

האוניברסיטה העברית בירושלים הפקולטה למדיע החקלאות, המזון ואיכות הסביבה ברחובות
המחלקה לקרקע ומים

בדיקת תכולת מתכות בחלקים הנאכלים של ירקות וצמחי תבלין

דוח בדיקה

מוגש למנהלת אפר הפחם

ע"י

פרופ' יונה חן

צלה אביעד

ואורי מגדל

מטרת הבדיקות: לברר האם קיימת קליטת מתכות לרקמות המיועדות למאכל אדם, בצמחים

הגדלים במצע גידול המורכב מתערובת של אפר פחם תחתי וקומפוסט.

הבדיקות בוצעו בגידולים שלא נבחנו בעבר.

(1). צמחים נבחים

1. מלפפון - פרי

2. תות שדה – פרי

3. חסה – עלים

4. בזיל - עלים

(1) מהלך הבדיקה

ייצור החומר הצמחי למאכל בוצע בשני אתרים:

1. בחוות הניסיונות של בית הספר "אשל הנשיא":

א. מלפפון

ב. תות שדה

ג. חסה

תיאור הניסוי: שלושת הגידולים גודלו בחממה הניסויית. משטר הגידול היה לפי עקרונות הגידול האורגני – דהיינו ללא תוספת של דשנים וחומרי הדברה. מצע הגידול הורכב מ-60% חומר אנראוגני (אפר פחם או טוף) ו-40% קומפוסט מזבל בקר (יחסים נפחיים).

מלפפון: הצמחים גודלו בעציץ בנפח 9 ליטר, 5 חזרות לכל מצע גידול, בפיזור אקראי. הפרי נקטף מכל החזרות של שני הטיפולים – לקבלת דגימה מייצגת אחת לכל מצע גידול.

תות שדה: הצמחים גודלו בעציצים בנפח 3.5 ליטר. 15 עציצים מכל סוג של מצע גידול, פוזרו בשיטה של בלוקים באקראי (בשילוב עם טיפולים שאינם רלוונטים לבדיקה זו). הפרי נקטף מכל החזרות של שני הטיפולים – לקבלת דגימה מייצגת אחת לכל מצע גידול.

חסה: בניסוי זה נבחו גם קומפוסט ממקור נוסף שהכיל בנוסף לזבל הבקר גם 20% שיירי מיצוי חוחובה, להלן "קומפוסט חוחובה". צמחי החסה גודלו בעציץ של 9 ליטר – צמח בכל עציץ. כל טיפול ב-5 חזרות. העציצים פוזרו בשיטת הבלוקים באקראי. האנליזה בוצעה בכל אחת מהחזרות, ולכן מוצג גם מבחן סטטיסטי.

2. בחממה בפקולטה לחקלאות: בזיל.

הניסוי כלל 5 טיפולי מצע מנותק:

1. אפר תחתי (9-2 מ"מ) להלן "מצעית".
2. תערובת של מצעית עם קומפוסט מזבל בקר.
3. תערובת של אפר תחתי דק ("רפד"; 2 מ"מ <) עם קומפוסט מזבל בקר.
4. טוף 0-8 מ"מ (מרום גולן).
5. תערובת של טוף 0-8 עם קומפוסט מזבל בקר.

התערובות הגידול הוכנו ביחס של 70% חומר אנאורגני ו 30% קומפוסט (יחסים נפחיים) – בעצמים של 0.6 ל'.

כל טיפול כלל 10 חזרות, שפוזרו על שולחנות הגידול בצורה אקראית.

הצמחים קיבלו משטר השקייה אחיד: חמש פעמים ביום.

לאחר 5 ימים משתילת הבזיל הוסף דשן (שפר 538) בריכוז 1.5 ס"מ³ לליטר. בהמשך ניתן הדשן בכל השקייה.

אחת למספר ימים נאסף נקז מעציץ של כל טיפול, ונבדקו: המוליכות חשמלית, ה-pH, ריכוז החנקן הזרחן והאשלגן.

החומר האכיל נקטף, ונשטף בדטרגנט (0.1% Teepol), ולאחר מכן עבר תהליך ייבוש וטחינה. החסה, הבזיל והמלפפון, יובשו בתנור ייבוש בטמפרטורה של 65 °C. תות השדה יובש בתהליך של ייבוש בהקפאה, מכוון שתכולת הסוכר הגבוהה שבו - מפריעה ליבוש בתנור.

תהליך האיכול: כ- 0.5 ג' של דוגמה צימחית יבשה אוכלה בתנור מיקרוגל על ידי תערובת המכילה חומצה חנקתית מרוכזת וחומצה הידרוכלורית מרוכזת, והושלמה לנפח של 25 מ"ל - במים מזוקקים.

הבדיקה לנוכחות מיקרואלמנטים בוצעה במכשיר ICP-AES מתוצרת SPECTRO. היסודות הנבדקים: אלומיניום (Al), ארסן (As), בורון (B), בריום (Ba), קובלט (Co), כרום (Cr), קדמיום (Cd), ליתיום (Li), כספית (Hg), מוליבדן (Mo), ניקל (Ni), עופרת (Pb), וסלניום (Se).

תוצאות

על מנת להבטיח את בריאות הציבור שיצרוך פירות, ירקות או עלים למאכל, שגדלו בנוכחות אפר פחם, נעשתה השוואה לתכולתם בצמחים שגדלו במצע המכיל טוֹף, המקובל ומאושר כמצע לגידול צמחי מאכל. בנוסף לכך, הושוּו ריכוזי היסודות השונים לתכולה המותרת ע"פ הצעות לתקנים ובהשוואה לנתונים של ריכוזים נורמליים בצמחים, כפי שנמצא ספרות רלוונטית.

בכל הגידולים שנבדקו, רמות הכסף (Ag), הארסן (As), הקדמיום (Cd), הקובלט (Co), הכספית (Hg), והניקל (Ni) – היו נמוכות, מתחת ליכולת האבחון ב-ICP-AES. מקובל שיכולת המדידה המינימלית (Low Detection Limit) היא פעמיים סטיית התקן של ממוצע הקריאות של כל יסוד, בתמיסות הבלנק (דהיינו, תמיסות האיכול שעברו את כל התהליך - ללא שהוסף להן חומר צמחי).

רמות המדידה המינימליות ליסודות אלו בתמיסה, מוצגות בטבלה 1 (במונחי ריכוז בתמיסת האיכול, ועל בסיס חומר יבש – בהתאם לנתוני האיכול שבוצע).

טבלה 1 – נתוני הריכוזים המינימליים הניתנים לאיבחון (Low Detection Limit) במכשיר ICP-AES בתמיסה האיכול, ועל בסיס חומר יבש.

מתכת	Low Detection Limit (mg/L)	Low Detection Limit (mg/Kg Dry Weight)
Ag	0.0007	0.036
As	0.0183	0.91
Cd	0.0003	0.02
Co	0.011	0.06
Hg	0.0117	0.59
Ni	0.0016	0.08

נתוני רמות המדידה המינימליות (Low Detection Limit) – על בסיס משקל רטוב, המחושב בהתאם לתכולת החומר היבש לכל אחד מהצמחים/פירות שנבדקו, מוצגים בטבלה 2.

טבלה 2 – הריכוזים המינימליים של היסודות שריכוזן בתמיסת האיכול היה נמוך מיכולת האבחון במכשיר ה-ICP-AES.

Ni	Hg	Co	Cd	As	Ag	חומר יבש	צמח/פרי
מ"ג/ק"ג חומר טרי						(%)	
0.0031	0.023	0.0026	0.0008	0.0355	0.0014	3.9	מלפפון
0.0074	0.055	0.0056	0.0019	0.0846	0.0033	9.3	תות שדה
0.0030	0.022	0.0023	0.0008	0.0346	0.0014	3.8	חסה
0.0078	0.058	0.0059	0.0020	0.0892	0.0035	9.8	בזיל

מבין המתכות המצויינות בטבלה, ארסן (As), קדמיום (Cd), וכספית (Hg) הן מתכות המוגדרות כרעילות לאדם.

בהצעה של תקנות בריאות הציבור לא מצויינת רמה מירבית של ארסן (As) בפירות וירקות. בהערת טבלת סוגי המזון, מצויין כי לכל סוגי המזונות שאינם מצויינים באופן ספציפי בטבלה, הרמה המותרת היא עד 0.02 מ"ג/ק"ג מזון. בהתאם לשיטת חישוב גבול המדידה התחתון, לכאורה לא ניתן בשיטה ובאמצעים שעמדו לרשותינו, לזהות רמות נמוכות כל-כך של ארסן. יחד עם זאת ניתן בודאות לשלול מציאותם של ריכוזי ארסן בעייתיים, שכן באותם דוגמאות שבהן נמצא ריכוז כלשהו של ארסן, הוא היה קרוב לאפס – ויתרה מזאת, לא היה שונה מהריכוזים שנמצאו בתמיסות הבלנק.

ריכוזי הקדמיום (Cd) המותרים בפירות וירקות לפי ההצעה לתקנות בריאות הציבור הם עד 0.05 מ"ג/ק"ג, ובירקות עליים עד 0.2 מ"ג/ק"ג. ערך המדידה התחתון של קדמיום היה לכל היותר - 0.002 מ"ג/ק"ג למשקל טרי (טבלה 2 – בזיל), והריכוזים שנמצאו בפירות/עלים שנבדקו היו נמוכים מערך זה. הריכוז הגבוה ביותר – 0.005 מ"ג/ק"ג טרי, נמצא בצמחי בזיל שגדלו במצע של אפר פחם עם קומפוסט, הוא נמוך פי 40 נמוך מסף הרעילות כפי שמוצע בתקנות בריאות הציבור.

ריכוזי כספית (Hg) המותרים בפירות וירקות הם עד 0.03 מ"ג/ק"ג חומר נאכל, ובצמחי מאכל עד 0.05 מ"ג/ק"ג. יכולת האבחון המינימלית לכספית היא ברמה דומה לערך העליון המותר לצמחי מאכל. כלומר לא ניתן לזהות באופן מדויק ריכוזים הנמוכים מערך הסף. יחד עם זאת, בתמיסות האיכול של

הצמחים שגדלו במצעים השונים, לא ניתן היה לגלות כל עקבות של כספית, ומשום כך ניתן לומר בבטחון כי אין נשקפת סכנה של רעילות מכספית מצמחי מאכל שגדלו במצע שהכיל אפר פחם. שאר היסודות המצויינים בטבלה 2 אינם נחשבים רעילים לאדם, והרמה שנמדדה היא נמוכה ביותר. ריכוזי היסודות שנבדקו, ונמצאו גבוהים מתחום האבחון המינימלי, כפי שהוגדר לעיל, מוצגים בטבלאות 3-7.

טבלה 3 – ריכוזי היסודות שנמדדו בפירות, על בסיס חומר יבש (מ"ג/ק"ג).

תות שדה		מלפפון		יסוד
טוף+קומפוסט	אפר פחם+קומפוסט	טוף+קומפוסט	אפר פחם+קומפוסט	
5.3	4.0	24.2	129.3	Al
14.3	14.0	21.2	19.8	B
2.9	6.6	2.4	3.6	Ba
0.15	0.13	0.97	1.01	Cr
0.03	0.03	0.49	0.97	Li
1.13	0.83	2.18	1.98	Mo
0.02	0.32	0.24	0.13	Pb
0.10	0.28	0.10	0.10	Sb
0.14	0.02	0.97	0.14	Se
11.9	20.8	47.6	55.6	Sr
0.06	0.13	0.86	0.23	Ti

טבלה 4 – ריכוזי היסודות שנמדדו בפירות, על בסיס חומר טרי (מ"ג/ק"ג).

תות שדה		מלפפון		יסוד
טוף+קומפוסט	אפר פחם+קומפוסט	טוף+קומפוסט	אפר פחם+קומפוסט	
0.5	0.4	0.9	5.0	Al
1.33	1.30	0.83	0.77	B
0.27	0.61	0.09	0.14	Ba
0.014	0.012	0.038	0.039	Cr
0.003	0.003	0.019	0.038	Li
0.105	0.077	0.085	0.077	Mo
0.002	0.030	0.009	0.005	Pb
0.009	0.026	0.004	0.004	Sb
0.038	0.053	0.038	0.006	Se
1.1	1.9	1.9	2.2	Sr
0.006	0.012	0.034	0.009	Ti

בהשוואה בין תכולת היסודות המצויינים בטבלאות 3 ו-4 ניתן לראות כי ריכוזי האלומיניום, הבריום, והליתיום במלפפונים שגדלו בתערובת של אפר פחם עם קומפוסט, היו גבוהים מריכוזם בפרי שגדלו בתערובת עם טוף.

אלומיניום הוא יסוד המופיע בצמחים ברמות של מאות ח"מ בחומר היבש, צמחים מסויימים יכולים להכיל עד 0.1% (Kabata-Pandias, 2001). אלומיניום אינו נחשב יסוד רעיל לבני אדם, ולראיה השימוש הבלתי מוגבל באריזות המיוצרות מאלומיניום. מחקרים הראו כי בוגר צורך עד 36.4 מ"ג אלומיניום מדי יום (Underwood, 1977), ערך זה גבוה פי 7 בקירוב מהמצוי בק"ג אחד של מלפפונים שגדלו במצע שהכיל אפר פחם..

ריכוז הבריום והליתיום – אף שהינם גבוהים יותר במלפפונים שגדלו באפר פחם, אינם חריגים. ריכוזי בריום מקובלים בפירות הם 1-3 ח"מ בחומר היבש, תחום דומה לריכוזים שנמצאו במלפפונים ובתות השדה. ריכוזים הנחשבים רעילים לצמח הם רק ברמות של מאות ח"מ בחומר היבש. ריכוזי הליתיום בפירות, פקעות ושורשים הם בתחום של עד 0.3 ח"מ בחומר היבש ועד כ- 6 ח"מ בעלים המשמשים למאכל.

ריכוזי העופרת במלפפונים ובתות-שדה שגדלו בשני המצעים הם נמוכים ביותר (לא מעל 0.03 מ"ג/ק"ג פרי), ערכים נמוכים פי שלושה מהערך המותר (0.1 מ"ג/ק"ג - ע"פ ההצעה לתקנות בריאות הציבור, ותקן השוק האירופי (CODEX STAN 210-2001).

טבלה 5 – ריכוזי היסודות שנמדדו בצמחי בזיל, על בסיס חומר יבש (מ"ג/ק"ג).

יסוד	מצעית+ קומפוסט	טוף+ קומפוסט	מצעית	טוף	אפר דק +קומפוסט
Al	13.9	23.0	25.7	17.9	12.8
B	20.8	21.4	20.2	17.6	21.4
Ba	4.5	4.3	22.2	7.7	6.62
Cr	0.23	0.24	0.20	0.24	0.21
Li	0.74	0.19	1.84	0.15	1.11
Mo	1.28	1.23	1.29	1.40	1.16
Pb	0.072	0.015	0.155	0.002	0.072
Se	0.85	1.04	0.86	0.95	0.81
Sr	54.5	71.6	98.8	112.7	72.0
Ti	0.47	0.92	1.07	0.73	0.28

טבלה 6 – ריכוזי היסודות שנמדדו בצמחי בזיל, על בסיס חומר טרי (מ"ג/ק"ג).

יסוד	מצעית+ קומפוסט	טוף+ קומפוסט	מצעית	טוף	אפר דק+ קומפוסט
Al	1.37	2.42	2.51	1.76	1.26
B	2.04	2.10	1.98	1.73	2.17
Ba	0.44	0.42	2.24	0.76	0.65
Cr	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Li	0.07	0.02	0.18	0.01	0.11
Mo	0.13	0.12	0.13	0.14	0.11
Pb	0.007	0.001	0.015	0.000	0.007
Se	0.08	0.10	0.08	0.09	0.08
Sr	5.3	7.0	9.7	11.0	7.0
Ti	0.046	0.090	0.105	0.072	0.028

ריכוזי הבריום, והליתיום, בצמחים שגדלו במצע שהכיל אפר פחם, גבוהים ביחס לשאר תערובות הגידול – אולם הם אינם ברמה המהווה סכנה לבריאות. תוספת של קומפוסט לאפר הפחם מקטינה את הקליטה של יסודות אלו.

בצמחי בזיל שגדלו באפר פחם ("מצעית") ללא תוספת קומפוסט ניתן להבחין בריכוזים גבוהים של עופרת ביחס לצמחים שגדלו במצעים אחרים. תוספת קומפוסט הקטינה את הריכוז לכדי מחצית מריכוזו בצמחים שגדלו במצעית ללא תוספת חומר אורגני. אולם חשוב לציין כי בכל המצעים הריכוזים שנמדדו בעלי החסה הם נמוכים בסדר גודל ביחס לריכוז העופרת המכסימלי המותר – 0.1 מ"ג/ק"ג לפי הצעה לתקנות בריאות הציבור. הצעת תקן השוק האירופי (CODEX STAN 210-2001) מחמיר פחות ומתיר רמה מכסימלית בירקות עלים של 0.3 מ"ג/ק"ג.

טבלה 7 – ריכוזי היסודות שנמדדו בעלי חסה, על בסיס חומר יבש (מ"ג/ק"ג) להשוואה ריכוזים

בספרות (Wolnik, 1983b ,Wolnik, 1983a ,Kabata-Pandias, 2001)

ריכוז לפי הספרות	טוף+ קומפוסט חחובה	מצעית+ קומפוסט חחובה	טוף+ קומפוסט קידרון	מצעית+ קומפוסט קדרון	יסוד
7.3	5.4	8.7	7.0	9.4	Al
1.3	25.2	26.0	24.4	27.3	B
9.4	2.0	2.5	3.7	3.9	Ba
	0.23	0.45	0.29	0.40	Cr
0.3	0.226	0.930	0.063	0.268	Li
0.074	0.63	0.62	0.69	0.68	Mo
0.7-3.6	0.004	0.009	0.017	0.011	Pb
0.057	0.88	0.86	0.90	1.14	Se
74	45.1	51.3	58.1	65.1	Sr
	0.64	0.29	0.25	0.17	Ti

טבלה 7 – ריכוזי היסודות שנמדדו בעלי חסה, על בסיס חומר טרי (מ"ג/ק"ג).

ריכוז לפי הספרות	טוף+ קומפוסט חחובה	מצעית+ קומפוסט חחובה	טוף+ קומפוסט קידרון	מצעית+ קומפוסט קדרון	יסוד
0.1	0.20	0.33	0.26	0.36	Al
	0.96	0.99	0.93	1.04	B
0.5	0.08	0.09	0.14	0.15	Ba
0.008	0.01	0.02	0.01	0.02	Cr
	0.009	0.035	0.002	0.010	Li
עד 0.19	0.02	0.02	0.03	0.03	Mo
עד 0.078	0.000	0.000	0.001	0.000	Pb
עד 0.011	0.03	0.03	0.03	0.04	Se
	1.72	1.75	2.21	2.47	Sr
< 0.7	0.005	0.011	0.010	0.007	Ti

ריכוזי היסודות שנמדדו בעלי החסה אינם שונים באופן מהותי בין צמחים שגדלו במצע שהכיל אפר פחם או טוף, למעט קליטה רבה יותר של אלומיניום וליתיום, אשר כאמור אינם מהווים איום בריאותי.

סיכום

הבדיקות שנעשו בפירות שגדלו במצע שהכיל אפר פחם לקביעת ריכוזי יסודות נדירים ורעילים, הוכיחו כי אין בצמחים אלו קליטה מוגברת של יסודות רעילים, ומשום כך אין חשש להשתמש באפר התחתי, כמצע לגידול צמחים המשמשים למאכל.

1. הצעה לתקנות בריאות הציבור.
2. CODEX STAN 201-2001.
3. Kabata-Pendias A. 2001. Trace Elements in soils and Plants. CRC Press.
4. Mertz W. 1987. Trace elements in Human and Animal Nutrition – Fifth Edition. Academic press.
5. Underwood E.J. 1977. Trace elements in Human and Animal Nutrition – Fourth Edition. Academic Press.
6. Wolnik K. A., Fricke F. L., Caper S.G., Bruude G.L., Meyer M.W., Satzger R.D., and Bonnin E. 1983a. Elements in major raw agricultural crops in the United States. 1. Cadmium and lead in lettuce, potatoes, soybeans, sweet corn, and wheat. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 31, 1240-1244
7. Wolnik K. A., Fricke F. L., Caper S.G., Bruude G.L., Meyer M.W., Satzger R.D., and Bonnin E. 1983b. Elements in major raw agricultural crops in the United States. 1. Other elements in lettuce, potatoes, soybeans, sweet corn, and wheat. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 31, 1244-1249.