

השוואת שיטות ניתוח סטטיסטי של גורמי גידול החיטה בישראל*

ע' זיו**, ע' גולדמן***

תקציר

בעידן המחשב נודעת חשיבות רבה לשימוש נכון בניתוח מערכות-נתונים ולבחירת תוכנת המחשב המתאימה מבין התוכנות הזמינות לשימוש. המחקר שיידון להלן עורך השוואה בין ניתוח רב-גורמי של נתונים, באמצעות תוכנית GLM מהסדרה הסטטיסטית SAS, לבין ניתוחים חד-גורמיים, ודן במשמעויות הנובעות מהשוואה זו. כל הניתוחים נערכו בנתוני גידול חיטה שנאספו בסקר חיטה שנערך בבית-שן ובמבחי זנים שנערכו על-ידי מינהל המחקר החקלאי ועל-ידי שה"ם. בניתוח רב-גורמי נחשפו גורמי גידול שתרומתם לרווחיות ענף החיטה היא רבה, בצד גורמים שתרומתם לרווחיות היא שולית. ניתוח גורמי הגידול מסייע להבנת ההשפעות השונות על יכולי הגרגרים של החיטה בין חלקות שונות. איפיון כמותי-כלכלי של הגורמים השונים מאפשר שימוש מטבי בתשומות, והתוצאה - העלאת הרווחיות של גידול החיטה בישראל.

מבוא

כיום מקובלות בעולם דרכים שונות ומגוונות לרישום נתוני גידול, להתאמתם לקליטה על-ידי מחשב, ולניתוח סטטיסטי של הנתונים, כאשר כל דרך מותאמת למטרות שנקבעו ולמיומנות המשתמש. למרות זמינותן של תוכניות מחשב רבות, עדיין מנותחים במקרים רבים נתונים של ניסויים שונים בדרכים בלתי-מתאימות ובכך מוחמצות אפשרויות רבות של הפקת לקחים והבנה מעמיקה יותר של הממצאים, ונפגמות המסקנות.

מערכות ביולוגיות וחקלאיות, ומערכת גידול החיטה בכלל זה, מושפעות מגורמים רבים ומגוונים, כגון: גורמי הצמח, גורמי קרקע ואקלים, גורמי-נזק שונים וגורמים אחרים, וביניהם מתקיימים גם יחסי-גומלין. מידת השפעתו של גורם אחד על היבול תלויה, אפוא, ברמתם של גורמים אחרים בשדה, והתעלמות מהם תפגום בהבנת המערכת וביכולת לשפר את היבולים. זאת ועוד: כאשר הנתונים שבידינו הם, לפחות בחלקם, תוצאות סקר של חלקות מסחריות, ולא תוצאות ניסויים מתוכננים, מספר החזרות על צרופי הגורמים השונים אינו זהה, דבר היוצר ערבוב (חלקי או שלם; partial or total confounding) בין השפעות הגורמים העשויים להשפיע על ביטוי של כל גורם בנפרד. במערכת מורכבת כזו יש לטפל בעזרת תוכנית ניתוח המביאה בחשבון את הגורמים השונים ואומדת את השפעתו הנפרדת של כל גורם על המערכת (8), ואת מידת השפעת-הגומלין שבין גורמים שונים.

מפרסומי מינהל המחקר החקלאי, סדרה ע', 1987, מס' 10.

* המחקר החל ב-1976 כסקר חיטה, בית-שן, ורוכז בידי י' נויבאור, י' ליטביץ' וי' פוזין. במהלכו צורפו פ' וינר וחוקרי מינהל המחקר החקלאי.

** המחלקה לפלחה, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, בית-דגן.

*** המחלקה למרעה ולמספוא, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, בית-דגן.

בעבודות מחקר רבות בתחום החקלאות, ובתחומים אחרים, מושקע מאמץ רב בתכנון ובביצוע הניסויים, ולאחר מכן נעשה שימוש בדרכי ניתוח לא-מתאימות, דבר הגורם, במקרים רבים, לפרשנות שגויה ולמסקנות לא-מדוייקות. השימוש בניתוח חד-גורמי במחקרים חקלאיים עדיין נפוץ מאוד, גם במקרים שבהם מתבקש שימוש בניתוח יותר מתוחכם, שבאמצעותו אפשר להפיק מהנתונים מידע רב ומהימן. גם האפשרות של ניתוח כולל של ניסויים שונים, או אף של סקר, היא כיום בת-ביצוע ועשויה להיות רבת תועלת.

בניסויים רבים ומגוונים המטפלים באותו נושא (למשל, השפעת הדשן החנקני, או כל גורם גידול אחר, על היבול), תנאי הניסוי המפורטים מובאים, בדרך כלל, כנספח לנתונים (למשל, כמות המים וחלוקתם, שיעור הזריעה ועוד), אך אינם נכללים בניתוח הנתונים. כאשר משווים ממצאי ניסויים שונים שנערכו בתנאי ניסוי שונים אלה מאלה, מקבלים מגוון רחב של תוצאות ומסקנות שקשה מאוד להקיש מהן מסקנות ברורות. במקרה כזה, הכללת גורמי הגידול בניתוח כולל של הניסויים מאפשרת בידוד ההשפעה של המשתנה הנבדק מהשפעות גורמי הגידול האחרים. במקרים רבים מייחסים לגורם אחד השפעה של גורמים אחרים מאחר שהם לא נכללו בניתוח כולל. לדוגמה: כשזורעים זן מסוים בחלקות מדושנות ומושקות, בעוד שזנים אחרים בסקר נזרעים בחלקות פחות מטופלות, אפשר בטעות לייחס את הפער בין יבולי זנים אלו לתכונות הזנים, תוך התעלמות מהשפעת תנאי הגידול; או: כאשר שיעור הזריעה בתנאי בעל ובאזור חרב נמוך משיעור הזריעה המקובל בתנאי שלחין ובאזור גשום, אפשר בטעות לייחס את ההבדל בין היבולים לשיעור הזריעה, אך ייחס כזה מתעלם מהשפעת תנאי הגידול. מהדוגמאות שהובאו, ואשר בדומות להן אנו נתקלים בתדירות גבוהה, עולה הצורך לנתח נתונים של ניסויים ושל מבחני זנים בניתוח כולל, רב-גורמי, שיאפשר לאמוד נכונה את השפעתם האמיתית של גורמי הגידול במערכות מורכבות.

קיימים מדדים סטטיסטיים המסייעים בהערכת מהימנות הניסויים ותקפות המסקנות, ואפשר באמצעותם להשוות בין שיטת ניתוח שונות (3, 4, 6). בעבודה זו נעשתה השוואה בין ניתוח חד-גורמי לבין ניתוח רב-גורמי, ובאמצעות המדדים הסטטיסטיים נעשה ניסיון להסביר את תרומתם של גורמי הגידול השונים לפער הגדול (100-900 ק"ג/ד') שבין יבולי החיטה בתנאי גידול מגוונים.

ענף גידול החיטה נמצא כיום במשבר בשל ירידה בביקוש ובשל הצטברות עודפים של גרגרים. בישראל נוסף לכך מחסור במשקעים ברוב אזורי גידול החיטה, וסבסוד מחירי החיטה על-ידי הממשלה.

מיגון תנאי הגידול אחראי לתנודות גבוהות (שונות) ביבולי החיטה בתחום שבין אפס יבול ל-900 ק"ג/ד' ויותר. הבנת גורמי התנודות האלה, בצד טיפול בגורמים אלו, עשויים לאפשר שימוש מטבי בגורמי הגידול ועלייה ברווחיות הענף.

רישום עקיב ורציף של נתוני גידול החיטה, התאמתו לשימוש במחשב וניתוח רב-גורמי של הנתונים, חשובים לכל המשתמשים במידע הקשור בענף הפלחה ועשויים להיות להם לעזר: למגדל – במיקוד תשומת ליבו לנתוני הגידול ולבעיות המתעוררות בחלקות הגידול, ובסיוע בקבלת החלטות מעשיות בשטח; למדריך – בהעמקת הבנתו את תהליכי הגידול ואת גורמי הגידול החשובים, ובהצגת מידע שישמש ככלי הדרכה; לחוקר – בשיפור הניתוח הסטטיסטי של ממצאי הניסויים ובקביעת סדר קדימויות במחקר; ולהנהלת הענף – בקביעת עדיפויות בהקצאת משאבים וכוח-אדם ובתכנון הפעילות בענף לטווח ארוך.

חומרים ושיטות

נתוני גידול החיטה שנותחו בעבודה זו נשאבו משלושה מקורות שונים:

1. סקר חיטה שנערך בעמקים הפנימיים
בעמק בית-שאן, באזור הגלבע ובעמק הירדן, נערך סקר חיטה הנמשך יותר מעשר שנים (1, 2). במהלך הסקר פותח ושופר בהדרגה כרטיס לרישום נתוני גידול, ובו נרשמו מדי שנה נתונייהם של כ-300 חלקות-מעקב מסחריות המפוזרות על פני 39 ישובים ומייצגות שטח מזרע של כ-60 אלפי דונמים. ממצאים חלקיים של סקר זה נותחו בניתוח חד-גורמי ופורסמו בסקירה מסכמת (1). בהמשך הסקר שונו ושופרו גם שיטות רישום הנתונים וגם דרכי ניתוחם, כפי שיוצג בהמשך עבודה זו. בכרטיס הנתונים נרשמו: נתוני החלקה, התשומות השונות בערכים כמותיים, גורמי נזק ושיבוש שונים, גורמי אקלים, מלאי מים ודשנים בקרקע ונתוני יבול. (הכרטיס זמין לכל המעוניינים).
 2. מבחני זנים שנערכו במינהל המחקר החקלאי
בשלביו השונים של טיפוח זני חיטה חדשים נבחנו קווי טיפוח מתקדמים במבחן זנים ארצי שנערך, מדי שנה, ב-12 מקומות שונים בתחנות ניסויים ובקיבוצים. מבחני הזנים מייצגים מיגוון של תנאי גידול ותנאי מימשק, המאפיינים את הגידול המסחרי של חיטה במקומות הניסוי השונים. (נתוני הגידול, תנאי האקלים ורמת התשומות, בצד נתוני היבול לרכיבי השונים, פורטו בדוחות שנתיים של המחלקה לפלחה במינהל המחקר החקלאי, המסוכמים זה שנים רבות. דוחות אלו הותאמו לניתוח במחשב ושימשו מקור נוסף של נתונים לעבודה זו).
 3. מבחן זני חיטה שנערך על-ידי שרות ההדרכה והמקצוע (שה"מ)
טיפוח זני חיטה בישראל נערך בכמה מוסדות מחקר ובחברת "הזרע". קווי טיפוח מתקדמים, המיועדים להפצה למגדלים, נבחנו במבחן ארצי של שה"מ. מבחני זנים אלה נערכים זה שנים רבות ב-15 מקומות שונים המייצגים תנאי גידול מגוונים. תוצאות מבחני הזנים נותחו כולם בניתוח חד-גורמי, וסוכמו בחוברות של שה"מ המשמשות כהמלצות על זני חיטה לחקלאים. גם בנתונים אלו נעשה שימוש בעבודה זו.
- הנתונים משלושת המקורות שהוזכרו נאספו מאלף תצפיות מכל מקור, בערך, ונותחו בניתוח רב-גורמי, GLM, מהסדרה הסטטיסטית SAS (8). במהלך הניתוח נבדקו השפעות-גומלין בין גורמי הגידול השונים. הגורמים שנותחו דורגו על-פי תרומתם להסבר השונות ביבולי החיטה בין החלקות השונות. בניתוח גורמי הגידול נכללו מחירי התשומות והתפוקות לצורך הערכת רווחיות הגידול במשקים השונים.
- לשם השוואת הניתוח הרב-גורמי לניתוח החד-גורמי נעשה תרגיל הדמיה המדגים את שיטת הניתוח הרב-גורמי שלוקחת בחשבון, בו-בזמן, את השפעתם של כמה גורמים בלתי-תלויים על המישתנה התלוי, בהשוואה לשיטת ניתוחי רגרסיה של גורמים בודדים. בהדמיה זו מיוצרות כל "התצפיות" על-ידי המחשב בשיטה המתוארת להלן. השמות של הגורמים ושל המישתנה התלוי ניתנו כדי שההדמיה תהיה מובנת גם לקורא שעיסוקו בגידול חיטה.
- בתרגיל נקבעו המישתנים (הגורמים) הבלתי-תלויים (independent variables) הבאים:
- SHIB – רמת שיבוש השדה בשיבולת-שועל (דרגות 0-4; 4 = שיבוש מרבי);
 - NTOT – חנקן צרוף כללי (בתחום של 0-20, בק"ג/ד');)
 - NEZEK – רמת הנזק ליבול (דרגות 0-5; 5 = נזק מרבי);
 - MESH – רמת המשק; מייצגת את מיכלול הגורמים האנושיים, הארגוניים והאגרו-אקלימיים

המתבטאים ברמת יבול ייחודית שנקבעה, בתרגיל, לכל משק (דרגות 1-5; כל דרגה = 100 ק"ג/ד'); SHIB X NTOT — יחסי-הגומלין בין רמת השיבוש בשיבולת-שועל לבין רמת הדישון החנקני והשפעתם על "היבול". יחסי-הגומלין מבוססים על ההנחה שעלייה ברמת הדישון מעודדת את שיבולת השועל יותר מאשר את החיטה, ובכך גדל הנזק שהיא גורמת;

כמו כן נקבע המישתנה התלוי (dependent variable) — YLD — "יבול הגרגרים" (ק"ג/ד'). בעזרת המחשב "נוצר" 30 "חלקות", וכל אחד מערכי המשתנים (הגורמים) הבלתי-תלויים הוקצה באקראי לכל חלקה. לאחר מכן חושב היבול לחלקה (להלן: "היבול הנצפה") בעזרת הנוסחה:

$$YLD = 600 + 500(1 - 0.2 \text{ MESH}) - 30\text{SHIB} + 10\text{NTOT} - 50\text{NEZEK} - \text{NTOT} \times \text{SHIB} \times 6 + \text{ER}$$

בנוסחה זו נכללה גם שגיאה אקראית (ER) בעלת התפלגות נורמאלית על ממוצע 0 וסטטיית-תקן המהווה 10% מהיבול הממוצע. מקדמי הגורמים וסימניהם מתאימים לערכים משקיים מקובלים. נתוני החלקות הורצו במודל GLM לשם חיזוי היבול (רגרסיה מרובה של היבול על כל המישתנים הבלתי-תלויים, פרט לשגיאה, כמובן). במקביל הורצו ניתוחי רגרסיה פשוטים של היבול (YLD) על כל אחד מהגורמים שצויינו לעיל, בנפרד. בטבלה 1 מוצגים סיכומים של תוצאות הניתוחים הנ"ל להשוואת רמת ההסבר שלהם.

תוצאות ודיון

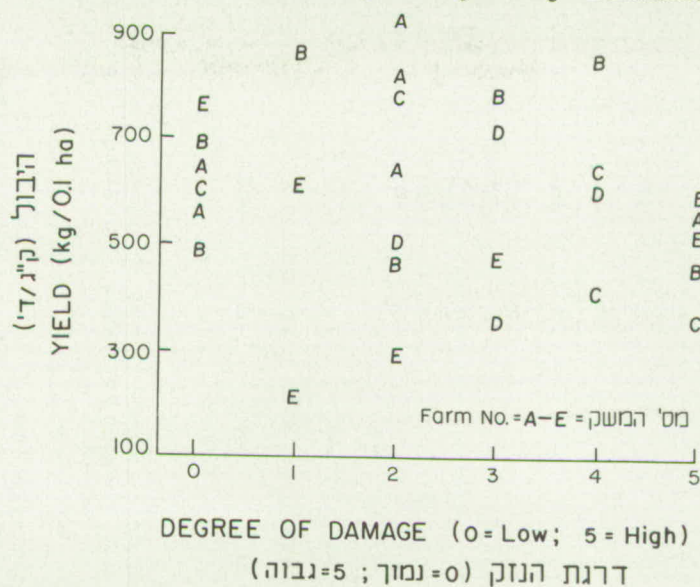
באיור 1 מומחשת רמת ההסבר הנמוכה של אחד מהגורמים הבודדים, ובאיור 2 — רמת ההסבר הגבוהה של הניתוח הכולל (GLM). מטבלה 1 נראה כי הניתוח הרב-גורמי הסביר יותר מ-99.9% מהבדלי ה"יבול" (YLD) בעזרת הגורמים שנכללו בניתוח (ושכל השפעותיהם מובהקות ברמה גבוהה מאוד; הוא גם אמד, בקירוב טוב, את כל המקדמים של הגורמים הבלתי-תלויים ואת החותך (האינטרספט), ברמת טעות לפי רמת ה"שגיאה" של התרגיל (איור 2). לעומת זאת, הניתוח של כל גורם יחיד הסביר מעט, או מעט מאוד, מתנודות היבול, לעתים קרובות - ברמה לא מובהקת, וכן עיוות את ערכי החותך ואת מקדמי ה- x במידה בולטת מאוד.

ועתה נעבור לנתונים שהתקבלו בשדות החיטה בפועל. באיורים 3 ו-4 מוצגות רגרסיות קוויות של השפעת הדשן החנקני על יבול הגרגרים מזנים לכיש ושיאון; מקור הנתונים — סקר חיטה שנערך בבית-שאן בשנים 1978-1980 (1). רמת ההסבר שהתקבלה מניתוח חד-גורמי של הנתונים היתה נמוכה מאוד (איור 4, דישון חנקני בזן שיאון) ולא עלתה, בשום מקרה, על $r^2 = 0.16$ (איור 3, דישון חנקני בזן לכיש). ברוב הממצאים (שכולם נותחו באותה השיטה) לא נמצא קשר סטטיסטי בין המישתנה התלוי (היבול) לבין המישתנים הבלתי-תלויים שנבדקו, ומשתמע מכך, אולי, שאין צורך לדשן חיטה בחנקן. במקרה שתואר באיורים 3 ו-4 לא נלקחו בחשבון מדדים רבים אשר ידוע הקשר ההדוק שלהם עם רמת החנקן (למשל — הגידול הקודם, המקום במחזור, פוריות הקרקע), בעוד שבניתוח רב-גורמי נלקחים בחשבון כל הגורמים שנרשמו ואפשר לחשב, על כן, את השפעת החנקן, נטו.

בטבלה 2 מוצג הבט מסויים של ה"תרומה היחסית" של כמה גורמי-גידול חשובים להסברת השונות ביבולי גרגרי החיטה. תרומה זו משקפת את סך הריבועים השולי של כל גורם במודל הכללי, והיא מבוטאת כאחוז מסך-כל התרומות של כל הגורמים במודל סר"ס 000, בניתוח רב-גורמי שבו מחושבת השפעת כל גורם בנוכחות כל יתר הגורמים. תרומת גורמי הגידול בטבלה זו חושבה מתוך כל אחת מקבוצות הנתונים (סקר בית-שאן ומבחני זנים של וולקני ושה"מ). מספר התצפיות

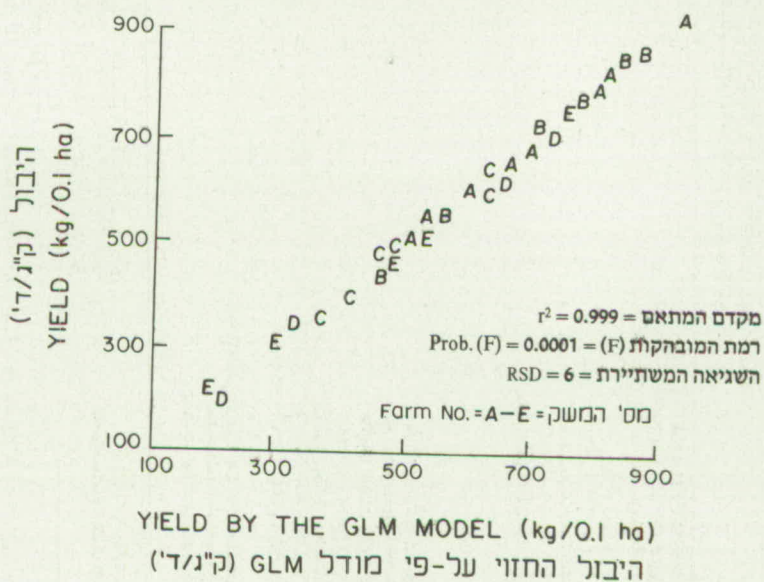
איור 1: דיאגרמת הפיזור של "יבול הגדרים" של המשקים השונים בהתאם ל"דרגת הנזק" על-פי נתוני ההדמיה

Fig. 1: The distribution of farm yield due to degree of damage according to the simulation data



איור 2: התפלגות ה"יבול הנצפה" (לפי הנוסחה שבטבלה 1) על-פי היבול החזוי על-ידי מודל GLM מנתוני ההדמיה

Fig. 2: Regression of the yield according to the formula on the yield by the GLM model

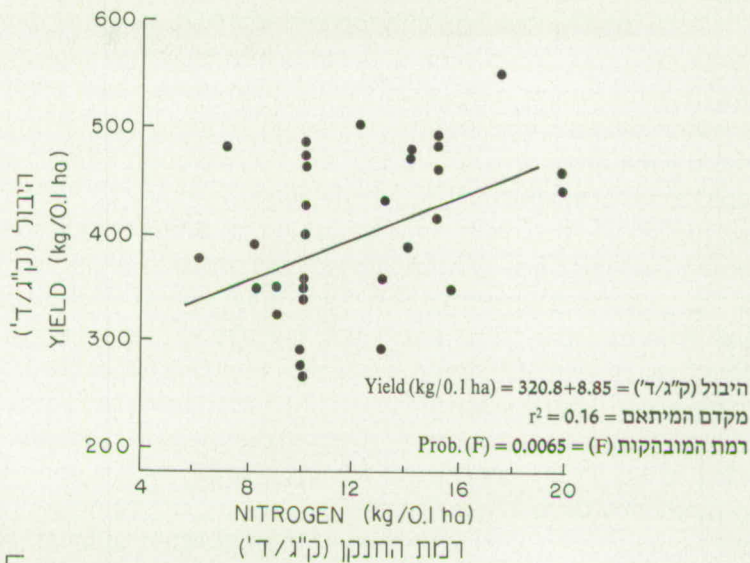


טבלה 1: השוואת שיטות ניתוח בחדמית של 30 "תצפיות" רגרסיות של היבול (YLD) על כל גורם (X) בנפרד, או על צירופים של גורמים
Table 1: A COMPARISON OF VARIOUS ANALYSES (SIMULATION) OF 30 "OBSERVATIONS". (REGRESSIONS OF THE YIELD (YLD) ON EACH COMPONENT (X), OR ON COMBINATION OF ALL FACTORS)

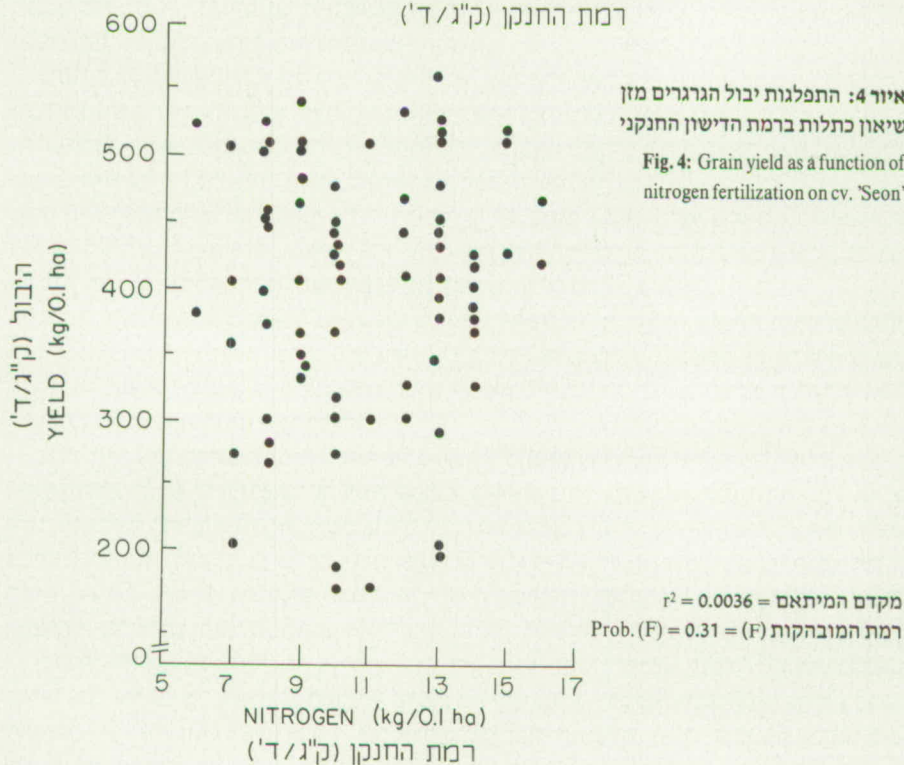
מקדם X Coefficient X לפי הנוסחה According to equation	רמת המובהקות Significance	מקדם X Coefficient x	מקדמי הרגרסיה Regression		רמת המיתאם Correlation		סכום ריבועי טעויות Sum of squares (1000) למודל Model		הגורמים המשפיעים את השינויים ביבולים (X) Explaining factors (X)
			רמת המובהקות Significance	החיתוך Intercept	רמת המובהקות Significance	r ²	לשגיאה Error	למודל Model	
-30	.0009	-77	.0001	746	.0009	.33	702	347	א. ניתוח רגרסיות פשוטות A. Linear Regression Analysis (SHIB) רמת השיבוש בשיבולת שורקל Oat infestation (SHIB) חקקן צורך כללי (ק"ג/ד"ר) (NTOT) רמת הנזק ליבול K g nitrogen (NTOT) (NEZEK) Damage (NEZEK)
10	.5	9.5	.5	436	.5	.02	1032	17	
-50	.2	-25.8	.0001	642	.2	.06	989	60	
600	.0001		.0001	607	.0001	.999	1	1048	
400	.0001	397							
300	.0001	299							ב. ניתוח רגרסיה מרובה B. Multiple Regression המשק (MESH) 1 2 3 4 5
200	.0001	204							
100	.0001	99							
0	.0001	0							
-30	.0001	-35.2							
10	.0001	9.7							ג. ניתוח רגרסיה מרובה C. Multiple Regression רמת השיבוש בשיבולת שורקל Infection Level חקקן צורך כללי (ק"ג/ד"ר) K g Nitrogen / 0.1 ha רמת הנזק ליבול Damage SHIB*NTOT SHIB*NTOT Interaction
-50	.0001	-49.6							
-6	.0001	-5.7							

* The formula by which the "Yield" was calculated: (מקדמי הרגרסיות):
YLD = 600 + 500 x (1 - 0.2 x (MESH) - 30 x SHIB + 10 x NTOT - 50 x NEZEK - NTOT x SHIB x 6 + ER

איור 3: התפלגות הגרגרים מזן לכיש כתלות ברמת הדישון החנקני
 Fig. 3: Grain yield as a function of nitrogen fertilization on cv. 'Lakhish'



איור 4: התפלגות יבול הגרגרים מזן שיאון כתלות ברמת הדישון החנקני
 Fig. 4: Grain yield as a function of nitrogen fertilization on cv. 'Seon'



בקבצי הנתונים היה דומה – בתחום של 910-1486, ומקדמי הדטרמינציה (r^2) בניתוחים אלו היו בתחום של 0.7-0.8, עם שגיאה שאריתית (RSD) של 64-76 ק"ג/ד'. היבול הממוצע בשלושת קבצי הנתונים היה בתחום של 414-493 ק"ג/ד' והוא מייצג כ-10 שנות גידול, בכל אחד מהם.

מנתוני טבלה 2 אפשר להצביע על דמיון בתרומתם של גורמי הגידול השונים, בכל שלושת קבצי הנתונים: ככולם נמצאה תרומה גבוהה של גורם המשק (18-31 אחוזים) למודל. גורם זה מייצג, כאמור, את כל הגורמים האנושיים, הניהוליים, האגרומטאורולוגיים ואחרים, המאפיינים את המשק המסוים. לימוד המשמעויות של גורם המשק וגילוי גורמי-מישנה החבויים תחת הכותרת הכללית "משק", הם אתגר חשוב למחקר ולהדרכה בעתיד. תרומת תחלופת הזנים להסבר השונות ביבולי החיטה היתה בתחום של 7-10 אחוזים בסקר שנערך בבית-שאן ובמבחני זנים שנערכו בשה"מ וכ-18 אחוזים – במבחני זנים שנערכו במרכז וולקני (כאן שולבו לצורך השוואה זנים ותיקים כפלורנס-אורור ואחרים, ועל כן "גדלה" תרומת הזנים באופן מלאכותי). גם י' גל (עבודה לקבלת התואר "מוסמך") לא מצא שזני חיטה חדשים הם רבי-שונות, בהשוואה לזנים ותיקים. בעבודה זו, שהשתמשה במבחני הזנים כבמקור הנתונים, נמצא שהשונות ביבולי הזנים הנובעת מתכונות הזן, נמוכה בהרבה מהשונות הנובעת ממקום המבחן כלומר – מתנאי המבחן. נראה שהמאמץ המושקע בהחלפת זנים מוצדק בחלקו, אך יש לבדוק אם הוא נמצא ביחס נכון לגורמים אחרים שהשפעתם על תנודות היבול רבה יותר. יש לציין שחלק מגורמי הגידול שתורמתם להסבר השונות-ביבולים היתה קטנה, ולא-מובהקת מבחינה סטטיסטית (חלקם לא הובאו כלל בטבלה 2), הם גורמי-תשומה עתירי הון ואנרגיה ויש, על כן, להתייחס בשיקול-דעת כלכלי זהיר לשימוש באותם הגורמים (כגון עיבודים).

נתונים על השפעותיהם של כמה גורמי גידול, שנלקחו ממבחנים שונים, מובאים בטבלה 3. מבחינת שיעור הזריעה ועומד הצמחים נמצאה בסקר בית-שאן השפעה דומה בניתוח החד-גורמי והרב-גורמי, והשפעה שונה בין נתוני שני הניתוחים נמצאה במבחני שה"מ. נראה שבמבחני שה"מ, המתפרסים על פני כל אזורי הארץ, מותאמת כמות הזרעים לדונם לתנאי הגידול, דהיינו, באזור שחון היא קטנה בהשוואה לאזור פורה ורב-מישקעים. בניתוח החד-גורמי מיוחסת ההשפעה של כלל הגורמים, כמו מים ודשן, לשיעור הזריעה, אך בניתוח הרב-גורמי נלקח בחשבון ערוב של כמה גורמים וזה מאפשר לאמוד את השפעת שיעור הזריעה על היבול (2, 5, 6, 10).

אומדן ההשפעה של סך-כל כמות המים (גשם והשקיה) על השוני ביבולי הגרגרים באזור בית-שאן ובמבחני זנים של שה"מ (לפי ניתוח רב-גורמי) מוצג באיור 5. באיור אפשר לראות שעד לרמה של 600-700 מ"מ מים יש לתוספת המים השפעה חיובית על יבול הגרגרים, ומרמה זו ואילך התרומה של תוספת המים היא שלילית.

בניתוחים נוספים שכללו פירוט יתר של גורם המים (מים בחודשים שונים של השנה, אחוזי המישהקיה מכלל המנה ועוד), עלתה רמת ההסבר בשיעור ניכר, בהשוואה לניתוחים הנ"ל. טיפול יותר מתוחכם בגורם המים, המיישם מודל דינמי של המים בקרקע במהלך הגדילה, עשוי לשפר במידה ניכרת את המודל. בניסויים רבים ומגוונים שנועדו לאמוד את כושר ההנבה הגנטי של זני חיטה, נעשה שימוש במודלים סטטיסטיים ובהשפעות-גומלין שונות המסייעים באומדן ההשפעה של מקום ותנאי הניסוי (5, 6) על יבולי הזנים, בהשוואה להשפעה הגנטית על היבולים. דוגמות להשפעות-גומלין בין גורמים, כמו בין רמות הדשן החנקני לגידול הקודם, מובאות באיור 6א'. על גבי כרב-שלחין, המצטיין ברמת פוריות גבוהה ובמלאי חנקן ומים גבוה בקרקע, לתוספת דשן חנקני של 6-10 ק"ג/ד' יש השפעה על יבול הגרגרים, ואילו לתוספת גבוהה מ-10 ק"ג/ד' אין השפעה על היבול. על גבי כרב-בעל יש השפעה גם לתוספות דישון יותר גבוהות.

טבלה 2: המשקל היחסי של הגורמים העיקריים במודל. THE RELATIVE WEIGHT OF MAIN FACTORS IN THE MODEL

Model factor	התרומה למודל (%) Contribution to model (%)*		דרגות החופש Degrees of freedom		התרומה למודל (%) Contribution to model (%)*		דרגות החופש Degrees of freedom		גורם המודל
	ולקני Volcani	שר"מ Ext. Serv.	ולקני Volcani	שר"מ Ext. Serv.	בית-שאן Bet She'an	שר"מ Ext. Serv.	בית-שאן Bet She'an	שר"מ Ext. Serv.	
Farm	31	30	13	19	18	29	38	11	המשק
Year	9	16	5	11	16	9	3	11	השנה
Previous crop	1	13	2	3	15	17	32	4	הגידול הקודם (כרב)
Water	21	20	7	7	11	14	6	6	כמויות המים
Variety	18	7	26	24	10	9	7	13	חזן
Germination date	8	3	2	2	9	—	1	—	מועד ההצצה
Nitrogen	3	6	4	4	4	.4	6	2	רמת הדישון התזקני
Water in April	3	3	1	1	3	—	1	—	כמות המים באפריל
Phosphorus	2	1.6	3	3	2.5	2	5	4	רמת הדישון הזרחני
% N as top dressing	3	.4	1	1	.3	2	4	4	אחוז חנקן כדשן-ראש
Number of observations			910	1048	1042	1486			מספר התצפיות
r ²			.737	.852	.760	.831			ריבוע מקדם-המיזתואם המורוה
RSD (kg/0.1 ha)			64	73	74	76			השגיאה המשתע"רת (ק"ג/ד')
Avg. yield (kg/0.1 ha)			493	436	414	438			היבול הממוצע (ק"ג/ד')

* נערכו שני ניתוחים משוונים (שר"מ-ולקני ושר"מ-בית-שאן), וכל ניתוח כזה מוצג רק הגורמים שבלטו בהשפעתם מבין כלל הגורמים.

* Percent of total residual squares of each component out of total components in the model.

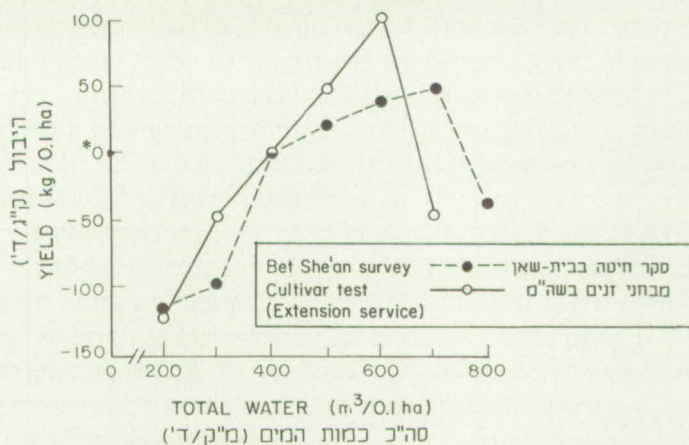
* אחוז סך הריבועים השולי של כל גורם מסך כל הגורמים במודל.

טבלה 3: השפעות גורמי גידול שונים על יבול הגרגרים (ק"ג/ד') כפי שחושבו בניתוח חד-גורמי בהשוואה לניתוח רב-גורמי

Table 3: A COMPARISON BETWEEN SINGLE AND MULTIPLE REGRESSIONS

A. השפעת שינוי שיעור הזריעה Bet She'an survey			
ניתוח רב-גורמי Multiple regression	ניתוח חד-גורמי Linear regression	מספר התצפיות Number of observations	שיעור הזריעה (ק"ג/ד') Sowing rate (kg/0.1 ha)
-75	-70	101	10
-68	-66	330	12
-81	-98	532	14
-73	-99	71	16
0	0	8	18
B. השפעת עומד הצמחים Cultivar trials, extension Service			
ניתוח רב-גורמי Multiple regression	ניתוח חד-גורמי Linear regression	מספר התצפיות Number of observations	מספר הנבטים למ"ר Number of seed lings / m ²
-46	-232	152	140
-34	-134	766	210
-27	-97	462	280
0	-68	76	350
0	0	30	420
C. השפעת הגידול הקודם			
סקר חיטה, בית-שאן Bet She'an survey	מבחן זנים שה"ם Cultivar test	מספר התצפיות Number of observations	הגידול הקודם Previous crop
ניתוח רב-גורמי Multiple regression	ניתוח רב-גורמי Multiple regression	ניתוח חד-גורמי Linear regression	
29	12	-182	124
			Wheat
			Unirrigated
42	-14	-45	419
			crops
			Irrigated
106	116	95	327
			crops
157	160	157	87
			Vegetables
			Hay
96	0	0	529
			legumes

איור 5: אומדן ההשפעה של סך-כל כמות המים (גשם והשקיה) על יבול הגרגרים
 Fig. 5: Estimation of the effect of total amount of water (rainfall and irrigation) on grain yield

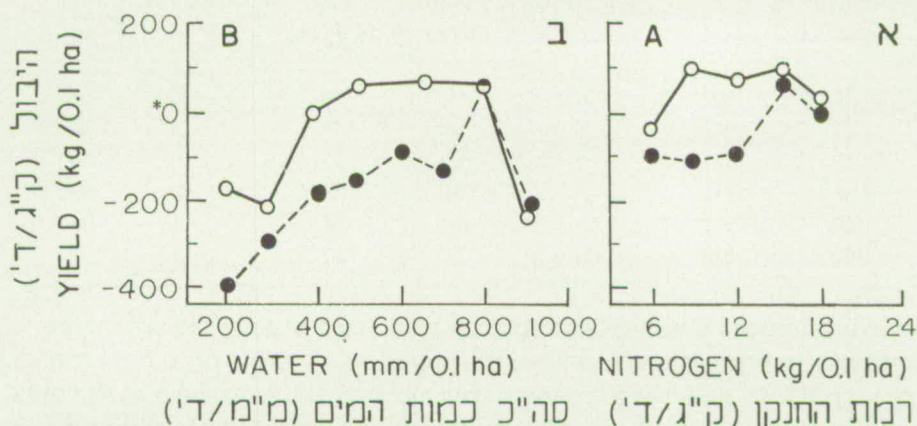


*0 = רמת הבסיס שאליה מושוות הרמות השונות של המשתנה הבלתי-תלוי (מים, חנקן) מבוטאות ברמת המשתנה התלוי (יבול, בק"ג/דונם).

*0 = The base value to which all other values of the independent values (water, nitrogen) are compared, is expressed by the dependent value (Yield in kg/0.1 ha)

איור 6: השפעות-הגומלין בין כמות החנקן הצרוף לדונם לבין הכרב (א), ובין כמות המים לבין הכרב (ב), על יבול הגרגרים

Fig. 6: The interaction between total nitrogen and the previous crop (A), and between total water and the previous crop (B), on the grain yield



*0 = רמת הבסיס שאליה מושוות הרמות השונות של המשתנה הבלתי-תלוי (מים, חנקן) מבוטאות ברמת המשתנה התלוי (יבול, בק"ג/דונם).

*0 = The base value to which all other values of the independent values (water, nitrogen) are compared, is expressed by the dependent value (Yield in kg/0.1 ha)

המנגנונים הפיסולוגיים הקובעים את דרגת רגישות החיטה לדישון מלאכותי משפיעים, כנראה, גם על רגישות הצמח לפוריות הקרקע. אפשר, על כן, לשפר את אומדן השפעת הדשן על יבול החיטה על-ידי בדיקות מתאימות שיספקו מידע מדויק יותר על פוריות הקרקע ועל רמת מלאי הדשנים בקרקע. באיור 6' אפשר לראות כי לתוספת מים של פחות מ-500 מ"מ לדונם יש השפעה חיובית על יבול הגרגרים בשטחי שלחין, ולתוספת של כ-800 מ"מ לדונם יש השפעה חיובית בשטחי בעל, זאת – בתלות במלאי המים בקרקע, שהוא שונה בתנאי בעל ושלחין. תרומת מי הגשם וההשקיה, ברמות משקעים שונות, לרווחיות החיטה מוצגת באיור 7. נראה כי להשקיה עד לרמת מים כללית של 400-500 מ"מ יש השפעה חיובית בולטת על רווחיות החיטה, ואילו מעל לרמה זו ההשפעה על רווחיות החיטה היא שלילית.

כאמור, תרומת גורם המשק להסבר השונות ביבולי החיטה נמצאה גבוהה במיוחד. בטבלה 4 מוצגת השוואה בין שישה משקים שונים מבחינת עלות הגידול לדונם, והשפעת המשק על היבול ועל הרווח ממנו. תוצאות השוואה זו מצביעות על משק המצטיין ביבולים גבוהים פי שניים מיבולים של משק אחר. אפשר לראות משק כ"בזבזני" אם עלות הגידול לדונם מגיעה בו ל-76 דולרים, לעומת 29 דולרים במשק אחר. גם הרווחים לדונם חיטה במשקים המוצגים בטבלה היו בתחום שבין 16 ל-68 דולרים. דוגמה זו ממחישה את הצורך להבין את הסיבות להבדלים הגדולים שנמצאו בין המשקים ולפעול להגדלת רווחיות הענף במשקים שאופיינו ברווחיות נמוכה.

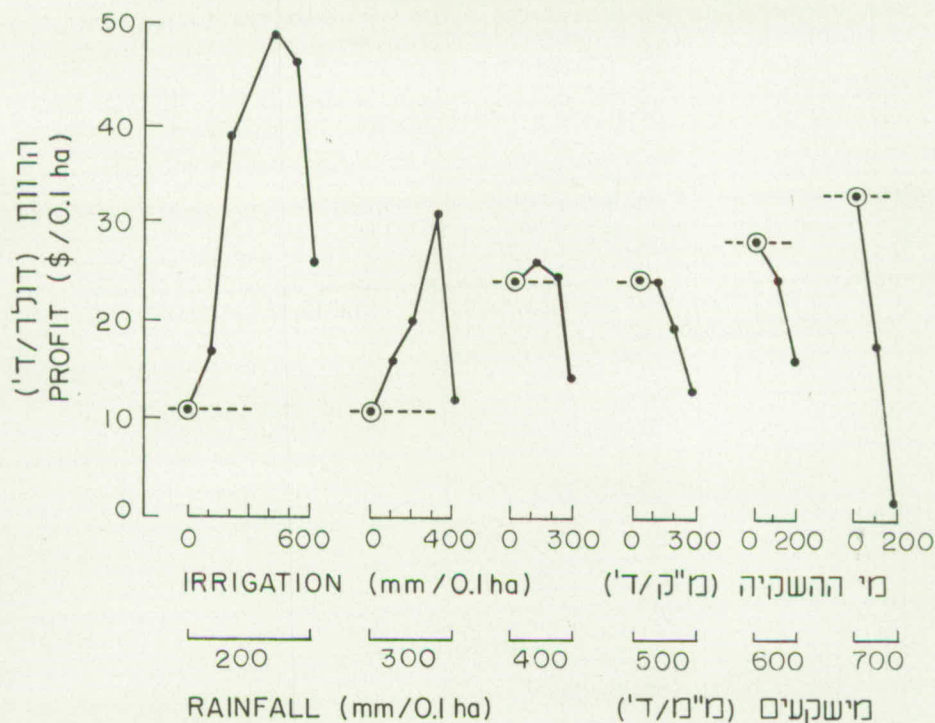
טבלה 4: השוואה בין השפעות משקים נבחרים על יבול הגרגרים, הרווח ועלות הגידול

Table 4: A COMPARISON AMONG THE EFFECTS OF VARIOUS FARMS ON YIELD, PROFITABILITY, INPUTS AND FARM EFFECT

היבול (ק"ג/ד') Yield (kg/0.1 ha)		הרווח (דולר/ד') Profit (\$/0.1 ha)		העלות (דולר/ד')	מספר החלקות	משק מס'
השפעת המשק Farm effect	ממוצע Average	השפעת המשק Farm effect	ממוצע Average	Cost (\$/0.1 ha)	Number of plots	Farm no.
76	507	31	51	59	82	17
44	243	29	36	29	24	24
-25	422	1	16	76	5	50
61	442	33	54	42	27	102
124	538	50	68	50	9	115
101	408	101	22	67	6	118

מקדמי ההשפעות של הגורמים (בייחוד של הגורמים המישניים) עשויים להשתנות במידה רבה בשיטות ניתוח שונות (הלוקחות בחשבון מיגוון של תצפיות, או של צרופי-גורמים). ברמת דיוק בינונית ($r^2 = 0.74$ ו- $r^2 = 0.75$ ק'), רק גורמים בולטים (כמו רמת מים קיצונית) הם "בטוחים": ככל שעולה רמת הדיוק של הניתוח – כן עולה מספרם של הגורמים שהשפעתם "בטוחה" ואפשר יותר לסמוך על הערכים ועל אומדני ההשפעות שלהם על היבול. עם זאת, הכללת מספר רב של שדות משקיים בניתוח, במשך כמה עונות גידול, מבליטה את השפעתם של גורמים מישניים, כמו שיעור הזריעה ועומק העיבוד, בהשוואה למימצאי ניסויים במערכת מוגבלת.

איור 7: תרומת מי הגשם ומי ההשקיה לרווחיות החיטה במשך השנים 1983-1980
 Fig. 7: The contribution of rainfall and irrigation to wheat profitability during 1980-1983.



מהדוגמות שהוצגו בעבודה זו בולטת החשיבות של שיטת ניתוח הנתונים כמכשיר חשוב לעיבוד נתונים, להסקת מסקנות וליישומן. במחקר מתמשך שמטרתו להביא למיטוב השימוש בגורמי גידול בחיטה היו שותפים שלושה גורמים עיקריים, שכל אחד מהם עשוי להפיק ממנו תרומה ייחודית:

1. המגדלים - כמכשיר לאיתור בעיות וליישום המלצות;
 2. המדריכים - כמכשיר להדרכה ולהעברת מידע למגדלים;
 3. החוקרים - כמכשיר לניתוח נתונים ולקביעת קדימויות במחקר.
- משולש זה צריך לפעול בצורה מאוזנת, ועל כל שלושת קדקודיו לפעול ביחד. במקרה של פעילות באחד הקדקודים בלבד לא תקודם מערכת המחקר-ההדרכה-היישום הזאת. יש, כמובן, חשיבות רבה לאחידות צורות הרישום והטיפול בנתונים בתחומי המחקר השונים ובמוסדות השונים, על מנת לאפשר משיכת נתונים ממאגר מרכזי, לקידום הענף כולו.

הבעת תודה

לד"ר אברהם גניז, מהמחלקה לסטטיסטיקה ולתכנון ניסויים במינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני, על תרומתו בניתוח הנתונים - רוב תודות.

רשימת הספרות

1. זיו, ע', נויבאור, י' (1984) עשה זאת בעצמך; פיצול חלקות בחיטה. "השדה", ס"ה (ב'): 227-226.
2. Baker, R.J. (1969) Genotype environment interaction in yield of wheat. *Can. J. Pl. Sci.* **49**: 743-751.
3. Campbell, L.G. and Lafever, H.N. (1971) Cultivar environment interactions in soft red winter wheat yield tests. *Crop Sci.* **17**: 604-608.
4. Freund, R.J. and Littell, R. (1981) SAS for linear models, SAS Institute, Cary, NC.
5. Joppa, L.R., Lebsöck, L. and Busch, R.H. (1971) Yield stability of selected spring wheat cultivars (*Triticum aestivum* L. em Thell) in the uniform regional nurseries 1959 to 1968. *Crop Sci.* **11**: 238-241.
6. Miller, P.A., Williams, J.C. and Robinson, H.F. (1959) Variety-environment interactions and their implications on testing methods. *Agron. J.* **51**: 132-135.
7. SAS (1982) User's Guide Statistics. The GLM procedure. pp. 139-199. SAS Institute, Cary, NC.
8. Van Dobben, W.H. (1966) Systems of management of cereals for improved yield and quality. pp. 320-334. in: Milthorpe, F.L. and Ivins, J.D. [Eds.] *The Growth of Cereals and Grasses*. Butterworths, London.