תגובת רוקולה להזנה בחנקן.

אורי ירמיהו, אינה פיינגולד - מרכז מחקר גילת, מנהל המחקר החקלאי.
דוד סילברמן - שה״מ, משרד החקלאות ופיתוח הכפר.
אלי מתן, חנה יחזקאל, דוד שמואל, - מו״פ דרום.
שושנה סוריאנו, דודי קניגסבוך – מינהל המחקר החקלאי.

<u>תקציר</u>

רוקולה הינו אחד הגידולים בסל התבלינים הטריים המיועדים ליצוא. הבעיות הקיימות ברוקולה הם צבע עלווה, גבעולי פריחה, צורת העלים וחיי המדף. בעיות אלה קשורות גם לממשק ההשקיה והדישון של הרוקולה. מאחר והידע על הזנת רוקולה מוגבל נבחנה השפעה של ריכוז החנקן, סוג החנקן ושינויים במהלך הגידול על יבול ואיכות הרוקולה. בשנים 2007-2009 התקיימו שני ניסויים שבהם גודלה רוקולה במצע פרלייט בחממה במו״פ דרום. לריכוז החנקן במי ההשקיה, צורת ישומו ומועד היישום השפעה על יבול ואיכות הרוקולה. בבגידול במצע מנותק, התקבל יתרון להתחיל בריכוזי חנקן גבוהים של כ-200 ח״מ עד הקציר הראשון ולאחר מכן להפחית את ריכוזו ל-100 ח״מ. ירידה משמעותית בריכוז החנקן לאחר הקציר הראשון פגעה משמעותית ביבול. בשני הניסויים התקבל יתרון לשיעור אמון של 30% בקציר הראשון ובשאר הקצירים שלאחר מכן התקבל יתרון קל להשקיה בשיעור אמון של 10%. עליה בריכוז החנקן גרמה לפחיתה בשיעור העלים הגזורים תופעה שהתבטאה בעיקר בקציר הראשון. השפעת ריכוז החנקן במי ההשקיה על הפריחה לא היתה במגמה ברורה. בחלק מהקצירים הפריחה התגברה ובחלק פחתה נראה שישנם גורמים נוספים שמעורבים בפריחה ובכך קובעים את אופי ועוצמת ההשפעה. קליטת המינרלים הושפעה מטיפולי החנקן. ריכוזי החנקן והזרחן עלו עם העליה בריכוז החנקן הכללי והריכוזים הרצויים לקבלת יבול מיטבי הינם 5.1 ו-0.58%, בהתאמה. ריכוזים אלו התקבלו בהשקיה של 100-125 ח״מ חנקן כללי. ריכוזי האשלגן, הסידן והמגניון בעלים הושפעו באופן משמעותי מטיפולי החנקן ובחלק מהמקרים ריכוזם בעלים ירד למרות שלא היה שינוי ביבול הכללי. תוצאות איכות הרוקולה לאחר אחסון מצביעות על כך שגידול בריכוזי חנקן גבוהים מקטין את שיעור ההצהבה הקשה שמתפתחת באחסון. השקיה בשיעור של 30% אמון מפחיתה את אחוז ההצהבה הקשה אך מגדילה את הריקבון שמתפתח באחסון.

<u>הקדמה</u>

רוקולה הינו אחד הגידולים בסל התבלינים הטריים המיועדים ליצוא. התחרות בשוק התבלינים הירוקים באירופה מתחזקת כאשר המתחרים של ישראל באירופה שיפרו את איכות המוצרים שלהם בעיקר והם מצליחים לדחוק את הסחורה הישראלית מהמדפים. מתוך המוצרים שבהם לישראל חיסרון בולטת במיוחד הרוקולה שכמות יצורו עולה מיידי שנה ולדברי המשווקים עשויה להחליף את העירית כמוצר שני בסל התבלינים. הבעיות הקיימות ברוקולה הם צבע עלווה, גבעולי פריחה, צורת העלים וחיי המדף. בעיות אלה קשורות גם לממשק ההשקיה והדישון של הרוקולה. הידע על הזנת רוקולה מוגבל. על מנת לבסס את הידע בתחום מתקיימים בארץ במקביל ניסויים

בהזנה של רוקולה במו״פ בקעת הירדן ובמו״פ דרום. במו״פ בקעת הירדן נבחנה תגובת רוקולה לרמות דשן (חנקן, זרחן ואשלגן) עולות. במו״פ דרום נבחנה ההשפעה של את של ריכוז החנקן, סוג החנקן ושינויים במהלך הגידול על יבול ואיכות הרוקולה.

<u>שיטות וחומרים</u>

הניסויים התקיימו במו״פ דרום במבנה עם רשתות בדפנות וכיסוי פוליאתילן בגג. ניסוי הראשון החל ב-13.11.07 והניסוי השני החל ב-30.1.09. שני הניסויים התקיימו באותה מערכת גידול. בניסויים הראשון והשני נבחנו 10 ו-12 טיפולים, בהתאמה שהוצבו בתבנית של בלוקים באקראי בחמש חזרות.

צמחי רוקולה גודלו במיכלי פוליסטירן (קלקר) באורך 100 ס״מ, רוחב 50 ס״מ ועומק 20 ס״מ. הצמחים גודלו במצע פרלייט 2 (גודל של 1.2 מ״מ). כל ניסוי החל עם מצע פרלייט חדש. בכל מיכל נשתלו 40 צמחים בארבע שורות. הצמחים הושקו במערכת טפטוף, עם שלש שלוחות למארז. כל טיפול הוזן ממיכל של 1000 ל׳ אשר בתוכו הוכנה תמיסת השקיה סופית. השקיה נעשתה בעודף עם נקז של לפחות 30% בתדירות של 4 פעמים ביום. יישום הטיפולים החל מיד לאחר השתילה. חומציות מי ההשקיה היתה 5.7 וריכוזי הזרחן, הסידן והמגניון היו 25, 80 ו-30 ח״מ, בהתאמה. ריכוזי המיקרו-אלמנטים היו: ברזל - 1.2 ח״מ, מנגן- 0.6 ח״מ, אבץ – 0.3 ח״מ, נחושת – 0.044 ח״מ, מוליבדן – 0.032 ח״מ ובורון - 0.3 ח״מ. טיפולי החנקן התבססו על הכנת תמיסות דשן ממלחים ולכן המוליכות החשמלית וריכוז האשלגן אינו זהה בין הטיפולים (טבלאות 1 ו-2). דוגמאות מי טפטפת ומי נקז נאספו ברציפות מדי שבוע ונבדקו בהם: חומציות, מוליכות חשמלית, ריכוזי חנקן (אמון וניטרט), זרחן, אשלגן. המוליכות החשמלית וריכוזי האשלגן והזרחן במי הנקז היו דומים בערכם עד כדי סטיה מירבית של 10% ממי הטפטפת (תוצאות לא מוצגות).

רוקולה נקצרה כשאורך עלים הגיע לגודל הראוי לשיווק בכל טיפול. נשקלו הצמחים מכל חלקה. תת מדגם נעשה ע״י מיון לעלים הראויים לשיווק ונערכה חלוקה לעלים תמימים ועלים גזורים לפי משקל ונספרו העלים הפורחים. תת דגימה של עלים נלקחה לאנליזה כימית בה נבדקו ריכוזי חנקן, זרחן ואשלגן. בדיקת איכות הרוקולה לאחר האחסון וחיי המדף נעשתה לפי השיטה המקובלת בתוצרת לייצוא. הרוקולה נאריזה באריזה המסחרית: איגוד כ-10 גבעולים ואריזת 10-12 אגדים בבטנת ניילון מסחרית בתוך קרטון המכיל כ-1 ק״ג רוקולה. האריזה בוצעה מידית בשטח והאריזות הועברו לבית דגן לאחסון בתנאים מסחריים בחדרי קירור.

ניסוי ראשון – נבחנו שני גורמים: חנקן (5 טיפולים: 25, 75, 125, 175 ו-225 ח״מ) ושיעור האמון מכלל החנקן (שני טיפולים: 10 ו-30%) סה״כ 10 טיפולים (טבלה 1). טיפולים 1 ו-2 נקצרו 3 פעמים ב-17.1.08, 5.3.08 ו-3.4.08. שאר הטיפולים נקצרו 4 פעמים: ב-13.12.07, 28.1.08, 5.3.08 ו-3.4.08.

ניסוי שני – נבחנו שני גורמים: חנקן (5 טיפולים: 25, 50, 100, 150 ו-200 ח״מ) ושיעור האמון מכלל החנקן (שני טיפולים: 10 ו-30%) סה״כ 10 טיפולים. בנוסף נבחנה השפעה של מועד יישום החנקן כאשר עד הקציר הראשון הצמחים דושנו בריכוז של 200 ח״מ חנקן (10% אמון) ובהמשך בריכוז של 100 ו-50 ח״מ חנקן (10% אמון) (טבלה 2). הצמחים מכל הטיפולים נקצרו 4 פעמים. טיפולים 1 ו-2 נקצרו ב-5.3.09, 25.3.09, 12.4.09 ו-4.5.09. שאר הטיפולים נקצרו ב-25.2.09, 22.3.09, 12.4.09 ו-4.5.09.

טבלה 1. רשימת טיפולים וריכוז יסודות במי טפטפת ומי נקז בניסוי בשור 2007-8. ערכים מייצגים את הממוצע במשך הגידול.

טיפול מספר	מי טפטפת				מי נקז			
	מוליכות חשמלית (דציסימנס למ')	ריכוז חנקן (ח"מ)	שיעור אמון (%)	ריכוז אשלגן (ח"מ)	חומציות	ריכוז חנקה (ח"מ)	ריכוז אמון (ח"מ)	סה"כ חנקן (ח"מ)
1	1.40	27	10	184	6.8	10	0.3	10
2	1.41	26	30	183	6.6	7	0.6	8
3	1.54	79	10	181	7.0	41	0.6	42
4	1.58	77	30	183	5.6	44	12.2	56
5	1.60	125	10	179	6.8	96	1.3	97
6	1.77	130	30	182	5.1	74	24.6	99
7	1.74	172	10	251	6.2	152	6.3	159
8	1.91	178	30	180	4.8	124	43.7	171
9	2.41	230	10	360	5.4	209	20.1	235
10	2.10	220	30	183	4.9	157	60.1	217

טבלה 2. רשימת טיפולים וריכוז יסודות במי טפטפת ומי נקז בניסוי בשור 2009. ערכים מייצגים את הממוצע במשך הגידול. *ריכוז חנקן בקציר הראשון כ-200 ח"מ ובהמשך כ-100 או 50 ח"מ.

טיפול מספר	מי טפטפת				מי נקז			
	מוליכות חשמלית (דציסימנס למ')	ריכוז חנקן (ח"מ)	שיעור אמון (%)	ריכוז אשלגן (ח"מ)	מוליכות חשמלית (דציסימנס למ')	ריכוז חנקה (ח"מ)	ריכוז אמון (ח"מ)	סה"כ חנקן (ח"מ)
1	1.95	26	10	183	1.90	8	0.3	8
2	1.94	25	30	185	1.84	2	0.0	2
3	1.97	54	10	183	1.89	24	0.3	25
4	2.48	56	30	182	2.40	18	1.8	20
5	1.96	73	10	180	1.87	68	1.1	70
6	2.53	76	30	179	2.45	67	2.5	69
7	1.97	105	10	181	1.90	93	1.2	94
8	2.62	102	30	180	2.42	86	8.1	84
9	2.84	212	10	321	2.77	186	1.0	187
10	2.86	204	30	180	2.84	164	38.7	193
11	1.99	*214-103	10	*182-321	1.90	93	0.6	94
12	1.94	*207-47	10	*175-322	1.96	31	0.4	51

<u>תוצאות ודיון</u>

ניסוי ראשון - בציורים 1-4 מוצגים מדדי היבול והאיכות של רוקולה שהתקבלו במשך חמישה חודשי גידול. גידול הצמחים בטיפול החנקן הנמוך ביותר (25 ח"מ) עוכב באופן משמעותי משאר

הגידולים ולכן ב-13.12.07 נקצרו כל הטיפולים מלבד טיפול זה שהצמחים בו לא היו ראויים לקציר. הקציר הראשון לטיפולי החנקן הנמוך ביותר היו כחודש לאחר מכן ב-17.1.08 תוצאות הקציר הראשון מוצגות בציור 1. עם העליה בריכוז החנקן הכללי ישנה עליה ביבול הטרי (הכללי ולשיווק) אך ישנה ירידה באיכות (ציור 1). העליה ביבול הכללי עם העליה בריכוז החנקן היא במגמה מובהקת בעלת אופי ממעלה שנייה; כאשר שיפוע קו המגמה הולך וקטן באופן מתון עם העליה בריכוז החנקן הכללי. אף על פי שהקציר בריכוז החנקן הנמוך ביותר היה כשלושה שבועות מאוחר יותר, היבול הטרי הכללי היה כחצי בהשוואה לריכוז החנקן הגבוה ביותר (ציור 1א). תגובות דומות התקבלו ביבול הטרי לשיווק אם כי שיפוע קו המגמה מתמתן בריכוזי החנקן הגבוהים כאשר ההבדל בין שלושת ריכוזי החנקן הגבוהים קטן ביותר (ציור 1ב). הסיבה לכך היא הירידה באיכות כאשר מעלים את החנקן הכללי במי ההשקיה (ציורים 1ג ו-1ד). ככלל, עם העליה בריכוז החנקן הכללי ישנה ירידה מובהקת בשיעור העלים הגזורים (שהינם הרצויים לשיווק) משיעור של 83% בריכוז החנקן הנמוך ביותר לפחות מ-70% בריכוז החנקן הגבוה ביותר. במקביל ישנה עליה משמעותית במספר עלים נושאי תפרחות עם העליה בריכוז החנקן במי השקיה משיעור של אחוזים בודדים עד כדי 15%. ההבדל בשיעור העלים נושאי תפרחות בלט גם במהלך הגידול כאשר נראה הבדל משמעותי במספר הפרחים שפרחו בחלקה. תוצאות אלו מצביעות על כך שדישון מוגבר בחנקן העלה את היבול של הקציר הראשון אך במקביל האיכות פוחתת כפי שמתבטא בעליה בשיעור העלים הגזורים ועליה בפריחה.

השפעת שיעור האמון על הגידול בקציר הראשון היתה בולטת וניתן היה לראות במהלך הגידול הבדל לטובת טיפול החנקן שהכיל 30% אמון בהשוואה לזה שהכיל 10%. ההבדל התבטא גם במשקל היבול הטרי הכללי שבממוצע היה גבוה בכ-14% בטיפולים שהושקו ב- 30% אמון. ההשפעה החיובית של שיעור האמון הגבוה התבטאה גם במשקל היבול הטרי לשיווק אך שיעורה הממוצע ירד ל-10% וההבדל בין הטיפולים היה בטיפולי החנקן הגבוהים בלבד. תוצאה זאת היא ביטוי לירידה גדולה יותר באיכות העלים עם ההשקיה בשיעור האמון הגבוה (ציורים 1ג ו-1ד).

הקציר השני התבצע ב-28.1.08 ולא כלל את צמחים שהושקו בריכוז החנקן הנמוך ביותר. ככלל, התפתחות הצמחים והגידול היו תקינים בכל הטיפולים אך תגובת הצמחים לטיפולי החנקן ושיעור האמון היתה שונה בתקופה שבין הקציר הראשון לשני מזו של עד הקציר הראשון (ציור 2). עם העליה בריכוז החנקן בטיפולים שהכילו 30% אמון חלה ירידה ביבול הטרי הכללי ולשיווק (ציורים 2א ו-2ב). לדוגמא המשקל הכללי פחת מ-2110 ל-1535 ג' לחלקה עם העליה בחנקן הכללי מ-75 ל-225 ח"מ. תוצאה זאת מצביעה על היפוך מגמה כאשר בקציר הראשון היתה תרומה חיובית לעליה בריכוז החנקן אך בקציר השני התרומה היתה שלילית. היבול לשיווק היה כ-50% מכלל היבול הטרי כאשר מדדי האיכות לא הושפעו באופן משמעותי מטיפולי החנקן שיעור העלים הגזורים היה בסביבות 85% ושיעור העלים נושאי הפרחים בין 2 ל-4% בלבד. תגובת הרוקולה לחנקן הכללי בנוכחות 10% אמון היתה שונה מזו של 30% אמון כאשר היבול הכללי הגיב בחיוב באופן מתון לעליה בחנקן הכללי (ציור 2א). לדוגמא עליה מ-75 ל-225 ח"מ בחנקן הכללי העלתה את היבול הכללי מ-1937 ל-2100 ג' לחלקה. שלא כמו היבול הכללי, היבול לשיווק פחת עם העליה בריכוז החנקן הכללי מ- 1058 ל-880 גרם לחלקה.

הקצירים השלישי והרביעי התקיימו ב-5.3.08 וב-3.4.08, בהתאמה. בשני הקצירים נקצרו כל הטיפולים. התגובה לחנקן הכללי היתה חיובית עד לרמה של 125 ח"מ ולאחר מכן נשמרה קבועה. היבול הכללי עלה עם הקצירים בשיעור ניכר ובקציר השלישי והרביעי הגיע ל-2800 ו-4200 ג'

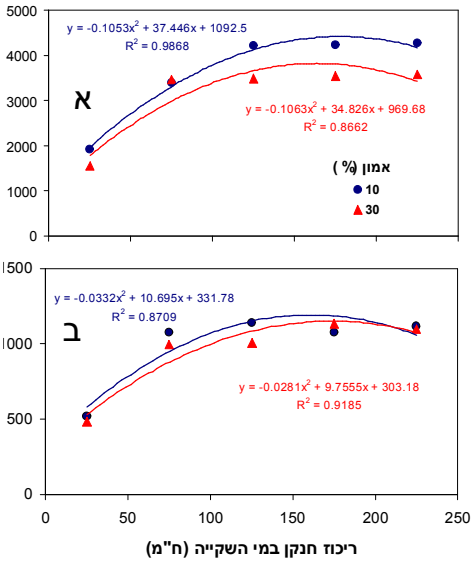
לחלקה ברמות החנקן הגבוהות מ-125 ח״מ. היבול הכללי בטיפול החנקן הנמוך היה בשיעור של כ-30 ו-50% עבור הקציר השלישי והרביעי, בהתאמה מהיבול המירבי (ציורים 3א ו-4א). תגובת היבול הטרי לשיווק היתה במגמה דומה ליבול הכללי כאשר שיעור היבול לשיווק מכלל היבול בקצירים השלישי והרביעי היו כ-30 ו-50%, בהתאמה. שיעור העלים הגזורים ירד עם העליה בריכוז החנקן במי ההשקיה כאשר בשני טיפולי החנקן הנמוכים שיעור העלים הגזורים היה כ-68% לעומת כ-50% בשלושת טיפולי החנקן הגבוהים. שיעור הפריחה עלה עם העליה בריכוז החנקן הכללי במי ההשקיה מכ-10% בריכוז החנקן הנמוך ביותר עד כדי 30% בשלושת טיפולי החנקן הגבוהים. בגלל בעיות טכניות לא נמדדה איכות העלים בקציר הרביעי. לשיעור האמון היתה השפעה קטנה על יבול הרוקולה בשני הקצירים האחרונים עם מגמה ברורה לנוכחות של 10% אמון מכלל החנקן. היתרון שנראה גם במהלך הגידול לטיפולי-10% אמון היה בטווח של בין 5-20%.

לסיכום החלק הגידולי, להשקייה בריכוז גבוה של חנקן עד כדי 225 ח״מ יש יתרון רק בתחילת הגידול אשר התבטא בקציר הראשון. לאחר מכן ריכוז כללי של 125 ח״מ היה מספק לקבלת יבול מרבי. השקיה בריכוז גבוהה של חנקן הורידה באופן משמעותי את שיעור העלים הגזורים. מאידך, יש מתאם גבוה בין העליה ביבול לעליה בשיעור העלים נושאי הפרחים. מאחר וישנו מתאם חיובי בין הגידול ועוצמת הפריחה לא ניתן לפסול את האפשרות שהטיפולים הפורחים נקצרו מאוחר מדי לאחר שהיתה אינדוקציה לפריחה. לשיעור האמון מכלל החנקן ישנה השפעה מתונה על היבול אולם משמעותית יותר על איכותו. בקציר הראשון היתה תרומה חיובית ליבול בשיעור אמון של 30% אך מגמה זאת התהפכה בשאר הקצירים בהם לשיעור אמון של 10% היה יתרון.

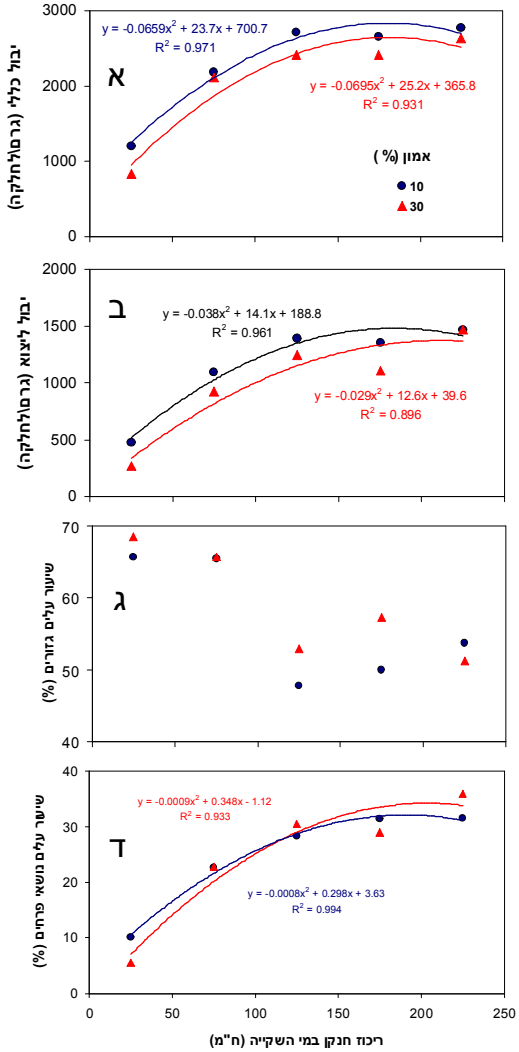
ציור 1: מדדי יבול ואיכות של רוקולה בקציר ראשון. טיפולי החנקן של 25 ח"מ נקצרו ב- 17.1.08 ושאר הטיפולים ב-13.12.07.

ציור 2: מדדי יבול ואיכות של רוקולה בקציר שני - 28.1.08. טיפולי החנקן של 25 ח"מ לא נקצרו במועד זה.

ציור 4: מדדי יבול של רוקולה בקציר רביעי - 3.4.08.



ציור 3: מדדי יבול ואיכות של רוקולה בקציר שלישי - 5.3.08.

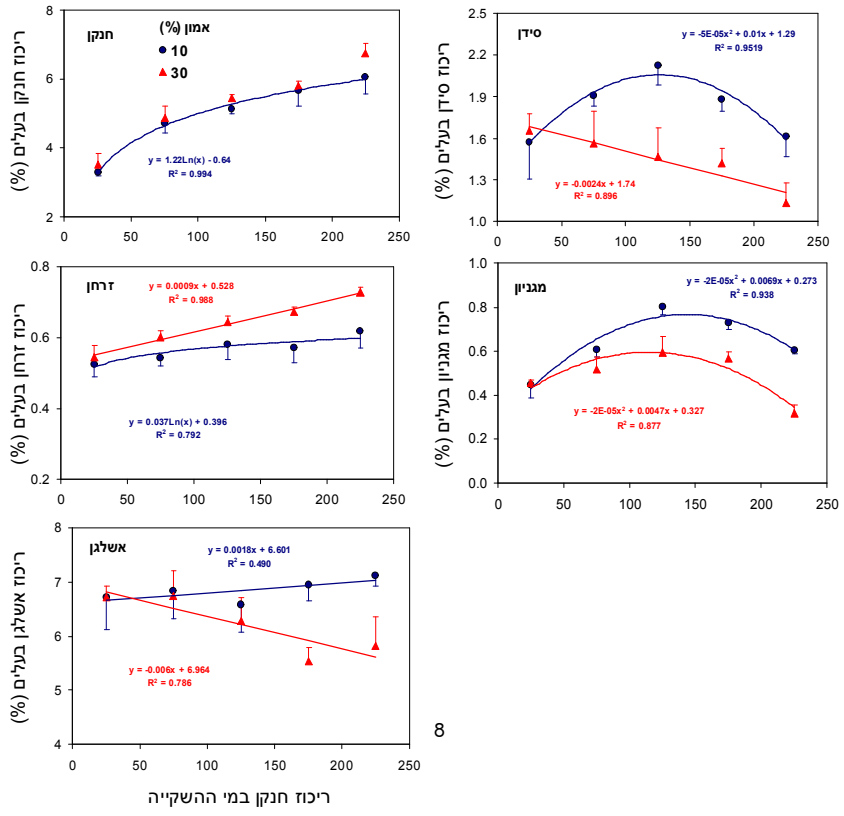


ריכוזי המינרלים בעלים כתלות בטיפולי ההשקיה מוצגים בציור 5. ריכוז המינרלים בעלים נקבעו בכל הקצירים אך מאחר ולא נמצא הבדל משמעותי בין הקצירים השונים הוצג הקציר של ה-5.3.08 בלבד. לטיפולי החנקן היתה השפעה על הצטברות המינרלים בעלים. עם העליה בריכוז החנקן הכללי עולה ריכוז החנקן בעלים. העליה בעלת אופי של עקום רוויה מ-3.3 ל-6.7% בריכוז החנקן הנמוך והגבוה, בהתאמה. ריכוז החנקן בעלים לא הושפע משיעור האמון (ציור 5). ריכוז הזרחן בעלים הושפע מריכוז החנקן הכללי ומשיעור האמון, כאשר עם העליה בריכוז החנקן הכללי עלה ריכוז הזרחן בעלים ובכל רמת חנקן כללי נתונה ריכוז הזרחן היה גבוה יותר בשיעור האמון הגבוה. קליטת האמון מחמיצה את אזור בית השורשים ובכך משפרת את זמינות הזרחן. ביטוי להחמצה זאת ניתן לראות בבדיקות ה- pH בנקז (טבלה 1). הצטברות האשלגן בעלים כתלות בטיפולים התנהגה באופן שונה מהזרחן. ברמה הנמוכה של אמון ריכוז האשלגן נשמר

ברמה אחידה אך בשיעור אמון גבוה העליה בריכוז החנקן הכללי ומתוך כך האמון, הקטינה את ריכוז האשלגן בעלים. הירידה היתה מתונה אך עקבית מ-6.7 % בריכוז חנקן כללי של 25 ל-5.8% בריכוז של 225 ח״מ. ריכוז הסידן בעלים הושפע מריכוז החנקן הכללי ומשיעור האמון. עם העליה בריכוז האמון הנמוך עלה ריכוז הסידן בעלים עד לשיא של 2.1% (ברמת חנקן של 125 ח״מ) ולאחר מכן עם המשך העליה בריכוז החנקן הכללי חלה ירידה לרמה של 1.6%. לעומת זאת, בשיעור האמון הגבוה הירידה מתחילה כבר ברמה הנמוכה של החנקן מריכוז סידן של 1.7% ל-1.1% ברמת חנקן כללי 225 ח״מ. בדומה לסידן, הצטברות המגניון בעלים היתה תלויה ברמת החנקן הכללי ושיעור האמון. כאשר עם העליה בחנקן הכללי ישנה עליה בריכוז המגניון עד למקסימום בריכוז של 125 ח״מ חנקן כללי ולאחר מכן ירידה. ככלל, ריכוז המגניון בנוכחות אמון גבוה היה נמוך בהשוואה לשיעור אמון נמוך בכל רמת חנקן כללי נתונה. באופן כללי ניתן לראות שהעלאת שיעור האמון מ-10 ל-30% הקטינה את הצטברות של שלושת הקטיונים: אשלגן, סידן ומגניון. הגורם יכול להיות ישיר כתוצאה מתחרות בין הקטיונים לאמון שהינו קטיון או השפעה עקיפה בגלל העליה בחומציות (עליה בריכוז הפרוטונים) בהשקיה בשיעור אמון גבוה. הפחיתה ביבול בקצירים 2-4 יכולה להיות כתוצאה מקליטה מופחתת של אחד או יותר מיסודות אלו ו/או ממינרלים אחרים שלא נבדקו.

מתוך עקום הגידול וריכוז המינרלים בעלים ניתן ללמוד שריכוזי החנקן והזרחן הרצויים לקבלת יבול מיטבי הינם 5.1 ו-0.58%, בהתאמה. ריכוזים אלו התקבלו בהשקייה של 125 ח״מ חנקן כללי. לא ניתן להפריד בין שני יסודות אלו מאחר ותגובתם היתה במגמה דומה. ריכוזי האשלגן, הסידן והמגניון בעלים הושפעו באופן משמעותי מטיפולי החנקן ובחלק מהמקרים ריכוזם בעלים ירד למרות שלא היה שינוי ביבול הכללי. מתוך הנתונים שבציורים 3 ו-5 נראה שריכוזי אשלגן, סידן ומגניון מיטביים בעלי רוקולה הינם 6, 1.5 ו-0.4%, בהתאמה.

ציור 5. ריכוז מינרלים בעלי רוקולה כתלות בריכוז החנקן ושיעור האמון מכלל החנקן. רוקולה נקצרה ב-5.3.08.



תוצאות הערכת איכות רוקולה לאחר אחסון מהקציר הראשון והרביעי מוצגים בטבלאות 3 ו-4, בהתאמה. בחלק מהמדדים כגון מדד הופעה או כמישה לא היתה השפעה לטיפולים ולא נראו מגמות ברורות או משמעותיות. לעומת זאת, מדדי ההצהבה והריקבון הושפעו מהטיפולים. בשני הקצירים נראה שעם העליה בריכוז החנקן הכללי ישנה מגמה של ירידה באחוז ההצהבה הקשה (מעל דרגה 2.5). כמו כן, גם לשיעור האמון הגבוהה, היתה השפעה חיובית על שיעור ההצהבה הקשה שהתבטאה בעיקר ברמות החנקן הגבוהות. כך לדוגמא בקציר הרביעי, בשתי רמות החנקן הגבוהות לא היתה כלל הצהבה קשה בשיעור האמון הגבוה לעומת 14 ו-30% בשיעור האמון הנמוך. מדד נוסף שהושפע מטיפולי ההשקייה היה הריקבון שמתפתח באחסון. בקציר הראשון רמת הריקבון היתה נמוכה בכל הטיפולים לעומת זאת בקציר הרביעי ישנה מגמה ברורה של ירידה בריקבון שמתפתח במהלך האחסון עם העליה בריכוז החנקן הכללי, אך עליה בריקבון עם שיעור אמון גבוה. תוצאות הללו מצביעות על כך שגידול בריכוזי חנקן גבוהים מקטין את שיעור ההצהבה הקשה. השקיה בשיעור של 30% אמון מפחיתה את אחוז ההצהבה הקשה אך מגדילה את הריקבון שמתפתח באחסון.

טבלה 3. הערכת איכות רוקולה לאחר אחסון. תנאי האחסון 7 ימים ב- 1.5 מ״צ + 5 ימים ב- 6 מ״צ + יומיים ב- 17 מ״צ. רוקולה נקצרה ב-13.12.07 קציר ראשון.

חנקן כללי (ח״מ)	שיעור אמון (%)	מדד הופעה	הצהבה		ריקבון		מדד כמישה
			מדד	% קשה	מדד	% קשה	
75	10	2.3	2.7	38.8	1.0	0.0	2.1
75	30	2.3	2.7	38.1	1.1	0.0	1.9
125	10	2.5	2.5	38.9	1.0	0.0	1.9
125	30	2.5	2.5	12.5	1.0	0.0	1.9
175	10	2.5	2.4	15.0	1.0	0.0	2.1
175	30	2.7	2.3	4.8	1.0	0.0	2.0
225	10	2.4	2.6	25.7	1.1	0.0	2.1
225	30	2.7	2.3	12.5	1.0	0.0	1.9

טבלה 4. הערכת איכות רוקולה לאחר אחסון. תנאי האחסון יום בתחנה + 5 ימים ב- 3 מ״צ + 5 ימים ב- 6 מ״צ + יומיים ב- 17 מ״צ + יום נוסף ב-17 מ״צ בבטנה מאוררת.7 ימים ב- 1.5 מ״צ + 5 ימים ב- 6 מ״צ + יומיים ב- 17 מ״צ. רוקולה נקצרה ב-2.4.08 קציר רביעי.

חנקן כללי (ח״מ)	שיעור אמון (%)	מדד הופעה	הצהבה		ריקבון		מדד כמישה
			מדד	% קשה	מדד	% קשה	
75	10	2.5	2.5	23.3	1.7	13.3	1.0
75	30	2.4	2.5	25.0	1.9	20.8	1.0
125	10	2.4	2.5	24.5	1.3	3.7	1.0
125	30	2.5	2.5	12.7	1.7	18.3	1.0
175	10	2.4	2.6	30.0	1.3	3.3	1.1
175	30	2.8	2.1	0.0	1.2	7.1	1.0
225	10	2.6	2.3	14.2	1.3	0.0	1.0
225	30	2.6	2.2	0.0	1.5	13.2	1.4

ניסוי שני – על סמך תוצאות הניסוי הראשון תוכנן הניסוי השני בו נבחרו ריכוזי חנקן שונים במקצת בשני שיעורי האמון שנבחנו בניסוי הראשון. תוצאות הניסוי הראשון הצביעו על יתרון ביבול בהזנה חנקתית הגבוהה בתחילת הגידול אשר התמתנה בהמשך. לפיכך, נבחנו שני טיפולים בהם ריכוז החנקן עד הקציר הראשון היה כ-200 ח״מ ולאחר מכן פחת ל-100 ו-50 ח״מ (טבלה 2). הבדל נוסף מהניסוי הראשון היה מועד שתילה שחל כחודש וחצי מאוחר יותר שיכול היה להיות משמעותי מבחינת ההשפעה של האקלים.

תוצאות ארבעת הקצירים מוצגות בציורים 6-9. ככלל התוצאות שהתקבלו בשני הניסויים דומים כאשר עליה בריכוז החנקן התבטאה החל מהקציר הראשון עם יתרון לריכוז החנקן הגבוה ביותר של 200 ח״מ. בהמשך יבול מירבי התקבל בהשקיה בריכוז של 100 ח״מ. מגמות דומות גם ביבול לשיווק. בדומה לניסוי הראשון עליה בריכוז החנקן גרמה לפחיתה בשיעור העלים הגזורים תופעה שהתבטאה בעיקר בקציר הראשון (ציור 6ג) אך לא נשמרה בשאר הקצירים (ציורים 7ג, 8ג, ו-9ג). בקציר הראשון לא היתה פריחה בחלקה ובעלים הקצורים. באופן כללי, מספר הפרחים בחלקה הלך ופחת עם העליה בריכוז החנקן הכללי (ציורים 7ד, 8ד ו-9ד). התופעה בלטה בעיקר בקציר השלישי שהתרחש ב-12.4.09 בו מספר הפרחים ירד מכ-60 פרחים לחלקה בטיפול החנקן הנמוך לכשליש בטיפולי החנקן הגבוהים. מגמות אלו שונות במובהק מאלו שהתקבלו בחלק מהקצירים בניסוי הראשון בו עם העליה בחנקן חלה עליה בשיעור העלים נושאי הפרחים (ציורים 1ד, 2ד) אך מתאימות למגמה שהתקבלה בקציר השני (ציור 2ד). מכאן, שלריכוז החנקן במי ההשקיה יכולה להיות השפעה חיובית או שלילית וכנראה ישנם גורמים נוספים שמעורבים בפריחה ובכך קובעים את אופי ועוצמת ההשפעה.

בדומה לניסוי הראשון יתרון קל נצפה להשקיה בשיעור של 30% אמון בהשוואה ל-10% שהתבטא רק בקציר הראשון כאשר בקצירים הבאים המגמה התהפכה ותבטאה בעוצמה קלה. העובדה שהתופעה חזרה בשני הניסויים מצביעה על מגמה שבה מושג יתרון בהשקיה בשיעור אמון גבוה בשלבי הגידול הראשונים. בשלב גידולי זה חשובה מאוד התפתחות השורשים אשר מושפעת מאוד מזמינות זרחן. העלאת ריכוז האמון מחמיצה את סביבת השורש כפי שניתן לראות במי הנקז (טבלה 1) ומעלה את זמינות הזרחן. ביטוי לכך התקבל גם בריכוז הזרחן בנוף (ציורים 5ב, 10ב).

להפחתה בריכוז החנקן במי ההשקיה מ- 200 ח״מ לכחצי וכרבע מהריכוז לאחר הקציר הראשון היתה השפעה משמעותית על היבול ואיכותו (ציורים 6-9). בקציר הראשון משקל העלים שהתקבל משלושת הטיפולים שהושקו ב-200 ח״מ חנקן היה מירבי ודומה. עם ההפחתה בריכוז החנקן מיד לאחר הקציר הראשון ל-100 ח״מ לא נצפו הבדלים משמעותיים, בכל שלושת הקצירים הבאים, בגידול בשיעור העלים הגזורים ופריחה ושיעורם דמה לטיפול שהושקה ב-100 ח״מ ברציפות. לעומת זאת, בטיפול המשתנה שהושקה ב-50 ח״מ לאחר הקציר הראשון, נבלם קצב הגידול ומשקלי העלים שהתקבלו בקציר השני והשלישי פחתו משמעותית ובאופן מובהק בהשוואה לטיפול שהושקה באופן קבוע בריכוז של 50 ח״מ (ציורים 7-6). לעומת זאת, בקציר הרביעי המגמה התהפכה והיבול בטיפול המשתנה היה גבוהה משמעותית מזה שהושקה בריכוז קבוע. שינוי מגמה דומה נצפה גם בפריחה. היפוך המגמה ביבול ובעוצמת הפריחה אינו ברור ומבטא את ההשפעות שיכולות להיות להזנה משתנה לאורך הגידול. ככלל, ריכוזי החנקן, הזרחן והאשלגן שנמדדו בעלים בטיפולים המשתנים היו דומים מאוד בריכוזם לאלו של הטיפולים שהושקו בריכוזים המתאימים (ציורים 8 ו-9).

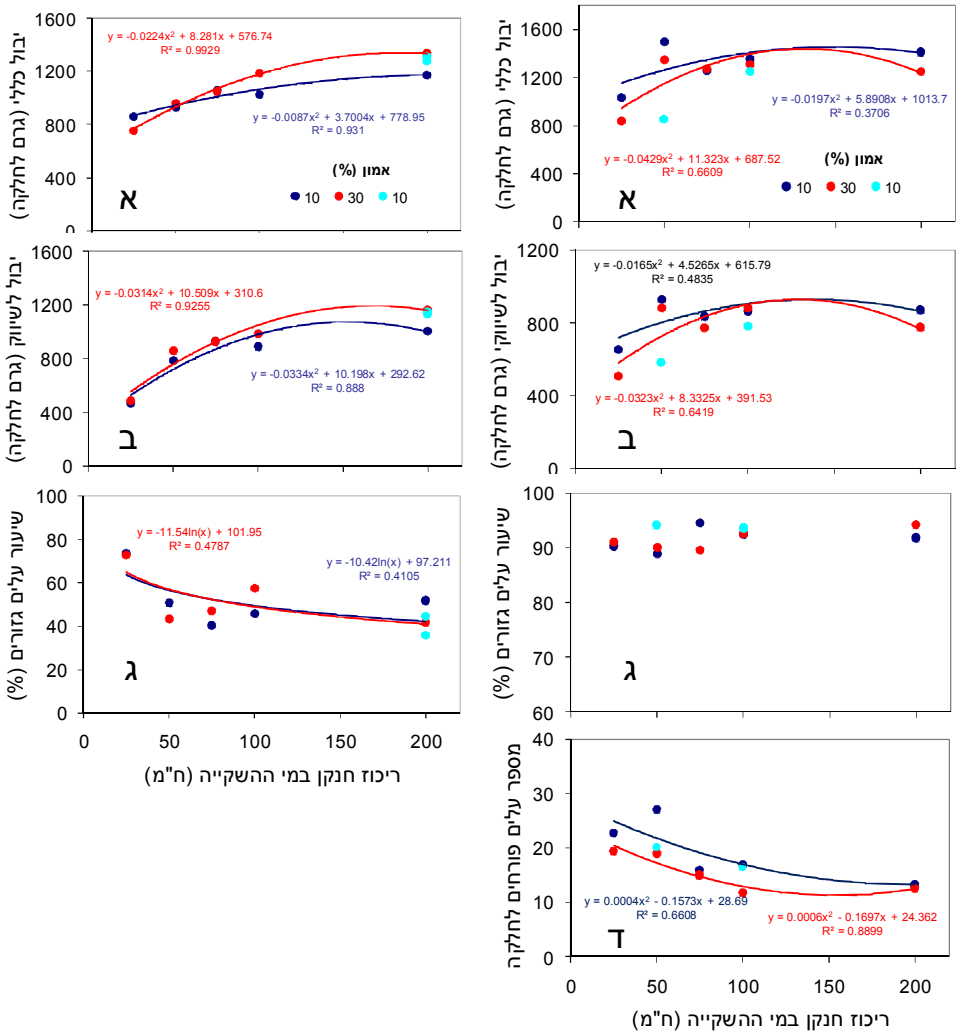
סיכום

לריכוז החנקן במי ההשקיה, צורת ישומו ומועד היישום השפעה על יבול ואיכות הרוקולה. לגידול במצע מנותק, יש יתרון להתחיל בריכוזי חנקן גבוהים של כ-200 ח״מ עד הקציר הראשון ולאחר מכן להפחית את ריכוזו ל-100 ח״מ. ירידה משמעותית בריכוז החנקן לאחר הקציר הראשון פגעה משמעותית ביבול. בשני הניסויים התקבל יתרון לשיעור אמון של 30% עד לקציר הראשון ולאחר מכן יתרון קל התקבל להשקיה בשיעור אמון של 10%. עליה בריכוז החנקן גרמה לפחיתה בשיעור העלים הגזורים תופעה שהתבטאה בעיקר בקציר הראשון. השפעת ריכוז החנקן במי ההשקיה על הפריחה לא היתה במגמה ברורה, בחלק מהקצירים הפריחה התגברה ובחלק פחתה ונראה שישנם גורמים נוספים שמעורבים בפריחה ובכך קובעים את אופי ועוצמת ההשפעה.

קליטת המינרלים הושפעה מטיפולי החנקן. ריכוזי החנקן והזרחן עלו עם העליה בריכוז החנקן הכללי והריכוזים הרצויים לקבלת יבול מיטבי הינם 5.1 ו-0.58%, בהתאמה. ריכוזים אלו התקבלו בהשקיה של 100-125 ח״מ חנקן כללי. ריכוזי האשלגן, הסידן והמגניון בעלים הושפעו באופן משמעותי מטיפולי החנקן ובחלק מהמקרים ריכוזם בעלים ירד למרות שלא היה שינוי ביבול הכללי. תוצאות איכות הרוקולה לאחר אחסון מצביעות על כך שגידול בריכוזי חנקן גבוהים מקטין את שיעור ההצהבה הקשה שמתפתחת באחסון. השקיה בשיעור של 30% אמון מפחיתה את אחוז ההצהבה הקשה אך מגדילה את הריקבון שמתפתח באחסון.

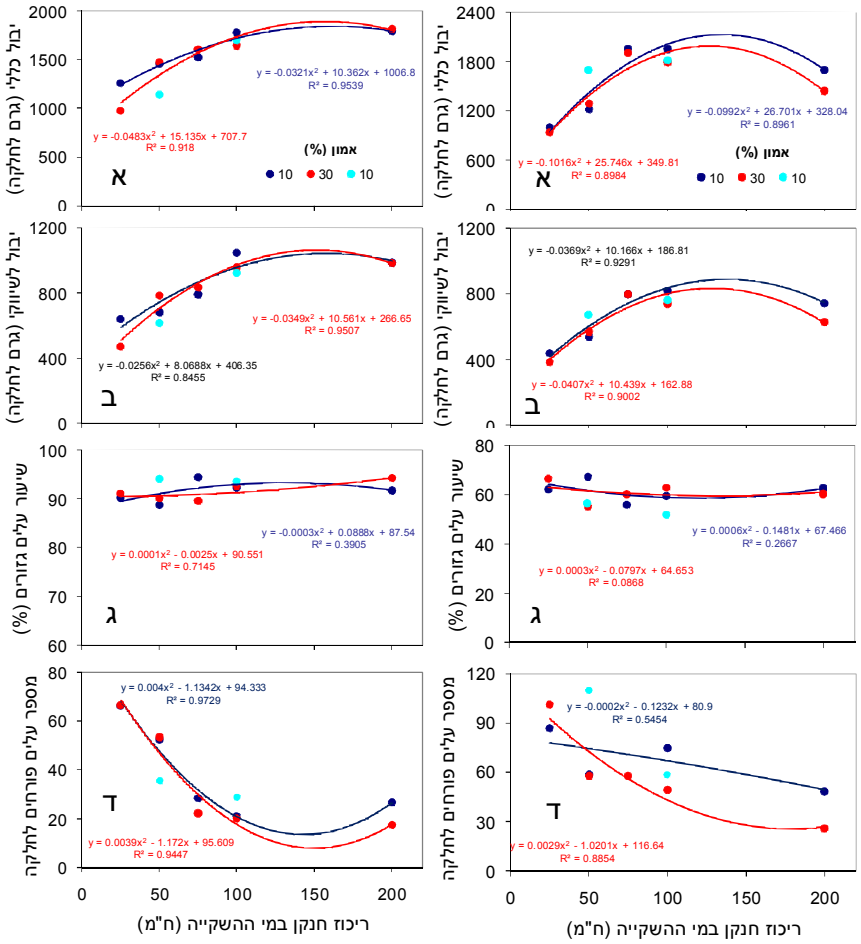
ציור 7: מדדי יבול ואיכות של רוקולה בניסוי השני קציר שני. טיפולי החנקן של 25 ו-50 ח"מ נקצרו ב- 25.3.09 ושאר הטיפולים ב-22.3.09.

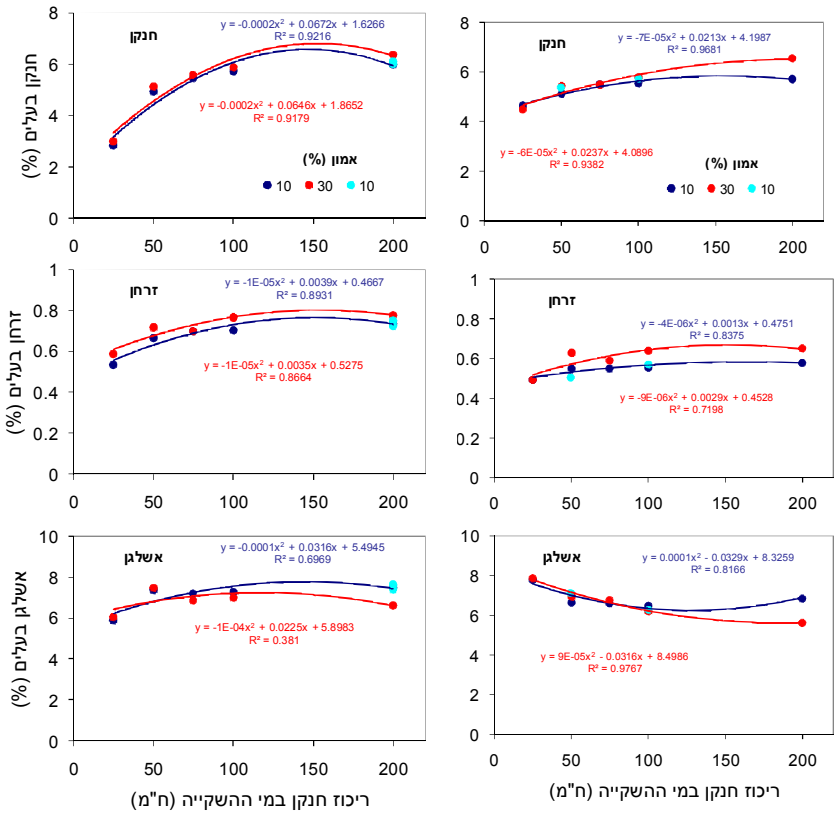
ציור 6: מדדי יבול ואיכות של רוקולה בניסוי השני קציר ראשון. טיפולי החנקן של 25 ו-50 ח"מ נקצרו ב- 5.3.09 ושאר הטיפולים ב-25.2.09.



ציור 9: מדדי יבול ואיכות של רוקולה
בניסוי השני קציר רביעי - 4.5.09.

ציור 8: מדדי יבול ואיכות של רוקולה
בניסוי השני קציר שלישי - 12.4.09.



ציור 10: ריכוז יסודות בעלים בניסוי השני קציר ראשון.

ציור 11: ריכוז יסודות בעלים בניסוי השני קציר שני.