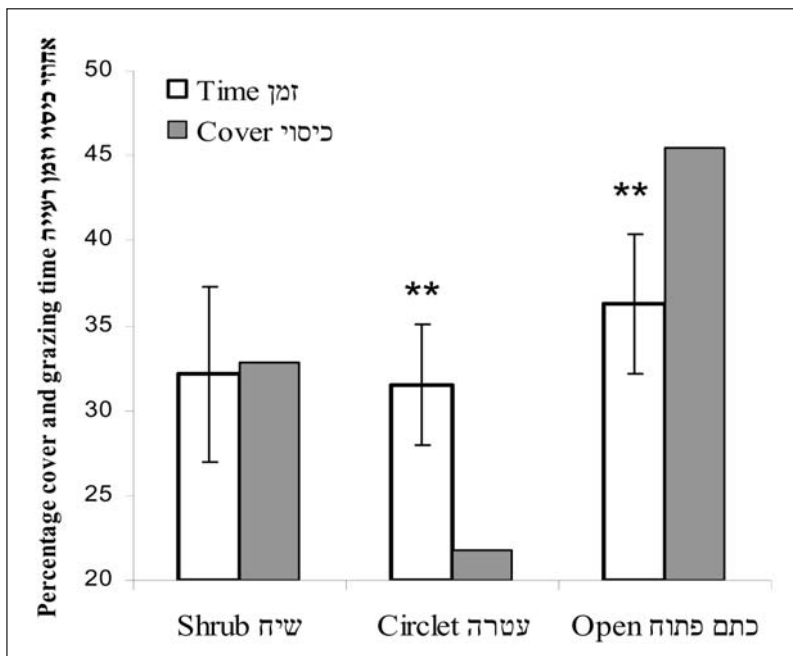
איור 1: התבנית המרחבית של הבימוסה העשבונית לאחר שיא העונה הירוקה (20.3.2004). ממוצעי הבימוסה העשבונית (\pm שגיאת תקן) במרחקים 0-40 ס"מ משולי השיח הקרוב, בטיפולים השונים: a. שיח עם רעייה (S G); b. שיח ללא רעייה (S nG); c. כריתה עם רעייה (nS G); d. כריתה ללא רעייה (nS nG). שלושת הגורמים במבחן ANOVA תלת-כיווני (מרחק, רעייה, שיח) נמצאו מובהקים ביותר ($P < 0.0001$), ללא אינטראקציות. הבימוסה הוערכה באמצעות חישה מרחוק (כיוול ערכי אפור לבימוסה עשבונית).

Fig. 1: Mean (\pm SE) of herbaceous biomass at distances 0-40 cm from the nearest shrub edge, determined on 20.3.2004, shortly after peak biomass was reached in the study season, for the four treatments: a. Grazing and no cutting of shrub (S G); b. Protection from grazing and no cutting (S nG); c. Grazing and cutting (nS G); d. No grazing and cutting (nS nG). All three factors (distance, grazing, shrub presence) were found highly significant ($P < 0.0001$), with no interactions, in a 3-way ANOVA. Biomass was evaluated by remote sensing.

אמנם בתבנית שונה במקצת לעומת הטיפולים ללא כריתה. בשני טיפולי הכריתה בולטת גם העובדה שהביומסה בכל המרחקים מהשיח גבוהה מזו שבטיפולים ללא כריתה. כלומר, הכריתה הביאה לגידול בביומסה העשבונית בכתם, לפחות בטווח הקצר. גם כאן ניתן לראות ביומסה גבוהה יותר בטיפול ללא רעייה בהשוואה לטיפול תחת רעייה.

הכיסוי היחסי של הכתמים השונים והקצאת הזמן של הכבשים לרעייה

איור 2 מציג את אחוזי הכיסוי של שטח פתוח (כ-45%), שיחים (33%) ועטרות ברוב 15 ס"מ סביב כל שיח (22%) באתר הניסוי כולו (1,500 מ"ר). לצד התפלגות זו מוצגת הקצאת הזמן של הכבשים לרעייה בכתמים שונים. מהתצפיות עולה, שבעוד הכבשים מקצות זמן לאכילה של סירה קוצנית באופן פרופורציונלי לאחוז הכיסוי של שיח זה בנוף, הן מבלות זמן רב מהצפוי ($P < 0.01$) ברעייה בעטרה (איור 4) ופחות זמן מהצפוי ($P < 0.01$) באזורים הפתוחים, המרוחקים יותר מהשיח. (איור 5).



איור 2: אחוז הזמן שהוקצה על-ידי הכבשים לרעייה בכתמים השונים, מול אחוז הכיסוי של כתמים אלה בחלקת הניסוי. קווי רווח בר-סמך (95%) חושבו על סמך שישה מועדים של תצפיות התנהגות בתוך חלקת הניסוי, שנערכו בכל פעם שהעדר הוכנס לחלקה במהלך העונה הירוקה. שתי כוכביות מסמנות הבדל מובהק ($P < 0.01$) במבחן X^2 בין הזמן שהוקצה לרעייה בכתם, לזמן שהיה צפוי שיוקצה ברעייה אקראית או אחידה, כפי שחושב לפי אחוז הכיסוי של הכתמים בחלקת הניסוי.

Figure 2: Frequency distribution of area cover in the research plot of three patch types: shrub, cirlet, and open space, and time allocation by sheep to grazing on different patches. Bars of confidence intervals (95%) were computed based on six dates of behavioral observations. Two asterisks indicate a significant difference ($P < 0.01$) in a X^2 test. The null hypothesis was of spatially random or uniform grazing and therefore a time allocation for each patch equal to its relative cover.

וקלציום-כלוריד (מינרל של אשלגן – $KCaCl_2$) נבדקו בדגימות בשיטות סטנדרטיות.

תצפיות התנהגות ברעיית כבשים במרחב: לאורך עונת המחקר הוכנסה לאתר הניסוי קבוצת כבשים (10-20 ראש) מדי עשרה ימים, ושהתה באתר כשעתיים. בנוסף להפעלת לחץ רעייה מבוקר על הטיפולים, ביקשנו לבחון כיצד מקצות הכבשים את זמנן לרעייה בכתמים השונים: האם הן אוכלות בכל סוג כתם בהתאם לאחוזי הכיסוי שלו בשטח או שהן מקצות יותר זמן מהצפוי לרעייה בכתמים מועדפים? כדי לענות על כך ערכנו תצפיות התנהגות בכל פעם שהוכנסה קבוצת הכבשים לאתר. תצפיות ההתנהגות בוצעו בשיטת "דיגום סריקה" (scan sampling) – כל 15 דקות סרקנו את העדר ורשמנו כמה מהפרטים אכלו באותו רגע באחד משלושת הכתמים:

1. **שיח:** אכילה של השיחים עצמם;
 2. **עטרה:** אכילת עשבוניים עד 15 ס"מ משיח;
 3. **שטח פתוח:** אכילה במרחק של מעל 15 ס"מ משיח.
- את הזמן שהוקצה לרעייה שנצפתה השווינו להקצאת זמן אקראית או אחידה לפי אחוזי הכיסוי של הכתמים, כפי שחושבו באמצעות עיבוד התצלום האווירי ו-GIS.

תוצאות

הפיזור במרחב של הביומסה העשבונית בטיפולים השונים

מהתוצאות מתאריך 20.03.2004 (איור 1) – לאחר השיא בביומסה העשבונית – ניתן לראות שלמרחק משולי השיח יש השפעה חזקה מאוד על הביומסה העשבונית. ניתוח סטטיסטי של קשר זה הראה מובהקות גבוהה מאוד ($P < 0.0001$). גם לשני הטיפולים, כריתה ורעייה, הייתה השפעה מובהקת ביותר על הביומסה ($P < 0.0001$), ללא אינטראקציות מובהקות בינם לבין המרחק משולי השיח. במבחן Tukey-Kramer נמצא, שהביומסה העשבונית בקטגוריית המרחק הראשונה (פחות מ-10 ס"מ משולי השיח), גדולה באופן מובהק מהביומסה בשלושת הקטגוריות הרחוקות יותר.

איור 1a מתאר את ממוצעי הביומסה העשבונית כנגד המרחק משולי השיח, בחלקות ללא כריתה, שנותרו פתוחות לרעייה (שיח עם רעייה). ניתן לראות שכמות הביומסה העשבונית בקרבת השיח (10 ס"מ $>$) גדולה ב-30% בערך מהביומסה הרחוקה יותר.

גם בטיפול שיח ללא רעייה (איור 1b) הופיעה עטרה. הביומסה בכל מרחק משולי השיח, ובמיוחד בעטרה, גבוהה לעומת המרחק המקביל בטיפול שיח עם רעייה, הפרש המבטא אכילה על-ידי הכבשים (לא ניתן להעריך במדויק את הכמות שנאכלה מכיוון שבעונה זו העשבוניים המשיכו לצמוח). נראה אם כן (וראה להלן גם בתוצאות מתצפיות ההתנהגות), שהשיח הקוצני לא מרתיע את הכבשים מאכילת העשבוניים בקרבתו.

עטרה הופיעה גם בשני טיפולי הכריתה (איורים 1c ו-1d),

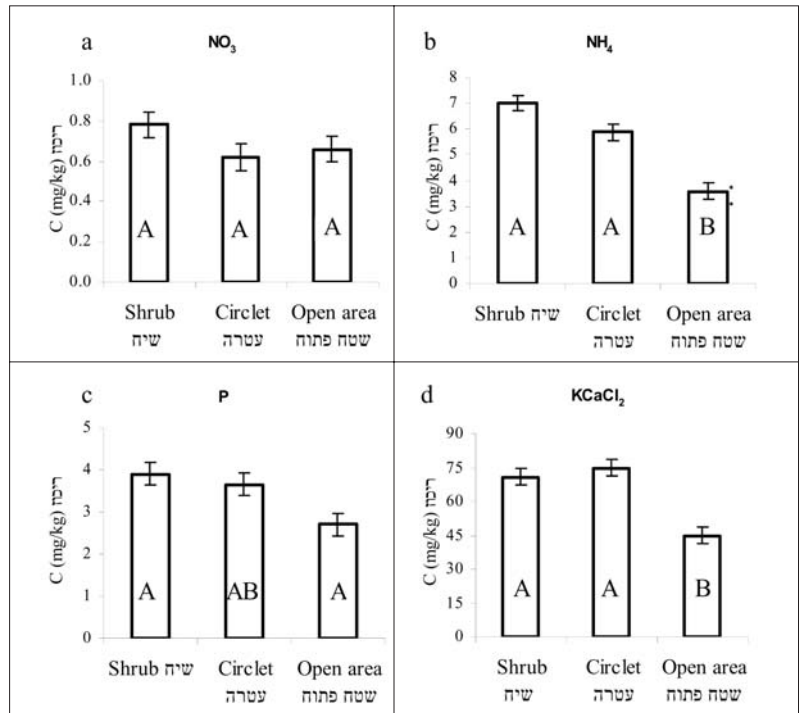
אלא של ויסות הזמינות של משאבים על-ידי השיח, מסקנה המקבלת חיזוק מדגימות הקרקע. להבדלים בריכוזיהם של מינרלים חשובים בכתמים השונים יש שתי משמעויות מרכזיות. האחת, הם מעידים על כך שהכתמים קיימת לא רק בפיזור הצמחייה, אלא גם בפיזור של נוטריינטים שונים בקרקע (כתמים כזו דווחה בנגב הצפוני גם על-ידי Zaady (2005)). המשמעות השנייה היא, שהתוצאות מראות שכתם המשאבים, לפחות מבחינת חנקן ואשלגן, גדול יותר מהאזור שמכוסה בפועל על-ידי חופת השיח וחופף לשטח העטרה. זמינות גבוהה של נוטריינטים עשויה בהחלט להיות חשובה ביצירת העטרה – חנקן מהווה את הגורם המגביל השני לאחר מים במדבר (Evenari, 1985). בניסויים בלהבים נמצא שהעטרה בחנקן ובזרחן הביאה לגידול של עד 350% בביומסה העשבונית (צעדי וחוב, 1992).

באופן עקרוני, העלייה בביומסה העשבונית בעטרה יכולה לנבוע משינוי בהרכב של חברת העשבוניים, משינוי בצפיפותם או מעלייה בגודל הפרטים. בניסוי זה לא בדקנו איזה מנגנון משתתף ביצירת העטרה באזור המחקר, אך מחקרים במערכות כתמיות מצאו שתנאים משופרים במיקרו בית הגידול אכן הביאו לשינוי בהרכב המינים העשבוניים ובצפיפות (Boeken & Shachak, 1998; Oren, 2001), וכן להימצאות פרטים גדולים יותר בקרבת השיח (Gutiérrez, 1993).

העלייה בביומסה העשבונית בשני טיפולי הכריתה (איורים 1C ו-1d) מעידה לכאורה על שחרור מתחרות בין שיחים לעשבוניים, ועל כך שיש לעקור את השיחים כדי לנבוע גידול עשבוניים. אך יש לזכור, שללא השיח, כתם המשאבים יתפרק ויעלם (Oren, 2001). כלומר, בסך הכול הסיוע גדול מהתחרות. כדאי לבדוק במחקר המשך מה גורם לעלייה בביומסת העשבוניים בעטרה בעקבות הכריתה. שני הסברים אפשריים הם: האחד, ירידה בתחרות תת-קרקעית על מים ונוטריינטים והשני, שחרור של נוטריינטים וחומר אורגני ממערכת השורשים הנרקבת של השיח הכרות.

מעניין לציין, שמתחת לחופת השיחים (גם באזורים שנחשפו בכריתה), מצאנו מעט מאוד פרטים של עשבוניים, בניגוד למערכות יבשות יותר בצפון הנגב (לדוגמה פארק סיירת שקד עם כ-200 מ"מ משקעים בשנה), שבהן מתחת לשיחים יש עשבוניים רבים (Boeken & Shachak, 1994). ייתכן שהדבר קשור להרכב הכימי של עלי הסירה הקוצנית.

מתצפיות ההתנהגות ברעיית הכבשים (איור 2) עולה, שהן מגיבות בחיוב לדפוסי הפיזור המרחבי של העשבוניים – הן מבלות זמן רב מהצפוי ברעייה בשטח העטרה, ופחות מהצפוי, באזורים פתוחים. הקרבה לשיחי הסירה הקוצנית אינה מפחיתה, אם כן, את לחץ הרעייה. בניגוד לאחת מהשערותינו, ניתן לומר שהעטרה קיימת למרות שהכבשים אוכלות בה יותר, ומכאן שהשיפור בתנאים הא-ביוטיים באזור זה משמעותי ביותר. עם זאת, צריך לזכור, שלרעייה יש גם השפעות עקיפות וארוכות טווח על העשבוניים, כמו שינוי יחסי תחרות בין-מינית ודחיסה של הקרקע. כדי לעקוב אחר השפעות כאלו לא די בעונת מחקר אחת.



איור 3: ריכוזי אמוניה (a), ניטרט (b), רחן (c) ואשלגן (d) בקרקע בשלושה אתרים שונים: בלב השיח, בעטרה ובשטח המכוסה קרום. הריכוזים במ"ג חומר לק"ג אדמה. אותיות שונות מסמלות הבדל מובהק (P<0.05) באתרים, לפי ניתוח שונות חד-כיווני (n=5, df=4).

Figure 3: Concentrations (c) of NO₃ (a), NH₄ (b), P (c) & K (d) in the soil in three locations: under the shrub's canopy, under the circlet, and under open patches covered by soil crusts. Concentrations are in mg substance per kg of soil. Different letters indicate a significant difference (P<0.05) between locations, in a one way ANOVA test (n=5, df=4).

כתמיות נוטריינטים בקרקע

מדגימות הקרקע בכתמים השונים (איור 3) ניתן לראות שריכוזים של שניים מארבעת הנוטריינטים שנבדקו גבוה בהרבה תחת השיח והעטרה, לעומת כתמים פתוחים (P<0.05): ריכוז החנקן האמוני (NH₃), גבוה פי 2 וריכוז האשלגן (בצורת KCaCl₂) פי 1.5 בקירוב. גם בריכוזי הזרחן יש דפוס דומה, אך ההבדלים אינם מובהקים.

דיון

מהמחקר עולה, שהתופעה שקראנו לה עטרה אכן קיימת – ביומסת העשבוניים החד-שנתיים גבוהה יותר בקרבת שיחי הסירה הקוצנית. על רקע התהליכים הדינמיים הקשורים בצימוח וברעייה, ארבעת הטיפולים שביצענו ביקשו לבדוק שני הסברים אפשריים להיווצרות העטרה: האחד, ויסות משאבים (על-ידי השיח) והשני, הפרעה (רעיית כבשים). יש לזכור, שהתוצאות שהצגנו כאן הן של עונת מחקר אחת בלבד, בעוד מרבית התהליכים שביקשנו לבדוק הם ארוכי טווח. למרות זאת, ניתן להסיק מהתוצאות – יצירת עטרות גם בחלקות ללא רעייה ובטיפול כריתה עם רעייה – שהעטרה אינה תוצאה של רעייה,



איור 4: כבשה אוכלת עשבונים באזור העטרה, בקרבת השוליים של השיח. צולם ב-10.02.2004

Fig 4: Sheep graze from the circler of dense herbaceous vegetation surrounding the shrub *S. spinosum*. Picture taken on 10.02.2004



איור 5: כבשים רועות בשטח פתוח. צולם ב-10.02.2004

Fig 5: Sheep graze on annuals in the open area. Picture taken on 10.02.2004

על סמך הקשר המרחבי החזק בין העשבונים למעוצים העולה מהמחקר, ניתן להניח שסידור השיחים במרחב – גודל, צורה גיאומטרית (לדוגמה כתם עגול או מאורך) והמרחק בין שיח לשיח – עשויים להשפיע על ממדי העטרה (שטח וביומסה). בגלל ששיחי הסירה והעטרות סביבם מכסים חלקים ניכרים מהשטח (33%-ו-22% בהתאמה, איור 2), סביר ששינויים כאלה ישפיעו על ייצור העשבונים במערכת כולה. ניתן גם להניח, שבשטח ללא שיחים כלל, או בשטח עם שיח אחד גדול או שיחים רבים קטנים ופזורים, ייצור הביומסה העשבונית יהיה נמוך לעומת שטח שבו פזורים במרחב שיחים בגודל בינוני.

סיכום

הצגנו תיעוד ראשון לתופעת העטרה בספר המדבר בארץ והצבענו על הגורמים שמביאים ליצירתה. לעטרות יש חשיבות ממשקית ממדרגה ראשונה לגבי ייצור מרעה למקנה ולשמירת טבע, ולא נפריז אם נאמר שכל פעולת ממשק באזור חייבת להתייחס לקיומן.

בפעולות להשבחת מרעה באזור יש להיזהר מלהפעיל שיטות "מיובאות" מצפון הארץ, ללא התחשבות בכתמיות המערכת האקולוגית. חישוף משיחים של שטחים נרחבים יחשוף את שכבת הקרקע העליונה, והמשאבים שהצטברו בכתמים במשך שנים ארוכות ייסחפו מחוץ למערכת על-ידי נגר עילי. בעקבות זאת, צפויה ירידה משמעותית בייצור הראשוני בטווח הבינוני והארוך. לעומת זאת, ניתן לבצע בשטח "ממשק עטרות" במטרה להשיג גודל ופיזור אופטימליים של שיחים במרחב, הניתנים לחישוב מתמטי ולאומות אמפירי. כריתה סלקטיבית ודילול של שיחים, לא על פני שטחים רחבים ואחידים אלא באופן מפוזר, ואולי אף שתילה של שיחים, יאפשרו התאוששות של שיחים לאחר מספר עונות וישמרו על כתמיות המערכת לאורך זמן, תוך תמיכה בשטחי עטרות נרחבים ובייצור עשבונים.

תודות

אנו מודים לאנשים הרבים שעזרו בשדה ומול המחשב ולגי'מי קדושים. תודה מיוחדת למשפחת נסאסרה המתגוררת בחווה. המחקר מומן בחלקו על-ידי הנהלת ענף המרעה במשרד החקלאות וקק"ל.

מקורות

- ויזל, י', פולק ג' כהן י' (1978). אקולוגיה של הצומח בארץ-ישראל. הוצאת המדור לאקולוגיה.
 פרבולוצקי א' ולנדאו, י' (1988). שיפור ופיתוח ענף הצאן במגזר הבדואי בנגב הצפוני. חוות הדגמה לבדואים – להבים. דוח
 מקצועי 1982-1988.
- צעדי, א', אוקון, י', פרבולוצקי, א' ויונתן ר' (1992). שינוי ביבול המרעית העשבונית בהשפעת ביקטור בחיידקי אוספירילום
 ודישון זרחני בצפון הנגב ובדרום הכרמל. "השדה" כרך ע"ב (ד): 484-488.
- Aguiar, M.R. & Sala, O. E. (1999). Patch structure, dynamics and implication for the functioning of arid ecosystems.
Tree 14:7 273-277.
- Boeken, B. & Shachak, M. (1994). Changes in desert plant communities in human-made patches and their implications
 for management of desertified landscapes. *Ecological Applications* 4:702- 716.
- Boeken, B. & Shachak., M. (1998). The dynamics of abundance and incidence of annual plant species during
 colonization in a desert. *Ecography* 21: 63-73.
- Boeken, B. & Orenstein, D. (2001). The effect of plant litter on ecosystem properties in a Mediterranean semi-arid
 shrubland. *Journal of Vegetation Science* 12: 825-832.
- Cipriotti, P.A. & Aguiar, M.R. (2005). Effects of grazing on patch structure in a semi-arid two-phase vegetation mosaic.
Journal of Vegetation Science 16: 57-66.
- Evenari, M. (1985). The desert environment. In: Evenari, M. Noy-Meir, I. & Goodall, D.W. (Eds.). *Hot deserts and
 arid shrublands*. In: *Ecosystems of the world*. Elsevier, Amsterdam. Vol. 12A: pp. 1-22.
- Gilad, E., von Hardenberg, J., Provenzale, A., Shachak, M. & Meron, E. (2004). Ecosystem Engineers: From Pattern
 Formation to Habitat Creation. *Physical Review Letters* 93 (9): 098105: 1-4.
- Gutiérrez, J.R., Meserve, P.L, Contreras, L.C., Vasquez, H. & Jaksic, F.M. (1993). Spatial distribution of soil nutrients
 and ephemeral plants underneath and outside the canopy of *Porlieria chilensis* shrubs (Zygophyllaceae) in arid
 coastal Chile. *Oecologia* 95: 347-352.
- House, J., Archer, S., Breshears, D.D., Scholes, R. J. & NCEAS (2003). Tree-Grass Interaction Participants. *Conundrums
 in mixed woody-herbaceous plant systems*. *Journal of Biogeography* 30: 1763-1777.
- Ludwig, J.A. & Tongway, D.J. (1995). Spatial organization of landscapes and its function in semi-arid woodlands.
Australia Landscape Ecology 10:1 51-63.
- Oren, Y. (2001). Patchiness, disturbances and the flow of matter and organisms in an arid landscape: A multiscale
 experimental approach. PhD thesis, Beer-Sheva: Ben-Gurion University.
- Schlesinger, W.H., Reynolds, J.F., Cunningham, G.L., Huenneke, L.F., Jarrell, W.M., Virginia, R.A. & Whitford, W.G.
 (1990). Biological feedbacks in global desertification. *Science* 247: 1043-1048.
- Shachak, M. & Lovett. G.M. (1998). Atmospheric deposition to a desert ecosystem and its implication for management.
Ecological Applications 8: 455-463.
- van de Koppel, J. & Rietkerk, M. (2004). Spatial Interactions and Resilience in Arid Ecosystems. *American Naturalist*
 163 (1): 113-121.
- Zaady, E. & Shachak, M. (1994). Microphytic soil crust and ecosystem leakage in the Negev desert. *American Journal
 of Botany* 81: 109.
- Zaady, E., Gutterman, Y. & Boeken, B. (1997). The germination effects of cyanobacterial soil crust on mucilaginous
 seeds of three desert plants: *Plantago coronopus*, *Reboudia pinnata* and *Carrichtera annua*. *Plant and Soil* 190:247-
 252.
- Zaady, E. (2005). Seasonal change in Nitrogen cycling in a patchy Negev desert: A review. *Arid Land Research and
 Management* 19:111-124.