

# זרעי מכלוא -

## הביו-היי-טק המרכזי

הנפח הדולרי של השוק העולמי לזרעים ולזרעי מכלוא מוערך היום ביותר מ-50 מיליארד דולר, והוא צפוי לגדול במהירות בשל הדרישה הגוברת לזרעי עלית. חוקרים ממכון וולקני מציעים להקים מרכז לפעילות ארצית בנושא הביוטכנולוגיה של הרבייה המינית בצמחים, שידגיש ייצור של זרעי מכלוא בעלי ערך מוסף גבוה

**שמאי יצהר, המכון לגידולי שדה, מינהל המחקר החקלאי**

השבחת זני מכלוא FI של גידולים חקלאיים וייצור זרעי מכלוא הם מן הנושאים החשובים ביותר העומדים על הפרק לקראת המאה ה-21. במסמך "חקלאות אחרת", שהוציא לאחרונה משרד המדע והאמנויות, הוגדר ייצור חומר ריבוי כנושא בעל עדיפות עליונה בפיתוח החקלאות והתעשייה החקלאית. הקמת מעבדת תשתית שתעסוק בביוטכנולוגיה של הרבייה בצמחים בדגש על ייצור זרעי מכלוא וחומר ריבוי - היא לכן אסטרטגיה חשובה ביותר למשק הישראלי לקראת המאה הבאה.

זרעי מכלוא של זני עילית הם מוצר בעל ערך מוסף גבוה. לישראל יכולת מוכחת בתחום זה, המוגדר כביו-היי-טק העיקרי של הביוטכנולוגיה החקלאית. הנפח הדולרי של השוק העולמי לזרעים ולזרעי מכלוא מוערך היום ביותר מ-50 מיליארד דולר, והוא צפוי לגדול במהירות בשל הדרישה לזרעי עלית במדינות מתפתחות ומפותחות. שוק זה עשוי להכפיל ואף לשלש את עצמו ב-20 השנים הבאות.

מבחינת השוק הישראלי, המפתח העיקרי להצלחה בייצור זרעי מכלוא הוא פיתוח שיטות שיאפשרו ייצור של 100% צמחים נקביים (נקו הורה נקבי). שיטות כאלה יוזילו את עלות ייצור הזרעים בגידולים כמו עגבניות, פלפל, דלועיים ועוד. הן גם יכולות לפרוץ דרך לייצור בקנה-מידה רחב של זרעי מכלוא בגידולים כמו תירס, כותנה וגידולי שדה אחרים. ללא עקרות זכרית גנטית מתאימה, למשל, אי אפשר לייצר זני מכלוא בגידולים כמו כותנה. גידולי השדה

האקסטנסיביים מהווים את השוק העולמי הגדול של זרעי מכלוא.

## עם היתרונות בייצור זרעי מכלוא בישראל נמנים הקרבה הגיאוגרפית והנגישות לשוק הבינלאומי יחד עם רמה גבוהה מאוד של חקלאות קונוונציונלית

הטכנולוגיה במאמר זה היא שם כללי למספר גישות ושיטות, שיאפשרו להגשים שני יעדים מוגדרים:

א. קבלת אוכלוסייה של 100% צמחים נקביים, כאשר הבקרה על התכונה מבוססת על גנים גרעיניים. שיטה טכנית זו חשובה מאוד, משום שהיא מנסה למנוע אחידות גנטית. אחידות זו מסכנת את הגידולים בשל הגברת רגישותם למחלות ורגישויות אחרות. הצלחה בתחום זה תאפשר הכנסת גידולים חדשים רבים לחוג המכלואים (תירס, כותנה, אורז, סויה ועוד).

ב. החזר פוריות מלא בשלב של דור ה-FI בייצור המסחרי, על מנת לאפשר קבלת יבול מרבי בגידולים, שבהם היבול תלוי בחלק הרפרודוקטיבי (עגבניה, תירס, כותנה). בנושא זה יש היום בעיות בלתי פתירות בחלק מן הגידולים, והן מונעות ייצור זרעי מכלוא. בחלק מן הגידולים החשובים (למשל בחיטה) יש בעיות נוספות, הקשורות במנגנוני

האבקה. גם על בעיות אלה יש להתגבר כדי לאפשר בעתיד ייצור מוצלח של זרעי מכלוא. נושאים אלה יטופלו במרכז המוצע על ידינו בעתיד - כאשר התנאים והיכולות יבשילו.

הענף החדש, ייצור זרעי מכלוא, שיקום על בסיס הטכנולוגיה החדשנית, עשוי להגיע ליצוא בסדר גודל של מיליארדי דולרים. חלק מהייצור יעשה בישראל, אך חלק ממנו יעשה בחו"ל על-ידי חברות ישראליות. יתאפשרו גם התקשרויות של חברות ישראליות עם חברות רב-לאומיות. חישוב זהיר מראה כי בישראל יש שטח של כמיליון דונם, אשר בעזרת מים מושבים (הפרוטנציאל עומד על כ-600-700 מיליון מ"ק) אפשר יהיה לגדל בו זרעי מכלוא ליצוא בסדר גודל של 2-6 מיליארדי דולר בשנה.

## המרכז לביוטכנולוגיה של הרבייה

המרכז לביוטכנולוגיה של הרבייה בצמחים יתמקד במחקרי תשתית בכל ההיבטים הקשורים ברבייה מינית בצמחים: פריחה, מיניות של הפרח או מיניות של הצמח כולו. כן הוא יחקור את ההיבטים ההתפתחותיים של אברי הרבייה, ההפריה, העברת האבקה ואיכות הזרעים והעוברים של תוצרי ההפריה. תכנית העבודה תתרכז בעיקר בהקמת תשתית לייצור זרעי מכלוא. התשתית והפרויקטים יהיו אלה שיש למערכת המחקר בישראל יתרון מקצועי בהם. המרכז יעסוק בהתחלה בצמחי מודל שונים בהתאם למטרותיו ובשיטות ובטכנולוגיות שיתאימו לגידולים שונים.

פיתוח שיטות יעילות לייצור זרעי מכלוא הוא המפתח ליצירת תשתית של תעשיית זרעים גדולה בארץ, שתבטא את הישגי המו"פ



הביוטכנולוגי והטיפוח הקונוונציונלי. זני העילית יכללו גנים לעקת ביוטיות וא-ביוטיות, לאיכות פרי, סיבים וחומרי טבע. תעשיית זרעי מכלוא גדולה תוכל לתת ביטוי כלכלי הולם להתפתחויות במו"פ הביוטכנולוגי שיעשה במרכז, ובמעבדות אחרות ובתעשייה.

## יתרונות הפיתוח של זרעי מכלוא

החקלאות הישראלית עוברת משבר קשה שקשור בשינויים הגיאופוליטיים בעולם, בתהליך השלום באזורנו, בתנאים הפיזיים בישראל (מחסור במים שפירים ובקרע) ובנושאים חברתיים כמו עלות כוח האדם ושינויים במגזר הכפרי.

בסוף שנות ה-80 ובתחילת שנות ה-90 חלו התפתחויות טכנולוגיות ניכרות בארץ ובעולם בנושאים כמו מיקרואלקטרוניקה, אלקטרואופטיקה וביוטכנולוגיה. התפתחויות אלו הגיעו בארץ לרמה גבוהה באקדמיה ובתעשייה ויצרו הזדמנויות חדשות בתחום התעשייה החקלאית.

הביוטכנולוגיה החקלאית מאפשרת פיתוח זנים בעלי איכויות מעולות בתחום הצמחים, בעלי-חיים, חומרי טבע (פיגמנטים), אנטיאוקסידנטים) וחומרי הדברה ידידותיים לסביבה. כמו כן נוצרו בזכותה אפשרויות חדשות בתחום התעשייה החקלאית של תשתיות ושירותי חקלאות המבוססים על אלקטרואופטיקה, מיחשוב וכו'. התעשייה החקלאית עלתה מדרגה גבוהה ביכולתה לנצל תשתיות לפיתוח ענפי יצוא מתוחכמים, שבהם רכיב הידע גדול. זאת מבלי לפגוע בחקלאות המסורתית.

לייצור זרעי מכלוא בישראל כמה יתרונות מכריעים:

\* קרבה גיאוגרפית ונגישות לשוק הבינלאומי, יחד עם הרמה הגבוהה מאוד של החקלאות הקונוונציונלית, של תעשיית התשתיות הקשורות בחקלאות ושל הידע המדעי בתחומי הגנטיקה, ההנדסה הגנטית והביוטכנולוגיה.

\* שטחים גדולים, כמיליון דונם, שאין להם היום שימוש כלכלי וש אפשר לייצר בהם זרעי מכלוא.

\* כ-60% מן המים המשמשים לצריכה ביתית בישראל ראויים לשימוש בחקלאות כמים מושבים. מים אלה אינם ראויים לשמש בגידולים לשוק הטרי, אולם אפשר להשתמש בהם לייצור זרעים. כמויות מים אלה יגדלו בד

בבד עם הגידול באוכלוסייה. \* התרומה הפוטנציאלית של הענף לתחום הכלכלי, החקלאי וההתיישבותי - היא גדולה. הוא עשוי להחזיר לחקלאות את חלקה המכובד במשק הלאומי לצד תעשיות עתירות ידע אחרות.

\* התועלת הכלכלית תתבטא גם בשיפור המוצר על-ידי השבחה קונוונציונלית וביוטכנולוגית: עגבניות משופרות שלהן שיעורים גדולים של ויטמינים וצבע, סיבי כותנה משופרים בעלי צבע טבעי ועוד.

\* זרעי מכלוא הם מוצר מוגן. מאחר שאי אפשר להשתמש בזרעים מן היבול בשדה המסחרי, יש לחזור ולקנות אותם בתחילת כל גידול. יש גם מנגנונים בינלאומיים לרישום פטנטים ולזכויות מטפחים, המגנים על הקניין הרוחני של המפתחים והמייצרים. העיסוק בנושא יעודד את המשך השימור והפיתוח של הידע החקלאי, התופס מקום מכובד ביחסי ישראל עם ארצות שונות.

\* הטכנולוגיה שתפותח במרכז עשויה להיות מוגנת בחלקה הגדול על-ידי פטנטים מתאימים. יש אפשרות לעקוב אחריה להגן עליה מפני פגיעה בזכויות.

\* שימוש במי ביוב מושבים לייצור זרעי מכלוא מגביר את הכדאיות להתפלת מים לאוכלוסייה.

\* ייצור זרעי מכלוא של זני עילית של ירקות ובעיקר של גרעינים יקנה למדינת ישראל יתרונות אסטרטגיים חשובים בכלכלה העולמית.

## מבחנית השוק הישראלי, המפתח העיקרי להצלחה בייצור זרעי מכלוא הוא פיתוח שיטות ייצור של 100% צמחים נקביים, נקו הורה נקבי

### טכנולוגיות ושיטות גנריות

תעשיית הזרעים וחומר הריבוי בישראל גדלה בהתמדה בעשר השנים האחרונות. ישראל מצטיינת בשוקי היצוא של זרעים וחומרי ריבוי בזני ירקות כמו עגבניה, פלפל, מלונים ודלועיים אחרים, בצל, תות שדה וזני פרחים שונים. אבל

הפוטנציאל הגדול טמון בגידולי השדה האקסטנסיביים: תירס, כותנה, חיטה, סלק סוכר, סויה ועוד. כדי להגיע למפנה אסטרטגי יש לפתח יכולות לייצר זני מכלוא של גידולי השדה הללו. יכולות אלו תלויות בפיתוח עקרות זכרית אוניברסלית סינתטית. לאקדמיה הישראלית יש ידע בכמה תחומים בנושא הרבייה המינית, ואת הידע הזה אפשר לפתח לכיוונים בסיסיים ויישומיים.

### הטכנולוגיות המוצעות לפיתוח:

\* הנדסה גנטית של עקרות זכרית סינתטית בגידולים חקלאיים לצורך ייצור זרעי מכלוא. הכוונה לפתח שיטה שתכלול הפעלה של מערך גנים מהונדסים הגורמים לעקרות זכרית אוניברסלית. מערך גנים זה, כאשר יוחדר לקווי הורים בכל הגידולים הרצויים, יאפשר קבלת אוכלוסייה של 100% צמחים עקרים וכן החזר פוריות ל-100% של צמחי המכלוא FI בשדה המסחרי.

\* השראת מוטציות מכוונות במיטוכונדריה ותכנון גנים להחזר פוריות.

החוקרים עוסקים בפיתוח שיטות להשריית מוטציות בגנום המיטוכונדריאלי, אשר יגרמו בין השאר לעקרות זכרית על-ידי גן גרעיני (mutator gene). מערכת כזאת מופעלת היום במעבדה של נורית פירון בשיתוף פעולה עם ד. לנדסדיל מאנגליה. בידוד המוטנטים הוא תהליך מורכב, והוא יאפשר גילוי מערכות חדישות של עקרות זכרית ציטופלסמטית ותכנון גנים מחזירי פוריות.

\* בידוד גנים גרעיניים לעקרות זכרית.

הגנים הגרעיניים לעקרות זכרית הם בדרך כלל רצסיביים. בפרויקט מגניט הוכח (יצהר-פירון), שאפשר להפוך את דרך הפעולה של גנים אלה (בעגבניות) ולגרום לייצור 100% צאצאים בעלי עקרות זכרית, וכמו כן להחזיר את הפוריות בדור F-1. בדרך זו יהיה אפשר לבדוד גנים רצסיביים ודומיננטיים לעקרות זכרית.

\* פיתוח שיטות לטרנספורמציה של מיטוכונדריות.

מערכת בסיסית לטרנספורמציה של מיטוכונדריות היא טכנולוגיה הכרחית שעדיין איננה קיימת בעולם, והיא חשובה מאוד בצמחים. מניפולציה של הגנום המיטוכונדריאלי היא נושא חשוב בביוטכנולוגיה של הרבייה. במרכז וולקני נצבר ניסיון רב



"זרעי מכלוא"

בנושא שינויים בגנום המיטוכונדריאלי. בנושא המניפולציה של הגנום המיטוכונדריאלי עוסקים במרכז וולקני, בין השאר, בשיטות של הנדסה תאית.

\* ביטוי מיני בצמחים.

התפתחות איברי המין בצמחים הוא נושא בעל חשיבות רבה. מנגנון "הביטוי המיני" פועל בכמה מיני גידולים והוא יכול לתרום באופן ישיר לנושא יצור זרעי מכלוא. נושא זה גם קשור להיבטים שונים של התפתחות הפרח והמיניות שלו.

\* איכות זרעים.

מחקר מולקולרי חשוב מאוד בתחום איכות הזרעים. איכות הזרעים קשורה בראש ובראשונה באיכות העוברים המיניים המתפתחים בהם. בין השאר, חשיבות המחקר באמבריולוגיה של צמחים קשורה בהתפתחות עוברים סומאטיים, ובטווח הרחוק יותר - בזרעים מלאכותיים.

המרכז החדש

המכנה המשותף לכל הטכנולוגיות שהוצעו הוא מחקר ביוטכנולוגי בנושאים הקשורים במערכות הרבייה המינית של הצמח. יש היום שיתוף פעולה בין מדענים במרכז וולקני,

באוניברסיטת בר-אילן, בפקולטה לחקלאות, במכון וייצמן ובמוסדות אחרים, וכן יש שיתוף פעולה עם תעשיית הזרעים.

המרכז המוצע יהווה מוקד פעילות ארצי בנושא הביולוגיה של הרבייה המינית בצמחים, בדגש על ייצור זרעי מכלוא. הוא ישתף פעולה בנושא זה עם כל קבוצה באקדמיה או בתעשייה הישראלית והבינלאומית.

אנחנו מצפים כי הידע הגנרי שיווצר במרכז התשתית החדש יעשיר בשטחים מגוונים את קבוצות המחקר בארץ ואת התעשייה הישראלית. המרכז ייזום פרויקטים, שיבשילו לשיתוף פעולה עם התעשייה בשלב מוקדם ככל האפשר.

"השדה"

חוברת ב'

נובמבר 1996