

סטטיסטיקה מעשית באמצעות R (88895)**הקדמה:**

מבוא ושאלת המחקר: עמוד אחד

נושא מחקר מרכזי בקרב ביולוגים עוד משנת 1808 היה הבנת הדפוס של עושר מינים בטבע¹. עושר מינים, מתאר את מספר המינים הביולוגים הנמצאים בחלקת שטח מוגדרת². לא תמיד נראה נוכחות של כלל המינים היכולים להתקיים בחלקה, עושר מינים בחברה אקולוגית יכול להיות מושפע מגורמים רבים. אינטראקציות בין מינים, למשל תחרות, מינים בעלי כושר עמידות גבוהה להם שרידות טובה יותר ממינים הנחשבים נחותים אשר נוכחתם נדחקת לאור הימצאות המינים העילאיים³. השפעה מושפעת גם מפרמטרים כמו: זמינות נוטריינטים (בקרקע או קבלת אור), פרודוקטיביות, צפיפות צמחים בחלקה, הפרעה ועוד.

הנתונים בהם השתמשתי מגיעים מניסוי שנערך ע"י הקבוצה של פרופ' רונן קדמון בגן הבוטני. בניסוי ישנן 120 חלקות מטאקומיונטי, כל מטאקומיונטי מחולק ל - 8 חלקות קטנות כך שניתן לבצע ערבוב של מספר חלקות עליהן בוצעו טיפולים שונים. בכל חלקה קטנה נשתלו צמחים מתוך 212 מינים אפשריים



שהשתתפו בניסוי בכל (חלקה נעשה שימוש בזרעים של 50 מינים שונים לא כולם נבטו). את מערכת הניסוי ניתן לראות בהמשך. הגורם הנמדד בניסוי הוא עושר המינים בחלקות השונות בשנה הרביעית מביצוע הטיפולים. הקרקעות בחלקות נלקחו מהפארק הלאומי בית-גוברין בשפלת יהודה.

הגורם העיקרי המשפיע על עושר המינים הוא סטרס, המתח הנגרם לצמחים בעקבות הטיפולים, התחרות עם מינים אחרים בחלקה או עומק הקרקע בחלקה. גורמים המגבילים את מס' המינים בחלקה (יוצרים סטרס) הינם גורמי הפרעה. הפרעה יכולה להיחשב כגיזום, אכילה ע"י בע"ח, שריפה וגם כאסונות טבע. הגדרה של הפרעה היא בעצם הריגה או הריסה של פרט, היא מתרחשת בסכלות שונות של תדירות ועוצמה ואופיינית לכל מערכת אקולוגית אפילו ימית⁴. חקר השפעת ההפרעה על מגוון המינים הוביל לצמיחתה של השערת "ההפרעה בינונית"⁵. על פי השערה זו מגוון המינים המרבי יתאפשר כאשר ההפרעה הינה בינונית. לכן בהתבסס על השערת "ההפרעה הבינונית" שאלת המחקר שלי היא איזה טיפול או שילוב של טיפולים מאפשרים את עושר המינים הגדול ביותר ביחס לחלקת הבקרה?

שיטות:

עומקי הקרקע

והטיפולים

מסומנים

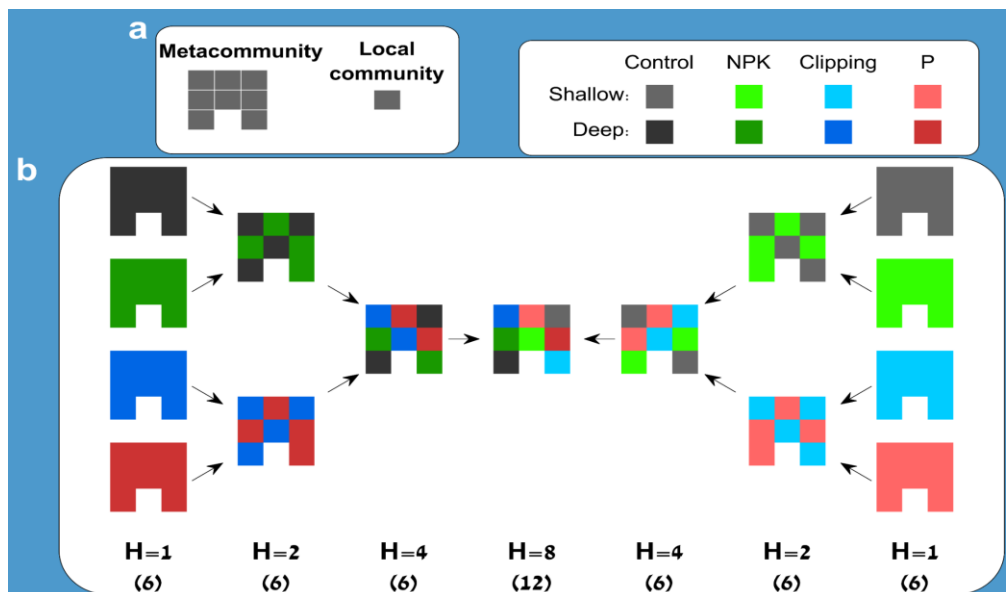
בטבלה:

Depth	D	Deep soil 70cm
	S	Shallow soil 10cm
Treatment	O	Control
	C	Clipping (20cm above ground)
	N	NPK-fertilization
	P	P-fertilization
	OC	Clipping after 2 years
	NP	NPK + P-fertilization
	OCNP	Adding a new treatment every year (by letter order)

רוב הטיפולים

מלבד אלו שנכתב אחרת בוצעו בשנה בה נשתלו הצמחים.

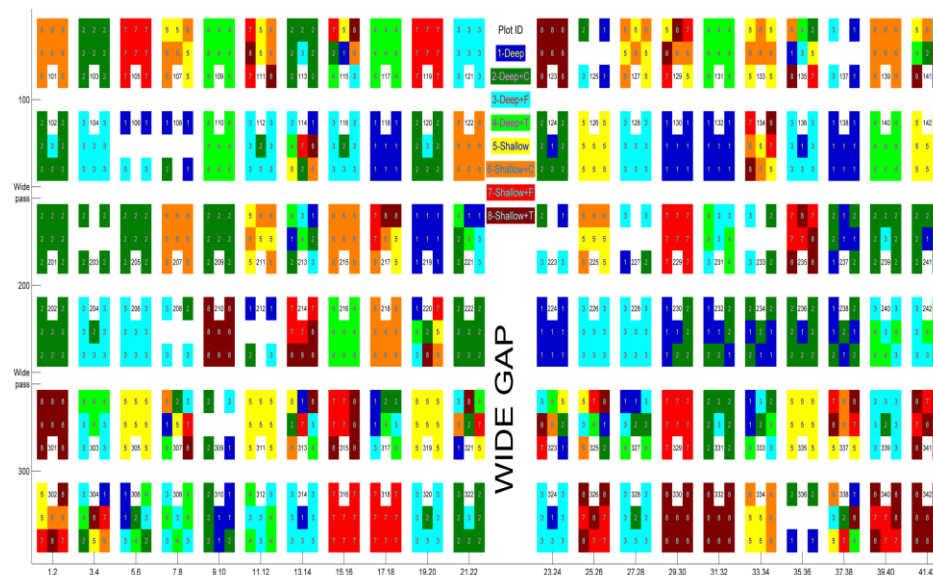
בניית החלקות:



H - הטרוגניות החלקה, נתון זה מתאר את כמות הטיפולים השונים בכל חלקת מטאקומוניטי. כיוון שבחרתי לעבוד עם עושר מינים בחלקות ולא במטאקומוניטי לא עשיתי שימוש בנתון זה.

סידור החלקות

בשטח:



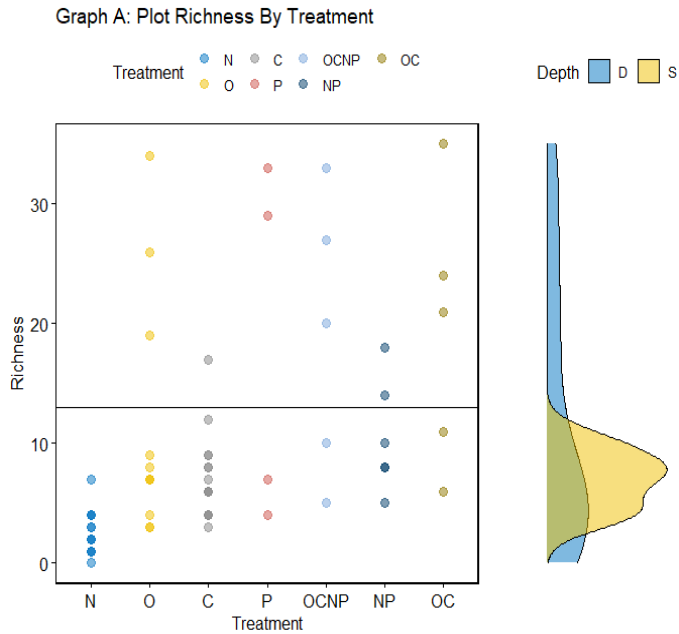
לפני תחילת העבודה ביצעתי EDA קצר כדי להחליט מה החלוקה הטובה ביותר של הנתונים וכדי למנוע מעצמי עבודה מיותרת. ניתוח גרפי זה מובא בגרף A. מתוך EDA שביצעתי עולה השערה נוספת לגבי העובדה שהגורם שהכי משפיע על עושר המינים הוא עומק הקרקע.

לצורך ניתוח הנתונים ביצעתי תחילה הפרדה בין עומקי החלקות השונים ומבחן t להצגת ההבדל המוחשי בעושר החלקות. בעזרת מבחן זה ניתן לקבוע שההשערה לגבי הגורם המגביל בעומק הקרקע בחלקה נכונה, כיוון שעושר המינים נמוך ללא הבדל בטיפול הנעשה על הצמחים בחלקה. חלקות בעלות עומק קרקע של 10cm מגבילות את כמות הנוטריינטים הזמינים לצמח אך גם גורמות להפרעה פיזית בהגבלת המקום האפשרי לנביטה והשרשה של הצמחים.

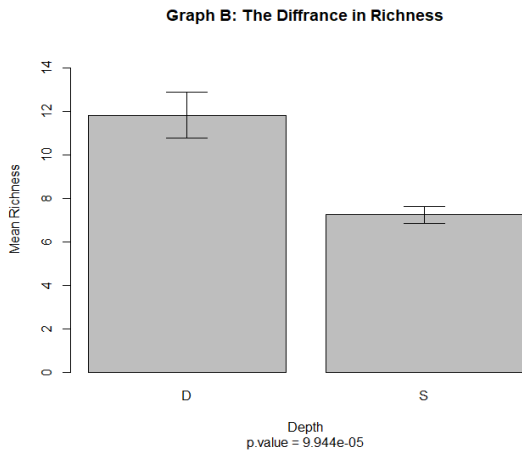
לאחר מכן ביצעתי מבחן ANOVA לטיפולים השונים בכל עומק בנפרד מבחן זה ניתן יהיה לראות האם יש השפעה כלשהי לטיפולים על החלקות. בנוסף לכך ביצעתי מבחן נוסף ללא ההפרדה לעומקי קרקע כדי לראות האם ההבדל נשמר גם בהתחשב בהגבלה הפיזית של עומק הקרקע. לאחר ביצוע ANOVA השתמשתי במבחני Shapiro-Wilk כדי לאושש את התוצאות.

לאחר מכן ביצעתי מבחן Dunnet בו ערכתי השוואה בין כל טיפול ובין קבוצת הביקורת כדי לראות לאיזה טיפול יש את ההשפעה המשמעותית ביותר. לצורך ביצוע המבחן יצרתי קובץ נתונים חדש שאפשר לי לבצע את המבחן בצורה קלה יותר. המבחן בוצע רק בחלקות העמוקות כך שאין את ההגבלה של עומק הקרקע והגורמים המגבילים היחידים הם הטיפולים השונים.

תוצאות:



כפי שניתן לראות בגרף A עושר המינים המקסימאלי בחלקות הרדודות קטן מזה של החלקות העמוקות (הקו המפריד). גרף A מציג בצורה וויזואלית את ה-EDA שביצעתי לפני תחילת הניתוחים הסטטיסטיים. לכן המבחן הראשון שביצעתי הוא מבחן T.



תוצאות מבחן ה-T מובאות בגרף B ניתן לראות הפרש משמעותי בין עושר המינים בחלקות העמוקות והרדודות, כאשר ממוצע עושר המינים בחלקות העמוקות הינו 7.238 וברדודות 11.833

ANOVA Deep Plots					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Treatment	6	6668	1111.3	37.18	<2e-16 ***
Residuals	83	2481	29.9		

ANOVA Shallow Plots					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Treatment	6	42.95	7.159	1.146	0.357
Residuals	35	218.67	6.248		

ANOVA All Plots					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Treatment	6	5604	934.1	24.60	< 2e-16 ***
Depth	2	2008	1003.8	26.44	2.04e-10 ***
Residuals	135	5125	38.0		

תוצאות מבחני הANOVA מראים

שהטיפולים השונים גורמים להבדל

משמעותי בעושר המינים בחלקות, ניתן

לראות את הבדל משמעותי בחלקות

העמוקות ובהתאם להשערה לגבי הגורם

המקביל בעומק הקרקע אין הבדל

משמעותי כאשר מסתכלים על הטיפולים

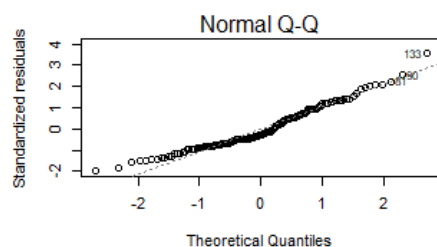
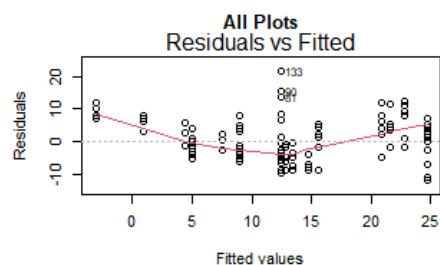
בחלקות רדודות. מבחן הANOVA על כל

החלקות בניסוי שוב מראה שישנו הבדל

משמעותי בגלל עומק הקרקע, ולמרות

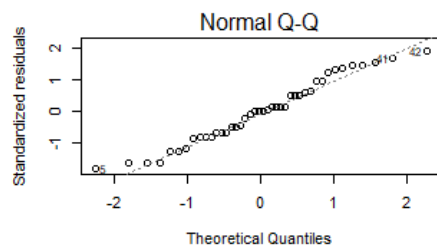
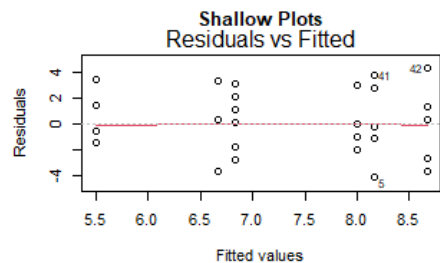
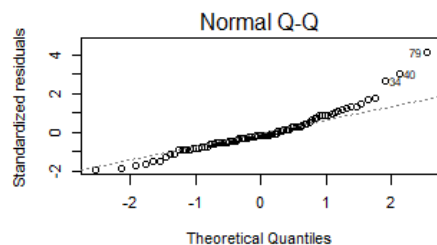
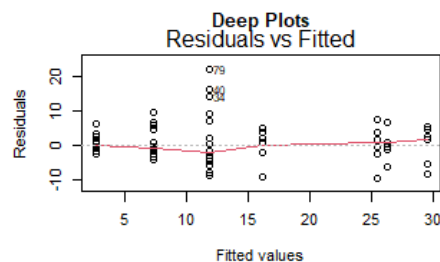
זאת ההבדלים בין הטיפולים משמעותיים.

תוצאות מבחני הANOVA מובאות בנוסף גם בטבלאות בעמוד הבא.



ניתן לראות את ההבדלים בגרפים

הבאים:



ANOVA Deep Plots

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	7.363636	1.165547	6.317751	0.0000000
Treatment N	-4.727273	1.648333	-2.867912	0.0052370
Treatment NP	8.803030	2.517870	3.496222	0.0007604
Treatment O	4.454546	1.648333	2.702456	0.0083450
Treatment OC	22.136364	2.517870	8.791704	0.0000000
Treatment OCNP	18.969697	2.517870	7.534027	0.0000000
Treatment P	18.136364	2.517870	7.203059	0.0000000

ANOVA Shallow Plots

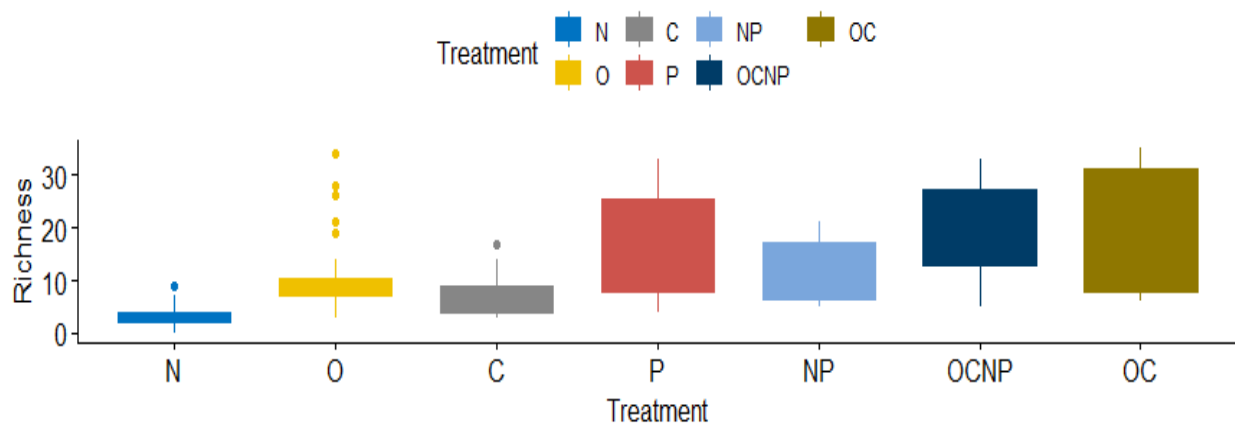
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	6.8333333	1.020426	6.6965476	0.0000001
Treatment N	-1.3333333	1.443101	-0.9239364	0.3618458
Treatment NP	0.0000000	1.443101	0.0000000	1.0000000
Treatment O	-0.1666667	1.443101	-0.1154921	0.9087152
Treatment OC	1.1666667	1.443101	0.8084444	0.4242961
Treatment OCNP	1.8333333	1.443101	1.2704126	0.2123181
Treatment P	1.3333333	1.443101	0.9239364	0.3618458

Shapiro-Wilk normality test
 Deep Plots
 $W = 0.91841$, $p\text{-value} = 2.986e-05$
 Shallow Plots
 $W = 0.96749$, $p\text{-value} = 0.2714$
 All Plots
 $W = 0.95834$, $p\text{-value} = 0.0002398$

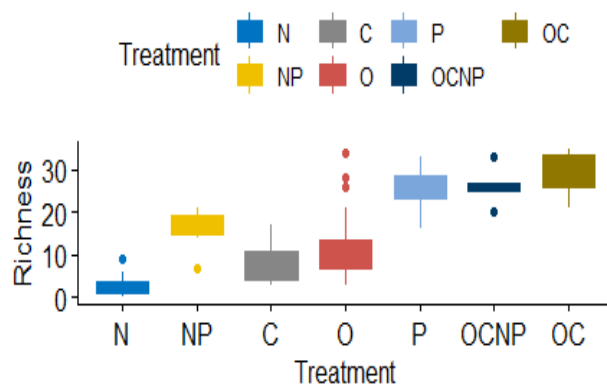
מבחני Shapiro-Wilk מראים גם תוצאות התואמות את
 מבחני ANOVA ואת ה t.test שבוצע.

גרפים C עד E מראים את ההבדלים בעושר המינים בהתאם לטיפול ולעומק הקרקע:

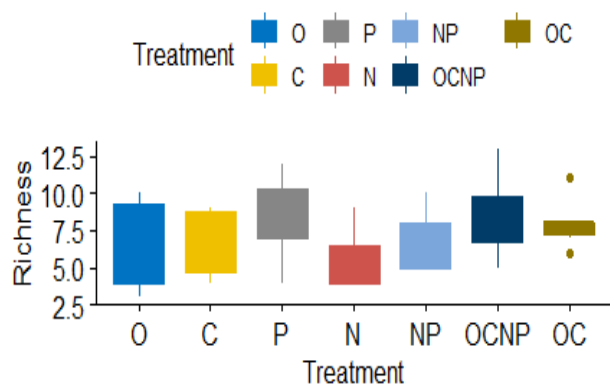
Graph C: Plot Richness by Treatment



Graph D: Plot Richness by Treatment for deep plots



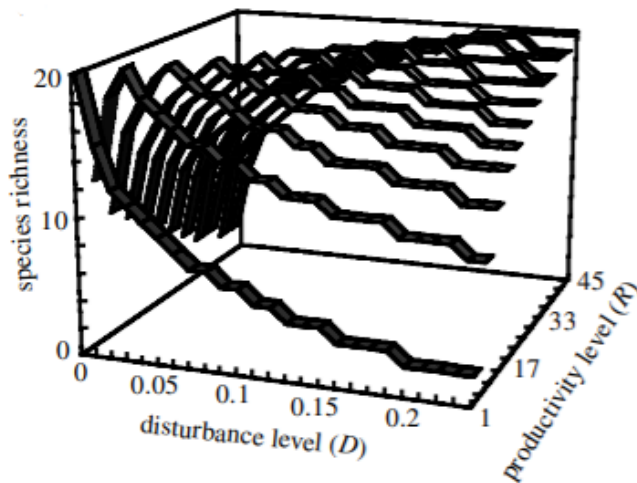
Graph E: Plot Richness by Treatment for shallow plots



	t value	Pr(> t)	
C - O == 0	-2.868	0.0290613	*
N - O == 0	3.49	0.0043774	**
NP - O == 0	2.702	0.0455627	*
OC - O == 0	8.792	2.3603e-13	***
OCNP - O == 0	7.534	1.5522e-10	***
P - O == 0	7.203	9.4493e-10	***

כיוון שההבדל בעושר החלקה נובע רק מהחלקות העמוקות
ביצעתי מבחן Dunnet רק על חלקות אלו. המבחן בוצע כך
שהשוואה נעשית בין כל טיפול ובין קבוצת הביקורת. ניתן
לראות שרוב הטיפולים העלו את עושר המינים, הטיפול היחיד
שהוריד את עושר המינים בחלקה הינו הגיזום בשנה הראשונה.

דין:



הניתוח נעשה בהתבססות על תיאורית "ההפרעה הבינונית" המוצגת בגרף שנילקח מהמאמר של Kondoh. תאוריה זו טוענת שתחת סטרס גבוה מידי עושר המינים ירד ואיתו גם רמת הפרודקטיביות של אזור חקלאי מסוים. בנוסף רמות נמוכות מידי של סטרס גם לא יאפשרו ניצול מירבי של החלקה בעקבות התגברות של תחרות בין מינים שונים. ישנה רמה מסויימת של מתח אשר מאפשרת ניצול מרבי של אזור מסויים. הטיפולים שנעשו

על החלקות בניסוי נועדו כדי למצוא איזה טיפול יאפשר את עושר המינים הגדול ביותר בחלקה. כפי שהנחתי לאחר ביצוע ה-EDA ניתן לראות בכל המבחנים שהגורם המגביל העיקרי על עושר המינים הוא עומק הקרקע מה שמבטא את כמות הנוטריינטים הזמינים בחלקה בנוסף למקום הפיזי שישנו עבור כל פרט, ניתן מכך להניח שהמינים הדומיננטיים בחלקות אלה הם המינים העמידים ביותר בפני סטרס, או המינים בעליה היכולת הטובה ביותר לבצע דחיקה תחרותית על מינים אחרים.

בניתוח ההבדלים בין הטיפולים השונים ניתן לראות שהשפעת הטיפול אינה משתנה בחלקות רדודות אך בחלקות העמוקות ישנם הבדלים משמעותיים. הבדלים אלה גורמים גם להבדלים כאשר מבצעים את המבחנים ללא פיצול של הנתונים לפי עומק החלקה. תוצאה זו מאשרת את ההשערה המשנית שהעלתי לגבי ההגבלה של עושר המינים בידי עומק הקרקע. ניתן להסיק שעומק הקרקע מגביל את מספר הצמחים הכולל בחלקה בנוסף להגבלת מס' המינים ולכן השפעת הטיפולים על החלקות אינה משמעותית, הצמחים כולם נמצאים תחת רמות גבוהות של סטרס ללא קשר לטיפולים.

מבחן ANOVA שביצעתי על החלקות העמוקות מבחן Shapiro-Wilk ומבחן Dunnett שביצעתי בעקבותיהם נותנים הבנה לגבי השפעות הטיפולים ביחס לקבוצת הביקורת בעקבותיהם ניתן לראות שהטיפול שמניב את התוצאות הטובות ביותר בנוגע לעושר המינים הינו ביצוע של גיזום לאחר תקופה ראשונית של צמיחה ללא הפרעה שניתנה לצמחים. בנוסף ניתן לראות שהוספת זרחן לקרקע (P) פעולה שאמורה לפגוע ביכולת ניצול הנוטריינטים של הצמחים בחלקה מאפשרת עושר מינים גבוה בהרבה מזה שמתאפשר בהוספת דשן מסוג (NPK) ואפילו משילוב בין הדשנים. ניתן גם לראות שטיפול בגיזום לאחר שנתיים מניב תוצאות טובות מאשר גיזום במהלך השנה הראשונה. לכן ניתן להניח שהסיבה לכך היא

פגיעה בצמח לפני שהוא מספיק להתאקלם לסביבתו החדשה. שילוב הטיפולים גם מראה הבדל משמעותי לעומת קבוצת הביקורת אבל כיוון שאין מידע לגבי שילובים של טיפולים שונים לא ניתן לראות האם ישנו שילוב אידיאלי.

לסיכום ניתן לראות שאכן ישנה השפעה לטיפולים על עושר המינים בהתאם לתאוריית הפרעה הבינונית. יצירה של הפרעה בכמות קטנה מאפשרת את עושר המינים הגבוה ביותר בין אם זה זרחון של הקרקע ובין אם זה פגיעה פיזית בצמחים באמצעות גזימה.

¹ Gillman, Len N., and Shane D. Wright. "The Influence Of Productivity On The Species Richness Of Plants: A Critical Assessment." *Ecology*, vol. 87, no. 5, 2006, pp. 1234–1243.

² Currie, David J., et al. "Some General Propositions about the Study of Spatial Patterns of Species Richness." *Écoscience*, vol. 6, no. 3, 1999, pp. 392–399

³ Freckleton, R. P., and A. R. Watkinson. "Asymmetric Competition between Plant Species." *Functional Ecology*, vol. 15, no. 5, 2001, pp. 615–623.

⁴ Connell, J. H. "Diversity in Tropical Rain Forests and Coral Reefs." *Science*, vol. 199, no. 4335, 1978, pp. 1302–1310.

⁵ Kondoh, Michio. "Unifying the Relationships of Species Richness to Productivity and Disturbance." *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, vol. 268, no. 1464, July 2001, pp. 269–271.

⁵ Kondoh, Michio. "Unifying the Relationships of Species Richness to Productivity and Disturbance." *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, vol. 268, no. 1464, July 2001, pp. 269–271.