



התקדמות גנטית בבקר לחלב בעידן הסלקציה הגנומית

במהלך המחצית השנייה של המאה ה-20 סלקציה על בסיס מבנה משפחתי ונתוני ייצור הייתה מוצלחת בבקר לחלב. היסטורית, מבחני צאצאים היו שלב קריטי באיתור פרים מצטיינים. השיפור בבקר לחלב נבע משימוש נרחב של הזרעה מלאכותית להשאת ההשפעה של פרי עילית. יחד עם זאת, ההתקדמות הגנטית הוגבלה על ידי משך הזמן והעלות של מבחן צאצאים •



רון מ.¹, א. עזרא², י. ולר¹

רקע

במהלך המחצית השנייה של המאה ה-20 סלקציה על בסיס מבנה משפחתי ונתוני ייצור הייתה מוצלחת בבקר לחלב. היסטורית, מבחני צאצאים היו שלב קריטי באיתור פרים מצטיינים. השיפור בבקר לחלב נבע משימוש נרחב של הזרעה מלאכותית להשאת ההשפעה של פרי עילית. יחד עם זאת, ההתקדמות הגנטית הוגבלה על ידי משך הזמן והעלות של מבחן צאצאים. התהליך הוא איטי יחסית בגלל הצורך לאגור נתונים פנוטיפים של פרות לחישוב הערכות גנטיות בעלות דיוק גבוה. ההתפתחויות האחרונות של תכניות סלקציה גנומית מבוססות סמני דנ"א מסוג SNP (Single Nucleotide Polymorphism) צפויות להגדיל את ההתקדמות הגנטית על ידי קיצור אורך הדור והגדלת מהימנות ההערכות הגנטיות. על בסיס הדמיית נתוני האוכלוסייה במחשב (סימולציה) בוצעה השוואה בין סלקציה גנומית לבין מבחן הצאצאים הקלאסי ונצפתה הכפלת ההתקדמות הגנטית. יחד עם זאת, עד עתה לא הצטברו נתוני אוכלוסייה כדי לבדוק את ההתקדמות הגנטית בפועל בתגובה לסלקציה גנומית.

ברשימה קודמת של משק הבקר והחלב (חוברת 381 עמוד 82) הצגנו את השיטה לחישוב הערכות גנומיות בבקר המבוססת על חיזוי ההשפעות של מספר רב של סמנים גנטיים בגנום על תכונות כלכליות. באפריל 2008 פורסמו באופן לא רשמי הערכות גנומיות של פרים בארה"ב. הפרסום הרשמי היה בינואר 2009. יותר ממחצית ההזרעות המלאכותיות בארה"ב מבוצעות על ידי פרים צעירים עם הערכות גנומיות. הערכות גנומיות ב-6 השנים האחרונות

חוקרים עמיתים מבלטסויל, ארה"ב, דיווחו על מימוש הפוטנציאל של סלקציה גנומית בבקר לחלב בארה"ב מעבר לתחזיות האופטימיות ביותר, על ידי הכפלת ההתקדמות הגנטית בתכונות ייצור, ועל ההשלכות לטיפוח בקר לחלב בעולם

¹המחלקה לבקר וגנטיקה, מנהל המחקר החקלאי

²התאחדות מגדלי בקר

המחברים מודים להנהלת ענף בקר, מועצת החלב וקרן קמ"ח (מס' 4794-15R) על תמיכתם במחקר. רשימת הפרסומים נמצאת אצל המחברים.





שימשו לאמון שינויים דינאמיים באורך הדור וברוח הגנטי לתכונות כלכליות באוכלוסיית הבקר בארה"ב. חוקרים עמיתים מבלטסויל, ארה"ב (Garcia-Ruiz et al. 2016), פרסמו לאחרונה את הממצאים הגנטיים בעיתון המדעי היוקרתי *Proceeding of National Academy of Sciences*. הממצאים מראים על מימוש הפוטנציאל של סלקציה גנומית בארה"ב מעבר לתחזיות האופטימיות ביותר ואת ההשלכות על טיפוח בקר לחלב בעולם.

עם קבלת אומדנים גנטיים ממבחן צאצאים של אותם פרים שנבחרו גנומית ב-2008 בארה"ב ניתן היה לבצע חקר





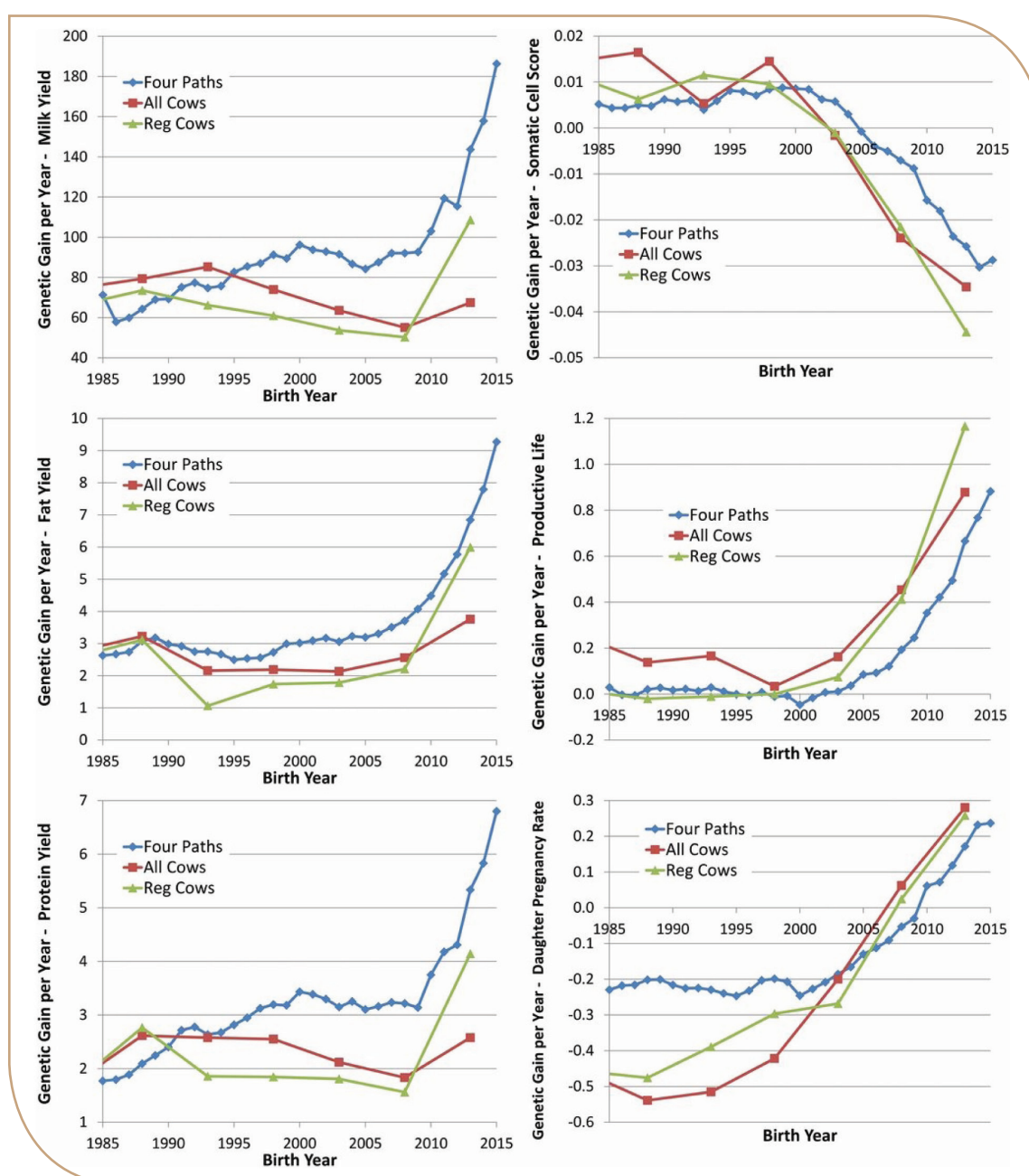
תכונות לכליות במשך 30 השנה האחרונות. הנטייה הגנטית חושבה על פי גרסיה של הערכות גנטיות לתכונות השונות על שנת הלידה של פרות. ההנחה היא שאם נערכה סלקציה מדויקת, הערכות גנטיות של פרות משנתונים מתקדמים תהייה עדיפות על פני אלו של פרות משנתונים קודמים. ההתקדמות הגנטית של ייצור חלב, שומן וחלבון הייתה 58, 2.6 ו-1.8 ק"ג לשנה לכל הפרות לפני השקת סלקציה גנומית, ויותר מפי 2 אחריה. התוצאות בפועל היו דומות לעליה החזויה ממחקר סימולציה של סלקציה גנומית בשיעור 59 עד 120 אחוז לעומת מבחן צאצאים.

מספר תאים סומאטיים כמדד לנגיעות העטין הוא בעל תורשתיות ממוצעת בסביבות 0.10. ההתקדמות הגנטית מארבעת נתיבי הטיפוח מראה על עליה חדה של 330 אחוז כתגובה לסלקציה גנומית לעומת גנטית (ירידה נומינאלית בערכי התכונה – מספר תאים). למדד אורך החיים בעדר

מרביתם ללא שימוש בהשתלת עוברים.
באיור 2 מוצג אורך הדור (Generation Interval) על פי ארבעת נתיבי הטיפוח באוכלוסיית הבקר האמריקאית. אורך הדור בנתיבי הטיפוח של האבות לבנים ולבנות (SB ו-SC) היה כ-7 שנים עד 2010 בהתאמה לסלקציה המבוססת על מבחן צאצאים במהימנות גבוהה. ירידה חדה נראית משנת 2010, כשנה אחרי השקת סלקציה גנומית, עד ל-2.4 ו-5 שנים בנתיבים אבות לבנים ולבנות, בהתאמה, בשנת 2015. ירידה קלה יותר נראית בנתיבי הטיפוח של האימהות לבנים ולבנות (DB ו-DC). אורך הדור היה כ-3.8 שנים בנתיבי הטיפוח של האימהות וירד בעקבות סלקציה גנומית ל-2.6 ו-3.6 בנתיבי הטיפוח אימהות לבנים ולבנות. בהתאמה.

נטיית גנטיות בתגובה לסלקציה גנומית בבקר לחלב בארה"ב

באיור 3 מוצגות הנטיות הגנטיות מארבעת נתיבי הטיפוח ל-6



איור 3: שיעור ההתקדמות הגנטית השנתית מארבעת נתיבי הטיפוח על פי גרסיה של הערכות גנטיות על שנת הלידה של פרות ל-6 תכונות: תגובת חלב, שומן וחלבון, כמות תאים סומאטיים, ייצור חיים ופוריות (Garcia-Ruiz et al. 2016).

במזון, אנחנו המרכז! מרכז מזון נהלל



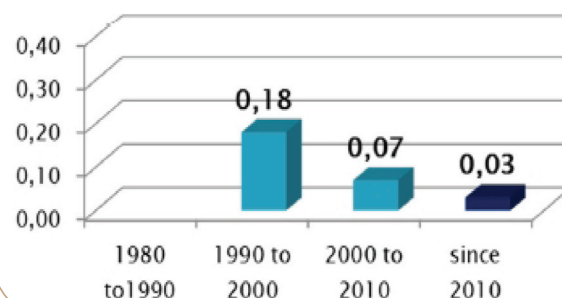
שירות | איכות | אמינות

שנת שלום וברכה לכל רפתני ישראל



מרכז מזון נהלל בע"מ
נהלל 1060000, engeluzy@gmail.com
טל. 04-812452 פקס. 04-812403

ISR



איור 4: הנטייה של קצב הגידול בשיעור קרבת שאר לאורך זמן באוכלוסיית הבקר בישראל (Fedderson et al. 2016)

תורשתיות נמוכה יחסית בשיעור 0.08. התקדמות גנטית נצפתה מ-2005 עם עליה נוספת של פי 2 לפחות בתגובה לסלקציה גנומית מ-2010. לפוריות בנות ערכי תורשתיות נמוכים בשיעור 0.04 אשר עשויים לתת יתרון בסלקציה גנומית על פי התחזית התאורטית. התוצאות מראות על עצירת הנטייה הגנטית השלילית משנת 2000 ומעבר לנטייה חיובית בתגובה לסלקציה הגנומית. יחד עם זאת, יש לציין שהסלקציה הגנטית לתכונות המשנה האלו התחילה רק בשנת 2000 באוכלוסייה האמריקאית בעקבות הכנסתן לאינדקס הטיפוח (Net Merit). לפיכך, חלק מההתקדמות הגנטית שלאחר 2010 היא תוצאה משולבת של הסלקציה הגנטית והגנומית.

שימוש בזרמת חו"ל בטיפוח בקר לחלב בישראל

משנת 2010 5.6% מכלל ההזרעות, ו-6.9% מהזרעות העגלות היו של פרי חו"ל (טבלה 1). 73 מתוך 265 פרים (27%) היו בנים של פרי חו"ל (טבלה 2). גרמניה וארה"ב היו ארצות המקור העיקריות (70%) ליבוא זרמה לייצור 30 ו-28 בנים, בהתאמה. הפר O Man (O-BEE MANFRED JUSTICE-ET) היה אחד הפרים הבולטים ביותר בגזע ההולשטיין ואין ספק שנעשה צדק בבחירת שמו, Justice, או בכינויו בארה"ב - O Man. לפר מבחן גנטי ראשון ב-2003 שהיה בולט מעל הפרים האחרים באורך החיים ובאינדקס הסלקציה (Net merit). הוא אב או סב של רב הפרים מסוג ההולשטיין ויש לו תרומה דרמטית להתקדמות הגנטית העולמית שלאחר שנת 2000 ברכיבי חלב ותכונות משניות.

טבלה 1 מספר הזרעות ממוצע לשנה בישראל של פרים מקומיים וחו"ל משנת 2010

מס. הזרעות ממוצע לשנה		
עגלות	פרות ועגלות	פרי חו"ל
70,371	347,300	פרי חו"ל
5,226 (6.9%)	20,456 (5.6%)	

בישראל בכל שנה נכנסות כ-35,000-40,000 מבכירות חדשות. התקבל שיא של כ-13,000 המלטות של מבכירות ילדות 2102, בנות בני הפר ג'סטס (נכדות), מתוך כ-38,500 (34%), ומאז יש דעיכה בעקבות ירידה בשימוש בני ג'סטס בהזרעה. שיא נוסף היה 3,650 המלטות מבכירות ילדות, 2014, נכדות בני הפר ג'סטס (נינות), מתוך כ-17,000 (21%),



של קבוצת פרים בעלי חיזוי גנומי גבוה ולא של פרים בודדים
כבעבר, כך שזה צפוי להקטין את קצב הגידול של ריבוי
השארות באוכלוסייה.

מסקנות

1. אורך הדור בנתיבי הטיפוח של האבות לבנים ולבנות
היה כ-7 שנים עד 2010, בהתאמה לסלקציה המבוססת
על מבחן צאצאים במהימנות גבוהה. בעקבות סלקציה
גנומית ירד אורך הדור ל-2.4 ו-5 שנים, בהתאמה.
2. אורך הדור היה כ-3.8 שנים בנתיבי הטיפוח של האימהות
לבנים ולבנות, וירד בעקבות סלקציה גנומית ל-2.6 ו-3.6,
בהתאמה.
3. התקבלה התקדמות גנטית של פי 2 לפחות בתכונות
הייצור של בקר לחלב בארה"ב בתגובה לסלקציה גנומית.
4. הנטיות הגנטיות הגבוהות ביותר בתגובה לסלקציה
גנומית היו לתכונות בעלות תורשתיות נמוכה כפוריות,
משך חיים ותכונות עטין, אך הן כנראה משקפות גם
סלקציה גנטית.
5. הישגי הסלקציה הגנומית בארה"ב יוטמעו באוכלוסיות
בקר בעולם שמשמשות בזרמת פרים אמריקאים.
6. זרמת חו"ל שימשה בשנים 2010 ואילך לייצור 27%
מהבנים בישראל, כאשר מתוכם 28 הם בני פרים מארה"ב
עם אומדני הורשה גנומים (38%).
7. מתחילת המילניום לפר Justice הייתה תרומה דרמטית
בהתקדמות הגנטית לרכיבי חלב ולתכונות משניות בעולם
ובישראל.
8. בשנת 2016 כ-31% מכלל הפרות החיות בישראל הן
צאצאות בדרגות קרבה שונות לפר ג'סטס.
9. לאור הנוכחות הגנטית של הפר באוכלוסייה בישראל יש
חשיבות מיוחדת לבקרה של קרבה גנטית בזיווגים למניעת
עליה בריבוי בשארות שלה השפעה שלילית על תכונות
משניות.
10. ממוצע קרבת השאר באוכלוסייה בישראל הוא 2.54%,
וקצב העלייה של שיעור הקרבה הגנטית באוכלוסייה ירד
פי 6 בעשורים האחרונים.
11. בעידן הסלקציה הגנומית הבחירה היא של קבוצת פרים
בעלי חיזוי גנומי גבוה ולא של פרים בודדים כבעבר, כך
שזה צפוי להקטין את קצב הגידול של ריבוי בשארות
באוכלוסייה.
12. בשנים הקרובות ניתן לצפות מארצות נוספות שאימצו
את הטכנולוגיה של סלקציה גנומית בבקר, כולל ישראל,
לחקור את שיעור ההתקדמות הגנטית בפועל.
13. ניתן לצפות להתקדמות גנטית פחותה מסלקציה גנומית
בישראל בהשוואה לארה"ב כפועל יוצא של ההבדל בגודל
אוכלוסיית הפרים.
14. ההצלחה המוכחת של סלקציה גנומית בבקר לחלב צפויה
להוות דגם לאימוץ הטכנולוגיה במגוון בעלי-חיים
חקלאיים. ▲

טבלה 2 מספר בנים בישראל לפי ארץ מקור הזרמה משנת 2010

ארץ מקור הזרמה	מס. בנים
ישראל	192
גרמניה	30
ארה"ב	28
ויקניג	11
צרפת	3
קנדה	1

וצפויים המלטות נוספות. בסוף יוני 2016 כ-31% מכלל
הפרות החיות הן צאצאות בדרגות קרבה שונות לפר ג'סטס.
בישראל נבחנו 10 בני ג'סטס, ותשעה מהם חזרו להזרעה
ובפרט ג'רמין, ג'קי, ג'ייג'יי וג'רום.
לאור הנוכחות הגנטית של הפר ג'סטס באוכלוסייה בישראל
יש חשיבות לבקרה של קרבה גנטית בזיווגים למניעת ריבוי
בשארות שלה השפעה שלילית על תכונות משניות עקב
הצטברות גנים לטאליים במצב הומוזיגוט רצסיבי. ממוצע
קרבת השאר באוכלוסייה הוא 2.54%. שיעור העלייה בקרבת
השאר הממוצעת באוכלוסייה בישראל מוצג באיור 4.

ההצלחה המוכחת של סלקציה גנומית בבקר לחלב צפויה להוות דגם לאימוץ הטכנולוגיה במגוון בעלי-חיים חקלאיים

קצב העלייה של שיעור הקרבה הגנטית ירד פי 6 בעשורים
האחרונים. ניתן לזקוף זאת למדיניות הטיפוח בישראל של
הרחבת השונות הגנטית של פרי המיכל, ולמניעת הזרעה
אם קרבת השאר עולה על 3.125% על פי בדיקת המסופון
ואלגוריתם חדש בתוכנת "נעה" המתחשב בכל הדורות
הרשומים. בדיקת אפשרות הזרעה של 529 עתודות על ידי
19 פרים סיננה, על בסיס חריגה מערך הסף של קרבת שאר,
65% מהאפשרויות כאשר טווח הסינון היה רחב בין פרים:
מ- 87% בפר דסט (אב האם ג'סטס) ועד 16% בלבד בפר
מיפרש. חשוב לציין שבעידן הסלקציה הגנומית הבחירה היא

