שימו לב!!!

המידע המצוי כאן הוא בגרסה טיוטה בלבד וטרם עבר עריכה מדעית ולשונית!

**מבוסס על ספרי לימוד מאת אשר ורד**

בקובץ זה תוכלו למצוא מידע על **השבחה גנטית וטיפוח של זני צמחים ובעלי חיים**:

**אינטרודוקציה (אקלום) של זנים / גזעים חדשים**- עם דוגמאות של אינטרודוקציה בחקלאות הישראלית : אפרסמון "טריומף", אשכולית אדומה, הדבורה האיטלקית .

**ברירה (סלקציה)**  : ברירה טבעית / ברירה מלאכותית. יצירת ההולשטיין הישראלי .

**השבחה גנטית של צמחים באמצעות הכלאות מכוונות**

**השבחה באמצעות הנדסה גנטית**

**שיבוט**

**מוטציה**

**השבחה גנטית של צמחים ובעלי חיים**

מטרתו של החקלאי לקבל יותר יבול ולשפר את איכות התוצרת. מטרות אלה מושגות באמצעות תהליכי השבחה גנטית (הכלאות מכוונות והנדסה גנטית) בשילוב עם שיפור של השיטות האגרוטכניות.

השבחה של צמחים ובעלי חיים היא פעולה מכוונת הנעשית על ידי האדם, בהשבחה הגנטית נעשה תהליך של שינוי המטען הגנטי של יצורים חיים, כדי לקבל צמחים או בעלי חיים, בעלי פנוטיפים הרצויים לאדם.

מהו היתרון של השבחה גנטית לעומת שיפור שיטות אגרוטכניות?

התוצאה של שפור של שיטות אגרוטכניות כמו: גיזום, דישון, ריסוס במווסתי צמיחה ושיפור מנות מזון בבקר, היא מוגבלת.

שיפור הביצועים שמושג כתוצאה משפור בשיטות אגרוטכניות כאמור מוגבל, וכמו כן השינוי מתרחש **רק ביצור החי המטופל ולא בצאצאיו**. לעומת זאת, בהשבחה גנטית מושג שינוי בתכונות היצור החי והשינוי מועבר גם לצאצאיו.

השבחה גנטית של צמחים ובעלי חיים נעשתה, באופן רציף לאורך ההיסטוריה, על ידי הכלאה מכוונת של זכרים ונקבות בעלי תכונות רצויות.

הפענוח של חוקי התורשה סלל את הדרך כדי להשביח צמחים ובעלי–חיים לצורכי האדם. השבחת צמחים ובעלי חיים היא אחד מתנאי היסוד לקיומה של חקלאות מודרנית ורווחית.

תזכורות על עקרונות הגנטיקה:

[גנטיקה והקוד הגנטי](https://youtu.be/PKuaWJnfZ8c)- אנימציה בעברית

כיצד "עובד" ה DNA – [אנימציה מצויינת](https://youtu.be/FGjj1eqrvj4) עם הסבר בעברית

**השבחת צמחים ובעלי חיים יכולה להיעשות בכמה דרכים:**

1. אינטרודוקציה של זנים / גזעים חדשים.

2. סלקציה בתוך מין / גזע / זן קיים.

3. הכלאה בין גזעים / זנים .

4. טרנסגנזה ( טרנסגני = יצור חי או צמח המכיל DNA זר או DNA מקורי שעבר שינוי)

5. שיבוט (שיבוט הוא תהליך של ייצור תאים או יצורים חיים שלמים (בעלי-חיים, צמחים וכדומה), אשר מבחינה גנטית הם זהים זה לזה - "שבט" של יצורים זהים.

**אינטרודוקציה של זנים / גזעים חדשים**

אינטרודוקציה (אקלום) (introductions) - מעֲבר, בסיוע פעילות אדם, של מינים, תת-מינים וכל חלק בעל פוטנציאל הִתרבות, אל מחוץ לתחום התפוצה הטבעי שלהם. (המונח מתייחס בדרך כלל למעבר בין-מדינתי או בין-יבשתי, אך גם למעבר בין אזורים שונים בתחומי המדינה).

אינטרודוקציה מאפשרת ביסוס של ענף חקלאי. בסוס שיתאפשר כאשר מגדלים מגוון של זנים איכותיים בכל מין.

מהם היתרונות של מגוון זנים מאותו מין?

התאמה לאזורי הגידול השונים, פריסת השיווק לאורך תקופה ארוכה יותר, העלאת סיכויי ההפריה בין הזנים השונים ובעקבות זאת שיפור בגודל הפרי ובכמות הפירות לעץ (למשל בענף המטעים). כמו כן יש בהגדלת המגוון, פוטנציאל להפחתת סיכונים שבהתבססות על זן אחד בלבד.

האינטרודוקציה והאקלום של מינים שונים ובחינת התאמתם לגידול באזורי הארץ השונים היא חלופה זולה ופשוטה יחסית לתהליכי השבחה.

יבוא צמחי תרבות (אינטרודוקציה) מאפיין כל התיישבות אנושית, ואף בארץ היבוא מלווה את ראשית ימי ההתיישבות וממשיך עד לימים אלו. ראשיתו של האקלום בישראל הוא ביבוא צמחים ע"י מוסדות השלטון באמצעות חוקרים שונים, הגנים הבוטניים, משרד החקלאות, קק"ל והמנדט הבריטי, והמשכוֹ בפעילות הולכת וגוברת של גופים עסקיים. כך למשל אקליפטוסים מאוסטרליה הובאו במשך 150 השנים האחרונות כמעט לכל העולם למטרות ייעור ותעשייה.

יש מדענים הטוענים ששימוש מורחב באינטרודוקציה על ידי האדם תהווה בעתיד את אחד הגורמים העיקריים המשפיעים על הרכב הצומח, ותגרום לשינויים בפלורה\* ובפאונה\*\* הטבעיים של הארץ, לא תמיד שינויים לטובה.

\*פלורה (Flora) או צמחייה, היא אוסף כל מיני הבר שנמצאים בחבל ארץ מוגדר ומסוים.

\*\* פאונה- אוכלוסיית בעלי החיים הנמצאת בחבל ארץ מוגדר ומסוים.

**?** כיצד עלול להשפיע אינטרודוקציה של צמחים/בעלי חיים על הצומח והחי הטבעיים במדינה אליה הם מובאים?

תוכלו לקרוא על כך באתרים הבאים:

[משרד איכות הסביבה](http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/Streams/rehabilitationPlanning/Documents/Conference2011/polshim_rivers.pdf)

[החברה להגנת הטבע](https://www.teva.org.il/?CategoryID=918)- סעיף 5

על [אינטרודוקציה של זנים מדרום אפריקה](http://mop-zafon.org.il/sites/default/files/uploads/pdf-files/articles/0052_4.pdf)- מו"פ צפון

**דוגמאות לאינטרדוקציות שנעשו בחקלאות הישראלים:**

**אינטרודוקציה של אפרסמון "טריומף"**

**אפרסמון** (שם מדעי: *Diospyros kaki*), עץ פרי נשיר ולא גדול, המניב פירות כתומים בסוף הסתיו. מוצא האפרסמון מדרום-מזרח סין, והוא משתייך למשפחת ה[אבניים](https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%90%D7%91%D7%A0%D7%99%D7%99%D7%9D) - Ebenaceae. עצי האפרסמון הראשונים הובאו ארצה בראשית המאה העשרים.

לאפרסמון זנים רבים, הנפוצים ברוב הארצות הממוזגות של העולם, שמתחלקים לשתי קבוצות עיקריות: זנים בעלי פרי עפיץ בעודו קשה על העץ, אותם נוהגים להעביר תהליך של הבחלה, וזנים בעלי פרי שאינו עפיץ בעודו קשה על העץ. העפיצות, הקרשת הרוק והמרירות, הנגרמת עקב המצאות הטאנין בפרי, מונעת את אכילת הפרי לפני שהוא בשל לחלוטין ישירות מן העץ ברוב הזנים. כשהפרי בשל, הוא רך מאד, עד כדי מחית.

**אינטרודוקציה של אשכולית אדומה**

עד ראשית שנות השמונים התבסס ענף ההדרים על זני מוטציות מקומיות כמו שמוטי ומיכל, אלו הצליחו לספק את השוק המקומי, אך התקשו להתחרות בזני הקליפים והמנדרינות הספרדיות והאשכוליות האדומות שהחלו להגיע מארה"ב.

את האשכולית האדומה החלו לגדל רק בעולם במאה ה־20, ובתהליך פיתוחה עלתה מתיקות הפרי וצבעו הפך אדום בוהק ומצודד.

**אינטרודוקציה של הדבורה האיטלקית**

הדבורים ששימשו את ענף הדבש בתחילת דרכו היו הדבורים הסוריות המקומיות (Apis mellifera syriaca). הדבורה הזו השתכללה במשך אלפי שנים באזורנו והייתה מותאמת לתנאי הארץ, אקלימה וצמחייתה. היה לה כושר הגנה מרשים נגד אויבים כגון צרעות ובני אדם, כושר עמידות בתקופות של יובש ושרב, הדבורה הסורית נהגה להרבות בהתנחלויות, כאשר המלכה הוותיקה בליווי קבוצת עמלות יוצאת מהקן הישן ומקימה קן חדש. ריבוי ההתנחלויות הייתה דרך מיטבית לשרוד בתנאי הארץ הקשים. חלק מהנחילים, החלשים שבהם, לא שרדו את החורף, אבל החזקים ששרדו הצליחו להמשיך לקיים את הדבורים. דווקא יתרונות ההישרדות של הדבורה הסורית, ובעיקר תוקפנותה ורגזנותה, הפכו אותה לפחות אטרקטיבית למגדלים.

בשנת 1914 הובאה ארצה הדבורה האיטלקית (Apis mellifera liguistica), שלה כמה תכונות טובות ומתאימות לארץ: תנובת הדבש שלה גבוהה, היא שקטה ונוחה לטיפול, לא ממהרת להתנחל בקנים חדשים, ומסוגלת להסתגל לחורף אירופי קר מצד אחד ולאקלים טרופי חם מצד שני.

תהליך החלפת הגזע, כפי שנקרא "תהליך הכנסת הדבורה האיטלקית לארץ", נמשך כשמונים שנה. בתחילה הבתולות האיטלקיות שיצאו למסע הכלולות שלהן, פגשו בחוץ זכרים סוריים — והצאצאים שנולדו מהזיווג הזה היו בעלי תכונות סוריות מובהקות. אולם אט, אט התגברו תכונות הזכרים האיטלקים על הסורים והדבורים המצויות כיום בכוורות בארץ הן איטלקיות לכל דבר.

החלפת הגזע הביא גם להכחדתן של הדבורים הסוריות. הפיכת שטחי הבר לשטחים חקלאיים יחד עם בניית יישובים ותשתיות צמצמו את מקורות הפריחה. עקירת פרדסים והתמעטות צמחי הצוף צמצמו עוד יותר את אפשרויות הדבורים להתקיים בטבע.

בנוסף, השינויים במזג האוויר וריסוסים חקלאיים נגד חרקים הביאו להפחתת נוכחות הדבורה הסורית, שהמשיכה להתקיים באזורי הספר עד להכחדתה הסופית עם הופעת אקרית הוורואה בשנות השמונים של המאה העשרים, ואז היא נעלמה מן הארץ.

שרותי האבקה, המסופקים בעיקר על-ידי דבורים, הכרחיים לקיום חקלאות ומערכות טבעיות כאחד. בשטחי חקלאות מודרנית הרוב המכריע של ההאבקה נעשית על-ידי דבורי דבש (מבויתות).

**ברירה ( סלקציה)**

ברירה היא העדפת פרטים שהם בעלי תכונות מסוימות מתוך אוכלוסייה. הברירה יכולה לפעול רק באוכלוסיות שבהן יש שונות גנטית. ככל שפנוטיפ התכונה מושפע מגורמים גנטיים רבים יותר ופחות מגורמים סביבתיים כך תגדל השפעת הברירה על אותה תכונה.

**ברירה טבעית** (אבולוציה)– ברירת פרטים מתוך אוכלוסייה הנעשית בהשפעת גורמי סביבה. עקרון הברירה הטבעית מתייחס לאבולוציה של מינים שונים בטבע: מי שהכי מתאים לסביבתו שורד ומתרבה וכך מעביר את התכונות האלו הלאה. תכונות שמפריעות להתקיים באותה סביבה לא מועברות לאורך זמן, כי פרטים בעלי התכונות הללו לא שורדים.

[סרטון הסבר](https://youtu.be/YvTFXPHhtFU) על תורת האבולוציה ( עברית)

[תורת האבולוציה](https://youtu.be/cpuepyVvWkA) על רגל אחת- סרטון מצוין

**ברירה מלאכותית**– בחירת פרטים מתוך אוכלוסייה עפ"י תכונותיהם.

ברירה מלאכותית שונה מברירה טבעית - ברירה מלאכותית היא ברירה שעושה האדם, והאדם בוחר את התכונות הרצויות לו (למשל: הפיכת זאבים לכלבים על פני דורות רבים ופיצולם למינים שונים ומשונים).

ברירה מלאכותית היא דרך להשפיע על המערך הגנטי של אורגניזם, כך שיכלול תכונות, שנחשבות לרצויות בעיני יוצר הברירה, או יחסר תכונות בלתי רצויות. תכונות מבוקשות בצמחים הן למשל : פוריות, עמידות לתנאי אקלים מוגדרים, מחלות ומזיקים .

האמצעי לקביעת המבנה הגנטי הוא בחירת פרטים מאותו המין אליו משתייך האורגניזם, שהם בעלי סט התכונות המבוקשות, והכלאתם. כדי לשפר תכונה מסוימת או להכחיד אחרת במידה משמעותית, העוסקים בשינוי גנטי נוהגים לחזור על תהליך ההכלאה משך מספר דורות, עד לקבלת זן בעל תכונות רצויות.

\* מנדרינה מיכל הוא זריע של קלמנטינה שטופח ע"י ב. רוזובסקי מכפר נטר

**גידול אוכלוסיות אחידות**

עם קבלת זן חדש מגיעה תוכנית הטיפוח לסיומה. בשלב זה מעוניין המטפח להפיץ את הזן החדש. לשם כך עליו לגדל אוכלוסיות גדולות ואחידות.

**שלבים בגידול אוכלוסיות אחידות**

**א. רבייה זוויגית בין פרטים דומים ויצירת "זנים טהורים"** - אחידות זו יכולה להוות בעיה בתנאי סביבה משתנים.

**מדוע**?

**ב. רבייה זוויגית בין פרטים שונים-** הכלאת קווים טהורים השונים זה מזה וקבלת הטרוזיגוטים. בהכלאה זו הצאצאים דומים זה לזה אך שונים מהוריהם.

בהכלאה כזו מקבלים זני מכלוא. לעיתים הפרטים ההטרוזיגוטים (זני המכלוא) עולים על הוריהם באון הצימוח ובתנובתם. תופעה זו של עלייה בעוצמת הגידול מכונה "און מכלוא" והיא מנוצלת בחקלאות .

אחד ההסברים לתופעה זו הוא קבלת צירוף מוצלח של מספר אללים דומיננטיים. ההנחה היא שהאללים הדומיננטיים מחפים על אללים רצסיביים לא רצויים.

חסרונות זני המכלוא- אחידות גנוטיפים הגורמת לזנים הללו להיות פגיעים באופן אחיד לשינוי בתנאים סביבתיים ומחלות, את זרעי המכלוא יש לייצר מחדש כל שנה מקווי ההורים ,דבר הקושר את החקלאי לחברות הזרעים .

**דוגמאה לתהליך ברירה מלאכותית בחקלאות הישראלית**

**יצירת ההולשטיין** **הישראלי כגזע בקר לחלב תוך ברירה טבעית (סלקציה)**

הולשטיין (גרמנית: Holstein) הוא זן של בקר, שמקורו בפריזלנד, הולנד, הנפוץ בעולם לייצור חלב. הצבע העיקרי של הפרה מזן זה הוא שחור-לבן, אך ישנו גם זן אדום-לבן הקרוי "הולשטיין אדום". בארצות הברית בלבד מהוות ההולשטיין 90% מאוכלוסיית הפרות לחלב.  
עד ראשית המאה ה-20 היו נפוצים בישראל הזנים המקומיים – ה "בלאדי" וה"דמשקאי", לשם שיפור התנובה הובאו לארץ פרים הולנדיים מגזע ה"פריזי", ומאוחר יותר ה"הולשטיין", ובאמצעותם בוצעה "הכלאת דחיקה" של הגזעים המקומיים. בכל דור חדש אחוז הדם של הבקר האירופי עולה תוך ברירה טבעית, כשכל פרה שאינה מתאקלמת ואינה מגיבה כצפוי – מוצאת מהעדר. השבחה גנטית זו מאפשרת להן לחיות בשלום עם התנאים האקלימיים והסביבתיים בארץ. פרת החלב הישראלית אף הוגדרה כתת-גזע הנקרא " הולשטיין פריזי ישראלי".

השבחה זו הייתה כה מוצלחת עד שהיום נחשבת ההולשטיין הישראלית לפרת החלב המובילה בעולם מבחינת כמות החלב השנתית שהיא מייצרת. בישראל כל פרות החלב כמעט הן מזן הולשטיין.

**השבחה גנטית של צמחים באמצעות הכלאות מכוונות**

המשק החקלאי של האדם מבוסס על טיפוח יצורים מהטבע. בטיפוח, האדם מגדיל את השונות הקיימת באוכלוסייה בעזרת הכלאות מכוונות או בעזרת השראת מוטציות ובורר את היצורים הרצויים לו.

**השבחה באמצעות הכלאות מכוונות (השבחה באמצעות רביה זוויגית )**

**הכלאה :** זיווג מבוקר בין שני צמחים או שני בעלי - חיים מזנים או ממינים שונים מבחינה גנטית, כדי לקבל זן כלאים משובח יותר היורש את התכונות הטובות של שני הוריו.

הכלאה של בעלי - חיים מבוצעת על ידי זיווג של זכר מזן אחד ונקבה מזן אחר.

הכלאה של צמחים מבוצעת על ידי האבקה מכוונת של פרחים מזן אחד באבקה של פרחים מזן אחר. ניתן לעשות זאת על ידי האבקה ידנית של כל פרח בנפרד, או על ידי האבקה טבעית בעזרת דבורים המוכנסות לסככת רשת שבה כלואים עצים מזנים שונים.

\*ההכלאה מוגבלת מבחינת יכולתה לייצר זנים בעלי תכונות מיוחדות היות והיא מתבססת על מאגר תכונות (גנים) נתון שמצוי במין (species) המסוים שבין פרטיו ניתן להכליא. דרך זו אפשרית רק ביצורים המתרבים ברבייה זוויגית .

**מטרות ההכלאה:** שימוש בדור הראשון של הצאצאים שהינו בעל תכונות מצטיינות (און כלאיים), יצירת זנים חדשים, או החדרת תכונות רצויות לזנים מסוימים, העברת תכונות מוגבלת רק לאורגניזמים שניתן להכליא ביניהם.

**הכלאה מכוונת:** אחת הדרכים להשבחה היא באמצעות הכלאה מכוונת. השבחה כזאת נעשית על ידי ברירה בין פרטים שונים, תוך בחירת הפרטים הרצויים למשביחים.

בוחרים צמח או בעל–חיים בעל הפנוטיפ הרצוי של תכונה כלשהי, ומכליאים אותו עם צמח או בעל–חיים בעל תכונה רצויה. לרוב דרושות עוד הכלאות מכוונות, כאשר בכל דור בוררים בין הצאצאים ובוחרים מי יהיו ההורים המשתתפים בהכלאה הבאה. בסופה של סדרת הכלאות מכוונות אפשר לקבל פרטים שמכלול תכונותיהם ( גם הגנוטיפ וגם הפנוטיפ לכל תכונה ) הוא הרצוי לנו.

[סימולציה](https://youtu.be/j-Rm23fse5I) עקרונות ההכלאה- מט"ח

**בהכלאה של פרטים שונים זה מזו מתקבלים זני מכלוא.**

הכלאה של צמחים מתבצעת על ידי האבקה מכוונת של פרחים מזן אחד באבקה של פרחים מזן אחר. ניתן לעשות זאת על ידי האבקה ידנית של כל פרח בנפרד, או על ידי האבקה טבעית בעזרת דבורים המכנסות לסככת רשת, שבה כלואים עצים מזנים שונים.

דוגמה להשבחה גנטית היא בחירת שתילים בעלי תכונה רצויה, והכלאתם עם שתיל בעל תכונה דומה או נוספת, ואז טיפוח וגידול צאצאים בעלי מגוון התכונות הרצוי כזן נבחר.

בשיטת ההשבחה באמצעות הכלאות, טופחו זנים של צמחים שפירותיהם גדולים יותר, שלפירותיהם טעם משופר או צבעים המושכים את העין, שלפרחים שלהם יש צבע או גודל רצויים ועוד, וטיפוח צמחים העמידים בפני הידבקות במחלות שונות הגורמות נזקים ליבולים.

בעזרת השבחה טופחו זנים של בעלי-חיים שונים, כגון: תרנגולות המטילות מספר גדול של ביצים, בקר וצאן שתנובת החלב שלהם גבוהה, או בקר, צאן ותרנגולות (פטמים) המעלים במשקלם במהירות, כך שניתן לשווק את בשרם לאחר תקופת גידול קצרה, סוסים המצטיינים במהירות הריצה שלהם, וכבשים שהצמר שלהן רך למגע. ועוד ועוד.

\* הקליף "אורה" הינו תוצר הכלאה בין מנדרינה דנסי והקליף טמפל, אשר פותח במחלקה להשבחת מטעים במכון וולקני. זן זה מצטיין בטעמו המשובח, הנובע ממיעוט חומצה, אולם הוא לוקה בריבוי זרעים (האור עבר תהליך הקרנה, אשר תרם להפחתת הזרעים).

**"און כלאיים ":** זוהי תופעה של הכלאה בין שני זנים נבחרים בני אותו המין בהכלאה זרה ומבוקרת (הכלאה מבוקרת - משמעותה הפרדה בין התפרחות הזכריות והנקביות למניעת הפריה עצמית) .

ההכלאה המבוקרת גורמת התחזקות ביולוגית והגדלת היבולים בדור הצאצאים - 1F.

לזרעים המתקבלים בהכלאת און - כלאיים קוראים זני מכלוא או זרעי מכלוא.

**זרעי מכלוא :** זרעים שנוצרים מהכלאה בין שני הורים הומוזיגוטיים - 1F , כלומר שהם זני דור ראשון של הכלאה בין צמחי נקבה לצמחי זכר.

**תכונות זני המכלוא:**

" זרעי מכלוא", הם זרעים בעלי צופן גנטי המשמר את התכונות הרצויות של צמח האם (למרות שנוצר ברבייה מינית).- לזרעים כאלה אפשר להקנות תכונות נוספות כגון: עמידות למחלות, הארכת חיי מדף, הסתגלות לטווח טמפרטורות רחב, ותכונות נוספות, כמו: יכולת הזרעים לנבוט מהר, ובצורה אחידה, על-מנת ליצור שדה בעל עומד מלא עם צמחים אחידים בצמחים.

ייצור זרעי מכלוא מחייב האבקה סלקטיבית והעברה של תאי המין הזכריים מקו זכרי פורה לתפרחת נקבית שהפרחים הזכריים בה עקרים.

בהכלאה מכוונת בה רוצים לשלוט מי יהיה ההורה הזכרי ומי ההורה הנקבי ניתן להשתמש במספר שיטות:

**א**. הורדת אברי הרבייה הזכריים באמצעים מכניים, בפרט שאמור לשמש הורה נקבי.

**ב**. שימוש בתופעה "עקרות זכרית" – בצמחים מסוימים (תירס) נוכחות של גנים מסוימים   
במיטוכונדריה גורמים לעקרות זכרית ועוברים בירושה רק בפרטים הנקביים. - פרטים בעלי עקרות זכרית יואבקו ויופרו רק על יד פרטים מזן אחר. כך נמנעת הפרייה עצמית.

בזרעי מכלוא התכונות הייחודיות מתבטאות רק בדור הראשון, לא ניתן להשתמש בדור שני של זרעי מכלוא בגלל התפצלות תכונות.

על מנת לקבל יבול נוסף עם אותן תכונות, חייבים להשתמש שוב בהורים שמהם התקבל זן המכלוא, זני ההורים סודיים וידועים רק לחברות הזרעים, דבר המחייב את החקלאי לקנות זרעים בכל עונה מחדש. אך תכונה זו מאפשרת לשמור על זכויות מטפח הזרעים

**השבחה גנטית של בעלי חיים באמצעות הכלאות**

ביות בעלי חיים הוא תהליך ארוך ואיטי המבוסס על הכלאות מכוונות המדגישות את התכונות הרצויות למביית ומעלימות את התכונות הפחות רצויות.

בתהליך זה חיית הבר משתנה בהדרגה עד להפיכתה לחייה מבויתת. ככל שהביות נמשך מספר דורות רב יותר, כן המרחק הגנטי והשוני בין חית הבר לחיה המבויתת הולך וגדל.

כבר אלפי שנים מזווג האדם זכרים ונקבות, שתכונותיהם מתאימות לצרכיו. הזיווג המכוון נקרא "הכלאה". כאשר נולדים הצאצאים, האדם בוחר מביניהם את הצאצאים בעלי התכונה המבוקשת וממשיך להכליא ביניהם. כך טופחו גזעים של בעלי–חיים שונים, כגון תרנגולות המטילות ביצים רבות , וכבשים שהצמר שלהן רך למגע, ופרות מניבות ביותר.

**דוגמאות להכלאות בחקלאות הישראלית:**

**ההכלאות בין הכבש המקומי מזן "אוואסי" לבין הגזע המיובא מגרמניה "אוסטפריזי" :** כדי להשביח את העדר הובאו מגרמניה כבשים מהגזע אוסטפריזי, והוכלאו עם הגזע המקומי "אווסי", למכלוא שהתקבל קראו `אסף`. גזע זה החליף את כבשת האווסי במשקים המגדלים צאן לחלב במשק החקלאי היהודי. זוהי כבשת החלב הנפוצה בארץ. תנובתה כ-450 ליטר חלב בשנה והיא ממליטה מעל 2 טלאים בשנה.

הכלאה בין גזעים היא הדרך המהירה לקבלת חיה בריאה, חזקה, ובעלת אורך חיים גבוה יותר. כל זאת רק במידה שהייצור המצופה דומה, או נמוך במעט, מהגזע הטהור

הכלאה בין גזעים אינה ויתור מוחלט על הגזע הקיים, והכלאה חוזרת לאחר דור אחד או שניים יכולה לקדם את הטיפוח מהר יותר מאשר בשיטה הקיימת.

**אוואסי** : תת־גזע כבשים השייך לגזע כבש האליה, רוב הכבשים בישראל משתייכים לתת־גזע זה. לאוואסי צמר לבן ארוך ומתולתל. צבע ראשו ורגליו חום. ראשו מאורך ואוזניו תלויות. הנקבות חסרות קרניים בדרך כלל כשלאייל קרניים מפותלות. משקלו של האיל 70-120 ק"ג, משקל הרחלה 50-70 ק"ג. לאוואסי כושר־עמידה טוב בפני תנאי האקלים, והוא מסוגל לרעות גם בשדות קמלים. הרחלה ממליטה בדרך כלל טלה אחד.

**אוסטפריזי (Ostfries)** : גזע כבשים גרמני לבן פנים המסוגל לייצר 600 ליטר חלב בשנה. הכבשה מהגזע האוסטפריזי ממליטה בדרך כלל תאומים. הכבשה מתפתחת מהר, גיזתה כבדה והצמר המופק ממנה מעולה.

**הכלאות בין פרות ג'רסי ופרות הולשטיין :** הכלאה בין גזעים מאפשרת לשפר פוריות ובריאות, דרך יצירת בן כלאיים גנטי. פרת הולשטיין הינה פרה בעלת כושר ייצור חלב גבוה ואילו פרת ג'רסי הינה בעלת כושר ייצור חלב עם אחוז מוצקים גבוה. פרת ג'רסי מאופיינת בהמלטות קלות ובאחוז נמוך של קשיים בהמלטה (דיסטוקיה) בעיקר בהמלטה ראשונה.

תכונה זו הופכת את פרת ג'רסי למבוקשת להכלאות עם גזעים שונים.

**השבחה באמצעות הנדסה גנטית**

[הרצאה מצולמת](https://www.youtube.com/watch?v=7g3Z0sQIp14) של פרופ' ידידיה גפני (שעה)

[על הנדסה גנטית כולל סרטונים בעברית](https://davidson.weizmann.ac.il/online/tikshuv/life_sci/%D7%9E%D7%99-%D7%A8%D7%95%D7%A6%D7%94-%D7%9C%D7%94%D7%99%D7%95%D7%AA-%D7%9E%D7%94%D7%A0%D7%93%D7%A1-%D7%92%D7%A0%D7%98%D7%99)- מכון דווידסון

[מצגת](https://www.slideserve.com/chase-ochoa/6399650) הנדסה גנטית

הנדסה גנטית – מגוון טכנולוגיות מולקולריות המאפשרות להעביר גן שמקורו יכול להיות מכל מין-ביולוגי שהוא, או שיוצר במבחנה, אל מין אחר, ובכך לשנות באופן קבוע את תכונותיו התורשתיות של המין המהונדס. קיום תהליך ההנדסה הגנטית מתאפשר הודות לעובדה ששפת ה- DNAד.נ.א היא שפה אחידה בעולם החי והצומח.

הנדסה גנטית היא שינוי מלאכותי (שלא כדרך הטבע) של ההרכב הגנטי של יצורים ו/או צמחים, בכך שמעבירים אליהם קטעי דנ"א מיצורים אחרים, בכל דרך שאינה הפריה טבעית של ביצית וזרע או הכלאה טבעית על ידי חיידקים.

הדנ"א הוא החומר שקובע את התורשה והתכונות של כל היצורים החיים.

השבחת זנים שונה מהנדסה גנטית. השבחה היא שימוש במאגר של גנים שונים במקצת באותו הזן. כלומר ורד אפשר להצליב עם סוג אחר של ורד אך לעולם לא עם עכבר. אפילו כשזנים שונים, אך דומים במקצת כמו חמור וסוס מצליחים להביא צאצא לעולם, הצאצא יהיה עקר.

בהנדסה גנטית לעומת זאת, כדי ליצור עגבנייה שאינה קופאת נלקח גן מדג ארקטי והושתל בעגבנייה. גן זה מהווה עתה חלק בלתי נפרד ממכלול הגנים, ומכן ולהבא הוא יעבור בתורשה מהורה לצאצאיו.

מעבר של גנים בין מינים לא קרובים לא יקרה בטבע או בהשבחה. קיים הבדל נוסף – בשני המקרים אמנם חלים שינויים בצמחים – אך הקצב שבו נעשה התהליך שונה.

בשנים קודמות הקצב היה איטי ועברו שנים עד שזן חדש היה מוכן לשימוש.

בהנדסה הגנטית ניתן להכניס לשימוש גידול מהונדס תוך תקופה מאוד קצרה, הנמדדת לפעמים בחודשים.

**שינוי גנטי בהנדסה גנטית ע"י החדרת חומר גנטי לתאי הצמח בתרבית**

**יתרונות השיטה :**

\* מתגברים על מחסום המינים הקיים בטבע.

\* השיטה מאפשרת העברת תכונות בין מינים של צמחים רחוקים גנטית (אין מגבלה של קרבה)

\* העברת התכונות אפשרית גם בין אורגאניזמים שונים ( מחיידק , פטרייה, שמר, וירוס , בע"ח לצמחים )

\* ההעברה מבוקרת ונשלטת. בד"כ ניתן להעביר גן בודד ידוע .

\* השיטה מאפשרת יצירת צמח טרנסגני :

- צמח הנושא את הגן החדש בכל תאיו ובכל הרקמות.

- צמח שבו הגן יציב במשך כל חייו

- הגן גם עובר בתורשה לצאצאים של הצמח הטרנסגני

טיפוח זנים חדשים הוא תהליך דינאמי ומתמשך שנועד להתאים את הגידולים החקלאיים הקיימים לצרכים ולתנאי סביבה משתנים.

**היעדים בתהליך הפיתוח של צמחים מהונדסים**

\* מענה מהיר כנגד מחלות צמחים ומזיקים חדשים להם רגישים הזנים הקיימים.

\* התאמה לשינויים סביבתיים.

\* הגדלת היבול ושיפור הערך התזונתי.

\* הקטנת השימוש בחומרי הדברה מזהמים.

\* סיוע בסילוק פסולת רעילה (כמו שיירי חומרי נפץ ומתכות כבדות המהווים זיהום סביבתי חמור).

יצירת מוצרים חדשים מהווה פרק בפני עצמו בהנדסת הצמחים הגנטית, כגון: חומרי חיסון ותרופות אחרות למחלות התוקפות את האדם או את חיות המשק, מיני שמנים תעשייתיים המופקים כעת מבעלי-חיים בלבד (פולימרים פחמימניים בעלי תכונות מבוקשות בתעשייה, ותחליפי חומרים פלסטיים).

גם בשיטות הטיפוח המסורתיות ניתן להשיג חלק מאותם יעדים, אלא שקצב הפיתוח בשיטות אלו לא יענה על דרישות השוק; לעומת זאת, חלק מאותם הפיתוחים אפשרי אך ורק באמצעות הנדסה הגנטית.

**התפתחות ההנדסה הגנטית בצמחים**

השיטה שאפשרה החדרת גנים לצמחים הייתה שימוש בווקטור חיצוני המעביר את הדנ"א אל תוך התאים הצמחיים.

כנשא, משמש חיידק האגרובקטריום – זהו חיידק קרקע החי כטפיל על צמחים ויוצר בהם מעין גידולים סרטניים – עפצים.

מדענים שחקרו את החיידק ואת הבסיס המולקולרי שלו לפטגוניות, גילו שביכולתו של החיידק להחדיר מולקולות דנ"א לתאי הצמחים, בדומה לוירוס.

הדנ"א המוחדר עובר אינטרגרציה לתוך הגנום הצמחי והופך למעשה להיות גן לכל דבר, ועובר בהורשה.

ניתן להשתמש בחיידק כנשא, כאשר מוציאים את התכונות הפטוגניות שלו ומשבטים במקומן גנים שמעוניינים להחדיר.

היכולת להעביר לצמחים גנים זרים וליצור צמחים בעלי תכונות רצויות, מהווה כלי חשוב ביותר לפיתוח זנים חדשים של צמחים בעמידות לעקות ופתוגניים.

אחד המכשולים בשימוש בשיטה, הוא שהאגרובקטריום איננו מבצע החדרת דנ"א לתאים של צמחים חד פסיגיים שעימם נמנה גם התירס. לצורך הינדוסם של החד פסיגיים פיתחו שיטות חלופיות. כיום, נפוצה טכנולוגיית הביוליסטיקה, העושה שימוש בכלי הקרוי "תותח גנים".

בשיטה זו סופחים את מולקולות הדנ"א שמעוניינים להחדיר לתאי הצמח על גבי כדורים מיקרוסקופיים של מתכת. הכדורים מוחדרים לקנה התותח, שניתן להציבו בתוך תא סטרילי במעבדה, והוא מכוון אל רקמת הצמחים.

התותח יורה את הכדורים אל הריקמה במהירות גבוהה ובמרחק קצר, ובחלק מן התאים חודר כדור הנושא את הדנ"א אל תוך הגרעין. חשוב שהתאים אליהם מוחדר הדנ"א יהיו וגטטיביים ובעלי כושר רגנרציה על מנת ליצור צמח שלם

ההבדל העקרוני והיחיד בין השבחה קונבנציונלית להנדסה גנטית, הוא בכך, שהראשונה נעשית בדרך מינית (באמצעות גרגרי אבקה וזרע של הזכר וביציות של הנקבה) ומעבירה גנום שלם (מיכלול החומר התורשתי שמכיל המין) או קבוצות של גנים מיצור אחד לשני בני אותו מין, בעוד שבהנדסה גנטית ניתן להעביר גנים בודדים בלבד לפי בחירה, וההעברה נעשית במעבדה, לכל אחד מתאי הצמח או החי ולא רק לתאי המין.

מבחינות רבות - ולו בשל העובדה שהדבר נעשה במעבדה בצורה מבוקרת - תהליך ההנדסה הגנטית מהיר יותר ומאפשר להימנע מהעברת גנים בלתי-רצויים. כך אפשר גם לחסל את הצמחים הבלתי-רצויים מהר יותר ובאופן יעיל יותר מאשר בתנאי שדה.

הבדל משמעותי נוסף בין שתי שיטות ההשבחה: בהשבחה המסורתית בת מאות ואלפי השנים, נעשתה הברירה של צאצאי ההכלאה המינית בתנאי שדה במשך דורות רבים, בעוד שצאצאי ההנדסה הגנטית נבררים בצורה מדעית, בתוך זמן קצר יחסית ובטרם עברו את מסננת האבולוציה.

הנתונים מעידים שקצב גידול האוכלוסין בעולם מחייב להכפיל ואף לשלש את הייצור החקלאי העולמי.

ההנדסה הגנטית הצליחה להוכיח שניתן להגביר את הייצור החקלאי באופן משמעותי, והעוסקים בתחום מדגישים כי ההנדסה הגנטית יוצרת חקלאות ידידותית יותר לסביבה, שצורכת פחות קרקע, משתמשת בפחות כימיקלים, ובמקביל מבטיחה תנובה גדולה ומזינה יותר ליחידת שטח. אך למרות ההכרח הגלוי שבשימוש בהנדסה גנטית, קיימת התנגדות חזקה ברחבי העולם לשימוש בצמחים טרנסגניים. טיעונים רבים מועלים כנגד השיטה, גם ע"י הציבור הרחב וגם ע"י המדענים.

כיום, עיקר השימוש בגידולים מהונדסים נעשה בארה"ב, שם 60% מהמזון המעובד מקורו בגידולים מהונדסים גנטית. הזנים העיקריים הם סויה, תירס וכותנה.

למרות הפוטנציאל העצום שיש בצמחים טרנסגניים, הוא אינו מנוצל במלואו. מחקרים מוצלחים רבים בתחום נותרים בגבולות המעבדה.

**מהם היתרונות של הנדסה גנטית על פני השבחה קלסית?**

1.קיצור משך הזמן הנדרש לטיפוח זנים- אם מצוי ברשות החוקר גן מבודד בעל חשיבות כלכלית, יצירת צמח הנושא אותו בכל אחד מתאיו הוא תהליך קצר בהרבה מתהליך השבחה המבוסס על הכלאות .

2. שחרור ממגבלות קרבה אבולוציונית- בהנדסה גנטית יכול החוקר לצרף למכלול גנים קיים, גנים ממקורות רחוקים , שאינם ברי הכלאה ואף ממקורות שאינם צמחיים כלל .

3 . ריפוי מחלות תורשתיות שמקורן בגן פגום ע"י החדרת הגן התקין לתאי הגוף של החולה

4. החדרת גנים המצויים בחיידקי קרקע לצמחי חקלאות שיאפשרו להם לנצל את חנקן האוויר לבניית תרכובות אורגניות ( השלכות: הפחתה ברמות דישון והזיהום הסביבתי והפחתת עלויות )

5. החדרת גנים לעמידות נגד מזיקי חקלאות או עמידות בתנאי סביבה ( מליחות גבוהה וכדו')

**הטכנולוגיות המקובלות ליצירת צמחים טרנסגניים**

פיתוח שיטות להנדסה גנטית של צמחים מאפשר להחדיר לגידולים חקלאיים תכונות חדשות הרצויות לצרכנים או ליצרנים.

כדי ליצור צמח טרנסגני (צמח טרנסגני =צמח מהונדס) צמח שאל הגנום שלו צורף חומר תורשתי זר (טרנסגן) באמצעות שיטות של הנדסה גנטית), צריכה להיות אפשרות להכניס מקטע DNA לתוך הגנום של הצמח. תהליך זה נקרא "טרנספורמציה".

**הטכנולוגיות הנפוצות ביותר להשתלת מקטע DNA לתוך הגנום של הצמח**

בכל האורגניזמים החיים, להוציא חלק מהנגיפים (וירוסים), כל גן המכתיב תכונה תורשתית מהווה מקטע מתוך מולקולות הדנ"א המהוות את כלל החומר התורשתי (גנום) של המין-הביולוגי.

שינוי החומר התורשתי באמצעות הנדסה גנטית כולל שלושה שלבים:

\* זיהוי ובידוד גן (מקטע דנ"א) מאורגניזם כלשהו המבקר את התכונה אותה רוצים לשלב בצמח היעד. (לחילופין ניתן לבנות במבחנה גן מלאכותי שיבקר תכונה רצויה של הצמח המהונדס).

\* פיתוח טכנולוגיה להשתלת הגן הזר בגנום של תא של צמח היעד.

\* פיתוח טכנולוגיה ליצירת צמח שלם ופורה מהתא אליו הוחדר הגן הזר.

**1. השיטה "הביוליסטית"- המשלבת טכנולוגיה פיזיקאלית וביולוגית.**

שיטה המאפשרת לעקוף את מגבלות השימוש בפרוטופלסטים ובאגרובקטריום.

בשיטה זאת יוצרים כמות גדולה של עותקי הטרנסגן אותם מצפים על-גבי כדוריות זעירות של מתכת (זהב או טונגסטן). את הכדוריות המצופות בגן יורים באמצעות "אקדח גנים" בסיוע לחץ גז גבוה , ישירות לתוך התאים הצמחיים (רקמה עוברית או מריסטמה). תוך כדי האצת החלקיקים למהירות המאפשרת להם לחדור את דופן התא ללא גרימה למותו. דנ"א המטרה עובר איחוי עם דנ"א התא. לאחר מכן, מבצעים שחזור צמח שלם

יתרונות שיטה זו שהיא אינה תלויה בספציפיות לצמח וניתנת לשימוש בחד פסיגים ומחטנים**.**

**2. התמרה באמצעות חיידק אגרובקטריום מהונדס גנטית.**

באופן מקורי החיידק גורם למחלה בהרבה מיני צמחים ומהווה טפיל אשר במהלך האבולוציה פיתח מנגנון מתוחכם להעברת חלק מהגנים שלו אל גנום תאי הצמח, המשמש כ"פונדקאי" עליו ניזון החיידק.

בשיטות ההנדסה הגנטית שינו את החיידק כך שהוא עדיין מסוגל להעביר מקטעי דנ"א לצמחים, אבל מבלי לגרום למחלה.

הטרנסגן =(גן זר המשולב לגנום של אורגניזם (יצור) באמצעות שיטות של הנדסה גנטית) אותו מעוניינים להעביר לצמח היעד משולב בתוך מולקולת ה"נשא" של החיידק המהונדס.

הדבקת רקמה צמחית בחיידק המהונדס מובילה להעברת מקטע הדנ"א המשולב בנשא אל תוך גנום הצמח (שימוש בחיידק זה מקובל בהנדסה גנטית של צמחים, בבעלי חיים משתמשים בנשאים אחרים).

לצורך העברת גנים מאורגניזם כלשהוא לתא חיידק משתמשים בפלסמיד. זוהי מולקולת ד.נ.א חוץ כרומוזומלית בתא החיידק. הפלסמידים מוחדרים בקלות יחסית , לתא החיידק ועל כן הם מתאימים להיות נשאים המעבירים את הגן הרצוי לתא החיידק .את הפלסמידים שנושאים גנים הרצויים לחקלאי ניתן להחדיר לתאים בודדים, ומהם עתידים להתפתח צמחים. הפלסמידים יכולים לשאת גנים המקנים לצמח תכונות כמו- עמידות למחלות, יצירת חלבונים שונים, להשפיע על גובה היבול וכדומה .

בהמשך, התאים המותמרים (התמרה = תהליך קליטה של ד.נ. א זר שגורם לשינוי בחומר התורשתי של התא ) עוברים ריבוי וברירה, ומהתאים המותמרים נוצר צמח מהונדס.

בטכניקת ההנדסה הגנטית חייב להתקיים שלב של יצירת צמח שלם במבחנה מהתאים הטרנסגנים, לאחר יצירת הצמח ניתן להרבותו בדרך מינית (על ידי זרעים), או באופן אל-מיני.

**3. החדרה ישירה של DNA לפרוטופלסטים**

שיטה זו מחייבת בידוד פרוטופלסטים (תאים חסרי דופן) ואת היכולת לקבל רגנרציה של צמחים מתאים אלה. העברת ה- DNA מתבצעת הן ישירות על ידי עירוב הפרוטופלסטים בתמיסה של DNA, או על ידי נשא DNA (פוליאתלין גליקול, סיליקון קרביד) או על ידי היברידיזציה של ליפוזומים עם פרוטופלסטים.

**4. טרנספורמציה בצמח שלם**

קיימת אפשרות לייצר ולשחזר צמח שלם טרנסגני ואף אלפי העתקים שלו, בפרק זמן קצר יחסית, על ידי החדרת הגן הזר אל תוך הגנום של תא צמחי. בצמחים אלה הגן הזר מצטרף לחומר הגנטי של הצמח ומועבר לצאצאיו, כפי שעוברים בתורשה שאר הגנים של אותו הצמח השינוי הגנטי יופיע בכל תאי הצמח.

**יישומי ההנדסה הגנטית בתחום החקלאות**

הנדסה גנטית היא תהליך בו משנים את ה-DNA של יצור על מנת לשנות את תכונותיו של היצור לפי רצונו של האדם ובהתאם לצרכיו.

התהליך מתבצע באמצעות החדרת DNA שמקורו ביצור אחד או DNA מלאכותי שנוצר במעבדה, אל תוך תאיו של היצור המקבל. ובכך להקנות ליצור ה"מהונדס" תכונה חדשה.

הנשא (וקטור) בו משתמשים להעברת הגן מיצור ליצור הוא פלסמיד או נגיף.

המטרות העיקריות לשימוש בהנדסה גנטית בחקלאות הן השבחת התוצרת החקלאית של הגידולים וחיות המשק באמצעות העלאת כמות התוצרת, וכן שיפור האיכות על ידי העלאת הערך התזונתי ושיפור הטעם. - מטרות נוספות של הנדסה הגנטית בצמחים הן הקניית עמידות בפני מזיקים או תנאי מחיה קיצוניים בבית הגידול.

ההנדסה הגנטית מיושמת בתחום החקלאות והרפואה, ועוד שימושים.

[שיטות הנדסה גנטית](https://youtu.be/mdRXanZIkAg)- סרטו קצר עם תרגום עברי

**ההנדסה הגנטית מאפשרת:**

\* העברת גנים בין יצורים מקבוצות שונות. למשל: העברת גנים מחיידקים לבע"ח.

\* שיפור גנים הקיימים ביצור.

\* השפעה על רמת הביטוי של גנים והזמן בו הם מתבטאים (בקרה על התעתוק).

(\* **תעתוק =** תהליך בביולוגיה של התא שבו מולקולת RNA מיוצרת לפי תבנית של מולקולת DNA**)**

**שיפור הערך התזונתי של התוצרת החקלאית** **:** שיפור הערך התזונתי של התוצרת החקלאית , כגון : פחות שומן בחלב, יותר חלבון בביצים, יותר ויטמינים בירקות.

**שיפור הערך התזונתי לפקעות תפו"א ובטטות :** הוספת גן המקודד לחלבון המכיל חומצות אמינו חיוניות לפקעות תפו"א ובטטות.

**שיפור הערך התזונתי בעגבניות :** מניפולציות גנטיות במסלול הסינתזה של איזופרן הובילו ליצירת עגבניות טרנסגניות המייצרות פי שלושה יותר בטא-קרוטן.

**'אורז מוזהב', מועשר בבטה-קרוטן :** בהנדסה גנטית החדירו לאורז גן היוצר פרו-ויטמין ‏A‏ ‏‏(בטא-קרוטין) – וויטמין חיוני להתפתחות וגדילה ולבניית ‏פיגמנט הראייה.

הפיתוח של זני צמחים עם הרכב כימי משופר, דוגמת 'האורז המוזהב', שמועשר בקרוטן, מביא לתוצר יותר טוב מבחינת הערך התזונתי, דבר שהוא בעל חשיבות גדולה ביותר בארצות דרום-מזרח אסיה, שבהן יש עוני ומחסור במזון 2.5 מיליארד בני אדם צורכים שם יום-‏יום אורז, אלא שמזונם הבסיסי הזה חסר בטה-קרוטן ‏ומסיבה זאת ראייתם של מיליוני ילדים בעייתית, עד כדי ‏סכנת עיוורון. "האורז המוזהב" יכול להצילם**.**

**שיפור טעם וריח של הצומח**

השבחות שונות של הצומח שיפרו את תדמיתו המסחרית אך לא את איכותו. כיום בשיטות של הנדסה גנטית ניתן לצור טעמים מגוונים ושונים ,להשיב לצמח את ´הטעם של פעם´ ואף, ולשנות ריחות של פירות ופרחים שונים..

אחד מהמוצרים הראשונים שעלו למדפים היה עגבניות בעלות חיי מדף ארוכים (השתקה של אנזים המייצר אתילן שאחראי על ההבשלה), אך כתוצאה מכך הן איבדו את טעמן.

ב-1996 הצליחו לבטא גן של שמרים בעגבניות הגורם לביטוי יתר של אנזים האחראי על יצירת הלינולול, שהינו תרכובת נדיפה המשפיעה על איכות הטעם של העגבנייה.

**הגברת ריכוז הליקופן בעגבניות**

הליקופן הוא קרוטנואיד ופיגמנט (צבען) בצבע אדום מבריק ,ליקופן הוא הפיגמנט האדום שנותן לעגבנייה את צבעה. הליקופן הוא אנטיאוקסידנט, - "נוגד חימצון" המונע למעשה את ההתחמצנות של הרדיקלים החופשיים הנמצאים בדם שלנו. כך, הוא בעצם מסייע במניעת סרטן ומחלות לב.- את הליקופן הגוף אינו מסוגל לייצר ולכן יש לצרוך אותו מן המזון.

**הקניית עמידות של תוצרת חקלאית לקרה**

עגבניות, שהוחדרו להן גנים של דגי קוטב, הן עמידות לקרה. ניתן לגדל אותן גם באזורים קרים ולספק מזון לאוכלוסייה המצויה שם.

**הקניית עמידות של תוצרת חקלאית לחרקים מזיקים**

צמחי תירס, שהוחדרו להם גנים שמקורם בחיטת הבר, עמידים יותר לפטריות מזיקות. עמידות זאת מאפשרת להקטין את השימוש בחומרי הדברה רעילים בשדה התירס.

**הקניית עמידות של תוצרת חקלאית ליצירת יותר חלבונים מזינים**

צמחי אורז, שהוחדרו להם גנים שמקורם באפונה, מכילים כמות גדולה יותר של חלבונים, והם עשירים במרכיבים תזונתיים חיוניים. שינוי זה משפר את איכות המזון של בני-אדם, שהאורז הוא מרכיב עיקרי של התפריט שלהם**.**

**שיפור הצבע של הצומח**

הצבע של פרח או של פרי תלוי בהרכב הפיגמנטים שלו. הפיגמנטים נוצרים בעזרת אנזימים. השפעה על אנזים מסוים יכולה לשנות את הצבע. למשל עיכוב צבע אדום מאפשר קבלת פרחים צהובים, וורודים או לבנים.. ההנחיה הכוללנית של אכילת ירקות ופירות בחמישה צבעים נובעת מן הרציונל שלכל צבע יש השפעה בריאותית משלו. מכאן שהוספת פיגמנטים לצמח לא רק תשביח את מראהו אלא גם את איכותו האנרגטית.

**הארכת חיי המדף של פירות וירקות**

את חיי המדף של מוצר חקלאי אפשר להאריך גם על ידי דחיית ההבשלה שלו.

הבשלה מוקדמת של פירות (או פרחים) מתרחשת בהשראת אתילן שהוא מווסת צמיחה.   
כדי להקטין את תכולת האתילן בפירות (וגם בפרחים) ולהאריך את חיי המדף שלהם, מקובל להשתמש בשתי דרכים עיקריות של הנדסה גנטית:

1. ניתן לעכב את הגנים הקשורים ליצור אתילן.

2. ניתן להוריד את הריכוז החומר ממנו נוצר האתילן. פעולה זו מבוצעת על ידי החדרת גן שמקודד לאנזים שמפרק את חומר המוצא.

**הקניית עמידות בפני מזיקים לצמחים**

הקניית עמידות בפני מזיקים לצמחים , לצמצום או מניעת ריסוס בחומרי הדברה רעילים

כיום משתמשים בחלק מהגידולים החקלאיים, כגון: תירס, בצמחים מהונדסים שהוחדר אליהם גן המקנה להם עמידות בפני מזיקים (מזיקים הם חרקים או אורגניזמים אחרים שניזונים מהצמח, וגורמים לירידה בכמות היבול ובאיכותו).

העמידות כנגד החרקים הושגה על ידי החדרת הטרנסגן המייצר בצמח את הרעלן BT toxin, רעלן המיוצר על ידי החיידק Bacillus thuringiensis ופוגע באופן ייחודי במעי החרק ואינו פוגע בחולייתנים, ולכן ראוי לשימוש בהדברה ביולוגית. הגן החיידקי המקודד את יצירת הרעלן (BT toxin gene) שולב בצמחים מהונדסים גנטית. השימוש בצמח הטרנסגני מפחית מאוד את השימוש בחומרי הדברה כנגד זחלי חרקים מזיקים

**שימוש בחיידקים בהנדסה גנטית, שנועד להגן על צמחים מפני מזיקים**

השתלת גן של החיידק Bt שאחראי לייצור רעלן כנגד חרקים מזיקים בצמחים ,מאפשר לצמחים שהושתל בהם הגן לייצר את הרעלן הקוטל את החרקים המזיקים התוקפים אותם.

וכן הגדלת כמות היבול ואיכותו באמצעות יצירת זני צמחים עמידים למזיקים (אליהם הועבר גן ליצירת רעלן מהחיידק Bt).

**טיפוח זנים של צמחים עמידים בתנאי יובש**

טיפוח זנים של צמחים עמידים בתנאי יובש. כמו :העברת גידול פרי-הדר לשולי הנגב**.**

**שינוי צבע בפרחים :** למשל : שינוי צבע של פרח "ציפורן עם גן של פרח " אמנון ותמר "

**יצירת חיסונים אכילים**

בשנים האחרונות החל פיתוח של חיסונים לוירוסים ולאלרגיות בצמחים אכילים, כמו : בננה נגד צהבת, ומלון שמכיל תרכיב נגד כלבת. אכילת הצמח נותנת חיסון בפני רעלנים ספציפיים , מה שיאפשר יכולת החדרת חיסונים בצורה נוחה וקלה דרך מערכת העיכול.

**מניעת יצירת אתילן שגורם להזדקנות פרחים**

פגיעה בגן המקודד את האנזים ACC oxidase מונעת יצירת אתילן שגורם להזדקנות פרחים

**זרעים מהונדסים GMO -(Genetically Modified Organism)**

זרעים שהועברו אליהם גֵנים מן החי והצומח באמצעות פעולה מלאכותית, כדי להשיג תכונות רצויות, כגון: חיי מדף ארוכים, עמידות בפני מחלות ומזיקים וכו'.

**יצירת צמחים עמידים לקוטלי עשבים**

מניעת צמיחת עשבים מזיקים בשטחי חקלאות נחשבת כיום לאחת הבעיות המורכבות בתחום. - צוות משותף של חוקרים מהטכניון ומהאוניברסיטה העברית הצליח לפתח, בשיטות של הנדסה גנטית, צמחים החסינים לקוטלי עשבים. הפיתוח התאפשר באמצעות שילוב של קוטל עשבים חדש עם נוגדן קטליטי המפרק אותו.

בשלב הראשון פיתחו החוקרים קוטל עשבים חדש, אשר ניתן לפרקו באופן קטליטי על ידי נוגדן קטליטי ספציפי. לאחר מכן הם שיבטו את הגֶן של אותו נוגדן בעשב בשם תודרנית לבנה (Arabidopsis thaliana). , לבסוף הראו המדענים, שצמחים טרנסגניים עמידים לחלוטין לקוטל העשבים החדש.

**שבירת מחסום המינים**

ההנדסה הגנטית מאפשרת העברת גנים בין יצורים ממינים שונים. אפשרות זאת מגדילה מאד את מאגר הגנים האפשרי, ומאפשרת לשלוט בצורה טובה יותר בצירוף התכונות של הצאצאים, כי הוא תלוי בגנים שהועברו. זאת, לעומת השבחה באמצעות הכלאות, שבה מאגר הגנים קטן יותר, ואפשר להכליא רק בין זכר ונקבה השייכים לאותו מין**.**

**נינוס צמחים**

שימוש בגנים שפעולתם במגוון צמחים גורמת לנינוס, סיעוף, שיפור השרשה, השריית סינתזה מוגברת של אנטוציאינים, השריית גיוון (ואריגציה) בעלים והשריית שינויי צורה של העלווה.

יצירת פירות ללא זרעים על ידי טיפולים הורמונליים חיצוניים כגון: ריסוסים באוקסין , בג'יברלין , או בציטוקינין.

**ירקות ופירות ללא גרעינים - פרתנוקרפיה**

פרתנוקרפיה יכולה לקרות כמוטציה גם באופן טבעי (כמו אבטיח ללא גרעינים).

היעדר אבקה מונע מעבר גנים ממינים טרנסגנים למינים לא טרנסגנים ע"י החלפת אבקה.

פירות פרתנוקרפיים אינם מסוגלים להתרבות באופן עצמאי .

**עגבניות בעלות עמידות לריכוזי מליחות גבוהים**

ביטוי יתר של גן הנגזר משמרים בעגבניות יצר עגבניות בעלות עמידות לריכוזי מליחות גבוהים (200mM NaCl). גן זה אחראי ליצירת תעלות בררניות על גבי קרום הווקואלות (בועיות) בתאי העגבנייה. - תעלות אלה מכניסות את הנתרן לתוך הבועית וכך מאפשרות לצמח להתמודד עם תנאי המליחות הגבוהים. הנתרן נשמר בעלים ולא בפירות

**שיפור כמות היבול בעזרת הגברת שיעור הפוטוסינתזה**

כמות היבול מושפעת מהגברת שיעור הפוטוסינתזה בצמח. ההנדסה הגנטית נרתמת לאתגר זה בנסותה לשפר את יכולת הצמח לקלוט שמש ולהמירו לאנרגיה שתאפשר בניית רב סוכרים וחומרי תשמורת ואנרגיה נוספים ,וכתוצאה מכך היבול יהיה רב יותר.

**דחיית הזדקנות הצמח**

ככל שהצמח גדל לאורך יותר זמן, זרעיו צוברים יותר פחמימות ולכן היבול גדל, מסיבה זו מנסים לעקב את הזדקנות הצמח. - ציטוקינין הוא חומר המעכב הזדקנות. כשרמתו בצמח יורדת הצמח מבשיל במהירות, פורח, יוצר פירות ונובל. - כדי לדחות את הזדקנות הצמחים, ניסו חוקרים ישראליים למנוע את הירידה שחלה ברמת הציטוקינין לאחר יצירת הזרעים. לשם כך החדירו לצמח גן שמקודד לאנזים במסלול היצירה של ציטוקינין, כשהוא מחובר לפרומוטר שמופעל עם תחילת ההזדקנות. הצמחים שהתקבלו, גדלו בצורה נורמאלית והמשיכו לחיות עוד כמה שבועות לאחר יצירת הזרעים.

**שיפור הרכב השומנים בצומח**

מדענים הצליחו לעכב את הביטוי של גנים במסלול היצירה של שומנים רוויים, וקיבלו זרעי סויה וקנולה, בעלי תכולה גבוהה יותר של שומנים בלתי רוויים, הנחשבים בריאים יותר למאכל. לחלק משמנים אילו יש גם יתרון של יציבות מוגברת המאפשרת להם לשרוד בטמפרטורות יותר גבוהות.

**חמניות המייצרות חלבון קזאין**

קזאין הוא קבוצת חלבונים, המהווה את מקור החלבון העיקרי של הגבינה, הקזאין הוא חלבון מלא ואיכותי.‏ הוא זה שמספק לגוף את כל חומצות האמינו הדרושות לו, כולל שמונה חומצות האמינו שבני האדם אינם מסוגלים לייצר לבדם.‏

**השתלת גן מתאים מקטניות לצמחים אחרים למשיכת חיידקים רצויים**

מולקולות אורגאניות (פחמימות ושומנים) מורכבות מפחמן, מימן וחמצן. חומצות אמינו וחומצות גרעין מכילות גם אטומי חנקן.

כדי לאפשר קשירת חנקן ובכך לצור חומצות אמינו שונות מסתייעים צמחים שונים בחיידקים בשם Rhyzobium . חיידקים אילו חיים בסימביוזה עם הצמח, חודרים לשורשיו ומאפשרים התפתחות פקעית בה מתרחש תהליך של קשירת החנקן מהאוויר תוך הפיכתו לאמוניה. בתמורה הצמח מספק לחיידק פחמימות המשמשות אותו כמקור לאנרגיה. קשירת חנקן בשורשי קטניות (כמו שעועית, אספסת או סויה) משפרת את תנובת הצמח והיבול. העשרת הקרקע בחיידקי Rhyzobium חוסכת בחומרי דישון כימיים ומצמצמת זיהומי קרקע ומי תהום. אך העשרה זו אינה יעילה בצמחים שאינם קטניות.

ייתכן שניתן יהיה להשתיל גן מתאים מהקטנייה לצמחים אחרים או לעודד צמחים מסוימים למשוך אליהם חיידקים רצויים על חשבון חיידקים פחות רצויים שבקרקע.

**שינוי גובה הגבעול בחיטה ואורז**

זני החיטה שגודלו עד שנות השישים של המאה הקודמת היו בעלי גבעולים ארוכים ודקים ולכן התכופפו ונשברו בקלות בתנאי מזג אוויר, ונזק רב נגרם ליבול. הצורך לתבואה רבה יותר הוביל לשימוש בחומרים כימיים שמנעו את התארכות הגבעולים.

בזכות ההנדסה הגנטית בוצעה מוטציה בגן שמווסת את התגובה ל giberlin, שהוא מווסת צמיחה שגורם להתארכות הגבעול.

את הגן המוטנטי הזה הצליחו להעביר גם לצמחי אורז, וצמחי האורז שהתקבלו היו ננסיים. בשיטה זו מקווים להקטין את השימוש במעכבי צמיחה כימיים ונזקיהם לאדם.

**עז המניבה חלב ובו חלבון קרישה אנושי לחולי המופיליה**

ייצור של עז מהונדסת שבבלוטות החלב שלה מיוצר נוגד קרישת הדם אנטי-תרומבין ועוד

**נוגדנים נגד חיידקים מזיקים בתפוחי אדמה "מהונדסים"**

מבודדים גן של מעטפת מחיידקים שגורמים למחלה, ומחדירים אותו לצמחי תפוח-אדמה. מעטפת החיידק אינה מזיקה, אך היא מעוררת בגופנו יצירה של נוגדנים. לכן, מי שאוכל תפוחי אדמה "מהונדסים" כאלה, מייצר בגופו נוגדנים נגד החיידקים המזיקים, והוא מחוסן בפני המחלה

**קרפיונים "מהונדסים", שקצב הגדילה שלהם מהיר יותר**

חוקרים ישראלים רתמו את הטכנולוגיה של ההנדסה הגנטית לפיתוח זן של קרפיונים "מהונדסים", שקצב הגדילה שלהם מהיר יותר מזה של הקרפיונים הרגילים .

1. מדג קרפיון הם בודדו קטע של DNA המכיל מידע הקובע את המבנה של חלבון מסוים - הוא הורמון הגדילה של הקרפיון.

2. מדג סלמון הם בודדו קטע של DNA המכיל מידע הקובע את הקצב המהיר לייצור הורמון הגדילה של הסלמון.

3. את שתי פיסות ה- DNA הם הדביקו זו לזו וקיבלו גן משופר, הגורם לייצור מוגבר של הורמון הגדילה של קרפיון .

4. את הגן המשופר הם החדירו אל דג קרפיון .

התוצאה: קרפיונים "מהונדסים", שקצב הגדילה שלהם מהיר יותר מזה של הקרפיונים הרגילים, לפתרון בעיית המחסור במזון והרעב.

דוגמאות ליישומים שאינם בתחום החקלאות

**חיידקים מייצרים הורמונים אנושיים (אינסולין, הורמון גדילה)**

לקראת סוף שנות השבעים של המאה ה – 20 החל ייצור התרופה הראשונה - אינסולין -בשיטות של הנדסה גנטית. חולי הסוכרת, שזקוקים להזרקה יומית של אינסולין לדמם, נעזרו עד אז באינסולין שהפיקו מבלוטת הלבלב של בקר. ואולם, התהליך היה יקר והכמויות שהופקו היו קטנות. גם השוני בין האינסולין של הבקר ובין זה של האדם גרם בעיות. חוקרים מחברת Genetech בודדו את הגן לחלבון אינסולין, ו"חתכו" אותו מן הדנ"א של האדם בעזרת אנזימי הגבלה, ובו בזמן חתכו פלסמיד של החיידק E.coli, בעזרת אותו אנזים הגבלה.

את הגן לאינסולין, יחד עם קטע נוסף של דנ"א, שנותן הוראה לגן הזר לייצר חלבון, ערבבו יחד עם הפלסמיד החתוך מחוץ לחיידק. הגן של האינסולין התחבר והשתלב בדנ"א של הפלסמיד. הפלסמיד, שהכיל את הגן לאינסולין הוחדר לחיידק E.coli. החיידק הוכנס לתוך מכל שהיה בו קרקע מזון ותנאים מתאימים לגדילה, והוא החל להתרבות. תוך התרבות, יצר החיידק כמויות גדולות של אינסולין. לבסוף "ניקו" את האינסולין בתהליך מיוחד של ניקוי. מאז שיוצר האינסולין, יצאו לשוק עוד תרופות המיוצרות בשיטות דומות של הנדסה גנטית.

**חיסון נגד חיידק האנתרקס,המיועד לשימוש בלוחמה ביולוגית**

מדענים מהמכון הביולוגי בנס ציונה ביצעו באחרונה ניסויים בחיסון נגד חיידק האנתרקס, המיועד לשימוש בלוחמה ביולוגית. מומחים מקווים שהחיסון, שפותח בשיטות של הנדסה גנטית, יוכל בעתיד לספק הגנה מפני החיידק הקטלני. בעזרת הנדסה גנטית, הם השתילו בחיידק גן האחראי על ייצור אנטיגן, שהוא מולקולה חסרת רעילות המגרה את הגוף לייצר נוגדנים הנלחמים בחיידק.

\* לוחמה ביולוגית היא שימוש באורגניזם או רעלן כנשק להשמדה המונית, במטרה להדביק את הקורבן במחלה מתוך מטרה להמיתו, להביאו לאי יכולת לחימה או לפציעתו. - בפיתוח לוחמה ביולוגית משתמשים בדרך כלל במיקרואורגניזם טבעיים ואלימים.- תהליך הפיכתם לנשק כולל: גידול בקנה מידה גדול, ייצובם בנוזל או הפיכתם לאבקה והשמתם בפצצות אוויר או טילים למיניהם.

[נפלאות ההנדסה הגנטית](https://youtu.be/9TvMWVw-SLs)- תאפשר שימוש בפחות חומרי הדברה? סרטון עם תרגום בעברית

**השלכות כלכליות סביבתיות של הנדסה גנטית**

לשימוש בהנדסה הגנטית השלכות כלכליות וסביבתיות. במדינות רבות מתנהל מזה מספר שנים מאבק בין חברות ביו-טכנולוגיה, אשר עוסקות בפיתוח מוצרי מזון וגידולים מהונדסים גנטית לבין ארגונים להגנת הסביבה, אשר חוששים מהשפעות שליליות של השימוש בהנדסה גנטית על הסביבה ובכלל זה על בריאות האדם.

מעבר לסכנות הישירות לבריאות האדם ישנן סכנות עקיפות שייגרמו בעקבות פגיעה בסביבה תומכת חיים.

הכלל המנחה בהתייחסות להנדסה גנטית, שאינו מיושם, צריך להיות שמוצר מהונדס כמוהו כמוצר מזון חדש וככזה חייבת להיות ההוכחה שמוצר זה אינו מזיק. כיום, עדיין לא נחקרו השפעותיו ארוכות הטווח של המזון המהונדס ובפרט השפעותיו על בריאות האדם.

באיחוד האירופי, ובעקבותיו במדינות רבות בעולם, קיימת כבר כיום חקיקה נרחבת, המחייבת סימון של מוצרים הכוללים או מופקים מצמחים שעברו שינויים גנטיים, והמגמה היא של הרחבה מתמשכת של חובת יידוע הציבור באמצעות הסימון.

**האם צריכת מזון שמקורו בהנדסה גנטית מסוכנת לאדם?**

עם התפשטות גידולם של צמחים מהונדסים גברה דאגת הצרכנים. אנשים רבים מסרבים לאכול מזון המכיל מוצרי צמחים מהונדסים מסיבות של אמונה או אידיאולוגיה.

הכללתם של תוצרים טרנסגניים במזון בלתי מסומן שוללת את חופש הבחירה של המתנגדים למוצרים אלה, דבר העשוי להתפרש כפגיעה בחופש ההחלטה של האדם.

בתגובה לחששות הציבור הפיצה תעשיית הצמחים המהונדסים את הטכנולוגיה במדינות המתפתחות והציגה את המהלך כמלחמה ברעב, בתקווה כי הדבר ישפיע על דעת הקהל ויקטין את החשש מפני מזון "מהונדס".

לדעת המתנגדים פיתוח זני צמחים מהונדסים טומן בחובו סכנות, שטרם התממשו, הכוללות:

**1. השפעות בריאותיות לא צפויות**

יש שתי דרכים בהן הנדסה גנטית עשויה להשפיע על בטיחות המזון:

\* שיבוש או אי-יציבות גנים עלולים להביא לייצור רעלנים חדשים.

\* החלבון החדש הנוצר על ידי הגן הזר עלול לגרום לאלרגיות או הרעלות

כאשר בהנדסה גנטית מחדירים גן חדש לאורגניזם, יש לכך "השפעת מיקום", שעלולה להוביל לשינויים לא צפויים בביטוי של הגן המוחדר ובפעילות הגנטית בגלל אי היכולת לבקר להיכן מתבצעת ההחדרה של הגן, כך שמיקומו של הגן משתנה בכל פעם שמחדרים אותו.

החלבון שמתבטא מהגן המוחדר עלול לשאת תגובות לא צפויות ולייצר תוצרים רעילים או להגביר את ייצורם. כך לדוגמא רעילות יכולה להיווצר גם מהחדרה של תכונה ללא כוונה.

צמח שייצר כמות גדולה של רעלנים בעלים ומעט בפירות יכול באופן לא צפוי לרכז את הרעלן בפרי בעקבות החדרה של גן חדש

בחינת המחקרים בנושא, שנערכו כבר בשנות ה- 90, מעלה שקיימת השפעה משמעותית מהמזון המהונדס. הנזק הבריאותי שהוא גורם יכול להיות בלתי הפיך, מכיוון שהשפעתו יכולה להיות גנטית ועוברת בתורשה מהורה לילדיו. הבעיה היא שאין הרבה מחקרים כאלו, מסיבות פוליטיות ומסחריות. רוב המדענים שעסקו בנושא הוזהרו, פוטרו או הושתקו באמצעות תביעות משפטיות, ולכן חוקרים נמנעים מעיסוק רציני בנושא.

**2. אלרגניות של מזון שנוצר בהנדסה גנטית**

הטענות השוללות הנדסה גנטית מבוססות על החשש מתוצאות בלתי צפויות באורגניזמים אותם משנים ובסביבתם, למשל שבמזון ‏מהונדס גנטית ימצאו אלרגנים שקודם לא היו בו.

בתהליך של הנדסה גנטית מכניסים חומרים גורמי אלרגיה ורעלים ידועים ולא ידועים למזונות שלא הכילו אותם בעבר.

קיים קושי גדול בלהעריך ולאבחן גורמי אלרגיות בצמחים מהונדסים, זאת מכוון שהשיטות הקיימות אינן רגישות מספיק (בודקת מספר מועט של רצפי דנ"א) ומוגבלות, ובגלל העובדה הבסיסית שמעבר גנים ממקורות מזון רחוקים גנטית מקשה על הזיהוי של המקור הגורם לאלרגיה.

לדוגמא: סויה מהונדסת המכילה גנים של "אגוז ברזיל" גורמת לתופעות אלרגיות חמורות אצל אנשים שיש להם תגובה אלרגית באופן טבעי לאגוזים. האבחון של תופעה זו נעשה במהירות מכוון שאלרגיות לאגוזים היא תופעה ידועה. במקרים בו המוצר המהונדס מכיל גנים הגורמים לאלרגיות, והמוצר אינו מסומן, האבחון עשוי להיות מסובך יותר, ולכן יהיה קשה לדעת כיצד ולמי תהיה תגובה אלרגית.- או למשל החדרת גנים של בוטנים לצמחים אחרים כדי לעשות אותם עשירים נאמר ‏בחלבון מסוים. אנשים האלרגיים לבוטנים עלולים לאכול ‏בתום לב את הצמח שבדרך כלל מותר להם לאכול ועלולות ‏להתפתח תגובות אלרגיות.

**3. רעילות**

בקטריה שנעשה בה שימוש נרחב היא BT. הרעלן שהיא מייצרת, משמש כרעלן טבעי שמרוסס באופן חיצוני כנגד חרקים הנחשבים כמזיקים לגידולי תירס וכותנה.

ההחדרה של ה-BT למזון חושפת אותנו אליו, בכל פעם שאנחנו אוכלים ממזון מהונדס.

ממחקר שנעשה ב-1999 התברר כי חלק מעובדי חווה שנחשפו לחומר, פיתחו תגובות הכוללות רגישויות בעור ונוגדנים המאפיינים תגובה אלרגית.

**4. העצמת העמידות של חיידקים לתרופות אנטיביוטיות**

נכון להיום אין כמעט אנטיביוטיקה שלא קיימים זני חיידקים שעמידים לה ואפילו לשילובים שלה עם אנטיביוטיקות אחרות.

השימוש בשיטה של החדרת גן לעמידות לאנטיביוטיקה כסמן להשתלבותו של הגן הרצוי בתא, מביא לשילובו של הגן לעמידות לאנטיביוטיקה בצמח ולהעברתו לבקטריה הנמצאת במערכת העיכול של האדם או בע"ח שאוכל את הצמח.

במחקרים שונים נמצאו עדויות התומכות באפשרות כי בקטריה שנמצאת בפה עלולה לרכוש עמידות לאנטיביוטיקה מגנים שהגיעו מהמזון. שאלה זאת מצאה, עקרונית, את פתרונה, כאשר פותח סמן חילופי להחדרת גן זר לצמח מסוים, אם כי עדיין משתמשים בסמנים הישנים יותר.

בגלל השימוש הנרחב באנטיביוטיקה לצורכי רפואה וחקלאות, מתקשים להתמודד עם מחלות מאיימות כמו דלקת ריאות, שחפת וסלמונלה.

**שימוש לרעה**

יצירת חיידקים אלימים עמידים לכל סוגי האנטיביוטיקה, או יצורים מהונדסים אחרים מזיקים, לשימוש כנשק ביולוגי.

**5. עליה ברמה של הרעלנים הטבעיים של המזון**

ישנם מזונות המכילים באופן טבעי כמות מסוימת של חומרים רעילים לאדם, אשר כמותם באופן טבעי אינה גורמת סיכון מצריכתם. לדוגמא ירקות ממשפחת הסולניים, כגון: עגבנייה, חציל, תפו"א וכד'. - במזונות כגון אלו בודקים האם בעקבות ביצוע השינוי הגנטי, חלה עליה ברמת הרעלנים הטבעיים.

**6 . שינוי במרכיבי המזון ובערך התזונתי**

מזונות שעברו שינויים גנטיים עלולים לא להכיל את התערובת של המרכיבים התזונתיים שהייתה בעבר. כל עוד מזון שעבר שינוי לא מסומן, לא תהיה לנו האפשרות לקבל החלטה מודעת כלפי המזון שאנחנו אוכלים. מחקר שנערך בנושא הראה כי בסויה מהונדסת עם גן לעמידות לגלייפוסט (ראונד אפ) חל שינוי ברמות של האיזופלבנוס -Isoflavones (איזופלבונים הם תת-קבוצה מבין מאות רכיבי המזון הנקראים פיטוכימיקלים. פיטוכימיקלים אינם רכיבי מזון חיוניים, אך לא אחת יש להם השפעות בריאותיות חשובות ומיטיבות)

**7. הכנסת גנים שמטרתם לייצר צמחים עמידים לקוטלי עשבים או לחרקים**

גנים אלו מקורם בחיידקים שמייצרים אנזימים שמפרקים את קוטלי העשבים או חיידקים שמייצרים רעלנים נגד החרקים (רעלנים שאינם רעילים לבני אדם). כך, ברגע שיש בשדה צמח עמיד, כלומר שמכיל גן שמפרק את קוטל העשבים או כזה שהורג חרקים, הוא יכול לצמוח בחופשיות - באופן כזה אפשר לרסס שדות בקוטלי עשבים בכמויות גדולות כדי לפגוע בעשבים המזיקים אך לא בגידולים הנחוצים. בסופו של דבר, הרבה מן החומר הזה נשאר באזורים הבין-תאיים של הצמח העמיד (השאר מתפרק בתאים), וכך המזון המהונדס עשוי להכיל כמויות אדירות של קוטלי עשבים. אלו כמובן עשויים להיות הרסניים לבריאות האדם. - דוגמה לחומר שהתברר כבעייתי היא קוטל העשבים ראונדאפ שמחסל צמחים באופן לא סלקטיבי.

באמצעות ההנדסה הגנטית ניתן להכניס גן שהופך צמחים עמידים לראונדאפ, וכך ניתן לרסס בכמויות גדולות את השטח ולחסל את כל הצמחים מלבד אלו המהונדסים גנטית – שנחוצים לחקלאים. אבל מסתבר שהראונדאפ לא פוגע רק בצמחים. אלא גם פוגע משמעותית בתאים אנושיים, גם בריכוזים נמוכים. למשל, הוא גרם לעקה חמצונית בתאי כבד ובתאי שליה ולמותם. על סמך זאת, העלתה במארס השנה הסוכנות הבין-לאומית לחקר הסרטן (IARC) את דירוגו של הגליפוסייט לרמת "כנראה מסרטן".

עמידות בפני חומרי הדברה וקוטלי עשבים תגביר את השימוש בחומרים מזיקים והם עלולים לפגוע בבריאות שלנו, לזהם את הקרקעות ואת מי התהום והנהרות. כמו כן ישנו חשש מפני פגיעה עתידית בבריאות האדם. כיום אין שום אפשרות לדעת אם המזון שאנחנו אוכלים עבר שינויים גנטיים או לא, בכך למעשה נשללת מהאדם יכולת הבחירה שהיא זכות בחברה דמוקרטית. בנוסף לכך לאדם אין זכות מוסרית "לשחק את תפקיד האלוהים" ולשנות תכונות צמחים לפי רצונו

\* למרות שעד היום אין מקרים של מימוש הסכנות המשוערות הכרוכות בפיתוח צמחים טרנסגניים, רוב מדינות העולם הכירו בצורך לקבוע הוראות חוק לפיקוח על הטיפוח, הגידול, והשיווק של צמחים וזרעים טרנסגניים וכן על יצור מזון מהונדס גנטית.

מטרת התקנות והנהלים לאפשר שימוש בטכנולוגיות של הנדסה גנטית לקידום החקלאות תוך הקפדה על שמירת בריאות האדם, ומניעת סכנות לסביבה או לשונות הגנטית הטבעית.

דוגמאות למזונות שמכילים את הגן העמיד לראונדאפ, הם :סויה, נבטי אלפלפא, שמן קנולה, כותנה, תירס, סלק סוכר וחיטה. , שמיוצרים בארה"ב, וחלקם מיובאים לארץ,

[יתרונות הנדסה גנטית](https://youtu.be/8IOKLLtTu14)- ראיון מצולם עם פרופ' ידידיה גפני

[הנדסה גנטית](https://youtu.be/lZGBo2K1cVc) תפטור את בעיה ההלבנה של האלמוגים? סרט

**דילמות מוסריות?**

כיום בישראל אין שום אפשרות לדעת אם המזון שאנחנו אוכלים עבר שינויים גנטיים או לא, בכך למעשה נשללת מהאדם יכולת הבחירה שהיא זכות בחברה דמוקרטית. בנוסף לכך לאדם אין זכות מוסרית "לשחק את תפקיד האלוהים" ולשנות תכונות צמחים לפי רצונו

\* למרות שעד היום אין מקרים של מימוש הסכנות המשוערות הכרוכות בפיתוח צמחים טרנסגניים, רוב מדינות העולם הכירו בצורך לקבוע הוראות חוק לפיקוח על הטיפוח, הגידול, והשיווק של צמחים וזרעים טרנסגניים וכן על יצור מזון מהונדס גנטית.

מטרת התקנות והנהלים לאפשר שימוש בטכנולוגיות של הנדסה גנטית לקידום החקלאות תוך הקפדה על שמירת בריאות האדם, ומניעת סכנות לסביבה או לשונות הגנטית הטבעית.

**טענות המתנגדים לשימוש בהנדסה גנטית**

**1. הפרת האיזון האקולוגי (מעבר לא טבעי של גנים בין אורגניזמים שונים)**

העברת גנים בין הזנים המהונדסים לזני הבר יכולות לגרום לבעיות רבות .

צמחים עמידים מדי בפני קוטלי עשבים וחומרי הדברה, עלולים להשתלט על אזורי גידול נרחבים, על חשבון צמחים אחרים המהווים בתי גידול של מגוון בעלי חיים ולהפר את האיזון האקולוגי. - בקנדה, למשל, זני הבר של קנולה רכשו עמידות לקוטלי עשבים באמצעות העברה גנטית מזנים מהונדסים, והם כיום ה'עשב' העיקש ביותר המפריע לחקלאים.

העברת גנים אפשרית גם בין זנים שונים ואף בין צמחים ובעלי חיים לחיידקים ווירוסים.

אפשרי, לכן שמקטע גנטי מהונדס יעבור ליצור אחר ויגרום שם לפעילות שונה או לא רצויה. מסיבה זו כמעט בלתי אפשרי לדעת מה עלולות להיות ההשלכות של שיחרור זנים מהונדסים במערכת אקולוגית פתוחה.- כמו כן לא ברור כיצד ישפיע השינוי הגנטי על תכונות אחרות של הצמח, כגון: התגובות שלו לשינויים בסביבה.

**2. פגיעה במגוון המינים**

אורגניזמים מהונדסים עלולים להתחרות בפרטים בני אותו המין (שלא הונדסו גנטית), להתרבות ולדחוק את צמחי הבר ובעלי החיים בטבע, או לגרום להם מחלות, וכך לפגוע במערכת האקולוגית.

**3. הקטנת השונות הגנטית**

אורגניזמים מהונדסים עלולים לפגוע בשונות הגנטית וליצור אחידות גנטית רבה מדי.

שינוי משמעותי בתנאי הסביבה עלול לפגוע אנושות במין שפרטיו זהים זה לזה.

**4. אובדן המגוון הגנטי**

חקלאות מבוססת זנים מהונדסים מעצימה את הבעיה המוכרת מהחקלאות הממוכנת - גידול מונוקולטורה (זן יחיד) על פני שטחים נרחבים. בכך נדחקים הזנים המסורתיים בעלי המגוון הגנטי. דבר זה גורם להגברת התלות בשימוש בקוטלי חרקים ומחלות וכן בקוטלי עשבים, כדי להתגונן נגד מזיקים שיכולים להשמיד שדות שלמים של גידולים הומוגניים.

היות המגוון הגנטי מצומצם בכל העולם יכול לגרום לרעב בסדר גודל עולמי ומהווה בעיה בתחום ביטחון המזון העולמי.

**5. עלייה בזיהום של מזון ומי שתייה**

יותר מ 50% מהיבולים שמגודלים ע"י חברות הביוטק מהונדסים לעמידות לקוטלי עשבים. שימוש ביבולים עמידים לריסוס יוביל להגברת השימוש בקוטלי עשבים, שיתבטא בזיהום גדול יותר של המזון והמים באגרוכימיקלים רעילים .

**6. היווצרות "עשבי-על" ("סופר עשבים") העמידים לכל קוטלי העשבים**

קיימת אפשרות ל"בריחת " גנים זרים מצמחים שעברו הנדסה גנטית לצמחי הבר מאותה משפחה שבסביבתם או לאורגניזמים אחרים. דבר כזה עלול לגרום לצמחי הבר לפתח עמידות למחלות וכן עמידות לקוטלי עשבים וכו' .

גרגרי אבקה מהצמחים המהונדסים יכולים לעבור לזני בר קרובים, להפרות את פרחיהם ובדרך זו להעביר אליהם את הגנים החדשים. בדרך זו עלולים להיווצר "עשבי-על", העמידים לכל קוטלי העשבים, בנוסף מינים קיימים יכולים בקלות להידחק מהמערכת האקולוגית דבר שיוביל להשפעה הרת אסון..

**7.הופעת חרקים עמידים והעלמות של חרקים מועילים**

איומים נוספים אפשריים של הצמחים המהונדסים מתמצים בפגיעה בחרקים לא מזיקים ובחרקים מועילים

גידולים רבים מהונדסים על מנת לייצר בעצמם את חומרי ההדברה כנגד מזיקים – עובדה זו תזרז את הופעתם של חרקים עמידים ותוביל להיעלמותם של חרקים מועילים ואורגניזמים שחיים בקרקע, ותערער את המערכת האקולוגית.

חשש אחר הוא שקוטלי החרקים הביולוגיים ‏שהוחדרו לצמחים כמו תירס וסויה עלולים לפגוע גם ‏בחרקים שאינם קהל המטרה – למשל פרפרי המונארך (פרפר המונארך, חי בצפון ארה"ב וקנדה , הוא עושה את המסע הארוך מצפון ארה"ב עד למקסיקו, לבלות שם את חודשי החורף הארוכים ולהתרבות, ואז חוזר צפונה). ‏שלטענת גורמים המתנגדים להנדסה גנטית, נפגעו מקוטלי חרקים אלו ומספרם קטן.

**8. ירידה דרסטית בשיעור חרקים מאביקים**

צמחים המהונדסים גנטית יכולים לשבש את כל המאזן האקולוגי בסביבה אליה הם פולשים. למשל, צמחים המהונדסים גנטית לייצור רעלנים נגד חרקים. אם אלו יתפשטו בבר, הם עלולים להביא לירידה דרסטית בשיעור החרקים המסוגלים להאביק צמחי מאכל באותו אזור.

**9. עמידות**

בשימוש בצמחים המהונדסים גנטית לייצור רעלנים נגד חרקים , קיים חשש שאוכלוסיית החרקים תעבור אבולוציה מהירה, ושהדורות הבאים יהיו מסוגלים להתמודד עם הרעלנים

**10. יצירה לא מכוונת של צמחים/בעלי חיים/חיידקים מזיקים בעלי תכונות בלתי רצויות**

"זליגה" בלתי מכוונת עקב רשלנות של אורגניזמים מסוכנים, כגון: חיידקים מהונדסים עמידים לאנטיביוטיקה ממעבדות המחקר כך יכולים להיווצר מינים של בעלי החיים עמידים לאנטיביוטיקה, או לגרום להם מחלות.

**11. השפעות סביבתיות לא צפויות**

המערך הגנטי ('גנום') הינו מורכב ביותר ובעל השפעות גומלין מורכבות.

החדרה של גן חדש על מנגנוני בקרת הביטוי שלו, יכולה ליצור יחסי גומלין עם גנים אחרים ובכך לגרום לתוצאות לא רצויות.

טכניקת ההחדרה של חומר גנטי לתוך הגנום אינה מאפשרת שליטה על המיקום המדוייק של ההחדרה. כתוצאה מכך החומר המוחדר יכול לפגוע בגנים קיימים או במנגנוני הבקרה שלהם, פגיעה שתבוא לידי ביטוי בייצור חומרים גורמי אלרגיה, עמידות נמוכה לעקה, וכד'.

לעיתים, פגיעות כאלו באות לידי ביטוי בתנאים מסויימים בלבד (יובש, הידבקות במחלה וכד'), לכן יש צורך בבדיקות מקיפות של זנים מהונדסים בתנאים שונים בכדי לוודא שאין פגיעה מהותית בתפקוד. לדוגמא: במחקרים נמצאו רמזים לכך שסויה מהונדסת רגישה יותר לתנאי יובש, ושיכולת קשירת החנקן שלה נמוכה יותר.

**12. חוסר אפשרות להחזיר את המצב לקדמותו**

אם תתגלה השפעה גנטית בלתי רצויה, "זיהום גנטי", אזי קיומה יכול להתמשך לנצח - קשה מאוד להכחיד לחלוטין יצור חי מיקרוסקופי, ועד כה בוצע הדבר רק לגבי אבעבועות שחורות. כאשר מדובר ביצור חי שיכול להשתנות, כמו נגיף השפעת, הסיכוי להחזרת המצב לקדמותו היא אפסית .

מצב זה שונה מאוד מרוב סוגי הזיהום וההפרעה לסביבה הקיימים כיום - כמו זיהום כימי (לדוגמה זיהום אוויר בחומרים רעילים) או הפרעה פיזית (כמו סכר או כביש). מרגע שנפסק גורם הזיהום, כל עוד לא נפגעה המערכת האקולוגית עד לדרגה של נזק בלתי הפיך, תהליכים טבעיים מתחילים לתקן את המצב ולחזור לאט לאט לשיווי משקל אקולוגי שהיה קיים קודם, או לשיווי משקל דומה.

בניגוד לכך, גם אם נפסק השימוש בהנדסה גנטית, הנזק האפשרי מגנים ששוחררו לטבע ממשיך להתקיים באופן בלתי הפיך.

[סרטון של גריינפיס](https://youtu.be/RjzuubDBzfY)  (עברית) שבו מובאים חלק מהטענות של המתנגדים להנדסה גנטית.

[ראיון מצולם](https://www.youtube.com/watch?v=gI2e5Dd7Z10) (אנגלית- תרגום עברית)עם מחבר ספר ש"חושף" את הבעייתיות בהנדסה גנטית ((GMO

**שיבוט (cloning)**

שיבוט (cloning) הוא תהליך של ייצור שבט של תאים או יצורים חיים (בעלי-חיים, צמחים וכדומה), אשר מבחינה גנטית הם זהים זה לזה - "שבט" של יצורים זהים.

השיבוט הוא תהליך שבו משכפלים באופן מלאכותי יצור חי מתא גוף של הורה יחיד.

השיבוט מייצר העתקים של רצפי DNA, תאים, רקמות או אורגניזמים (יצור חי) הזהים באופן מלא, מבחינה גנטית, למקור שעל פיו הם נוצרו.

בשיבוט נוצרים פרטים זהים זה לזה ("שבט") שלא בדרך מינית, כלומר לא ע"י איחוי תא ביצית עם תא זרע.

**המדענים למדו לבצע שיבוט מלאכותי בשתי דרכים עיקריות**

**1. הפרדת תאים של ביצית מופרית** - זמן קצר לאחר שביצית מופרית מתחילה להתחלק לתאים, מפרידים בין התאים שהתחלקו ומאפשרים לכל אחד מהם להתפתח בנפרד. כך מקבלים שבט של תאים, של רקמות ואפילו של יצורים שלמים - כולם זהים מבחינה גנטית.

**2. החלפת הגרעין בביצית לא-מופרית** - מביצית לא-מופרית מוציאים את המטען הגנטי (הגרעין) ומכניסים לתוכה גרעין של תא-גוף ממקור אחר. אחר-כך גורמים לביצית להתחלק ולהמשיך להתפתח לעובר. מבחינה גנטית העובר זהה למקור ממנו נלקח גרעין התא. כך שובט לראשונה, בשנת 1996, בעל-חיים ממחלקת היונקים: הכבשה דולי.

**ישנם שני סוגי שיבוט**

1. שיבוט בטבע.

2. שיבוט מלאכותי - שבנוי משלושה סוגים: א. שיבוט בהעברת גרעין תא סומטי. ב. שיבוט על ידי פיצול העובר. ג. שיבוט מולקולרי.

**שיבוט בטבע**

תהליכי שיבוט מתרחשים לעתים גם בטבע - בבעלי-חיים ובצמחים. שיבוט מתרחש בטבע באופן תכוף ברוב האורגניזמים החד-תאיים, לדוגמה בבקטריות, בארכאות ובסוגים רבים של אצות ופטריות - שמשבטים את עצמם בדרך כלל בחלוקת תא בינארית, ולעתים, כמו בשמרים - בהנצה של תא בת מתוך תא אם.

תאומים זהים הם תוצאה של שיבוט טבעי. הם נוצרים מפיצול של ביצית מופרית לשני עוברים זהים מבחינה גנטית.

**שיבוט מלאכותי**

שיבוט מלאכותי הוא סוג שיבוט שבו מקור החומר הגנטי הוא תא סומטי (תא שאינו תא רבייה). בשיטה זו נשאב גרעין התא מתוך תא ביצית ובמקומו מוחדר גרעין של תא סומטי מהפרט העובר שיבוט.

בשלב הבא הביצית מקבלת גירוי כימי או חשמלי הגורם לה להתחלק ולהתפתח לעובר כאילו הייתה זיגוטה (השלב הראשון ביצירת אורגניזם חדש) רגילה.

החומר הגנטי בתא המשובט אינו זהה לחלוטין לזה של תא המקור, משום שהוא מכיל גם גנום מיטוכונדריאלי אשר מקורו בציטופלזמה של הביצית שלתוכה הוחדר הגרעין הזר.

עד כה שובטו בהצלחה בשיטה זו מספר בעלי-חיים וביניהם יונקים – כבשים, עיזים, פרות, חתולים, חמורים, סוסים וכלבים, אך ברובם נתגלו פגמים שונים ועל כל שיבוט מוצלח היו ניסיונות רבים שלא הצליחו. - עד כה אין הכרה במקרה בו הצליחו לשבט עובר אנושי בשיטה זו.

**שיטת השיבוט המלאכותי סובלת ממספר מגבלות**

1. תא הביצית אליו מוחדר הגרעין נאלץ לעמוד בלחצים אדירים ובפגיעה במעטפת, ועל כן הסיכוי לפגיעה ולמוות של התא הוא גבוה. כדי להגדיל את סיכויי ההצלחה נעשה התהליך במספר רב של ביציות.

2. תהליך הגירוי של הביצית להתחלת החלוקה אינו מובן לעומקו ולכן אינו יעיל וייתכן שאף גורם לנזקים לא ידועים בהתפתחות העובר.

3. החומר הגנטי ביצור המשובט נלקח מתא בוגר שמכיל טלומרים (רצפי DNA בקצוות הכרומוזומים) קצרים יחסית. הטלומרים מתקצרים עם הגיל ואורכם משפיע על תהליכי הזדקנות, ולכן קיים חשש שליצורים משובטים יהיו טלומרים קצרים ויזדקנו באופן מואץ.

4. החומר הגנטי בתאים סומטים עובר תהליך של החתמה גנטית, אשר שונה מזה של תא עוברי רגיל. הבדלים אלו עשויים לגרום למומים בהתפתחות העובר המשובט

**שיבוט על ידי תא סומטי**

שיבוט בהעברת גרעין תא סומטי (תא שאינו תא רבייה כגון תא עור) הוא שיבוט בו נוצר עובר המכיל חומר גנטי שנלקח מתא סומטי.

**תהליך השיבוט בהשתלת גרעין סומטי**

שיבוט בהעברת גרעין תא סומטי (Somatic Cell Nuclear Transfer) הוא שיבוט בו מקור החומר הגנטי הוא תא סומטי (תא שאינו תא רבייה כגון תא מרקמת עור).

בשיטה זו נשאב גרעין התא מתוך תא ביצית ובמקומו מוחדר לביצית גרעין של תא סומטי מהפרט העובר שיבוט.

בשלב הבא הביצית מקבלת גירוי כימי או חשמלי הגורם לה להתחלק ולהתפתח לעובר כאילו הייתה זיגוטה רגילה. החומר הגנטי בתא המשובט איננו זהה לחלוטין לזה של תא המקור הסומטי, משום שהוא מכיל גם גנום מיטוכונדריאלי (הגנום המיטוכונדריאלי הוא גנום המצוי על כרומוזום, שנמצא באברוני המיטוכונדריה), אשר מקורו בציטופלזמה של הביצית שלתוכה הוחדר הגרעין הזר.

עד כה שובטו בהצלחה בשיטה זו מספר בעלי חיים ביניהם יונקים, כגון: כבשים, עזים, פרות, חתולים, חמורים, סוסים וכלבים (המפורסמים שבהם הם "הכבשה דולי" ו"הכלב סנופי"‏).

אך ברובם נתגלו פגמים כאלה או אחרים, ועל כל שיבוט מוצלח היו ניסיונות רבים שלא צלחו. עד כה אין הכרה במקרה בו הצליחו לשבט עובר אנושי בשיטה זו.

**שיבוט הכבשה דולי**

הכבשה דולי היא הוכחה חיה לאפשרות להפוך גרעין-תא בוגר לעוברי, וכך ליצור עותקים גנטיים של בעלי-חיים בוגרים. - דולי היא בעל החיים הראשון הנמנה על מחלקת היונקים שנוצר בעקבות החדרת גרעין-תא שמקורו בבעל חיים בוגר לתוך ביצית שגרעינה נעקר. כלומר - היא כבשה ששובטה מכבשה בוגרת.

**תהליך השיבוט של כבשה בוגרת**

1.תאים שנלקחו מעטין כבשה הושמו בתרבית רקמה. כשנמנעו מהם גורמי גדילה הם הפסיקו להתחלק.

2.מכבשה אחרת הוצאה ביצית לא מופרית; גרעין הביצית סולק.

3.שני התאים הונחו זה לצד זה. זרם חשמלי גרם לאיחוי תא הביצית עם תא התרבית; מכת חשמל גם עוררה את הביצית להתחיל להתחלק וליצור עובר.

4.לאחר שישה ימים, ה"עוברים המרוכבים" הועברו לרחם של כבשה פונדקאית להשלמת התפתחותם.

**שיבוט הכבשה " דולי "**

דולי שובטה בניסוי מדעי שנערך בשנת 1996 במכון רוזלינד, סקוטלנד, על ידי צוות מחקר בראשות איאן וילמוט.

דולי נולדה ביולי 1996. הכבשה שהמליטה אותה הייתה בבחינת אם פונדקאית - זוהי "האם הרחמית"; מקורה של הביצית שממנה התפתחה העוברית דולי היה שחלה של כבשה אחרת, "האם הביציתית"; ואילו החומר התורשתי, ה-DNA, של דולי, מקורו בתא שהוצא מעטין של כבשה נוספת - "האם השלישית", היא "האם הגרעינית",. לדולי יש, אם כן, שלוש אימהות, אחות תאומה אחת, ואב אין לה בכלל!

הניסוי הצליח רק לאחר מספר ניסיונות כושלים- מתוך 277 ביציות מופרות, רק 30 עברו חלוקה, ומתוך אותן שלושים ביציות רק תשעה נקלטו באמהות פונדקאיות והובילו להריון, וכל ההריונות נכשלו מלבד אחד.

דולי המליטה שישה טלאים, אך לא האריכה ימים ומתה בגיל שש שנים וחצי בלבד (תוחלת החיים של כבשה היא 15 שנים ואף יותר). לאחר שהורדמה.

דולי הומתה על מנת למנוע ייסורים נוספים ממחלת ריאות בה לקתה.

המחלה אופיינית לכבשים החיות בשבי ואין כל קשר להיותה שיבוט. דלקת ריאות זו הייתה בנוסף לדלקת מפרקים ממנה סבלה.

הכבשה דולי היוותה פריצת דרך בעולם המדע בתחום השיבוט הגנטי, ומאז שיבוטה שובטו חיות נוספות כגון חתול, פרה וכלב. - שיבוטה של דולי חולל סערה ביואתית והעלה את הנושא לסדר היום במקומות רבים, ובכמה מדינות, כולל ישראל, חוקקו חוקים נגד שיבוטים.

**שיבוט על ידי פיצול עובר**

שיבוט פיצול העובר היא שיטה שמוגבלת רק לשיבוט של עוברים בשלבי התפתחות ראשוניים לפני התמיינות התאים. השיבוט הוא בעצם פיצול של צבר תאי העובר בשעות הקיום הראשונות שלו, כי בשלב זה מספר התאים בו מועט ואינם ממוינים לרקמות- (רקמה היא קבוצת תאים שעושים את אותה הפעולה) ולכן ניתן להפרידם זה מזה ליצירת מספר זיגוטות (זיגוטה הוא התא הראשון שממנו מתפתח עובר) ומכאן מתפתח העובר המשובט

שיטה זו יוצרת עוברים תאומים בעלי מטען גנטי זהה לחלוטין, וכך ניתן לקבל מעובר יחיד מספר בלתי מוגבל של עוברים זהים גנטית. שיטה זו משמשת ליצירת עוברים לצורך מחקר בתאי גזע ובטיפולי פוריות..

**שיבוט מולקולרי**

שיבוט מולקולרי הוא מונח המתייחס ליצירת שבט של תאים בעלי מקטע של רצף גנטי, שהוחדר לתוכם באופן מלאכותי בשיטות של הנדסה גנטית.

בשיבוט מולקולרי מוחדר רצף של DNA (**חומר תורשתי של תאים )** אל תוך פלסמיד **(קטע מעגלי של DNA המסוגל לעבור בין תאים).**

המשמש כווקטור להעברת חומר גנטי ומאפשר סלקציה לטובת התאים המכילים אותו.

סלקציה זו נעשית בדרך כלל באמצעות גן המקנה עמידות לאנטיביוטיקה, אשר מוחדר יחד עם המקטע הגנטי הרצוי ומעניק עמידות לאנטיביוטיקה באותם תאים להם הוחדר המקטע בהצלחה. ווקטור זה מוחדר לתא בשיטות כימיות או חשמליות ומשתלב בגנום של התא במקצת מהתאים. לאחר סלקציה לטובת התאים המכילים את הווקטור, מתקבל שבט של תאים שעברו תהליך של שיבוט מולקולרי.

**שבוט מינים נכחדים**

היכולת להחזיר לחיים מינים שנכחדו, או הצלת מינים בסכנת הכחדה בעזרת שיבוט, משמשת מוטיבציה למחקר מדעי רב.

נעשו ניסיונות לשימוש באם פונדקאית ממין שונה מזה של היילוד כדי לאפשר לידה של מין נכחד.- בשנת 2000, פרה שימשה אם פונדקאית לעובר משובט של זן תאו הנמצא בסכנת הכחדה. נעשו גם ניסיונות לשבט ממותה בעזרת חומר גנטי משרידי ממותה קפואה אך כשלו בשל האיכות הנמוכה של ה-DNA העתיק. ניסיונות דומים היו בתקווה לשחזר את הגנום של זאב טסמני, אשר נכחד בשנת 1936, אך כשלו אף הם מפני הקושי בשחזור הגנום המלא.

מתוך שאיפה לשמור על האפשרות להצלת מינים נכחדים, גן החיות בסן דייגו מחזיק בדוגמאות קפואות של DNA ממינים בסכנת הכחדה, ואף של מינים שהוכחדו

**שבוט בני אדם**

שיבוט בני אדם, משמעו יצירת העתק גנטי של פרט מסוים, ללא מגע מיני.

שכפול גנטי הוא טכנולוגיה המאפשרת יצירת צאצאים זהים גנטית לאחד ההורים.

יישום הטכנולוגיה ביונקים טומן בחובו פוטנציאל לשכפול בני אדם, טכנולוגיית השיבוט, כמו פיתוחי מדע אחרים, טומנת בחובה תועלת עצומה לאנושות, אך גם אפשרות לשימוש לרעה ולפגיעה בחברה האנושית, על כל המשמעויות המוסריות והחברתיות הנובעות מכך.

פרויקט הגנום האנושי נתן מידע רב לגבי המבנה הגנטי של האדם ויצורים אחרים. מידע זה מנוצל בין היתר לזיהוי פרטים באוכלוסייה על פי סמנים גנטיים ייחודיים..

טכנולוגיה זאת מאפשרת לבצע שיבוט בבני-אדם בשתי דרכים:

**א. שיבוט של תאים ושל רקמות אנוש.**

בטכנולוגיה זאת מפרים ביצית במבחנה, ועוצרים את התפתחותה כעבור שעות או ימים אחדים. בשלב זה יש במבחנה קבוצה קטנה של תאים (זהים מבחינה גנטית), שכל גודלה הוא עשירית המילימטר. תאים אלה נקראים תאי גזע עובריים.

מכיוון שתאי הגזע העובריים יכולים להתפתח לסוגים שונים של תאים, כגון: תאי דם, תאי עצב, תאי לבלב וכדומה, הם יכולים לשמש "חלקי חילוף" לשיקום רקמות של אנשים בוגרים, שנפגעו בתאונות או במחלות שונות. ולא רק זאת: באמצעותם אפשר גם לבדוק את ההשפעות של תרופות ושל טיפולים רפואיים שונים על תאי-אנוש.

אך בכך יש גם סכנה, כי השימוש בתאים משובטים כאלה עלול לחולל פגמים גנטיים חמורים באדם שמטופל בהם

**ב. שיבוט של אנשים**

- אפשר לייצר במבחנה עובר אנושי ולהשתילו ברחמה של אישה, שם הוא יתפתח, ולאחר הלידה יוכל לגדול לאדם בעל תכונות נבחרות.

בשיטה זו ניתן להוציא מביצית של אישה את גרעין התא, בוחרים אדם שיש לו תכונות רצויות, ומעבירים את הגרעין מתא אחד שלו (הגרעין כולל את כל הגנום של האדם) אל ביצית האישה; את הביצית משתילים ברחם של אישה ומקבלים תינוק משובט. התינוק זהה מבחינה גנטית לאדם, שגרעין התא נלקח ממנו.

\* עד היום לא שובט אדם בשיטה זאת אלא רק בעלי-חיים שונים. אך האפשרות לשימוש בטכנולוגיה זאת אכן קיימת, והיא מעוררת דילמות אתיות רבות, הקשורות לערכי חברה, דת, מוסר, מצפון וחוק.

מחד גיסא - שיבוט אנשים יכול לענות על הצורך של אנשים עקרים להביא ילדים לעולם, אך מאידך גיסא - הוא עלול להוביל לסחר בעוברים או להעדפת צאצאים בעלי תכונות מסוימות

**רביית בתולין - פַּרתֶנוֹגֶנֶזה**

שיבוט מתרחש גם בתהליך של רביית בתולים - רביית בתולים (רביית בתולין) היא סוג של רבייה אל-זוויגית בצמחים ואצל בעלי חיים מסוימים, שבה ביצית מתפתחת באופן ישיר לאורגניזם חדש, ללא הפריה על ידי גורם זכרי.

זהו מצב שבו יצור שמורפולוגית הוא זוויג נקבי מעמיד צאצאים בלא צורך בהפריה, וכל הצאצאים של היצור הזה הם בעלי חומר תורשתי זהה לו.

מינים טקסונומיים המתרבים ברביית בתולים שייכים במקרים רבים לסוגים טקסונומיים שבהם שאר המינים הטקסונומיים מתרבים ברבייה מינית.

ידועים מקרים שבהם הכלאה בין מינים טקסונומיים דומים יוצרת יצור כלאיים המתרבה ברביית בתולים.

בכמה מינים של חרקים, הנקבה מבצעת את פעולת הרבייה ללא עזרת הזכר.

באופן רגיל, הוולדות הנקביים הבוקעים מביצים בלתי-מופרות אלו ימשיכו באותה דרך ליצור את הדור הבא.- אך לעתים, בעונה עם תנאי-קיום קשים, יכולות הנקבות לעבור הפריה מינית שבעקבותיה הן תטלנה ביצים עמידות עם זכרים ונקבות.

תהליך זה מתרחש במינים מסוים של צמחים, רכיכות, חרקים, זוחלים, דגים, ואפילו ידוע על זן של עקרבים הכולל נקבות בלבד, ומתרבה אך ורק בתהליך של רביית בתולין.

בכמה מינים רביית הבתולין היא הנורמה הרווחת, והזכרים חסרים לגמרי או נדירים ביותר.

במינים אחרים, רביית הבתולין מוגבלת ללידת זכרים בלבד, כגון אצל הדבוראים, שזכריהם נולדים מביצים בלתי מופרות, להבדיל מהנקבות, שכולן נולדות מביצים מופרות.

יש גם מינים כדוגמת פרפר-המשי, טוואי האלון וארבה-המדבר, המקיימים רביית-בתולין אקראית: מן הביצים הלא-מופרות יכולים לבקוע לעתים זכרים ולעתים (בהטלה אחרת) נקבות.

**מוטציות**

במשך הזמן, כאשר מגדלים כמות גדולה של צמחים מזן אחד, עשויה להתגלות בזן מוטציה (מוטציה היא שינוי פתאומי בתכונה אחת או בכמה תכונות בהרכב החומר התורשתי של תא חי (דנ"א)., והשינוי הזה הוא תורשתי –כלומר שגם הצאצאים של תא זה יהיו זהים למוטציה).

מוטציה הינה אירוע נדיר ביותר שיכול להתרחש באופן ספונטני (עצמוני) או על ידי גורם חיצוני (מוטגן). השפעות המוטציה על האורגניזם שבו הופיעה עשויות להשתרע לכל אורך הקשת, מחוסר השפעה כלל ועד השפעה קטלנית.

מלבד במעבדה הגנטית, מוטציות הן אקראיות: אין הן מתרחשות בגלל פעולתו של גורם כלשהו אשר "ביקש" לחולל שינוי מוגדר ומסוים, אלא בדרך מקרה.

מוטציות יכולות להיות ספונטניות (עקב תקלות בשכפול החומר הגנטי), או להיגרם על ידי חדירת גורמים חיצוניים לתא, כמו אורכי הגל האנרגטיים יותר של קרינה אלקטרומגנטית, או כימיקלים מסוימים. חדירת גורמים חיצוניים כאלה עשויה לשנות את מבנה החומר הגנטי.

מוטציות רבות הן שליליות, ואז אם נרבה צמחים כאלה, הרי נגרום להרעה (למשל: שינוי בצבע הפרי, או ירידה בפוריות וכד'), לכן יש לעקוב אחרי המוטציות כדי לנצל אותן לטובה, או למנוע הרעה.

**השראת מוטציות**

שימוש באמצעים כימיים ו/או פיסיקליים ליצירת שינויים במולקולת הדנ"א באופן מלאכותי.

(שינוי בחומר התורשתי בתא, עשוי לגרום להופעת תכונות חדשות ומופעים חדשים).

בטיפוח, האדם מגדיל את השונות הקיימת באוכלוסייה בעזרת הכלאות מכוונות או בעזרת השראת מוטציות ובורר את היצורים הרצויים לו.

יצירה מלאכותית של מוטציות ע"י האדם מגבירה ומעשירה את השונות הגנטית באוכלוסייה . לעיתים יצירה מלאכותית של מוטציות חוסכת עבודת השבחה של שנים רבות .

**שבוט גנטי**

שיבוט מתרחש באופן שכיח במינים רבים של צמחים, בתהליכי רבייה אל-מינית שנקראת רבייה וגטטיבית- בתהליכים אלו בדרך כלל מתנתק ענף או שורש מצמח האם ויוצר צמח (שיבוט ) הזהה לצמח האם בנפרד.

ברבייה האל-מינית מתנהל למעשה תהליך של "שיבוט" משום שהמטען התורשתי של צמחי הבת זהה לצמח האם.

יצירת ייחורים- היא למעשה שיבוט.- אם נשתול ייחור (קטע מענף של צמח בוגר), יתפתח ממנו צמח שלם, זהה מבחינה גנטית לצמח המקור.

השיבוט מתאי צמח בוגרים אפשרי הודות לתכונה מיוחדת של תאי הצמח: תא בוגר צמחי שעבר התמיינות, יכול לחזור להיות בעל כושר חלוקה כמו תא עוברי, ולהכיל את כל המידע התורשתי הדרוש להשלמת צמח שלם.

רבייה וֶגְטַטִיבִית הינה צורת רבייה אל-זיווגית בצמחים. זהו תהליך שבו נוצרים צמחים חדשים בלי ייצור של זרעים או נבגים. תהליך זה יכול להתקיים באופן טבעי או להתבצע על חקלאים.

הרבייה הוגטטיבית מתבצעת על ידי התפתחות תאים מגוף הצמח.

הרבייה הוגטטיבית מתבצעת בצמחים חד-מיניים, אשר תכונותיהם מאפשרות להם לבצע את התהליך, כלומר הם יש להם יכולת לפתח חלק מגוף הצמח כמו שורש, גבעול, עלה או תאים בודדים, לכדי צמח שלם.

הריבוי הוגטטיבי נפוץ בחקלאות, בהתערבות חיצונית של האדם. כאשר מדובר בהתערבות חיצונית של האדם ניתן לבצע את הריבוי הוגטטיבי גם בצמחים דו-מיניים, אשר באופן טבעי אינם מסוגלים לבצע רבייה וגטטיבית.

התערבות האדם בתהליך הרבייה מאפשר ריבוי מהיר ומגוון יותר של צמחים, תוך שמירה על תנאים אופטימאליים גם כאשר האקלים או תנאי הסביבה הטבעיים אינם מאפשרים זאת (כאשר מבצעים את התהליך במעבדה). - כמו כן, התערבות חיצונית של האדם בתהליך הרבייה הוגטטיבית מאפשרת שינוי מאזן הורמונים- הזרקת הורמונים שונים המדכאים או מעודדים צמיחת חלקים שונים בצמח, על מנת לייעל ולטייב את התהליך.

קיימים כיום יערות שלמים שמקורם בעלה מחטני אחד של עץ אורן בוגר, ושכל העצים בהם מהווים "שבט" זהה מבחינה גנטית.

**הרכבה**

הרכבת עצים היא פעולה שבה מחברים בין עץ הנושא פירות בעלי תכונות רצויות (רוכב) עם עץ שמותאם לסוג הקרקע והאקלים הקיימים באזור הנטיעה - כנה (כנות מאפשרות נטיעה באדמות שוליות, שנטוע, התמודדות עם פגעי קרקע כמו נמטודות, ריסון צמיחה , או עידוד צמיחה ועוד. בכל מין ישנן כנות ספציפיות למטרות השונות). כתוצאה מההרכבה מתקבל צירוף אופטימאלי של תכונות אשר לא ניתן לקבלן בעץ הבודד.

בהרכבה מתנהל למעשה תהליך של "שיבוט" משום שהמטען התורשתי של הכנה זהה לרוכב.

בעזרת הרכבה ניתן לקבל עצים חיוניים יותר, עמידים למחלות ומאריכי חיים. בדרך כלל ההרכבות מתבצעות בין זנים שונים של אותו המין או בין מינים קרובים. הרכבות בין מינים רחוקים אינן אפשריות בדרך כלל בגלל הבדלים גדולים באופן התפתחות הקמביום.

בתהליך ההרכבה המטרה היא לאחות את הרוכב והכנה ואת דבר זה ניתן לעשות רק על ידי הצמדה של תאים עובריים, כלומר, להביא את הקמביום של הרוכב במגע עם הקמביום של הכנה , קיימות שיטות שונות לבצע פעולה זו

הרכבת עצים- [סרט הדגמה](https://youtu.be/hduDVY-LXxE)

**תרבית רקמה**

תרבית רקמה היא למעשה דרך לבצע שיבוט משום שניתן להשתמש בקבוצת תאים ממקור גנטי זהה (כמו: "הקור" = "קור" "לב" התמר שהוא בחלקו העליון של הגזע.) על מנת לייצר פרטים רבים בעלי מטען תורשתי זהה.

[תרבית רקמה תמר](http://zemach.co.il/%D7%AA%D7%90%D7%92%D7%99%D7%93%D7%99%D7%9D-%D7%A8%D7%90%D7%A9%D7%99/%D7%AA%D7%A8%D7%91%D7%99%D7%95%D7%AA-%D7%A8%D7%A7%D7%9E%D7%94/)- סרטון הסבר בעברית

**גידול בתרביות רקמה במעבדה**

כאשר הרקמות מתפתחות במבחנה, מזהים בהן את התאים המבטאים את הגן אותו ניסו לשבט לתוך התא. מתרביות התאים הנושאת את הגן ניתן לייצר צמחים זעירים (עם שורשים ועלים) במבחנה. את הצמחים המשובטים אפשר להעביר להמשך גידול בחממה. בחלק מהמקרים (לא תמיד) הגן המשובט מקובע בכרומוזומים ועובר בזרעים גם לצאצאי הצמח המשובט.

תרבית רקמה היא טכנולוגיה שבה מנצלים את העובדה שמלוא הפוטנציאל התורשתי (גנטי) נמצא בכל תאי האורגניזם (ההבדלים בין התאים והרקמות נובעים מביטוי שונה של פוטנציאל זה בעקבות פעילותם של מנגנוני בקרה) על מנת להשתמש בתאים אלו כמקור לקבלת האורגניזם השלם. בדרך כלל אורגניזם רב תאי מתפתח מתא אחד (למשל הביצית המופרית) העובר סדרות של חלוקות תא תוך כדי התמיינות לרקמות ואיברים.

בתרבית רקמה מהווים תאים אחרים כנקודת ההתחלה לחלוקת התאים והתפתחות האורגניזם השלם. - תאים אלו מתרבים על פני מצע גידול נקי מחיידקים ופטריות תוך מתן תנאים סביבתיים אופטימאליים ומבוקרים.

בדרך כלל נוח להשתמש לצורך תרבית רקמה בתאים עובריים אך קיימות גם שיטות המאפשרות להשתמש בתאים מסויימים שכבר עברו התמיינות.

שיטת " תרביות רקמה" מאפשרת ייצור המוני של שתילי תמר איכותיים. שיטה זו עדיפה על שתי השיטות האפשריות האחרות: ריבוי מזרעים וריבוי בעזרת חוטרים.

ריבוי מזרעים איננו אפשרי משום שהנבטים שונים מאד זה מזה מבחינה תורשתית ואין אפשרות להרכיב אותם (בגלל היעדר קמביום המשמש כרקמה המאחה בדו-פסיגיים).

ריבוי בעזרת חוטרים (באמצעות פעולת ה"אירגוז" - עטיפת בסיס החוטר בשק המכיל אדמה המיועדת לאפשר לחוטר להשתרש לקראת הפרדתו מהעץ). מסובך ואיטי ולא מבטיח את אחידות השתילים ובריאותם.

לעומת ריבוי מזרעים וריבוי בעזרת חוטרים ,היתרונות בריבוי בעזרת תרבית רקמה רבים.

א. בשיטה זו ניתן לבחור פרט צמח איכותי ביותר וממנו ל"שבט" שתילים רבים ואיכותיים במהירות יחסית ובכמות גדולה.

ב. הגידול במעבדה מאפשר להעניק לנבט המתפתח תנאים נאותים מבוקרים תוך בידוד מגורמי מחלה רבים הנמצאים בסביבה.

ג. שתילים המיוצרים בתרבית רקמה מגיעים למטע כשהם נקיים ממחלות ומזיקים.

ד. שתילים המיוצרים בתרבית רקמה מטענם התורשתי זהה.

ה. לשתילים המיוצרים בתרבית רקמה סיכויי הצלחת הקליטה מקסימאליים .

ו. לשתילים המיוצרים בתרבית רקמה ניבה מהירה יחסית.

**חשיבות שמירה המגוון הגנטי**

בכלל היצורים החיים קיים מאגר גנטי עצום. צמחים ובעלי חיים מכילים גנים שיכולים להועיל לאדם. מצמחים אלו אפשר להעביר לצמחי התרבות עמידויות שונות, כמו עמידות למחלות, ליובש, למליחות ועוד.

לאבות צמחי התרבות חשיבות עצומה כמקור להשבחה וטיפוח- בשיפור גידולים חקלאיים מוכרים ולקיום חקלאות בת-קיימא‏. גזעי בר של צמחי תרבות או קרובי צמחי תרבות, הם אבותיהם הקדמונים של גידולי תרבות (כמו חיטה, אורז, תירס ודומיהם) או מיני בר הקרובים אליהם גנטית.

אבות צמחי התרבות הם קבוצה של צמחים עם חשיבות מיוחדת לשימור. אוכלוסיות הבר של צמחים אלו מגוונות מבחינה גנטית לעומת זני התרבות האחידים.

כיום, בעידן ההנדסה הגנטית, יש אפשרות להתערב בגנום של יצורים חיים, לשנות תכונות של צמחים ובעלי חיים המשמשים את האדם בחקלאות.

בחקלאות יש חשיבות מיוחדת למגוון הגנטי כאשר מדובר באספקת מזון סדירה לכלל האנושות.

במשך ההיסטוריה האנושית, מיני צמחים ששימשו לגידולים חקלאיים ומגוון הזנים ששימשו לחקלאות היה גדול במיוחד. כיום, אנו צורכים מספר זעום של גידולים חקלאיים עבור רוב סוגי המזון שלנו, כל גידול מתבסס על מאגר גנטי הומוגני של זרעים המסופקים על ידי מספר מצומצם של חברות ענק השולטות בשוק הזרעים העולמי, מזיק אחד, אם יפגע באחד מגידולי הבסיס, חיטה או אורז, עשוי להפיל את אספקת המזון הבסיסית.

מעבר לערך הכלכלי הטמון במגוון הביולוגי (מזון, תרופות, וכדומה), יש למגוון הביולוגי תרומה חשובה לקיומן של המערכות תומכות החיים של כדור הארץ, באמצעות מגוון של שירותי חינם שהוא מספק, כגון: שירותי ההאבקה בשפע ובחינם שמספקות דבורי הדבש ומאביקי בר או בר למחצה, ייצוב חלקי של האקלים, טיהור מים וטיהור אוויר, וכדומה.