

יפתח ואקנין קינן

המחלקה למשאבי טבע, מנהל
המחקר החקלאי – מרכז וולקני

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

ואקנין י. 2015. גידולים חקלאיים
כמקור בר-קיימא לדלקים ביולוגיים
באזורים יובשניים – חדשנות
ישראלית. *אקולוגיה וסביבה* 6(3).

גידולים חקלאיים כמקור בר-קיימא לדלקים ביולוגיים באזורים יובשניים – חדשנות ישראלית

19 באוקטובר, 2015

גיליון סמיו 2015 / כרך 6(3) / דלקים חלופיים ואנרגיה

חזית המחקר

על קצה המזלג

- שלוש בעיות חריפות שהעולם מתמודד איתן הן: התכלות מאגרי אנרגיית המצבים, הצורך בצמצום פליטת גזי החממה, וגידול מתמיד בכמות המזון שהחקלאים נדרשים לספק.
 - דלקים ביולוגיים בני-קיימא מ"דור שני" עונים על צורכי משק האנרגיה מבלי לפגוע באספקת המזון, אם כי בעירתם כרוכה בפליטות תרכובות פחמימניות.
 - ישנן שיטות שונות להפקת דלקים ביולוגיים, שיכולים לשמש בכלי רכב קיימים ללא הסבת המנוע.
 - מרבית הטכנולוגיות לייצור דלקים ביולוגיים מביומסה ייעודית או מפסולת, טרם הוכיחו היתכנות מסחרית, ונדרש מאמץ של מחקר ופיתוח בתחום.
 - שטחי גידול ביומסה לייצור אנרגיה צפויים להתרכז במדינות המתפתחות באזורים יובשניים עד יובשניים למחצה. לפיכך, למחקר המבוצע בישראל יש יתרון בפיתוח גידולים מתאימים.
- המערכת

תקציר

פיתוח של מקורות אנרגיה חלופיים, ובכללם דלקים ביולוגיים, הפך בשנים האחרונות למטרה חשובה עבור מדינות רבות בעולם. דלקים ביולוגיים עשויים לתרום לפיתוח בר-קיימא בכך שהם תורמים לירידה בפליטה של גזי חממה ומזהמים מסוכנים, הם מספקים רמה מסוימת של ביטחון באספקת האנרגיה והזדמנויות חדשות למקורות הכנסה עבור אוכלוסיות רבות ברחבי העולם.

גידולים שאינם ראויים למאכל, כגון יתרופית קצרת-אונות, קיקיון ומיני איקליפטוס, נחשבים מקורות חשובים ובני-קיימא של חומר גלם לדלקים ביולוגיים, ובו בזמן תורמים לאכלוס מחדש של קרקעות שוליות ולשיפור ההתפתחות הכלכלית-חברתית מבלי להתחרות בייצור של מזון ולפגוע במערכת האקולוגית.

הפיתוח של צמחים אלה ואחרים כמקורות לדלקים ביולוגיים הוא מטרה מרכזית לחוקרים ולחברות מסחריות בעולם ובישראל. עם זאת, למרות הכמות העצומה של מידע שקיימת כיום לגבי צמחים אלה, במיוחד במרשתת (אינטרנט), מעט מאוד מידע מבוסס מחקר ופיתוח קיים וזמין.

המאמר הנוכחי הוא סקירה המתמקדת במחקר ובפיתוח שנעשו במרכז וולקני בעשור האחרון. מוצג בו רקע כללי על דלקים ביולוגיים ועל תהליכי המרה של חומרי גלם ממקורות שונים כדי לייצרם, מוגדרים דלקים ביולוגיים בני-קיימא, ומוצגים שלושה גידולים חדשים המגודלים למטרות אנרגיה שנמצאים בתהליך מתקדם של מחקר ופיתוח במרכז וולקני בישראל.

מבוא

כיום ישנה דחיפות רבה לקדם מדיניות לאנרגיה בת-קיימא בשל המגמות המטרידות בצריכת האנרגיה העולמית, מאגרי אנרגיית המצבים ההולכים ומתכלים, הצורך לצמצם פליטה של גזי חממה ולהתמודד עם ההשלכות ההרסניות של שינוי האקלים, מחירי הנפט הלא-יציבים וחוסר היציבות

הגאופוליטית באזורי האספקה בעולם. לכן, נדרש פתרון יציב וכלכלי, בעיקר לנוכח העלייה הצפויה של 60% בדרישה לאנרגיה לתחבורה ב-2030 בארה"ב, באירופה ובכלכלות התעשייתיות המתפתחות של הודו וסין.

בפרוטוקול קיוטו ב-1997 הועלו מטרות בנות-קיימא בהתייחס לפליטה של גזי חממה, שאשרר האיחוד האירופי ב-2002. מטרות נוספות הוצבו מאז ברחבי העולם כולו (כגון הנחיית ה-"20-20-20" של האיחוד האירופי, הכוללת ירידה ב-20% בפליטת גזי חממה, עלייה בצריכת האנרגיה המתחדשת ל-20% ושיפור של 20% ביעילות השימוש באנרגיה – בהשוואה לרמות ב-1990). כדי להימנע מתלות בנפט וכדי שנוכל לעמוד ביעדים הללו, יש צורך באיתור מקורות אנרגיה לתחבורה שהם נקיים, בטוחים ומשתלמים כלכלית.

המאמר הנוכחי הוא מאמר סקירה, המתאר בתחילה דלקים ביולוגיים למיניהם, ובהמשך עובר לתיאור של חדשנות ישראלית בתחומים אלה בדגש על מחקר ופיתוח שבוצעו בעשור האחרון במרכז וולקני. בסיום ישנו דיון קצר על עתיד פיתוח דלקים ביולוגיים בישראל, עבור ישראל ושאר העולם.

דלקים ביולוגיים – דלקים נפוצים ותהליכי ייצורם

דלקים ביולוגיים הם תחליפי דלק שנוצרים מחומרי גלם שמקורם בחי או בצומח. במדינות מפותחות נתפסים הדלקים הביולוגיים כהזדמנות כלכלית חדשה בשל יכולתם לקלוט עודפי ייצור חקלאי ובו בזמן לשמר יכולות ייצור במגזר הכפרי. זאת ועוד, במדינות מתפתחות יכולים דלקים ביולוגיים לתרום לפיתוח הכפרי ביצירה של מקורות תעסוקה ומקורות הכנסה חדשים, ובהחלפה של ביומסה, שהיא מקור אנרגיה לא יעיל ולא בר-קיימא, במקורות חלופיים ובני-קיימא [3].

ניתן להגדיר דלקים ביולוגיים כבני-קיימא בהנחה שהם עומדים במספר קריטריונים בסיסיים: (א) הם מיוצרים מחומרי גלם מתחדשים; (ב) ההשפעה הסביבתית שלהם נמוכה משמעותית מזו של דלקי מחצבים [2, 8]; (ג) הם אינם מתחרים עם ייצור מזון [5]; (ד) הם משפרים משמעותית תהליכי התפתחות כלכליים-חברתיים [4].

בחינה של דלקים ביולוגיים מ"דור ראשון", המוגדרים ככאלה המיוצרים מגידולי מזון (כגון חיטה, תירס, קנה סוכר, קנולה, סויה, חמניות ודקל השמן), הראתה שהם עדיפים רק במעט על דלקי מחצבים מבחינת החיסכון בפליטת פחמן דו-חמצני ומבחינת ההשלכות השליליות על הסביבה. דלקים ביולוגיים מ"דור שני", המוגדרים כאלה שמיוצרים ממקורות שאינם משמשים למאכל ומבוססים על ביומסה ייעודית (dedicated crops) או על פסולת (כגון עשבים רב-שנתיים, צמחים מעוצים, פסולת חקלאית, פסולת עירונית מוצקה וכו'), נמצאו טובים בהרבה מבחינת הצמצום בפליטה של גזי חממה ומניעת הפגיעה בסביבה (כריתת יערות, פגיעה במגוון הגנטי, תחרות עם מזון ועוד).

עם זאת, מרבית הטכנולוגיות לייצור של דלקים ביולוגיים מ"דור שני", המבוססות על ביומסה ייעודית או פסולת, אינן מפותחות דין ומצריכות מחקר ופיתוח נרחבים לפני שניתן יהיה להשתמש בהן באופן מסחרי. נוסף על כך, שטחי הגידול העתידיים של הגידולים למטרות הפקת אנרגיה צפויים להתרכז במדינות מתפתחות, באזורים יובשניים עד יובשניים למחצה, ולכן ישנה חשיבות רבה בפיתוח של גידולים שיתאימו לתנאים אלה.

ביודיזל

הביודיזל הוא תחליף סולר, המיוצר בעיקר באירופה משמנים מהחי והצומח. הוא מאופיין בערכים גבוהים של קטאן (cetane – מהירות ההצתה של הדלק המקבילה לאוקטן בבנזין) ונקודת בעירה (flash point), כך שהוא מתאים למנועי דיזל ובטוח לאחסון, בהתאמה. הוא אף מספק סיכון למנוע, עובר פירוק ביולוגי באופן טבעי, ואינו מכיל מזהמים כגופרית. עם זאת, יש לו במקרים מסוימים גם ערכי פליטה גבוהים ובלתי רצויים של תחמוצות חנקן (NOx), והעלות של חומר הגלם היא כ-85% מהעלות של ייצור הביודיזל.

ייצור של ביודיזל מ"דור ראשון" נעשה מזה שנים רבות משמן צמחי כגון סויה, קנולה, חמניות, דקל השמן ומשומן בעלי חיים. שימוש בחומרי גלם שאינם משמשים למאכל, כגון שמן מזרעי יתרופית קצרת-אונות (*Jatropha curcas* L.) ושמן המופק מאצות מיקרוסקופיות, הופך בשנים האחרונות

לבעל חשיבות רבה בהיותם מקור לייצור ביודיזל בעתיד שלא מתחרה ישירות בייצור מזון. השיטות לייצור ביודיזל משמנים אלה כוללות בין השאר:

- המרה כימית קטליטית – הטכנולוגיות להמרה כימית של חומר גלם ממקור ביולוגי לדלק נמצאות בשימוש נרחב כבר מהמאה ה-19. בטכנולוגיה של טרנסאסטרופיקציה (transesterification) מגיבים טריגליצרידים (שמנים) עם אלכוהולים קצרי-שרשרת כמתנול או אתנול בנוכחות של זרז (חומצה או בסיס) לקבלת תערובת של מתיל אסטרים של חומצות שומן (FAME – Fatty Acid Methyl Ester), היא הביודיזל, וגליצרול כתוצר לוואי [6].
- המרה ביולוגית קטליטית – שיטה חדשנית יותר וידידותית הרבה יותר לסביבה, היא שימוש באנזימים מפרקי שומנים (ליפאזות) כזרזים בתהליך הטרנסאסטרופיקציה. בשיטה זו ניתן להפריד בקלות רבה יותר את הגליצרול מהביודיזל, ונעשית גם המרה של חומצות שומן חופשיות לביודיזל. עם זאת, עלות האנזים גבוהה, וישנו צורך במחזור האנזים בתהליך הייצור [10].
- המרה לא קטליטית – טכנולוגיות לייצור ביודיזל ללא שימוש בזרז כוללות בין השאר ייצור ביודיזל בתנאים סופר-קריטיים (תנאים של לחץ וטמפרטורה שהגבול בין מצב צבירה נוזלי לגזי מיטשטש בהם), באמצעות מיקרוגל ובאמצעות אולטרסאונד. סקירה נרחבת של שיטות אלה ניתן למצוא אצל [13] Özçimen, Didem, and Sevil Yücel. שיטות אלה ואחרות, יתרון בהיותן ידידותיות הרבה יותר לסביבה מהשיטות שתוארו לפני כן, אולם הן עדיין מאוד יקרות ואינן מפותחות דין כדי שישמשו לייצור ביודיזל בקנה מידה מסחרי.

ביו-אתנול

האתנול הוא תחליף בנזין שעיקר ייצורו בארה"ב (מתירס), בברזיל (מקנה סוכר) ובאירופה (מסלק סוכר). אתנול הוא אלכוהול קצר-שרשרת דליק ביותר, וניתן להשתמש בו טהור או בתמהיל עם בנזין. האתנול רעיל פחות מבנזין, ועובר פירוק ביולוגי באופן טבעי. יתרונו באוקטן הגבוה שלו (129), ובהיותו הרבה פחות מזהם מבנזין או סולר. ייצור של ביו-אתנול נעשה מטיפוסים שונים של ביומסה: סוכר פשוט, עמילן או תאית. אתנול מ"דור ראשון" מיוצר מחומרי גלם המשמשים למאכל, כקנה סוכר, סלק סוכר, וגידולים עמילניים כתירס, חיטה, שעורה ותפוח אדמה. אתנול מ"דור שני" מיוצר מגידולים ליגנו-צלולוזיים, כעץ או עשבים רב-שנתיים, מפסולת חקלאית ועוד. כתלות בסוג החומר, העלות של חומר הגלם היא כשליש מעלות הייצור של האתנול.

ייצור אתנול נעשה בתהליך עתיק יומין של תסיסת סוכרים פשוטים באמצעות שמרים לקבלת אלכוהול, שמופרד מהמים בתהליך של זיקוק. עמילן מצריך שלב ביניים של פירוק באמצעות אנזימים לקבלת סוכרים פשוטים. חומר גלם ליגנו-צלולוזי מצריך שלב ראשוני של הפרדת הליגנין, והוא הרבה יותר קשה לפירוק אנזימטי, ולכן התהליך אטי ויקר יותר.

ביוגז

ביוגז נוצר בתהליך של עיכול אל-אווירני של חומר אורגני באמצעות מיקרואורגניזמים לקבלת תערובת גזית שעיקרה מתאן ופחמן דו-חמצני. הביוגז יכול לשמש לשרפה ישירה (direct combustion) להפקת חשמל וכן כדלק לתחבורה. ניתן להפיקו מכל חומר אורגני הכולל פסולת אורגנית, ואף מביומסה ייעודית.

דלק ביולוגי פירוליטי

דלק ביולוגי פירוליטי הוא שמן ביולוגי המיוצר בשיטה של פירוק חומר אורגני באמצעות חום וללא חמצן (פירוליזה). בשיטה זו משמשת אנרגיית חום להמרה של חומר אורגני למקורות אנרגיה קומפקטיים יותר ועשירים יותר בתכולת האנרגיה כביו-פחם וחומרים נדיפים; חלק מהם נותרים כסינגז (גז סינתטי), וחלק עוברים התעבות לנוזל (שמן ביולוגי) שהוא דלק נוזלי בעל איכות ירודה יחסית. היתרון הגדול של שיטה זו הוא בהפיכת חומר אורגני רב-נפח לחומר גלם עתיר אנרגיה, בעל נפח מצומצם ובר-אחסון.

המרת ביומסה מוצקה לדלק נוזלי, BTL (Biomass to Liquid)

(liquid via Fischer-Tropsch

אחת הדרכים המבטיחות ביותר לייצור של דלקים סינתטיים מביומסה היא שיטת Fischer-Tropsch (FT) הממירה ביומסה מוצקה לדלק נוזלי (BTL), על פי רוב לביודיזל. ייצור דלקים בשיטת FT ממיר בתחילה את חומר הגלם לגז סינתטי שבהמשך מומר לדלק נוזלי. השיטה עובדת עם כל חומר אורגני הכלול פחם, גז טבעי וביומסה. הדלק המתקבל ניתן לערבוב עם דלקים נוזליים. הוא נקי כמעט לחלוטין ממתמחים, אך מחירו יקר יחסית.

חדשנות ישראלית

הדרכים השונות להפיכת חומר גלם ביולוגי לדלק (שרובן תוארו לעיל) תלויות כולן בזמינות של חומר גלם בר-קיימא ובעל עלות נמוכה יחסית. ההבנה כי זהו "צוואר הבקבוק" העיקרי בהווה ובעתיד הובילה את מנהל המחקר החקלאי – מרכז וולקני להחלטה להתמקד בפיתוח של חומרי גלם לייצור דלקים ביולוגיים בדגש על השבחה גנטית ועל פיתוח אגרוטכניקה לממשק גידול מיטבי. לצורך זה הוקם לפני כעשור מרכז מחקר רב-תחומי לפיתוח של גידולים חדשים, והתאמתם לייצור יכול גבוה של דלקים ביולוגיים.

כדי שהדלקים יהיו בני-קיימא ולא יתחרו עם גידולי מזון, נבחרו גידולים שאינם ראויים למאכל ושניתן לגדלם בקרקעות שוליות (כגון קרקעות שאינן משמשות לחקלאות ולבנייה) ועל מים שוליים (מים ממוחזרים או שאינם ראויים לשתיה מסיבות שונות). הייחוד של המחקר והפיתוח במרכז וולקני הוא בשילוב בין חומר גנטי מושבח וממשק אגרוטכני מיטבי המותאמים לתנאי אקלים יובשניים למחצה (semi-arid) עד יובשניים לחלוטין בשילוב עם השקיה ודישון בהתאם לצרכים.

גידולים חדשניים לביודיזל

בחרנו בשני גידולים לשמן המופק מהזרעים והם היתרופית והקיקיון (*Ricinus communis*). היתרופית הוא שיח רב-שנתי, ממשפחת החלבוביים (איור 1א), רעיל, מכיל 20–40% שמן בזרעים [1], ובעל הרכב כימי המראה התאמה גבוהה כחומר גלם לייצור ביודיזל שעומד בדרישות האירופיות המחמירות ביותר. במהלך 15 השנים האחרונות נחקר הצמח רבות בשל הפוטנציאל העצום שלו כחומר גלם לביודיזל [6,7,12,14,15]. מאחר שאין זנים מתורבתים של הצמח בעולם [9], התחלנו בשנת 2006 לבצע מחקר ופיתוח רב-תחומי של הצמח, בישראל, במוזמביק ובברזיל.

במהלך השנים הגענו להישגים בתחומים רבים, ועיקרם:

- השבחה – השתמשנו בשיטות קלסיות של השבחה וברירה בקרב אלפי זרעים ממקורות גנטיים שונים של צמחי-בר, וכן הכלאות בין-מיניות לשם אינטרוגרסיה של גנים משופרים ממינים אחרים. כיום יש בידונו 40 גנוטיפים מצטיינים מבחינת היבול ליחידת שטח והחוסן הפיזיולוגי וחמישה מכלואים בין-מיניים מצטיינים.
- שיבוט (cloning) – כדי לשמר את התכונות המיטביות שהושגו בתהליכי ההשבחה של הצמח, פיתחנו פרוטוקולים פרטניים לשיבוט חומר גנטי מושבח הן בייחורים הן בתרביות רקמה לקבלת צמחים זהים גנטית לצמחי האם המושבחים.
- אגרוטכניקה – ביצענו עשרות מחקרים מרמת תאי הצמיחה והחממה ועד לרמה חצי מסחרית בחצרים ובגילת בארץ ובמוזמביק במזרח אפריקה, וכעת ברשותנו פרוטוקולים פרטניים של צפיפות שתילה, ממשקי השקיה ודישון, גיזום ועיצוב הצמח, נינוס הצמח, עידוד הפריחה והשפעה על מועדה.
- האָבָקָה והפריה – למדנו על דרישות האבקה וההפריה של הצמח וכיצד להגיע למיצוי פוטנציאל הרבייה הגלום בצמח [16,17].
- אפיון כימי מהיר, זול ובלתי הרסני – פיתחנו טכנולוגיות מבוססות NIRS (Near Infrared Spectroscopy) לאפיון כימי של תכולת השמן והחלבון בזרעים [18].

איור 1. צמחי ביודיזל, יתרופית (א) וקיקיון (ב), המפותחים במרכז וולקני: פרחים (1), פרות (2) וזרעים (3). כל קו מתחת לאיור מייצג 1 ס"מ.



איור 1
צמחי ביודיזל, יתרופית (א) וקיקיון (ב), המפותחים במרכז וולקני: פרחים (1), פרות (2) וזרעים (3). כל קו מתחת לאיור מייצג 1 ס"מ.

במחקרי שדה הגענו לפוטנציאל יבול של כ-2.5–3 טונות שמן להקטר (10 דונם). יבולים אלה עולים בעשרות אחוזים על אלה המתקבלים מגידולי השמן למאכל שמשמשים כיום לביודיזל בעולם, כגון סויה, חמניות וקנולה, המספקים יבולים של כ-800 ק"ג, 1.2 ו-1.5 טונות שמן להקטר, בהתאמה.

צמח הקיקיון אף הוא שיח רעיל ממשפחת החלבוביים (איור 1ב), הידוע מזה עשרות שנים כמקור עתיר שמן בארצות כגון ברזיל, סין והודו. אף על פי כן, ממשק הגידול בארצות אלה והזנים הקיימים לא מתאימים לגידול אינטנסיבי ממוכן, ודאי לא באזורים יובשניים או יובשניים למחצה. לכן, הושם דגש על פיתוח זנים חדשים וממשק אגרוטכני אינטנסיבי וממוכן, הכולל זריעה, טיפולי ריסוס, השקיה ודישון, קציר, איסוף והובלה למפעל, שמתאימים לחקלאות מודרנית בהיקפי גידול גדולים. כיום, לאחר דורות רבים של ברירה והכלאות, ברשותנו מספר מכלואים המותאמים לממשק הרצוי, ובעלי יבול שמן גבוה, שווה ערך לפחות לזה המתקבל מיתרופית (כ-2.5–3 טונות שמן להקטר).

גידולים חדשניים לביומסה

בשנת 2010, כאשר ראינו שיש בידינו מוצרים מתקדמים יחסית בתחום הגידולים לביודיזל, החלטנו לרכז מאמץ בתחום נוסף של חומרי גלם לדלקים ביולוגיים: גידולים לכלל הביומסה של הצמח. החלטה זו התבססה על הערכות הולכות וגוברות ברחבי העולם, כי בעתיד עיקר הדלקים הביולוגיים הנוזליים לתחבורה, כאתנול וביודיזל, יהיו מהמרה של הביומסה של כלל הצמח לדלק נוזלי [11]. לאחר סקירה של גידולים שונים עתירי ביומסה בחרנו להתמקד באיקליפטוס המקור (*Eucalyptus camaldulensis*), עץ המשמש לייצור וכן מקור לסיבים לנייר ולתעשיית העץ. מין זה נחקר במרכז וולקני בארבעים השנים האחרונות, והוא היחיד מכל המינים שבדקנו שעבר תהליך רב-שנתי ובהיקף מסחרי של ברירה לייצור של ביומסה. תוצרים גנטיים מתקדמים של פיתוח זה נמצאים ברשות מרכז וולקני, ומשמשים אותנו כיום כבסיס להמשך פיתוח של חומר גנטי עתיר ביומסה וכן לפיתוח של ממשק אגרוטכני ייחודי שמעלה את פוטנציאל הביומסה בעשרות עד מאות אחוזים בהשוואה לגידולים דומים בעולם. בשנים האחרונות אנחנו ממשיכים בהשבחה שלו ובבחינה של ממשק גידול חדשני כדי להגיע לייצור מרבי של ביומסה בצמח (איור 2). תוצאות מקדמיות מצביעות על פוטנציאל יבול בישראל של יותר מ-100 טונות משקל יבש להקטר לשנה. המשמעות היא שביחס המרה לדלק נוזלי של כ-40%, אנחנו צפויים לקבל יותר מ-40 טונות דלק נוזלי (כגון ביו-אתנול, ביודיזל ותחליף לבנזין) להקטר. לשם השוואה לגידולי הביודיזל שתוארו לעיל, הרי שמדובר ביבול דלק הגבוה עד פי עשרה או יותר מיבול מוצלח לביודיזל ועד פי שניים-שלושה מיבול מוצלח לביומסה בגידולים אלה ברחבי העולם.



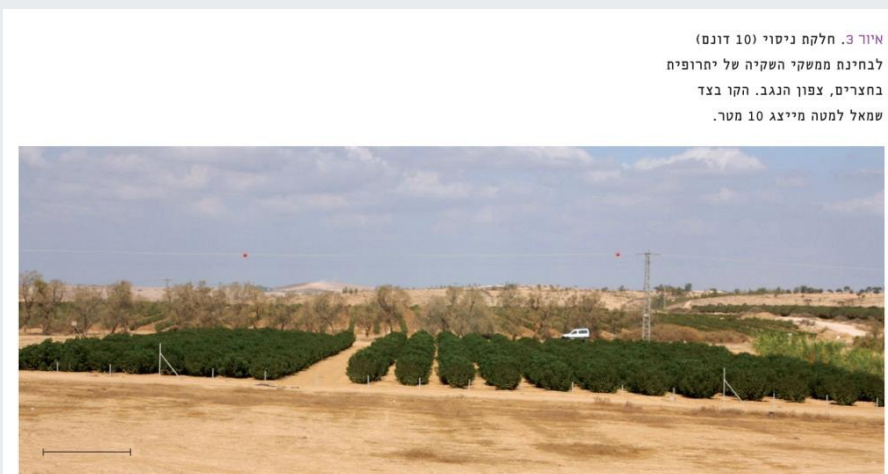
איור 2. חלקת השבחה של איקליפטוס המקור לבימוסה, בגיל 4 חודשים משתילה; השוואה בין יבול רגיל (ביקורת) ליבול משופר בצמחים מושבחים. הקו בצד שמאל למטה מייצג 1 מטר.

איור 2

חלקת השבחה של איקליפטוס המקור לבימוסה, בגיל 4 חודשים משתילה; השוואה בין יבול רגיל (ביקורת) ליבול משופר בצמחים מושבחים. הקו בצד שמאל למטה מייצג 1 מטר.

גידולים בני-קיימא למטרות הפקת אנרגיה בתנאי גידול יובשניים

אזורים יובשניים ויובשניים למחצה מכסים כ-50% מכלל השטחים היבשתיים של כדור הארץ. גידול בתנאים אלה של צמחים למטרות אנרגיה, כיתרופית, קיקיון ואיקליפטוס, עשוי לתרום רבות לסביבה מעבר לחומרי הגלם המתקבלים לביו-אנרגיה; הצמחים יכולים לשמר קרקעות שוליות מאחר ששורשיהם ממחזרים חומרי הזנה ממעמקי האדמה, והם מורידים משמעותית את הסיכון לתהליכי שחיקה ומדבור. מאידך גיסא, לגידול בעל (ללא השקיה) בתנאים אלה סיכויים נמוכים ביותר לשרוד ולהניב יבול משמעותי. על כן, ישנה חשיבות לשילוב של ממשקי השקיה ודישון מתאימים כדי למצות את הפוטנציאל של הצמחים ובאותה עת לשמר את המשאבים הסביבתיים עם נזק סביבתי מזערי. במחקר ארבע-שנתי על ממשקי השקיה לצמח היתרופית, שביצענו בשיתוף עם חברת "נטפים", מצאנו כי לממשקי ההשקיה הייתה השפעה ישירה על התפתחות הצמחים ועל היבול המתקבל, כגון עלייה של מעל 50% ביבול השמן בהשקיה מיטבית בהשוואה להשקיה בחסר (ראו ניסוי בהשקיה בחצרים, [איור 3](#)). תוצאות המחקר משמשות כיום בסיס להנחיות לממשק גידול של הצמח ברחבי העולם.



איור 3. חלקת ניסוי (10 דונם) לבחינת ממשקי השקיה של יתרופית בחצרים, צפון הנגב. הקו בצד שמאל למטה מייצג 10 מטר.

איור 3

חלקת ניסוי (10 דונם) לבחינת ממשקי השקיה של יתרופית בחצרים, צפון הנגב. הקו בצד שמאל למטה מייצג 10 מטר.

עתיד פיתוח גידולים למטרות הפקת אנרגיה בישראל

תוצרי המחקר והפיתוח שמבוצעים במרכז וולקני וכן במרכזי מחקר נוספים בישראל, עתידים לשרת לא רק את מדינת ישראל, אלא אף את מדינות העולם הנחשפות לתנאי גידול יובשניים עד יובשניים למחצה. לידע ולחומר הגנטי שמקורם בישראל ישנה חשיבות עצומה לכלכלת מדינת ישראלית, וכן עשויה להיות להם השפעה על שיפור היחסים עם המדינות בעולם, כמו גם על צמצום התלות העולמית במקורות אנרגיה זרים.

הגידולים לביודיזל – יתרופית וקיקיון – פותחו אמנם בישראל, אך נבחנו גם ברחבי העולם, ומפאת הצורך בשטחים עצומים לגידולם הם אינם מיועדים לגידול בישראל. גידולים לביומסה, מאידך גיסא, עשויים גם לשרת את מדינת ישראל ישירות בשל פוטנציאל היבול הגבוה שלהם, שאינו מחייב שטחים עצומים כדי לקבל כמויות ניכרות של חומר גלם זמין.

כיום בישראל (2015) ישנה לפנינו עוד דרך ארוכה של פיתוח תשתיות מתאימות והסרת חסמי אסדרה (regulation) לפני שניתן יהיה להמיר ביומסה לדלק נוזלי ולהשתמש בה בתחבורה. בארה"ב למשל, ישנה ביקורת רבה על השימוש באתנול מתירס כדלק חלופי, מאחר שמדובר בייצור דלק ממזון לאדם ולבעלי חיים שאינו כלכלי בתנאים הנוכחיים, דבר המחייב סובסידיות ממשלתיות והקלות רבות למגדלים. בד בבד עם השימוש בדלק זה ישנו פיתוח רב-מערכתי בתשתית של ייצור הדלק, באחסונו, בהפצתו ובמכירתו בתחנות הדלק. כמו כן, תעשיית כלי הרכב נערכת בהתאם עם מנועים המותאמים לדלק רגיל ולדלק מועשר באתנול, והאסדרה המאפשרת שימוש בתמהיל עם אתנול כבר נעשתה. המשמעות היא, שכאשר יפותחו בארה"ב חומרי גלם מדור שני לייצור אתנול, המדינה כבר תהיה ערוכה לשימוש בו, ולא יידרשו שנים של פיתוח כדי לקדם זאת. יש להניח כי מאחר שהנושאים הללו מקודמים במשרדי הממשלה השונים, ניתן יהיה להשתמש בביומסה לשרפה ישירה (direct combustion) לייצור חשמל בתחנות כוח מקומיות, וכאשר התנאים יבשילו, ויוקמו מפעלים להמרת ביומסה מוצקה לדלק נוזלי, יהיו ברשותנו הכלים המתאימים כדי לספק ביומסה בכמויות ובמועדים הנדרשים לייצור דלקים נוספים ובכללם דלקים נוזליים לתחבורה.



קציר של מורינגה מכונפת (*Moringa oleifera*) בעמק בית שאן. הביומסה שנקצרת משמשת להפקת דלק ביולוגי | צילום: יפתח ואקנין קינן

מקורות

1. de Oliveira JS, Leite PM, de Souza LB, et al. 2009. Characteristics and composition of *Jatropha gossypifolia* and *Jatropha curcas* L. oils and

- application for biodiesel production. *Biomass and Bioenergy* **33**: 449–453.
2. ESG – Earth System Governance project. 2009. *Constructing sustainable biofuels: Governance of the emerging biofuel economy*. Viewed 21 Nov 2012.
 3. FAO – Food and Agricultural Organization of the United Nations. 2010. *Jatropha: A smallholder bioenergy crop – The potential for pro-poor development*. Integrated Crop Management. Vol. 8. By Brittain R and Litaladio N. Rome.
 4. Francis G, Edinger R, and Becker K. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. *Natural Resources Forum* **29**: 12–24.
 5. GEXSI. 2008. *New feedstocks for biofuels – Global market study on Jatropha – Final Report*. Berlin: GEXSI LLP. Viewed 21 Nov 2012.
 6. Heller J. 1996. Physic nut. *Jatropha curcas* L. promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
 7. Henning RK. 2009. The *Jatropha* System – An integrated approach of rural development. baganí Rothkreuz 11, D-88138 Weissensberg, Germany.
 8. Janulis P. 2004. Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle. *Renewable Energy* **29**: 861–871.
 9. King AJ, He W, Cuevas JA, et al. 2010. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). *Jatropha: A smallholder bioenergy crop – The potential for pro-poor development*. Integrated Crop Management. Vol. 8. By Brittain R, Litaladio N. Rome.
 10. Luque R, Campelo J, and Clark J. 2010. *Handbook of biofuels production: Processes and technologies*. Elsevier.
 11. Naik SN, Goud VV, Rout PK, and Dalai AK. 2010. Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **14**(2): 578-597.
 12. Openshaw K. 2000. A review of *Jatropha curcas*. An oil plant of unfulfilled promise. *Biomass and Bioenergy* **19**:1–15.
 13. Didem Ö, and Yücel S. 2011. *Novel methods in biodiesel production*. INTECH Open Access Publisher.
 14. Parawira W. 2010. Biodiesel production from *Jatropha curcas*. A review. *Scientific Research and Essays* **5**: 1796–1808.
 15. Rao GR, Korwar GR, Shanker AK, and Ramakrishna YS. 2008. Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. *Trees* **22**: 697–709.
 16. Samocha Y, Eisikowitch D, and Vaknin Y. 2014. Pollen source effects on fruit and seed traits of *Jatropha curcas* L. – A renewable biodiesel feedstock. *Bioenergy and Research* **7**:1270-1279.

17. Samra S, Samocha Y, Eisikowitch D, and Vaknin Y. 2014. Can ants equal honeybees as effective pollinators of the energy crop *Jatropha curcas* L. under Mediterranean conditions? *GCB Bioenergy* **6**: 756-767.
 18. Vaknin Y, Ghanim M, Samra S, Dvash L, Hendelsman E, Eisikowitch D, Samocha Y. 2011. Predicting *Jatropha curcas* seed-oil content, oil composition and protein content using near-infrared spectroscopy – A quick and non-destructive method. *Industrial Crops and Products* **34**: 1029–1034.
-