

סוגיות באקולוגיה

חורגם על ידי קמפוס טבע, אוניברסיטת תל-אביב (חורף 2005)

הופק על ידי החברה האקולוגית האמריקאית (סתיו 1999)

תפקודי המגוון הביולוגי והמערכת האקולוגית: קיום התהליכים הטבעיים התומכים חיים



החברת פורסמה במקור ע"י החברה האקולוגית האמריקאית (1999) בסדרת החוברות סוגיות באקולוגיה. המהדורה העברית יצאה לאור על ידי קמפוס טבע באוניברסיטת תל-אביב (2005). כל הצילומים והאיורים לקוחים מהמהדורה באנגלית.

חברי המערכת המדעית הישראלית:

ד"ר יעל גבריאלי: קמפוס טבע, אוניברסיטת תל-אביב
 פרופ' תמר דיין: המחלקה לזואולוגיה, אוניברסיטת תל-אביב
 פרופ' דויד זלץ: המחלקה לאקולוגיה מדברית ע"ש מרקו ולואיז מיטרני, המכון לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושטיין, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
 פרופ' יוסי לוי: המחלקה לזואולוגיה, אוניברסיטת תל-אביב
 פרופ' עוזי מוטרו: המחלקה לאבולוציה, סיסטמטיקה ואקולוגיה, האוניברסיטה העברית בירושלים

הוסיף על ההיבט הישראלי:

ד"ר מרסלו שטרנברג: המחלקה למדעי הצמח, אוניברסיטת תל-אביב.

עריכה: ד"ר יעל גבריאלי וענת פלדמן

עריכה לשונית: חיה וטנשטיין-מאייר

גרפיקה והבאה לדפוס: סטודיו יריב סתיו

סייעו בהפקה: סטודיו יריב סתיו ודפוס מקסם

תודות

המהדורה האמריקאית יצאה לאור בסיוען של קרן Packard וקרן Pew. המהדורה העברית יצאה לאור בסיוע קרן ברכה.

לקבלת עותקים נוספים:

קמפוס טבע, אוניברסיטת תל-אביב, תל-אביב 69978

טלפון: 03-6405148, פקס: 03-6405253, דוא"ל teva@tauex.tau.ac.il

ניתן להוריד קובץ PDF של החוברת מאתר קמפוס טבע www.campusteva.tau.ac.il

תפקודי המגוון הביולוגי והמערכת האקולוגית: קיום התהליכים הטבעיים התומכים חיים

נכתב במקור על ידי : Shahid Naeem, Chair, F.S. Chapin III, Robert Costanza, Paul R. Ehrlich, Frank B. Golley, David U. Hooper, J.H. Lawton, Robert V. O'Neill, Harold A. Mooney, Osvaldo E. Sala, Amy J. Symstad, and David Tilman
הוסיף על ההיבט הישראלי: מרסלו שטרנברג

תקציר

- צמצום במגוון הביולוגי המקומי דרמטי אף יותר מאשר הצמצום ברמה העולמית, ותרומתם של אורגניזמים רבים על תהליכים מקומיים אובדת הרבה לפני שמינים אלו נכחדים ברמה העולמית;
- תהליכי המערכות האקולוגיות רגישים לירידה במגוון הביולוגי;
- שינויים בזהות ובשפע של מינים במערכת אקולוגית יכולים להיות לא פחות חשובים מאשר שינויים במגוון הביולוגי בהשפעתם על תהליכי המערכות האקולוגיות.

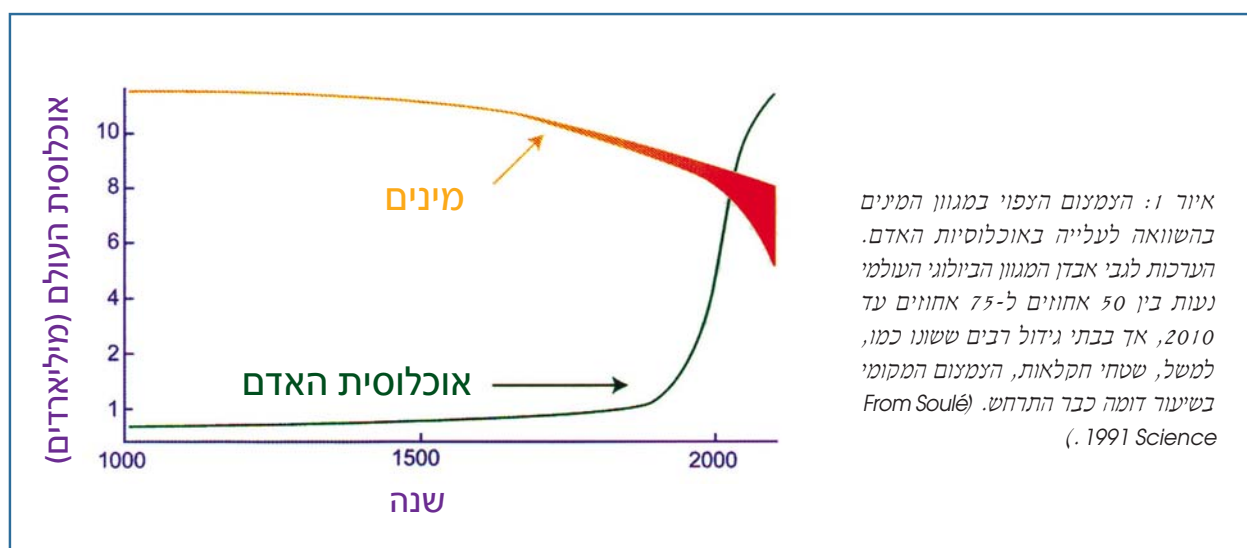
מהמחקר העדכני זיהו החוקרים מספר השפעות של אבדן המגוון הביולוגי על תפקודי המערכת האקולוגית:

- יצרנות הצומח עלולה לרדת יחד עם צמצום המגוון האזורי והמקומי;
- עמידות המערכת האקולוגית להפרעות סביבתיות כדוגמת בצורת יכולה להיחלש, כשהמגוון הביולוגי פוחת;
- תהליכי המערכת האקולוגית, כגון: רמת החנקן בקרקע, השימוש במים, יצרנות הצומח ומחזורי המזיקים והמחלות משתנים יותר ככל שהמגוון מצטמצם.

בשל חשיבותה לרווחת האדם, קיום תפקודה של המערכת האקולוגית צריך להיות חלק בלתי נפרד מהמדיניות הלאומית והבין-לאומית, שנועדו לשמר את המגוון הביולוגי המקומי והעולמי.

תהליכים חיוניים ברמת המערכת האקולוגית משפיעים על יצרנות הצומח, על פוריות הקרקע, על איכות המים, על כימיית האטמוספירה ועל תנאים מקומיים ועולמיים רבים נוספים, אשר בסופו של דבר משפיעים על רווחת האדם. תהליכי המערכות האקולוגיות מבוקרים על ידי מגוון מיני הצומח, החי והמינים המיקרוביאליים החיים בחברה. שינוי החברה במערכת האקולוגית על ידי האדם – כמו גם שינוי של כלל המגוון הביולוגי על פני כדור הארץ – יכולים לשנות את התפקוד האקולוגי של השירותים התומכים חיים, החיוניים לרווחתן של חברות אנושיות. שינויים מהותיים כבר התרחשו, במיוחד אבדן מקומי ועולמי של מגוון ביולוגי. הגורם המרכזי לכך הוא הפיכתן, על ידי האדם, של מערכות אקולוגיות מגוונות מאוד באופן טבעי למערכות אקולוגיות מנוהלות ודלות יחסית במינים. על פי מחקרים עדכניים, הירידה במגוון הביולוגי יכולה לשנות את ההיקף ואת היציבות של התהליכים האקולוגיים, במיוחד כאשר המגוון הביולוגי יורד לרמות נמוכות האופייניות לרבות מהמערכות המנוהלות.

סקירת הממצאים הקיימים מזהה את העובדות המפורטות להלן לגבי תפקוד המגוון הביולוגי ומערכות אקולוגיות: ■ השפעות האדם על המגוון הביולוגי העולמי היו דרמטיות, וכתוצאה מכך נגרם אבדן חסר תקדים של מגוון ביולוגי עולמי בכל הרמות – מגנים ומינים ועד למערכות אקולוגיות שלמות;



הקדמה

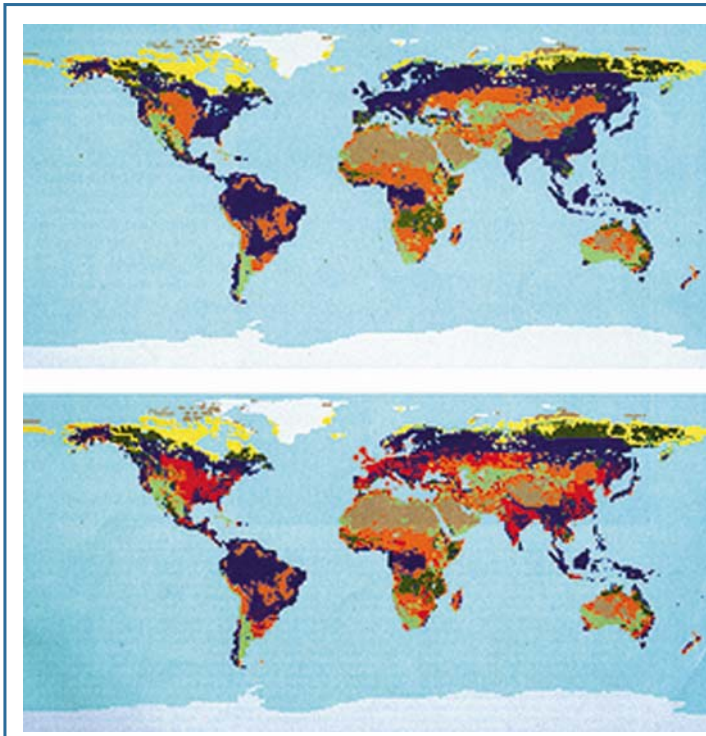
יכולים להיחשב כערך השוק של המגוון הביולוגי, מפני שהם קשורים ישירות לכלכלה שלנו ולעתים קרובות אפשר לייחס להם ערך דולרי בשווקים. שנית, למגוון הביולוגי יש ערכים ללא ערך שוק היכולים להיות מבוססים במונחים של ידע, אסתטיקה וקיום. קשה לכמת ערכים לא סחירים אלו של המגוון הביולוגי, אך עבור רבים הם מהווים הצדקה מספקת לשימור המגוון הביולוגי ללא קשר לערכו בשוק.

קטגוריה שלישית של ערך שירותי המערכת האקולוגית היא המוקד של סקירה זו. האורגניזמים השונים מקיימים יחסי גומלין ויוצרים מערכות אקולוגיות, שבהן מתקיימים זרימות אנרגיה ומחזורים של חומרים (איור 4). זרימת האנרגיה מתייחסת ללכידת אנרגיית האור על ידי פוטוסינתזה של צמחים ירוקים או אצות ופיזור כאנרגיה כימית בכל מארג המזון - לבעלי החיים הניזונים מצמחים או מאצות, לטורפים ולבסוף למפרקים. זרימת החומרים כרוכה במחזור של פחמן, חנקן, אשלגן ויסודות נוספים בין היצורים החיים ובין האוויר, המים והקרע. זרימות אנרגיה וחומרים אלו, בתיווך תהליכים ביולוגיים, תורמות לשירותים אקולוגיים או תומכי חיים רבים התורמים לרווחת האדם, כגון: ייסות גזי החממה, טיפול במים, מניעת סחף, בקרת איכות הקרקע וגדילת צמחים. שירותי המערכת האקולוגית יכולים לכלול גם תועלות תרבותיות, כגון: ערכי דת, אסתטיקה, בילוי בשעות הפנאי או השראה.

הקביעה אם המגוון הביולוגי כשלעצמו חשוב לתפקוד המערכת האקולוגית אינה קלה, בין השאר משום שגורמים רבים כמו, למשל, שינוי בית הגידול המצמצם את המגוון הביולוגי המקומי משפיעים ישירות גם על תהליכים אקולוגיים רבים וממסכים את ההשפעות החד־משמעיות פחות של אבדן מינים על התפקודים. עם זאת, מחקרים עדכניים מראים כי מערכות

אחד המאפיינים המדהימים ביותר של החיים על פני כדור הארץ הוא המגוון יוצא הדופן, המוערך בכ-10 מיליון מינים שונים. אחד ההיבטים הבולטים של השינוי העולמי בזמנו הוא הצמצום המהיר של מגוון זה במערכות אקולוגיות רבות (איור 1). הצמצום אינו מוגבל לשיעור הגובר של קצב של הכחדת מינים, אלא כולל גם אבדן של מגוון גנטי ומגוון תפקודי ברמה של אוכלוסייה, חברה, מערכת אקולוגית ונוף (איור 2). המונח "מגוון ביולוגי" נוגע לכל ההיבטים הללו של המגוון הביולוגי גם יחד. הצמצום רחב ההיקף במגוון הביולוגי נובע בעיקר משינוי ומהרס של בתי גידול, מעלייה בקצב הפלישות של מינים לא מקומיים שיובאו בכוונה או בטעות, מניצול יתר ומהשפעות נוספות הנגרמות על ידי האדם.

בקנה מידה עולמי, אפילו לפי ההערכה הנמוכה ביותר של קצב הכחדה, כמחצית מכלל המינים עלולים להיכחד תוך 100 שנים. אירוע כזה יהיה דומה בהיקפו לחמש ההכחדות הגדולות שהתרחשו במהלך 3.5 מיליארד שנות קיום החיים על פני כדור הארץ. בקנה מידה מקומי ואזורי, ירידת המגוון הביולוגי מורגשת באזורים רבים, במיוחד במקומות שבהם מערכות אקולוגיות טבעיות הפכו לשטחי חקלאות ומערכות אקולוגיות מנוהלות אחרות. המגוון של המערכות האקולוגיות המנוהלות האלו הוא במקרים רבים נמוך, והרכב המינים בהן שונה מאוד, בהשוואה למערכות הטבעיות שהן החליפו (איור 3). מהן ההשלכות של ירידות אלו במגוון הביולוגי וכיצד הן עלולות להשפיע על רווחת האדם? האורגניזמים על פני כדור הארץ תורמים לרווחת האדם במגוון דרכים. ראשית, בני אדם מפיקים מהם חומרי גלם ומוצרים הכרחיים לחיים, ובכלל זה - מזון, תרופות, מוצרי תעשייה, משאבים גנטיים להשבתת גידולים ושירותים של בקרת מזיקים. מוצרים ושירותים אלו



איור 2: אבדן מגוון ביולוגי ושינוי בביימים של כדור הארץ. המפה העליונה מראה את הביימים העיקריים של כדור הארץ - ערבות עשב בכתום ויערות בכחול - לפני הכנסת החקלאות. המפה התחתונה מראה את התפשטות המערכות האקולוגיות החקלאיות והמנוהלות האחרות: אדום מייצג אוור שיותר מ-50 אחוזים משטחו הוא מערכת אקולוגית מנוהלת. (After Sisk et al. BioScience, 1994)



איור 3: באזורים הטרופיים, היערות הם המגוונים מאד מבחינה ביולוגית והם מוחלפים על ידי גידולים חד-מיניים (מונוקולטורה) של בננות.



מגוון ביולוגי: מינים, טיפוסים ותפקודים והרכב

אף-על-פי שכל אורגניזם תורם לתהליכי המערכת האקולוגית, האופי ושיעור תרומתו של הפרט שונים ממין אחד למשנהו באופן משמעותי. המחקר של המגוון הביולוגי שם דגש רב בייחוד על מינים מסוימים ועל תרומתם הסגולית לשירותי המערכת האקולוגית מונעים על ידי הצירוף של הפעילויות הביולוגיות של אורגניזמים רבים יחד, ופעמים רבות קשה לקבוע את התרומה היחסית של כל מין ומין לתהליכי המערכת האקולוגית. מינים בתוך קבוצות, כגון: יונקים אוכלי עשב, טורפים גדולים, עשבים רב-שנתיים או חיידקים מקבעי-חנקן יכולים להיות דומים בתפקודם למרות ייחודם מבחינה גנטית, אורח חייהם ותכונות נוספות שלהם.

קבוצות של מינים המבצעים תפקידים דומים במערכת אקולוגית מוכרים כטיפוסים תפקודיים או קבוצות תפקודיות. מינים יכולים להיות מחולקים גם לטיפוסים תפקודיים על סמך מה שהם צורכים או על פי מעמדם ההזנתי (כלומר, מיקומם במארג המזון כיצרנים, כמפרקים, כטורפים). בתוך הקבוצות הטרופיות, אפשר להוסיף ולחלק את המינים בהתאם לאורח החיים שלהם, לצרכים האקלימיים או התזונתיים שלהם ותכונות פיזיולוגיות או ביולוגיות אחרות. חוקרים יכולים למקם מין במספר קטגוריות תפקודיות בהתאם לתהליך של המערכת האקולוגית שהם חוקרים.

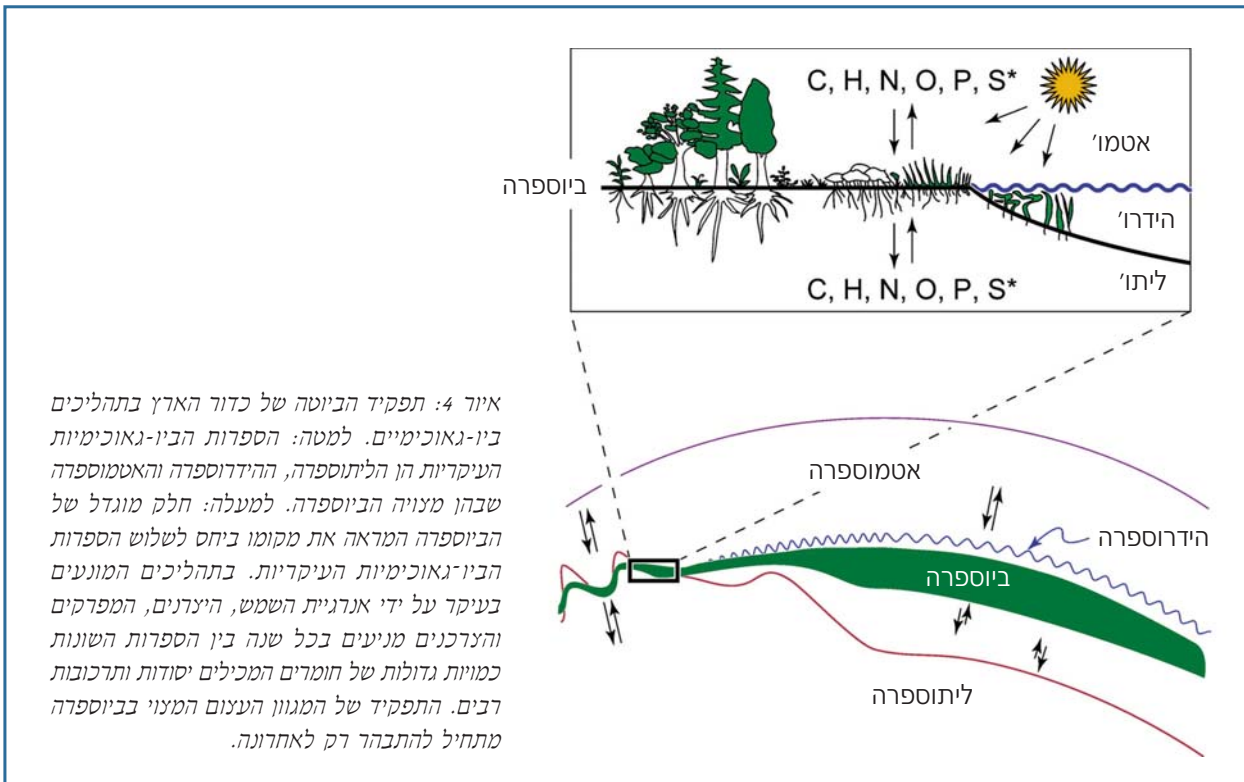
מינים יכולים להיות שונים מאוד זה מזה בתרומתם לתפקודי המערכת האקולוגית, ולכן ההרכב המסוים שלהם או זהותם בחברה חשובים. העובדה כי מינים מסוימים חשובים יותר מאחרים הופכת ברורה כאשר מדובר ב"מיני מפתח", "מינים מעצבי נוף" או אורגניזמים עם "חשיבות רבה לחברה". מונחים אלו שונים בשימוש שעושים בהם, אבל כולם נוגעים למינים שלאבדנם תהיה השפעה חסרת פרופורציה על החברה בהשוואה לאבדן מינים אחרים. לדוגמה, המין של עץ

אקולוגיות אכן רגישות לשינויים במספרים ובטיפוסים של המינים המצויים בחברותיהן. בדיווח זה אנו מספקים סקירה כוללת של תפקודי המערכת האקולוגית, עוסקים בהבחנה בין מגוון ביולוגי טקסונומי (כלומר, מספרי המינים) ומגוון ביולוגי תפקודי ומעריכים את המצב הנוכחי של המחקר בנוגע לתגובות המערכת האקולוגית לשינויים במגוון הביולוגי.

תפקודי המערכת האקולוגית

תפקודי המערכת האקולוגית משקפים את פעילות החיים של צמחים, של בעלי חיים ושל מיקרואורגניזמים והשפעת פעילויות אלו – תזונה, צמיחה, תנועה, הפרשת פסולת וכו' – על התנאים הפיזיים והכימיים של סביבתם. מערכת אקולוגית מתפקדת היא מערכת שמראה פעילות ביולוגית וכימית האופיינית לסוגה. מערכת יער מתפקדת, לדוגמה, מקיימת שיעורים של יצרנות צומח, אגירת פחמן ומחזור נוטריאנטים שאופייניים למרבית היערות. אם הופכים את היער למערכת אקולוגית חקלאית, תפקודיה משתנים.

אקולוגים מחלקים את המאפיינים העיקריים של מערכת אקולוגית לשני מדורים: הביוטי והא־ביוטי. המדור הביוטי מורכב מחברת המינים, שיכולה להיות מחולקת מבחינה תפקודית לצומח היצרני, לצרכנים שניזונים מהיצרנים וזה מזה ולמפרקים (איור 5). המדור הא־ביוטי כולל את מאגרי הנוטריאנטים האורגניים והאני-אורגניים. אנרגיה וחומרים נעים בין שני מדורים אלו, וכן לתוך המערכת האקולוגית ומחוצה לה. תהליכי המערכת האקולוגית מכומתים על ידי מדידה של שיעורי תנועות אלו (כלומר, יצרנות הצומח, הפירוק, מיצוי נוטריאנטים ומדדים אחרים של ייצור חומר, תנועה או אבדן). תפקודי המערכת האקולוגית מכומתים על ידי מדידת השיעור והדינמיקה של תהליכי המערכת האקולוגית. תפקודי המערכת האקולוגית הם תוצאה של יחסי גומלין בין ובתוך רמות שונות של הביוטה.



דמותו באתרים שונים, יכולים לספק תשובות מיידיות לשאלות לגבי ההשפעה של עושר המינים על תהליכי המערכת האקולוגית. אבל מחקרים אלו הוכחו תמיד כבעייתיים. לדוגמה, מערכת אקולוגית כדוגמת יער טרופי או בית גידול לח חופי יכולה להיות שונה מאוד מאתר אחד למשנהו לא רק במספר המינים ובהרכבם, אלא גם בתנאים הפיזיים והכימיים, כגון: סוג הקרקע, השיפוע, המשקעים או רמות הנוטריאנטים. השוואה בין מערכות אקולוגיות שונות עלולה להניב תוצאה לא ברורה מפני שקשה להבחין בין התגובות לשונות במגוון הביולוגי לבין תגובות הנגרמות כתוצאה משונות בגורמים סביבתיים ואחרים. עם זאת, למרות הקושי אפשר לשלוט באופן סטטיסטי בגורמים כאלה שעלולים לעורר בלבול.

מחקרים ניסויים

מחקרים ניסויים, המתוכננים כראוי, יכולים להפחית מהגורמים המבלבלים הקיימים במחקרים התצפיתיים. ניסויים יכולים לספק תובנות לא רק לגבי היחסים בין המגוון הביולוגי ובין תפקודי המערכת האקולוגית, אלא גם לגבי המנגנונים שמאחורי יחסים אלו. המחקרים העדכניים בנושא התבצעו בהיקפים שונים, מניסויים רחבי היקף בשטח וניסיונות במתקנים סביבתיים מבוקרים גדולים ועד לניסויים צנועים בהיקפם בעציצים ובדיקות במערכות מעבדתיות זעירות (איור 6). מחקרים אלו מנסים לעסוק בשתי סוגיות שונות לגבי הקשר בין המגוון הביולוגי ותפקודי המערכת האקולוגית. הראשונה, כיצד מושפעות רמות התפקוד של המערכת האקולוגית משינויים במגוון הביולוגי, ובמיוחד מעושר המינים? השנייה, כיצד הדינמיקה של תפקודי המערכת האקולוגית, במיוחד הגמישות והיציבות של התהליכים, מושפעת מהמגוון הביולוגי? שני הפרקים הבאים סוקרים את התוצאות הניסוייות והתאורטיות השופכות אור על שאלות אלו.

מקבע-חנקן, מיריקה פאיה (*Myrica faya*), שיובא לאיי הוואי, גרם לשינויים רחבי היקף במחזור החנקן, כיוון שהגדיל באופן משמעותי את כמות הנוטריאנט החיוני לצמחים בקרקעות שאליהן פלש. צמח התורמוס (*Lupinus arboreus*) מקבע חנקן ומעשיר גם הוא את הקרקעות וכתוצאה מכך מעודד פלישת עשבים רעים. בין בעלי החיים, המוס (*Alces alces*) בהעדפות המזון שלו מפחית באופן משמעותי את רמות החנקן בקרקע וגם משפיע על סוקצסיה העצים ביער. גם בונים – בתזונתם ובבניית הסכרים – לא רק שמשנים את פוריות הקרקע ואת סוקצסיה היער, אלא מגדילים את המגוון של המערכות האקולוגיות בנוף. אפילו לטרמיטים תפקיד מכריע לגבי פוריות הקרקע ותהליכים אקולוגיים אחרים בבתות עשבוניות יובשניות. לעומת זאת, יש דוגמאות אחדות המצביעות על העובדה שלתוספת או לאבדן של מינים מסוימים הייתה השפעה מועטה על תהליכי המערכת האקולוגית.

תגובת המערכת האקולוגית לשינויים במגוון הביולוגי

מאז דרווין, אקולוגים ידועי שם העלו השערות שונות לגבי היחסים בין המגוון הביולוגי ובין תפקודי המערכת האקולוגית. הדאגה נוכח הירידה הגוברת במגוון הביולוגי ושאלות לגבי הפגיעה הנשקפת לשירותי המערכת האקולוגית עקב כך המריצו מחקרים תצפיתיים, תאורטיים וניסויים בהיקף חסר תקדים.

מחקרים תצפיתיים

לכאורה נראה, כי מחקרים תצפיתיים המשווים בין סוג אחד של מערכת אקולוגית לסוג אחר, או בין מערכות אקולוגיות

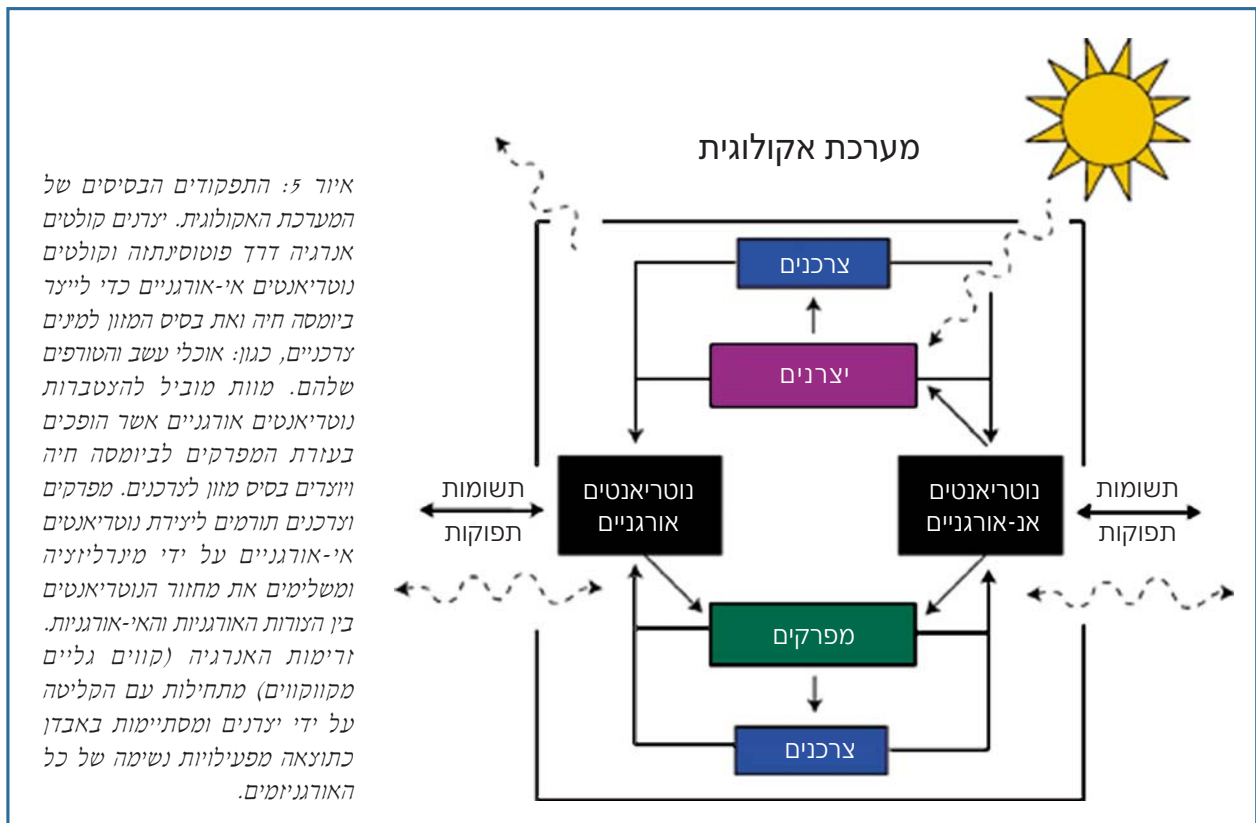
המגוון הביולוגי ורמות התפקוד של המערכת האקולוגית

תוצאות של מחקרים רבים שבוצעו לאחרונה בצפון אמריקה ובאירופה מראות, כי יצרנות המערכת האקולוגית עולה עם עליית עושר המינים. מחקרים אלו נעים מניסויים רחבי היקף שמתקיימים בחוץ ועד ניסוי מעבדה מבוקרים בתאי צמיחה, בחממות ובמיכלים קטנים. ניסויים מתחת לכיפת השמים כמו אלו שבוצעו בבתות העשבוניות בקרקעות סרפנטין (Serpentine) דלות בנוטריאנטים בסטנפורד, קליפורניה ובערבות הבתה העשבונית במינסוטה (Cedar Creek Natural History Area, Minnesota) (איור 7), נעשו עם חברות צומח דומות לאלו שמצויות בטבע, אבל החוקרים שינו את מספר מיני הצמחים מחלקת ניסוי אחת לאחרת. גישה זו קיימת גם בניסויי BIODEPTH (איור 8), שבמסגרתם שמונה מדינות אירופיות הכשירו חלקות שדה שבהן מגוון הצמחים נע ממספר מינים נמוך ועד למספר מינים ממוצע, כפי שמצוי בכל אתר.

ניסויים מדויקים יותר בתאי צמיחה התבצעו על ידי מדענים בבריטניה (Imperial College of London, Silwood Park, England) ובצרפת (Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, Montpellier, France). ניסוי מעבדה עדכניים יותר באירופה ובצפון אמריקה החלו לבדוק את השפעתם של מרכיבים נוספים של המגוון הביולוגי, כגון: השפעת מגוון המיקרואורגניזמים בקרקע על יצרנות הצומח והתפקיד של החיידקים, הטורפים ואוכלי הצומח בחברות מיקרוביאליות של מים מתוקים. כל המחקרים הללו הראו, שתפקודי המערכת האקולוגית יורדים עם צמצום מספר המינים בחברה. ירידה בתפקודים יכולה להיות חמורה במיוחד, כאשר מספר

המינים קטן כמו, למשל, במערכות אקולוגיות מנוהלות הכוללות שטחי חקלאות או גידולי עץ. נוסף על כך, מחקרים ניסויים עדכניים בבתות עשבוניות מצביעים על העובדה, שהשפעת המגוון הביולוגי על היצרנות יכולה להיות תלויה הן במספר הקבוצות התפקודיות הקיימות והן בזהותם של מיני הצמחים (במילים אחרות – בהרכב החברה). מחקרים אחרים הראו, שאבדן קבוצות תפקוד ממארג המזון או הפחתה במספר המינים בכל קבוצה טרופית (יצרנים, צרכנים, מפרקים) עלולים לגרום לירידה בתפקודי המערכת האקולוגית. לבסוף, מחקר אחר הראה שכמה מיני צמחים יכולים להיות יצרניים יותר או פחות, או לא להגיב כלל לשינויים, במגוון החברות שלהם, אף כי סך כל היצרנות בחברה היא במוצע נמוכה יותר, כאשר המגוון קטן יותר.

מחקרים על צמחים היו מאירי עיניים ותמכו בתוצאות של מודלים תאורטיים עדכניים אשר צפו, כי ירידה במגוון הצומח מובילה להפחתה ביצרנות הצמחים. מודלים אלו חוזים, כי מגוון והרכב הם שני גורמים שווים בחשיבותם בקביעת התפקודים של המערכת האקולוגית. שני מנגנונים אפשריים הוגדרו כדי להסביר מדוע רמות התפקוד של המערכת האקולוגית עולות עם הגידול במגוון. הראשון הוא "אפקט הדיגום": כאשר מאגר המינים הזמין באזור כולל מינים שונים בעלי יצרנות שונה ותרומות שונות לתפקודי המערכת האקולוגית, הסיכוי הוא כי למערכות אקולוגיות עשירות במינים יהיו מינים עם רמות תפקוד גבוהות. השני הוא "אפקט ההשלמה": הוא מתקיים, כאשר מספר גדול של מינים משלימים זה את זה, ובמקום להתחרות זה בזה, מנצלים נישות שונות, וכך מאפשרים ניצול יעיל יותר של המשאבים הזמינים.



מידת היציבות, יכולת החיזוי של הדינמיקה והאמינות של המגוון הביולוגי והמערכת האקולוגית

קיימים מחקרים ניסויים שבהם ניסו לבחון את השפעת המגוון הביולוגי על היציבות של המערכת האקולוגית, בעיקר משום שיציבות היא מאפיין של המערכת הנוגע לטווח הארוך ובחינה שלו דורשת ניסויים ארוכי טווח או ניסויים עם אורגניזמים בעלי מחזור חיים קצר. עם זאת, במחקר שדה אקולוגי אחד לטווח ארוך הצמצום בעושר מיני הצמחים הוריד גם את מידת היצרנות של בתות עשבוניות בתגובה לבצורת. נוסף על כך, מחקרים של חברות מיקרוביאליות בתאי ניסוי קטנים הראו, שתנודות בתפקודי המערכת האקולוגית כמו, למשל, ביצרנות יכולות להיות גדולות יותר, כאשר עושר המינים יורד. כך, אבדן המגוון גורם לאבדן של יציבות המערכת האקולוגית (איור 9).

מספר מנגנונים יכולים להסביר תוצאות אלו. מנגנון אחד מקורו ביכולת של מינים מתחרים להחליף או לפצות זה על זה וכך למזער, במגוון גדול יותר, את העליות והירידות בתפקודים. מנגנון נוסף הוא "אפקט הפורטפוליו" – תיאוריה לפיה מאפיינים מצטברים כמו, למשל, תפקודי המערכת האקולוגית מראים תנודות חמורות פחות במערכות שיש בהן מינים רבים, בדומה לאופן שבו תיק (פורטפוליו) השקעות המכיל מניות מגוונות יהיה בעל שונות נמוכה יותר לטווח הארוך מאשר תיק המכיל סוג אחד של מניה או מספר מצומצם של סוגים.

של ישראל באזור מעבר של ארבעה אזורים ביוגיאוגרפיים שונים אשר נפגשים בשטח קטן יחסית. המפגש של ארבעת האזורים האלו בשילוב תנאים אקלימיים שונים והיסטוריה ארוכה של התערבות אדם במערכות האקולוגיות בארץ תורמים לנוכחות ולשפע של יותר מ-2,750 מיני צומח בארץ.

מחקר באוניברסיטת תל-אביב בנושאי מגוון של מיני הצומח בישראל מתמקד בהבנת התהליכים אשר משפיעים על הנוכחות ועל השפע היחסי שלהם, בהקשר לתהליכים טבעיים ולהשפעת אדם. ההבחנה של תהליכים אלו נעשית על ידי לימוד תכונות המערכות הטבעיות המשפיעות על המגוון הביולוגי. מבין תכונות אלו, לפוטנציאל ייצור הביו-מסה הצמחית יש תפקיד חשוב במערכות טבעיות אשר נמצאות תחת ממשק מרעה. מחקרים אחדים בישראל בוחנים את ההשפעה של לחצי רעייה על תפקוד המערכת האקולוגית ועל מגוון המינים. מחקרים אלו בודקים כיצד רעייה משפיעה על מאגרי זרעים בקרקע, על אסטרטגיות נביטה ועל שפע וייצור ביו-מסה של מיני צומח. עבודות אלו בוחנות את הקשרים בין מגוון המינים, יציבות ויצרנות המערכת. יעד חשוב של מחקרים אלו הוא לנצל את מלוא הפוטנציאל של רעייה כערך כלכלי מבלי לפגוע בפוטנציאל היצרנות והיציבות של המערכת הטבעית. מחקרים אלו משלבים חשיבה כלכלית וממשק בר-קיימא.

נוסף על רעייה, לימוד ההשפעה של שרפות על דינמיקה של חברות צומח הנו תחום מחקר חשוב במערכות ים-תיכוניות. חשיבות נושא זה עלתה בשנים האחרונות כתוצאה משרפות גדולות שהתרחשו באזור הרי הכרמל והרי יהודה. מחקר שרפות מתמקד בהבנת התהליכים

המגוון הביולוגי במחקרי הצומח בארץ ישראל

המגוון הביולוגי של הצומח בארץ ישראל מושפע ממיקומה



צילומים (מלמעלה ובכיוון השעון):
S. Naeem, J.Roy, Center for Population
Biology, A.Bajpai, A. Hector

איור 6: מחקרים ניסויים על היחס בין המגוון הביולוגי ותפקודי המערכת האקולוגית. הניסויים שונים מאוד בהיקף ובשיטות. כולם הראו שאבדן המגוון הביולוגי מוביל לירידה בתפקודי המערכת האקולוגית. בכיוון השעון מהפניה השמאלית העליונה: חוקר בוחן את הצימוח בהרכבים שונים של צמחים שנשתלו בעציצים, צומח ים-תיכוני שהועתק לחממות, מודל מערכות אקולוגיות של צמחים וחסרי חוליות קטנים בתא צמיחה, ניסוי שדה בשווייץ, מיקרוקוסמוסים מיקרוביאליים בתאי צמיחה וניסוי שדה באנגליה.



צילום: David Tilman

איור 7: תצלום אווירי של חלקות ניסוי של ערבות עשב בסידר קריק, מינסוטה. אפשר לראות בתמונה שני ניסויים. סדרה של 147 חלקות קטנות, מגידול חד-מיני ועד חלקות המכילות 24 מיני צמחים, נראית בקדמת הצילום. השטח הגדול ביותר במרכז מורכב מ-342 חלקות מגידולים חד-מיניים ועד 32 מינים של חברות של ערבות העשב. חלקות אלו הוקמו ב-1933.

מלאכותית בתחנות מחקר אלו, חוקרים אחדים מסוגלים ללמוד על השינויים בתפקוד המערכות האקולוגיות השונות ועל השינוי בהרכב ובמגוון המינים. על אף הידע הרב יחסית הקיים בישראל בנושא המגוון הביולוגי, קצב הפיתוח העירוני המואץ, אשר מתעלם מנושאי סביבה ומשינוי ממשק בשטחים חקלאיים והשטחים הירוקים הפתוחים, מחייב מחקר אינטנסיבי נוסף על מנת שיהיה אפשר להמליץ על ניהול המגוון הביולוגי בארץ בצורה מושכלת. בדרך זאת יהיה אפשר לטפל במינים אשר נמצאים בסכנת הכחדה ולפתח שיטות ממשק בר-קיימא המביאות בחשבון את חשיבות השמירה של המגוון הביולוגי לדורות הבאים.

סיכום

שלוש נקודות מתבהרות מסוג מחקר זה שהיקפו הולך וגדל. הראשונה, כי ירידה בשיעור המינים יכולה להוביל לצמצום ברמות הכוללות של תפקודי המערכת האקולוגית. עובדה זו בולטת במיוחד ברמות נמוכות של מגוון. ממצא זה רלוונטי מאוד לשינוי האקולוגי המתחולל כיום, מאחר שמרבית המערכות האקולוגיות עוברות שינוי למערכות מנוהלות, אשר מכילות באופן טיפוסי רק כמה מינים דומיננטיים, בעוד שהמערכות האקולוגיות הטבעיות שהן החליפו הכילו עשרות עד מאות מינים.

שנית, לפחות מין אחד לקבוצה תפקודית חיוני לתפקוד המערכת האקולוגית. כאשר יש יותר ממין אחד לקבוצה תפקודית הדבר יכול לשנות או לא לשנות את הרמות הכוללות של תפקודי המערכת האקולוגית, ואף על-פי-כן הוא יבטיח מפני אבדן תפקוד בעתות משבר, כאשר מינים בתוך הקבוצות התפקודיות יכולים להחליף או לפצות זה את זה.

של סוקצסיה משנית לאחר שרפה ואפיון תכונות צומח המאפשרות להתמודד עם הפרעה זאת. נוסף על הבנת תהליכים אלו, ממשק יער ושטחים פתוחים כולל אסטרטגיות למניעת שרפות. השפעת האש גורמת לשינויים בהרכב ובמגוון חברות הצומח, נוסף על השפעות אחרות, כגון: ארוזיה וסחיפת קרקע וכתוצאה מכך - ירידה בפוריות הקרקע. לגורמים אלו יש חשיבות רבה לגבי מנגנונים אשר משפיעים על מגוון ביולוגי.

השפעת האדם באמצעות החקלאות וניהול שטחים פתוחים גרמה לשינוי אופיים של כמה בתי גידול טבעיים בארץ, אשר אפשר חדירה של מיני צומח פולשים המשנים את ההרכב ואת המגוון בחברות הצומח. דוגמה לכך הנה בתי גידול חוליים באזור מישור החוף. הם כוללים מיני צומח פולשים, כגון: שיטה מכחילה (*Acacia saligna*) וטיונית החולות (*Heterotheca subaxillaris*), המשנים את אופי האזור על ידי עצירת תנועת החול ומשתלטים על הצומח המקומי. מספר מצומצם של עבודות מחקר בוצעו בארץ בנושא זה לפי שעה. תופעה זאת מעידה על הצורך להעמיק את הידע בנושא מיני צומח פולשים באזורנו.

תופעת המינים הפולשים יכולה אף להחמיר כתוצאה משינוי אקלים בארץ. בנושא זה מתבצע מחקר ארוך טווח אשר בוחן את תחזיות השינוי של משטר הגשם על הדינמיקה ועל מגוון המינים של חברות צומח לאורך גרדיאנט הצחיחות בארץ. נושא שינוי אקלים גלובליים באזורנו הנו בעל חשיבות יתרה בהקשר לשמירת המגוון הביולוגי בארץ. מחקר זה מתפרסם לאורך גרדיאנט אקלימי צפון-דרום אשר כולל ארבע תחנות מחקר המייצגות מערכות אקולוגיות שונות: ים-תיכוני לח, ים-תיכוני, צחיח למחצה וצחיח. על ידי שינוי משטר הגשמים בצורה



איור 8: ניסוי של המגוון הביולוגי, המתקיים בשמונה מדינות אירופיות באתרים עשבוניים משבדיה בצפון ועד פורטוגל ואירלנד במערב ויוון בדרום ובמזרח, מצא, כי מגוון ביולוגי גדול יותר מוביל ליצרנות גדולה יותר של חברת הצומח. התוצאות של מחקרים אלו דומות באופן כללי למחקרים קודמים לפיהם אבדן המגוון הביולוגי יפחית מאוד את היצרנות של חברות הצומח.

אקולוגיים חשובים מתקיימים ברמת הנוף, והמחקרים הנערכים כיום קובעים ששינויים ברמה הנופית של המגוון הביולוגי משפיעים על תפקודי המערכת האקולוגית. יש צורך במחקר ניסויי שיבחן את המגוון הביולוגי הן בקנה מידה גדול יותר והן בקנה מידה קטן יותר (כלומר, גנטי).

האם הידע העכשווי ישים לכל המערכות האקולוגיות?

עד היום המחקרים בחנו בעיקר מערכות אקולוגיות מבודדות. בעתיד, יש לבצע ניסויים במגוון של טיפוסים מערכות אקולוגיות כדי לבחון אם הממצאים מאגמים או מבתות עשבוניות, לדוגמה, יכולים להיות מיושמים באופן רחב יותר. גישה זו נבחנת כבר ב-BIODEPTH, ניסוי פאן-אירופי של תפקודי המגוון הביולוגי שעשוי לשמש מודל לניסויים הנדרשים במערכת האקולוגית. בשמונה אתרי ניסוי בשדה בכל אירופה יצרו חוקרי BIODEPTH מערכות אקולוגיות עשבוניות עם דרגות שונות של מגוון ביולוגי שנבנה ממאגרי המינים המקומיים. תוצאות מחקרים אלו ירחיבו לרמה הנופית את הבנתנו את היחסים בין המגוון הביולוגי ותהליכי המערכת האקולוגית, כגון: יצרנות, פירוק ואגירת נוטריאנטים.

עד כמה חשוב המגוון בכל רמות מארג המזון לתפקודי המערכת האקולוגית?

למעט ניסויים אחדים שבוצעו בתאי צמיחה בתוך מעבדות, עד כה מרבית הניסויים עסקו רק במגוון מיני הצומח ולא בשינויים במספר אוכלי העשב, הטורפים, הטפילים, המפרקים

שלישית, אופי התגובה של המערכת האקולוגית לצמצום במגוון הביולוגי תלוי בהרכב החברה; כלומר, אילו מינים אבדו ואילו נשארו. עם זאת, המחקר העדכני לא זיהה שום חוקים ברורים המאפשרים לנו לצפות מראש את ההשפעות של אבדן מין מסוים על תהליכי המערכת האקולוגית.

אף כי שלוש נקודות אלו נצפו שוב ושוב במגוון רחב של ניסויים, קיים עדיין דיון על המנגנונים שמאחוריהם. המחקר לגבי הקשר בין המגוון הביולוגי ותפקודי המערכת האקולוגית הוא תחום חדש הדורש עבודה רבה שטרם נעשתה.

מחקר עתידי

תוצאות מחקר עדכניות תומכות בתפיסה, כי תפקודי המערכת האקולוגית רגישים לשינויים המקומיים בזהות המינים, בהרכב החברות ובמגוון שלהן. אף כי המחקרים כיום מוגבלים בהיקפם, הם מצביעים על העובדה, שיצרנות הצומח, השימוש בנוטריאנטים, מיצוי הנוטריאנטים, פוריות הקרקע ומידת החיזוי והיציבות של תהליכי המערכת האקולוגית עלולים להשתבש, כאשר המגוון הביולוגי מצטמצם. למרות התקדמות זו, מספר תחומים שבהם אין ודאות צריכים עדיין להיחקר.

מהן השפעות השינויים במגוון הביולוגי ברמות שונות מינים או מקבוצות תפקוד?

מרבית המחקרים עד כה שעסקו במגוון הביולוגי ובתפקודי המערכת האקולוגית התמקדו רק בשינויים במספר או במגוון של המינים ו/או הקבוצות התפקודיות. עם זאת, תהליכים

המערכת האקולוגית או של המגוון הביולוגי. ניתוחים בעתיד אשר ישלבו בין תפקודי המגוון הביולוגי לתפקודי המערכת האקולוגית יוכלו לספק הבנה טובה יותר של ההשלכות הכלכליות הפוטנציאליות של אבדן המגוון הביולוגי.

סיכום ומסקנות

שינויים חסרי תקדים מתרחשים במערכות האקולוגיות בעולם, ובכלל זה – אבדן מינים כתוצאה מהכחדות מקומיות, תוספת מינים כתוצאה מפלישות ביולוגיות ושינויים גורפים במערכות האקולוגיות הנובעים מהפיכת אזורי בר למערכות אקולוגיות מנוהלות. לשינויים אלו יש השפעות חשובות על תהליכי המערכת האקולוגית. ממצאים עדכניים מצביעים שהן השיעור והן היציבות של תפקודי המערכות האקולוגיות ישתנו כנראה באופן משמעותי כתוצאה מירידה במגוון המקומי, במיוחד כאשר המגוון מגיע לרמות נמוכות האופייניות למערכות אקולוגיות מנוהלות. למרות מספר אי-ודאויות שנוותרו, החשיבות של שירותי המערכות האקולוגיות לרווחת האדם מחייבת אימוץ אסטרטגיה זהירה ושקולה של שימור המגוון הביולוגי כדי להבטיח את תהליכי המערכת האקולוגית החיוניים לחברה האנושית.

וממלאי תפקידים אחרים במארג המזון. עם זאת, יצורים אלו הם לא רק המרכיב הגדול ביותר של הביוטה על פני כדור הארץ, אלא הם גם ממלאי תפקידים חשובים ביותר בזרימת חומרים ואנרגיה. ניסויים הכוללים רמות רבות של מארג המזון הכרחיים להרחבת הבנתנו את ההשלכות האקולוגיות של אבדן המגוון הביולוגי.

כיצד יושפעו שינויים גלובליים נוספים עקב השינויים בדפוסי המגוון הביולוגי ובתפקודי המערכת האקולוגית?

כיום, ניסויים מעטים מתמקדים בבחינת קשרי הגומלין בין גורמים, כמו למשל, עליית ריכוז דו-חמצן הפחמן, עלייה בקרינת ביתא האולטרה-הסגולה, עלייה בפליטת החנקן, התחממות האקלים, קיטוע בתי גידול ושינויים בדפוסי המגוון הביולוגי. ניסויים שיעסקו בכל הגורמים הללו בבת אחת הם לא מעשיים.

מהן השלכות הכלכליות של תגובות המערכת האקולוגית לשינויים במגוון הביולוגי?

הערכות כלכליות התמקדו עד כה בערכי השוק של שירותי



צילומים באדיבות: OAR/NURP

איור 9: מינים יכולים להיעלם ממערכות מגוונות מאד דוגמת שוניית אלמוגים כתוצאה משינויים בכניסת הנוטריאטים. עלייה בנגד העילי של נוטריאנטים, כמו חנקן ואשלגן, מחקלאות ומשפכים עירוניים, יכולה לגרום לכיסוי שוניית האלמוגים באצות.

מקורות:

המאמרים להלן מייצגים את הפרסומים המדעיים ואת הסיכומים, עליהם מבוססת סקירה זו.

- Hooper, D. U., and P. M. Vitousek. 1997. The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. *Science* 277: 1302-1305.
- McNaughton, S. J. 1993. Biodiversity and function of grazing ecosystems. Pages 361-384. in E. D. Schulze and H. A. Mooney, eds. *Biodiversity and ecosystem function*. Springer Verlag, New York.
- Naeem, S., K. Haakenson, L. J. Thompson, J. H. Lawton, and M. J. Crawley. 1996. Biodiversity and plant productivity in a model assemblage of plant species. *Oikos* 76: 259-264.
- Naeem, S., and S. Li. 1997. Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature* 390: 507-509.
- Naeem, S., and S. Li. 1998. Consumer species richness and autotrophic biomass. *Ecology*: 2603-2615.
- Naeem, S., L. J. Thompson, S. P. Lawler, J. H. Lawton, and R. M. Woodfin. 1994. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature* 368: 734-737.
- Naeem, S., L. J. Thompson, S. P. Lawler, J. H. Lawton, and R. M. Woodfin. 1995. Empirical evidence that declining species diversity may alter the performance of terrestrial ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London, B*. 347: 249-262.
- Pimm, S. L., G. J. Russel, J. L. Gittleman, and T. M. Brooks. 1995. The future of biodiversity. *Science* 269: 347-350.
- Schulze, E.-D., and H. A. Mooney, eds. 1993. *Biodiversity and Ecosystem Function*. Springer Verlag, New York.
- Tilman, D., and J. A. Downing. 1994. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature* 367: 363-365.
- Tilman, D., J. Knops, D. Wedin, P. Reich, M. Ritchie, and E. Sieman. 1997a. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science* 277: 1300-1302.
- Tilman, D., C. L. Lehman, and K. T. Thomson. 1997b. Plant diversity and ecosystem productivity: theoretical considerations. *Proceedings of the National Academy of Science* 94: 1857-1861.
- Chapin III, F. S., B. H. Walker, R. J. Hobbs, D. U. Hooper, H. Lawton, O. Sala, and D. Tilman. 1997. Biotic control over the functioning of ecosystems. *Science* 277: 500-503.
- Chapin III, S. F., E.-D. Schulze, and H. A. Mooney. 1992. Biodiversity and ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution* 7: 107-108.
- Costanza, R., R. D'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton, and M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Daily, G. C., ed. 1997. *Nature's services*. Island Press, Washington, D. C.
- Doak, D. F., D. Bigger, E. Harding-Smith, M. A. Marvier, R. O Malley, and D. Thomson. 1998. The statistical inevitability of stability-diversity relationships in community ecology. *American Naturalist* 151: 264-276.
- Ehrlich, P. R., and A. H. Ehrlich. 1992. *Extinction: the causes and consequences of the disappearance species*. Random House, New York.
- Goulder, L. H., and D. Kennedy. 1997. Valuing ecosystem services: philosophical bases and empirical methods. Pages 23-48 in G. C. Daily, ed. *Nature's services*. Island Press, Washington, D. C.
- Hector, A., B. Schmid, C. Beierkuhnlein, M. C. Caldeira, M. Diemer, P. G. Dimitrakopoulos, J. A. Finn, H. Freitas, P. S. Giller, J. Good, R. Harris, P. Höglberg, K. Huss-Danell, J. Joshi, A. Jumpponen, C. Körner, P. W. Leadley, M. Loreau, A. Minns, C. P. H. Mulder, G. O'Donovan, S. J. Otway, J. S. Pereira, A. Prinz, D. J. Read, M. Scherer-Lorenzen, E.-D. Schulze, A.-S. D. Siamantziouras, E. M. Spehn, A. C. Terry, A. Y. Troumbis, F. I. Woodward, S. Yachi, and J. H. Lawton. 1999. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science* 286: 1123-1127.

על המהדורה הישראלית:

המהדורה בעברית יצאה לאור על ידי קמפוס טבע באוניברסיטת תל-אביב (2005).

המהדורה היא תרגום של המהדורה האמריקאית בתוספת עריכת הישראלים. הצילומים והאיורים זהים למקור האמריקאי.

על פנל המדענים

דו"ח זה מציג את ההסכמה שהתקבלה על ידי 12 מדענים העוסקים בהיבטים שונים של תחום זה. הדו"ח עבר ביקורת עמיתים ואושר על ידי המערכת של "סוגיות באקולוגיה". ההשתייכות של חברי פנל המדענים היא:

- Dr. Shahid Naeem, Panel Chair, Department of Zoology, University of Washington, Seattle, WA, 98195
- Dr. F. S. Chapin III, Department of Integrative Biology, University of California Berkeley, Berkeley, CA, 94720
- Dr. Robert Costanza, Institute for Ecological Economics, University of Maryland, Solomons, MD, 20688
- Dr. Paul R. Ehrlich, Department of Biological Sciences, Stanford University, Stanford, CA, 94305
- Dr. Frank B. Golley, Institute of Ecology, University of Georgia, Athens, GA, 30602
- Dr. David U. Hooper, Department of Biology, Western Washington University, Bellingham, WA, 98225
- Dr. J. H. Lawton, NERC Centre for Population Biology, Imperial College at Silwood Park, Ascot, Berkshire, SL5 7PY United Kingdom
- Dr. Robert V. O'Neill, Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratories, Oak Ridge, TN, 37831
- Dr. Harold A. Mooney, Department of Biological Sciences, Stanford University, Stanford, CA 94305
- Dr. Osvaldo E. Sala, Departamento de Ecología, Facultad de Agronomía, University of Buenos Aires, Buenos Aires 1417, Argentina
- Dr. Amy J. Symstad, Department of Ecology, Evolution and Behavior, University of Minnesota, St. Paul, MN, 55108
- Dr. David Tilman, Department of Ecology, Evolution and Behavior, University of Minnesota, St. Paul, MN, 55108

- Tilman, D., S. Naeem, J. Knops, P. Reich, E. Siemann, D. Wedin, M. Ritchie, and J. Lawton. 1997c. Biodiversity and ecosystem properties. *Science* 278: 1866-1867.

- Tilman, D., D. Wedin, and J. Knops. 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature* 379: 718-720.

- Vitousek, P. M., and D. U. Hooper. 1993. Biological diversity and terrestrial ecosystem biogeochemistry. Pages 3-14 in E. D. Schulze and H. A. Mooney, eds. *Biodiversity and Ecosystem Function*. Springer Verlag, New York.

- Wilcove, D. S., D. Rothstein, J. Dubow, A. Phillips, and E. Losos. 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States. *BioScience* 48: 607-615.

- Wilson, E. O. 1988. The current state of biological diversity. Pages 3-18 in E. O. Wilson, ed. *Biodiversity*. National Academy Press, Washington, D. C.

על סדרת סוגיות באקולוגיה

סדרת סוגיות באקולוגיה נועדה לדווח, בשפה המובנת לכל, את ההסכמות של פנל מדענים על סוגיות רלוונטיות לסביבה. סוגיות באקולוגיה הופקה בתמיכת Pew Scholars in Conservation Ecology Society-ל ידי David Tilman ועל ידי ה-Ecological Society of America. כל הדו"חות עברו ביקורת עמיתים ואושרו על ידי צוות המערכת לפני פרסומן.

תפקודי המגוון הביולוגי והמערכת האקולוגית: קיום התהליכים הטבעיים התומכים חיים

נכתב במקור על ידי: Shahid Naeem, Chair, F.S. Chapin III, Robert Costanza, Paul R. Ehrlich, Frank B. Golley, David U. Hooper, J.H. Lawton, Robert V. O'Neill, Harold A. Mooney, Osvaldo E. Sala, Amy J. Symstad, and David Tilman. הוסיף על ההיבט הישראלי: מרסלו שטרנברג.

על המהדורה האמריקאית:

החוברת התפרסמה בסדרת Issues in Ecology (סתו 1999).

- Dr. Gordon Orians, Department of Zoology, University of Washington, Seattle, WA 98195
- Dr. Lou Pitelka, Appalachian Environmental Laboratory, Gunter Hall, Frostburg, MD 21532
- Dr. William Schlesinger, Departments of Botany and Geology, Duke University, Durham, NC 27708-0340

המערכת המדעית הישראלית

- ד"ר יעל גבריאלי: קמפוס טבע, אוניברסיטת תל-אביב
- פרופ' תמר דיין: המחלקה לזואולוגיה, אוניברסיטת תל-אביב
- פרופ' דויד זלץ: המחלקה לאקולוגיה מדברית ע"ש מרקו ולואיז מיטרני, המכון לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושטיין, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
- פרופ' יוסי לוי: המחלקה לזואולוגיה, אוניברסיטת תל-אביב
- פרופ' עוזי מוטרו: המחלקה לאבולוציה, סיסטמטיקה ואקולוגיה, האוניברסיטה העברית בירושלים

על הכותבת המדעית

איבון בסקין היא כותבת מדעית שערכה את הדו"ח של פנל המדענים כדי שיובן גם על ידי קהל קוראים שאינם מדענים.

הוסיף על ההיבט הישראלי:

ד"ר מרסלו שטרנברג, המחלקה למדעי הצמח, אוניברסיטת תל אביב.

המערכת המדעית של סוגיות באקולוגיה

- Dr. David Tilman, Editor-in-Chief, Department of Ecology, Evolution and Behavior, University of Minnesota, St. Paul, MN 55108-6097. E-mail: tilman@lter.umn.edu

חברי המערכת

- Dr. Stephen Carpenter, Center for Limnology, University of Wisconsin, Madison, WI 53706
- Dr. Deborah Jensen, The Nature Conservancy, 1815 North Lynn Street, Arlington, VA 22209
- Dr. Simon Levin, Department of Ecology & Evolutionary Biology, Princeton University, Princeton, NJ 08544-1003
- Dr. Jane Lubchenco, Department of Zoology, Oregon State University, Corvallis, OR 97331-2914
- Dr. Judy L. Meyer, Institute of Ecology, The University of Georgia, Athens, GA 30602-2202

כדי לקבל עותקים נוספים של דוח זה יש לפנות:

קמפוס טבע, אוניברסיטת תל-אביב, רמת-אביב,

תל-אביב 69978

טל. 03-6405148, פקס. 03-6405253

או דוא"ל: teva@taux.tau.ac.il

על סדרת סוגיות באקולוגיה

סדרת סוגיות באקולוגיה נועדה לדווח, בשפה המובנת לכל, את ההסכמות של פנל מדענים על סוגיות רלבנטיות לסיביה. סוגיות באקולוגיה הופקה בתמיכת Pew Scholars grant במסגרת תוכנית בביולוגיה של שמירת טבע ועל ידי ה- Ecological Society of America. כל הדוחות עברו ביקורת עמיתים ואושרו על ידי צוות המערכת לפני פרסומם.

סוגיות באקולוגיה היא פרסום רשמי של החברה האקולוגית האמריקאית, החברה הלאומית האמריקאית המקצועית המובילה של אקולוגים. החברה האקולוגית האמריקאית נוסדה ב-1915, והיא פועלת לקידום היישום האחראי של עקרונות אקולוגיים לפתרון בעיות סביבתיות.

למידע נוסף:

Ecological Society of America,
1707 H Street, NW, Suite 400, Washington, DC 20036
E-mail: esahq@esa.org, Tel: (202) 833-8773

