

בדיקת ריכוז מתכות כבדות ורדיונוקלידיים בצמחים שגדלו במצע אפר פחם

סיכום רב שנתי של ניסויים (1998-2006)

א. תמצית מנהלים

אפר פחם תחתית שמקורו בתהליכי שריפה של פחם בתחנות הכוח של חברת החשמל נבחן כמצע לגידול צמחים. נבחנו תכונותיו הכימיות והפיזיקליות בהקשר האגרו-טכני וטיבו כמאפשר גידול עתיר הנבה של מספר רב של גידולים. במרבית המקרים נבחן האפר בתערובות עם קומפוסט שמקורו בזבל בקר מופרד. בכל המקרים נבחן מצע אפר הפחם בהשוואה למצע טוף, שהוא מצע מקובל בו משתמשים בהיקף ניכר לגידול צמחי חממה בישראל, ספרד, איטליה, באיים הקנריים, בקניה ועוד.

מטעמי זהירות ובהתאמה לבקשת שירותי המזון במשרד הבריאות נבחנה קליטת מתכות כבדות ורדיונוקלידיים בחלקים הנאכלים של הצמחים, כדי לוודא שטכנולוגיה זו אינה משרה בעיה בריאותית כלשהי. בדיקות ריכוזי המתכות בוצעו במכשירי ICP-AES במעבדות הפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות הסביבה, ICP-MS במעבדות השירות הגיאולוגי, ובדיקות פעילות הרדיונוקלידים בוצעו במעבדות המרכז הגרעיני-שורק.

נבחנו עלים ופירות בצמחים: עגבניות (רגילות וצ'רי), פלפל, מלון, עירית, מלפפון, תות שדה, חסה, כרוב סיני ומנגו. בחומר הצמחי נבדקה תכולת המתכות הכבדות: Hg, Cr, Co, Cd, Ba, B, As, Al, (רשימה מורחבת, לא לכל הגידולים כללה הרשימה את כל המתכות – בחלקם הסתפקנו ברעילות בלבד). כמו כן נבדק ריכוז הרדיונוקלידים הטבעיים: ^{226}Ra ו- ^{232}Th .

בכל המקרים הראו הבדיקות שהריכוזים הנמדדים נמוכים באופן ניכר מהסף המותר מבחינת המתכות הכבדות והרדיונוקלידים כאחד. הריכוזים נמצאו דומים או נמוכים מאלו שנמצאו בצמחים שגדלו במצע טוף המקובל באירופה ובישראל.

לאור הממצאים המפורטים בסיכום הדוחות שלהלן, מומלץ בפני שירות המזון לאשר השימוש באפר פחם כמצע גידול לכל גידולי המזון החז-שנתיים בנוסף לגידולים שאינם אכילים (כגון פרחים).

ב. סיכומי בדיקות מתכות

1. בדיקת תכולת מתכות בעגבניות (עין שמר, 2006)

ריכוזי מתכות נבדקו בעגבניות שגודלו על מצע המכיל אפר פחם ומצע המכיל טוף. ריכוזי Ni, Cr, Co ו-1 Pb נמצאו נמוכים מאד, עם ערכים דומים בין שני סוגי המצעים עבור Co ו-1 Pb, וערכים גבוהים יותר (פי 2 בקירוב) בעגבניות שגודלו על מצע הטוף לעומת מצע אפר הפחם. ריכוזי As, Cd, Se, Hg, Sb ו-1 Se היו מתחת לסף גילוי מכשיר המדידה או שווים לו.

2. בדיקת תכולת מתכות בחלקים הנאכלים של פלפל ועירית (מושב פארן וחוות עדן-עמק בית שאן).

(2006)

במסגרת עבודה זו נבדקה קליטה של מתכות לרקמות המיועדות למאכל אדם, בעלי עירית שגודלו על מצע המכיל אפר פחם לעומת מצע המכיל טוף בחוות עדן, ובפלפל שגדל בחלקה מסחרית במושב פארן על מצע אפר פחם עם קומפוסט. המתכות שנבדקו היו: Hg, Sr, Sn, Se, Pb, Ni, Mo, Cr, Co, Cd, B, As. נמצא כי המתכות הרעילות Hg, Pb, Cd ו-As, מצויות בריכוז נמוך ואף זניח ביחס להצעת התקנות לבריאות הציבור. נמצא כי ריכוזי ה-Co בצמחים שגדלו במצע טוף היה גבוה מאשר בצמחים שגדלו באפר פחם, ואילו ריכוזי ה-Sr היו גבוהים יותר בצמחים שגדלו באפר פחם. חשוב לציין כי שני היסודות הללו אינם נחשבים רעילים. שאר היסודות בעירית דומים בריכוזיהם בין שני סוגי המצעים שעליהם גודלה. עירית ידועה כצמח הקולט מתכות כבדות יותר מצמחים אחרים, ואכן נמצא כי ריכוזי מרבית היסודות גבוהים יותר בעירית בהשוואה לפלפל, בשני המצעים. הבדיקות מוכיחות כי אין בצמחים שנבדקו קליטה מוגברת של יסודות רעילים ביחס למצע טוף, והריכוזים שנמדדו נמוכים באופן ניכר מהסף המותר. משום כך אין חשש להשתמש באפר תחתי כמצע לגידול צמחי מאכל.

3. בדיקת תכולת מתכות בחלקים הנאכלים של ירקות וצמחי תבלין – (פקולטה לחקלאות, ואשל

הנשיא) 2004

מטרת עבודה זו היתה לבחון קליטת מתכות לרקמות המיועדות למאכל אדם, בצמחים הגדלים במצע גידול המורכב מתערובת של אפר פחם תחתי וקומפוסט, להשוות בין ריכוזי המתכות בצמחים הגדלים על מצע זה ומצע המכיל טוף והשוואתם לערכים המותרים על פי הצעות לתקנים ולנתונים של ריכוזים נורמליים בצמחים. הבדיקות בוצעו בגידולים: מלפפון, תות שדה (פרי), חסה ובזיל (עלים). שלושת הגידולים הראשונים גודלו ללא תוספת דשנים וחומרי הדברה ומצע הגידול הורכב מ-60% אפר פחם או טוף ו-40% קומפוסט מזבל בקר (יחסים נפחיים). הבזיל גודל על מצע שהורכב מ-70% אפר פחם או טוף ו-30% קומפוסט מזבל בקר (יחסים נפחיים). היסודות שנבדקו היו Hg, Pb, Cd, Cr, Ni, As, Mo, Li, Ba, B, Al. ריכוזי המתכות הרעילות Hg, Pb, Cd ו-As היו נמוכים מאד ואף זניחים ביחס להצעת התקנות לבריאות הציבור. ריכוזי Ba, Li ו-Al במלפפונים שגודלו על תערובת אפר פחם וקומפוסט היו גבוהים מריכוזם בפרי שגדל בתערובת עם טוף. ממצא דומה נצפה לגבי Ba ו-Li בעלי הבזיל ו-Al ו-Li בעלי החסה. עם זאת, ריכוזי Al (יסוד שאינו נחשב רעיל) במלפפונים לא חרג ביחס לצריכת ה-Al המקובלת לאדם בוגר, וריכוזי Ba ו-Li לא חרגו מהתחום המקובל ונמצאו נמוכים מריכוזים הנחשבים רעילים לצמח. בדיקות אלו מוכיחות כי אין בצמחים שנבדקו קליטה מוגברת של יסודות רעילים והריכוזים שנמדדו נמוכים באופן ניכר מהסף המותר. משום כך ניתן להשתמש באפר התחתי כמצע לצמחי מאכל.

4. בדיקת תכולת מתכות בחלקים במנגו – 2004

בחלקת מנגו במושב יונתן ברמת הגולן, נחפרו תעלות הזנה ומולאו באפר פחם. בטכנולוגיה זו ההשקיה והדישון נעשים על גבי התעלה המלאה בחומר נקבובי, במקרה דנן, אפר פחם, על מנת לשפר את תנאי

ההזנה והאיוורור לשורשים ולאפשר התפתחות מיטבית. נבדקו פירות מנגו שגדלו בחלקה זו ונמצא כי ריכוזי כל היסודות שנבדקו בפירות נמוכים מסף הגילוי של המכשיר ומתחת לסף הרעילות, למעט Al ו-Sr, שאינם נחשבים רעילים.

5. גידול עגבניות צ'רי במצע המכיל אפר פחם ממויין (מושב פצאל, 1998)

בשנת 1998 בחלקה מסחרית בחממה במושב פצאל שבבקעת הירדן נערכה תצפית במסגרתה גודלו עגבניות שרי על שני סוגי מצעים: אפר עם קומפוסט וטוף עם קומפוסט. במהלך תקופת הגידול בוצע ניטור של מי ההשקייה ומי הנקז משני סוגי המצעים. הניטור כלל בדיקת המוליכות החשמלית, ה-pH ויסודות ההזנה. בנוסף, נבדקו מעת לעת גם ריכוזי המתכות במי הנקז ומי ההשקייה. בתום הגידול נמדדו ריכוזי מתכות בפירות.

המתכות שנבדקו במי הנקז ובפירות היו: Al, B, Ba, Cr, Li, Mo, Ni, Pb, Sn, Sr ו-Cd. נמצא כי ריכוזיהן במי הנקז של שני המצעים, דומים ונמוכים מהמותר, למעט Li ו-B שריכוזיהם היו מעט גבוהים יותר במי הנקז שמקורם במצע אפר הפחם, אולם הם אינם רעילים לאדם או לצמחים. בדומה, מרבית ריכוזי היסודות בעגבניות היו נמוכים מערכים מקובלים בספרות. ריכוזי היסודות Ag, As, Be, Co, Se, Ti ו-Ag היו נמוכים מתחת לתחום הגלוי של המכשיר. על סמך ממצאים אלה ניתן לקבוע כי אין בשימוש באפר פחם כמרכיב במצע גידול לעגבניות, כל סכנה בריאותית או סביבתית.

6. בחינת פוטנציאל השחרור של יסודות רעילים מאפר פחם תחתי וקליטתם ע"י צמחי כרוב סיני

(פקולטה לחקלאות, 1998)

תכולת מתכות נבדקה בצמחי כרוב סיני שגודלו על שני סוגי מצעים המכילים אחוזים נפחיים שונים של קומפוסט עם אפר פחם ועם מצע טוף. המתכות שנבדקו הן: Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Li, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti. היסודות Ag, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Li, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti היו נמוכים מסף המדידה. כמו כן, ריכוזי Ni, Co ו-Pb היו נמוכים במיוחד ונמצאו בתחום השגיאה של יכולת קריאת המכשיר. ריכוזי Al, Ba (יסודות שאינם רעילים), Cd ו-Mo, היו דומים בצמחים שגודלו על מצע אפר הפחם בהשוואה למצע הטוף, נמוכים יותר במצע אפר הפחם (Al) ואף מתחת ליכולת המדידה (Cd). בנוסף, הערכים שנמדדו לא חרגו מהתחום המקובל, גם לגבי B. ריכוזי Li היו גבוהים יותר בצמחים שגודלו על מצע המכיל אפר פחם, אך יסוד זה אינו רעיל. כמות ה-Sr בצמחים שגודלו על מצע המכיל אפר פחם, גבוהה מאשר בצמחים שגודלו על מצע המכיל טוף. לסיכום, לא נשקפת סכנה שתהיה קליטה מוגברת של מתכות רעילות ע"י צמחים הגדלים במצע המכיל אפר פחם. לפיכך, ניתן להשתמש באפר פחם כמרכיב במצע גידול לכל סוגי הגידולים, כולל אלה המשמשים למאכל אדם.



פרופ' יונה חון

פקולטה לחקלאות, אוניברסיטה עברית בירושלים

ג. סיכומי בדיקות רדיונוקלידים

1. בדיקת תכולת רדיונוקלידים בתוצרת חקלאית – באחריות גוסטבו חקין, 2004

ריכוזי הרדיונוקלידים הטבעיים ^{40}K , ^{226}Ra ו- ^{232}Th (ביחידות של Bq/kg), נבדקו בגידולים החקלאיים: חסה, בזיל, מלפפון, תות שדה, פלפל ועירית, שגודלו על מצעי טוף ואפר פחם, כדי לקבוע את מידת קליטתם בהם, ולהשוות את ריכוזיהם בין שני סוגי המצעים. התוצאות מראות ריכוזים גבוהים של ^{40}K בארבעת הגידולים הראשונים שגודלו על טוף בהשוואה לאפר הפחם, בפקטור התואם את יחס ריכוז ה- ^{40}K בטוף לעומת אפר הפחם. ריכוזי ^{40}K בפלפל ועירית היו ברי מדידה אך לא מסוכנים. ריכוזי ^{226}Ra ו- ^{232}Th בכל הגידולים היו מתחת לסף המדידה. תוספת המנה המירבית הצפויה מאכילת הגידולים הנ"ל (חסה, בזיל, מלפפון, תות שדה), חושבה בהילקח תנאים קיצוניים לפיהם אדם ניזון מגידולים בהם תכולת כל רדיונוקליד היא 0.2 Bq/kg של חומר יבש (גבול הגילוי), אחוז החומר היבש עומד על 4%, אוכלוסיית הצריכה מעל גיל 17 וצריכת הירקות והפירות לשנה עומדת על 300 ק"ג ו-150 ק"ג בהתאמה. על אף קיום תנאים אלו נמצא כי תוספת המנה מאכילת פירות וירקות היא נמוכה ועומדת על כ-4 μSv לשנה. בדיקה זו מצביעה על הבדל לא משמעותי בריכוזי הרדיונוקלידים בין גידולים על מצע אפר פחם ועל מצע טוף, וריכוז ה- ^{40}K אינו מהווה בעיה מבחינת בטיחות קרינה. לפיכך אין מניעה להשתמש במצע אפר פחם לגידול תוצרת חקלאית מהסוגים שנבדקו, מהיבט של בטיחות קרינה.

2. בדיקת תכולת רדיונוקלידים בעגבניות שרי אשר גודלו במצע המכיל אפר פחם – גוסטבו חקין, 1999

ריכוזי הרדיונוקלידים הטבעיים ^{40}K , ^{226}Ra ו- ^{232}Th (ביחידות של Bq/kg), נבדקו ברסק עגבניות שהופק מעגבניות צ'רי שגודלו על מצעים המכילים אפר פחם וטוף במושב פצאל. התוצאות ממדידת הרדיונוקלידים ברסק העגבניות שגודלו על מצע אפר הפחם, מראות ריכוזים נמוכים ביותר של ^{226}Ra ו- ^{232}Th (ממוצע של <0.4 ו-0.3 Bq/kg, בהתאמה), ואף מתחת לסף הגילוי של המכשיר העומד על 0.4 Bq/kg. ערכים ממוצעים דומים (בטווח השגיאה) נמדדו ברסק העגבניות שגודלו על מצע הטוף, כלומר, גם כן על סף גילוי המערכת. תכולת ה- ^{40}K היתה גבוהה יותר ברסק העגבניות ממצע האפר לעומת מצע הטוף (138.2 ו-125.6 Bq/kg, בהתאמה), אולם ריכוזו אינו רלוונטי מבחינה רדיולוגית. מתוצאות אלו ניתן להסיק כי מצע אפר הפחם לא תרם בצורה מובהקת לעלייה בתכולת הרדיונוקלידים בעגבניות שגודלו עליו. לפיכך אין מניעה מלהשתמש באפר פחם כמרכיב במצע גידול עגבניות צ'רי.

3. בדיקת קליטת רדיונוקלידים בצמחי כרוב סיני שגודלו על מצע אפר פחם ומצע טוף – גוסטבו חקין, 1998

ריכוזי הרדיואיזוטופים הטבעיים ^{40}K , ^{226}Ra ו- ^{232}Th (ביחידות של Bq/kg), נבדקו בצמחים שגודלו על מצעים מתערובות הכוללות אפר פחם תחתי והושוו לריכוזים בצמחים שגודלו על מצעים סטנדרטיים

(תערובות על בסיס טוף), במטרה לקבוע האם קיימת קליטה עודפת של יסודות אלו ע"י הצמח. כמו כן, נמדדו ריכוזי יסודות אלו במצעים לפני ואחרי גידול הצמח. למטרה זו נבחר כרוב סיני, שקצב גידולו המהיר מאפשר לאבחן קליטה עודפת של יסודות. הצמח גודל בשני סוגי המצעים במשך חמישה שבועות, ולאחר מכן עובד והוכנס כחומר טחון יחד עם תערובות המצעים למיכלי מדידה הרמטיים עד שהיסודות ^{226}Ra ו- ^{232}Th הגיעו לשיווי משקל איזוטופי עם "בנותיהם". תוצאות המדידה של היסודות ^{226}Ra ו- ^{232}Th במצעים לפני ואחרי גידול הצמח בהם, מצביעה על הבדלים קטנים מאוד (בהילקח תחום השגיאה) עד כדי חפיפה בין הערכים שנמדדו בכל מצע לפני הגידול ואחרי. ריכוזי ה- ^{40}K בצמחים שגודלו על מצע אפר הפחם היו נמוכים ואינם מהווים כל בעיה מבחינה רדיולוגית. הערכים של ^{226}Ra ו- ^{232}Th שנמדדו בצמחים שגודלו על המצע המכיל אפר הפחם היו נמוכים מאוד ולא חרגו מתחום הריכוזים הטבעיים של היסודות בצמחים באופן כללי. לאור כל זאת, ניתן לומר שלא נמצאה קליטה מועדפת של הרדיואיזוטופים הנבדקים בצמחים שגודלו על מצע אפר הפחם.



גוסטבו חקין

שטח בטיחות קרינה, ממ"ג-שורק