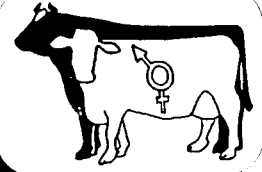


טיפוח פוריות



יישום המודל הרב-תכונתי עבור ניתוח גנטי של תכונות תנובת חלב ותכונות משניות

יהודה ולר, מינהל המחקר החקלאי; ואפרים עזרא, התאחדות מגדלי בקר

מבוא

מודל הפרט הבודד (IAM, Individual Animal Model) מיושם בישראל החל מאוקטובר 1993. ב'משק הבקר והחלב' 294 במאמר: "חזרתיות של מבחן פרים בישראל לפי מודל הפרט הבודד" נתקבל שקיימת תופעת RIP-DIP. כלומר, אומדן ההורשה של הפר יורד עם תוספת משמעותית של בנות מהמדגם השני. ערך הפרים ירד בממוצע כ-60 יחידות חמ"מ 91 מהמבחן לפני החזרה למבחן הראשון עם בנות נוספות. מודל הפרט הבודד החד-תכונתי מניח מתאמים גנטיים מלאים בין התחלובות. במידה שהמתאמים הגנטיים בין התחלובות אינם מלאים, עלולים לקבל אומדן מוטה של הערך הגנטי. המקרה הקיצוני ביותר קיים, כאשר פר חוזר לשימוש רחב עם אלפי פרות נוספות. לכל הפרות החדשות יש רשומות רק בתחלובה הראשונה, והרשומות האלה "מציפות" את הרשומות מתחלובות 2-5 מקבוצת הפרות הקודמת. במקרה זה האומדן הגנטי של הפר ישקף בעיקר את ביצועי בנותיו בתחלובה ראשונה.

בוועדת ספר העדר אשר התקיימה בינואר 2002, הוחלט לפתח את המודל הרב-תכונתי במטרה ליישמו. במאמר זה נסביר את המודל הרב-תכונתי ונביא תוצאות של יישום המודל על נתוני מבחן אוגוסט 2002.

חומרים ושיטות

תיאור המודל הנוכחי, החד-תכונתי

המודל הסטטיסטי החד-תכונתי עבור כל תחלובה של כל פרה כולל את ההשפעות הבאות:

+ תחלובה + עדר-שנה-עונה = תנובה שנתית שארית + סביבה קבועה + קבוצה גנטית + גנטית תוספתית

כאשר:

- ◀ תנובה שנתית - ק"ג חלב, שומן וחלבון בתחלובה מתוקן ל-305 יום.
- ◀ עדר-שנה-עונה - הפרות בכל עדר מתחלקות בכל שנה לפי תאריך המלטה לשתי עונות בין אפריל עד ספטמבר, ובין אוקטובר עד מרץ.
- ◀ תחלובה - מחשבים השפעת תחלובה לחוד עבור קבוצים ומושבים ולפי קבוצות גיל.
- ◀ גנטית תוספתית - גורם זה הוא אומדן ההורשה עבור פרות עם אילן יוחסין מלא.
- ◀ קבוצה גנטית - פרטים ללא רישום אילן יוחסין מלא משוייכים לקבוצה לפי מין ושנת לידה.
- ◀ סביבה קבועה - גורם הכולל את אותם הגורמים שאינם קשורים בהורשה אך יוצרים דמיון בין תחלובות חוזרות של הפרה.
- ◀ שארית - החלק הלא-מוסבר מהשונות.

כל תחלובה. אומדן הורשה כללי מחושב על ידי אינדקס כלכלי, שמשקלל את הערכים הכלכליים של התחלובות לפי הנוסחה:

= אומדן הורשה כללי

$$\frac{1 \times 0.73 + 2 \times 0.51 + 3 \times 0.34 + 4 \times 0.21}{2.79} \times 5$$

כאשר א"ה 1, א"ה 2, א"ה 3, א"ה 4, א"ה 5 הם אומדני ההורשה של כל פרט לתחלובות 1 עד 5. המקדמים של הא"ה של כל התחלובות נחשבים יחסית לתחלובה ראשונה כסיכוי שהפרה תגיע לאותה תחלובה כפול הערך הכלכלי של התחלובה כפונקציה של הזמן שיעבור עד המימוש. הנחנו שיעור ריבית ריאלית של 5% לשנה, ושנה בין המלטה להמלטה. 2.79 שווה לסכום המשקלים של כל התחלובות (1+0.21+0.34+0.51+0.73).

אמידת פרמטרים גנטיים למודל הרב-תכונתי

כדי ליישם את המודל צריך לאמוד את הפרמטרים הנחוצים: תורשתיות ומתאמים גנטיים וסביבתיים. אמידת הפרמטרים הגנטיים והסביבתיים היתה לפי שיטת הנראות המרבית המוגבלת (REML). כאמור, למודל החד-תכונתי יש לאמוד רק שלושה פרמטרים: השונות הגנטית, השונות של הסביבה הקבועה, והשונות של שארית. לעומת זאת, למודל הרב-תכונתי יש לאמוד 25 פרמטרים: 5 תורשתיות, 10 מתאמים גנטיים, ו-10 מתאמים סביבתיים. לחישוב גורמי שונות השתמשנו רק בנתונים של חמש שנים לפי תאריך ההמלטה הראשונה של הפרה. חישובו אומדנים עבור ק"ג חלב, שומן וחלבון לפי המודל החד-תכונתי. נכללו כל הפרות עם תחלובה ראשונה, לפחות. במודל הרב-תכונתי נכללו רק פרות עם רשומות תקינות לכל חמש התחלובות. נאמדו הפרמטרים עבור ק"ג חלב, שומן, חלבון, לוג ריכוז תאים סומטיים (לרת"ס), ופוריות נקבית.

השוואה בין המודלים החד-תכונתי והרב-תכונתי בניתוח כללי של העדר הישראלי

בניתוח הכללי לפי שני המודלים כללנו את כל הפרות עם רשומה תקינה לתחלובה ראשונה

אומדן ההורשה עבור כל פרט הוא סכום השפעה גנטית תוספתית והקבוצה הגנטית. השפעת הגורם הגנטי תוספתי עבור פרטים בלי רשומות תנובה (פרים, פרות בלי רשומות) נקבעת באמצעות "מטריצת הייחוסים" (Relationship matrix). לפרטים אלה לא מחשבים השפעות "עדר-שנה-עונה" ו"סביבה קבועה". השפעות התחלובה ועדר-שנה-עונה נחשבות "השפעות קבועות" ואינן כלולות בחישוב גורמי השונות. בניתוח של תכונות תנובת חלב הנחנו – שלהשפעות הגנטיות תוספתיות והסביבה הקבועה יש שונות שווה, וכל השפעה אחראית ל-25% של השונות הכללית. יתרת השונות, 50% נקבעת על ידי השארית. במודל החד-תכונתי מניחים שיש מתאם גנטי מלא בין התחלובות. כל תחלובה נחשבת דגימה נוספת של הערך הגנטי והלא-גנטי של הפרה ולכל תחלובה משקל שווה בקביעת הערך הגנטי של הפרה.

תיאור המודל הרב-תכונתי

פיתוח מודל הפרט הרב-תכונתי יושם על פי המאמר של דא וגרוסמן (1991). במודל הרב-תכונתי מחשבים עבור כל פרט השפעה גנטית תוספתית והשפעת הקבוצה הגנטית עבור כל תחלובה בנפרד. המודל הסטטיסטי הוא:

$$+ \text{תחלובה} + \text{עדר-שנה-עונה} = \text{תנובה שנתית} \\ + \text{שארית} + \text{קבוצה גנטית} + \text{גנטית תוספתית}$$

אין במודל השפעת "הסביבה הקבועה" של הפרה. במקום זה המודל משתמש במתאמים הסביבתיים בין התחלובות. כמו במודל החד-תכונתי, אומדן ההורשה הוא סכום השפעות הגנטיות התוספתיות והקבוצה הגנטית, והניתוח כולל התחלובות 1-5. במודל הרב-תכונתי לכל תחלובות תורשתיות שונה, על פי אומדנים המוצגים בהמשך. לכל פרט מחשבים אומדן הורשה עבור התחלובות 1-5, למרות שלרב הפרטים אין רשומות עבור כל התחלובות. בחישוב אומדן ההורשה מתבצע שקלול התחלובות על פי המתאמים הגנטיים והסביבתיים בין התחלובות והתורשתיות של

הלא־גנטית, כלומר השפעת הסביבה הקבועה, שווה לכ־21%, לעומת הערך של 25% במבחן השגרתי.

טבלה 2. גורמי שונות למודל הפרט הבודד החד־תכונתי.

התכונה	גנטי (תורשתיות)	סביבה קבועה	שארית (סביבתית)
חלב	0.285	0.216	0.499
שומן	0.293	0.206	0.501
חלבון	0.276	0.200	0.524
הערכים המשמשים במודל הקיים	0.25	0.25	0.50

בטבלות 3, 4, 5, 6, ו־7 מופיעים המתאמים והתורשתיות לק"ג חלב, שומן, וחלבון, לרת"ס ופוריות נקבית בתחלובות 1–5. אלה הפרמטרים לשימוש המודל הרב־תכונתי. מטבלה 3 מתקבל שעבור ק"ג חלב התורשתיות לתחלובה 1 היא הגבוהה מבין התחלובות. התורשתיות הולכת ויורדת עם עליית מספר התחלובה עד כדי 12.4% בתחלובה 5. המתאמים הגנטיים בין תחלובות סמוכות גבוהים; בין (1,2) 0.89, בין (2,3) 0.98, בין (3,4) 0.98 ובין (4,5) 0.98. המתאמים הגנטיים בין תחלובות לא סמוכות נמוכים יותר. ככל שהמרחק בין התחלובות מתארך, קטן המתאם. לדוגמה, המתאם בין (1,3) 0.88 ובין (1,5) 0.74. המתאמים הסביבתיים, בתחום 0.3–0.6 ויותר נמוכים מהמתאמים הגנטיים. התוצאות לק"ג שומן בטבלה 4 דומות במגמתן לק"ג חלב; ערכי התורשתיות והמתאמים הגנטיים והסביבתיים מתנהגים באופן דומה. כללית, התורשתיות גבוהה יותר עבור ק"ג שומן לעומת חלב. אומדן התורשתיות בתחלובות 1–4 גבוה מאשר במודל הנוכחי. התוצאות לק"ג חלבון בטבלה 5 דומות במגמתן לק"ג חלב ושומן; ערכי התורשתיות והמתאמים הגנטיים והסביבתיים מתנהגים באופן דומה. כללית, התורשתיות נמוכה מאשר חלב ושומן, אבל אומדני התורשתיות בתחלובות 1–3 גבוהים מאשר במודל החד־תכונתי.

עבור ק"ג חלב, שומן וחלבון, ותאריך המלטה בין 1.1.1985 ו־31.5.2002, בהתאם למבחן הרגיל מאוגוסט, 2002. תחלובות נוספות נכללות בתנאי שקיימות רשומות תקינות עבור כל התחלובות הקודמות של הפרה. תחלובות חלקיות עם לפחות שתי ביקורות חלב מאורכות ל־305 ימי חליבה. אבות, סבים, אמהות, וסבתות של פרות עם רשומות נכללים דרך מטריצת הייחוסים. בטבלה 1 מופיע מספר הרמות של הגורמים בניתוח תכונות תנובת חלב לפי מודל הפרט החד־תכונתי והרב־תכונתי.

טבלה 1. מספר הרמות של הגורמים בניתוח תכונות תנובת חלב לפי מודל הפרט החד־תכונתי והרב־תכונתי.

הגורם	מספר רמות
עדר־שנה־עונה	25,006
פרות עם רשומות	431,241
פרות בלי רשומות (אמהות)	92,805
פרים	1468
קבוצות גנטיות	58
רשומות	1,050,566

חישבנו את הנטיית הגנטיות לק"ג חלבון לפי תחלובה במודל הרב־תכונתי, וא"ה לק"ג חלבון של פרים עם לפחות 5,000 בנות. כמו כן, חישבנו הנטיות הגנטיות הכלליות עבור כל התכונות ואינדקס הטיפוח PD01. חישבנו את המתאמים בין אומדני ההורשה לפי המודל החד־תכונתי והרב־תכונתי לכל התכונות, והשוונו בין הפרים הגבוהים ביותר לפי PD01 במודלים הרב־תכונתיים והחד־תכונתיים.

תוצאות

חישוב הפרמטרים של שני המודלים

בטבלה 2 מופיעים אומדני גורמי שונות למודל הפרט החד־תכונתי, וכן ערכי הפרמטרים במבחן. מטבלה 2 מתקבל שהתורשתיות לק"ג חלב, שומן וחלבון היא בין 27% ל־30%. במבחן הפרים השגרתי מניחים תורשתיות של 25%. השונות שאריתית שווה ל־50% מתוך סה"כ השונות לכל התכונות. השונות הפרות

טבלה 5. מתאמים ותורשתיות לק"ג חלבון, תחלובות 1-5, הפרמטרים למודל הרב-תכונתי.

תחלובות					
5	4	3	2	1	
0.67	0.77	0.85	0.89	0.34	1
0.83	0.92	0.98	0.29	0.54	2
0.91	0.98	0.27	0.59	0.48	3
0.97	0.23	0.59	0.52	0.41	4
0.15	0.52	0.43	0.43	0.28	5

תורשתיות על האלכסון, מתאמים גנטיים מעל האלכסון, ומתאמים סביבתיים מתחת לאלכסון.

טבלה 6. מתאמים ותורשתיות ללוג ריכוז תאים סומטיים, תחלובות 1-5, הפרמטרים למודל הרב-תכונתי.

תחלובות					
5	4	3	2	1	
0.81	0.82	0.84	0.85	0.25	1
0.93	0.95	0.98	0.22	0.31	2
0.97	0.99	0.23	0.44	0.26	3
0.99	0.23	0.48	0.37	0.24	4
0.18	0.49	0.40	0.33	0.23	5

תורשתיות על האלכסון, מתאמים גנטיים מעל האלכסון, ומתאמים סביבתיים מתחת לאלכסון.

טבלה 7. מתאמים ותורשתיות לפוריות נקבית, תחלובות 1-5, הפרמטרים למודל הרב-תכונתי.

תחלובות					
5	4	3	2	1	
0.54	0.66	0.86	0.74	0.02	1
0.79	0.94	0.82	0.03	0.05	2
0.75	0.88	0.02	0.05	0.05	3
0.92	0.03	0.06	0.05	0.04	4
0.02	0.09	0.08	0.06	0.05	5

תורשתיות על האלכסון, מתאמים גנטיים מעל האלכסון, ומתאמים סביבתיים מתחת לאלכסון.

תוצאות נטיות גנטיות לפי תחלובות במודל הרב-תכונתי

בתרשים 1 מופיעות הנטיות הגנטיות במודל הרב-תכונתי לק"ג חלבון לפי תחלובה. כללית, הנטיות הגנטיות היו דומות בכל התחלובות. לתחלובה 2 היתה הנטייה הגנטית הגבוהה ביותר ולתחלובה 5 היתה הנטייה הגנטית הנמוכה ביותר. הנטייה הגנטית הכללית היתה

טבלה 3. מתאמים ותורשתיות לק"ג חלב, תחלובות 1-5, הפרמטרים למודל הרב-תכונתי.

תחלובות					
5	4	3	2	1	
0.74	0.82	0.88	0.89	0.39	1
0.85	0.92	0.98	0.29	0.57	2
0.94	0.98	0.27	0.59	0.53	3
0.98	0.22	0.59	0.53	0.46	4
0.12	0.51	0.44	0.37	0.32	5

תורשתיות על האלכסון, מתאמים גנטיים מעל האלכסון, ומתאמים סביבתיים מתחת לאלכסון.

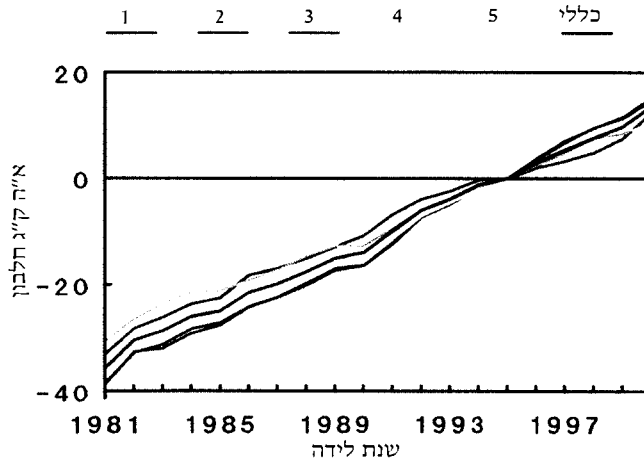
טבלה 4. מתאמים ותורשתיות לק"ג שומן, תחלובות 1-5, הפרמטרים למודל הרב-תכונתי.

תחלובות					
5	4	3	2	1	
0.76	0.84	0.88	0.91	0.42	1
0.90	0.96	0.99	0.38	0.58	2
0.95	0.99	0.34	0.61	0.53	3
0.98	0.29	0.59	0.55	0.46	4
0.20	0.52	0.47	0.41	0.34	5

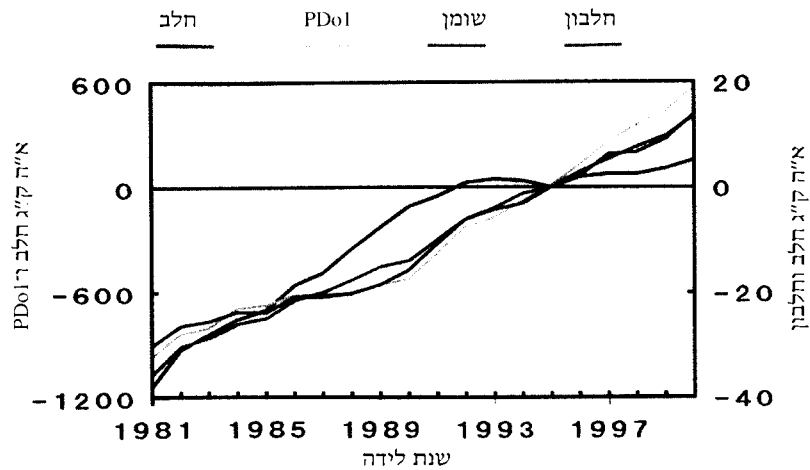
תורשתיות על האלכסון, מתאמים גנטיים מעל האלכסון, ומתאמים סביבתיים מתחת לאלכסון.

עבור לרת"ס בטבלה 6, אומדני התורשתיות לתחלובות 1-4 דומים, בסביבות 0.25, ולתחלובה 5 רק 0.18. התורשתיות במודל החד-תכונתי לרת"ס שווה ל-0.13 (ולר ועזרא, 1997). בשונה מתכונות ייצור, המתאם הגנטי בין תחלובה ראשונה לשנייה נמוך יותר, 0.85, והמתאם בין תחלובה ראשונה וחמישית גבוה יותר, 0.81. המתאמים הסביבתיים נמוכים יותר מאשר תכונות תנובת חלב, בהתאם לפרמטרים במודל החד-תכונתי. עבור פוריות נקבית בטבלה 7, אומדני התורשתיות לכל התחלובות היו קרובות ל-0.02. התורשתיות במודל החד-תכונתי לפוריות נקבית שווה ל-0.02 (ולר ועזרא, 1997). בדרך כלל המתאמים הגנטיים בין תחלובות לפוריות נקבית היו נמוכים יותר מאשר לתכונות ייצור. המתאמים הסביבתיים היו נמוכים מאד, כולם היו פחות מ-0.1, בדומה לפרמטרים במודל החד-תכונתי.

דומה מאד לנטייה הגנטית בתחלובה 4. בתרשים 2 מופיעות הנטיות הגנטיות לתכונות תנובת חלב ו־PD01 לפי המודל הרב־תכונתי. הנטייה הגנטית לחלב היתה חיובית עד 1992. מ־1992 ועד 1998 קרובה לאפס, ומאז חיובית. הייתה עליה בנטייה הגנטית ל־PD01 בשנים האחרונות. הנטייה הגנטית לחלבון היתה במקצת גבוהה יותר מאשר הנטייה הגנטית לשומן. (מ־1991 ועד 2001 משקל החלבון באינדקס הטיפוח, פי חמישה מאשר השומן). בתרשים 3 מופיעות הנטיות הגנטיות לריכוז שומן וחלבון. הנטיות הגנטיות היו שליליות עד 1990 ומאז הן



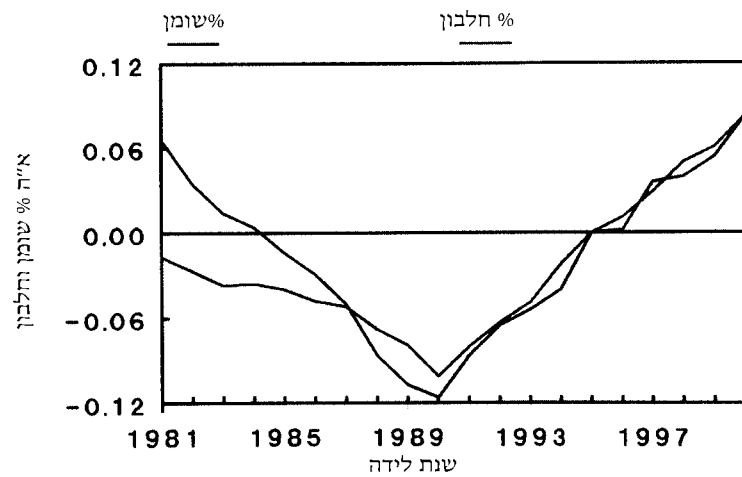
תרשים 1. נטיות גנטיות לתנובת חלבון לפי תחלובה.



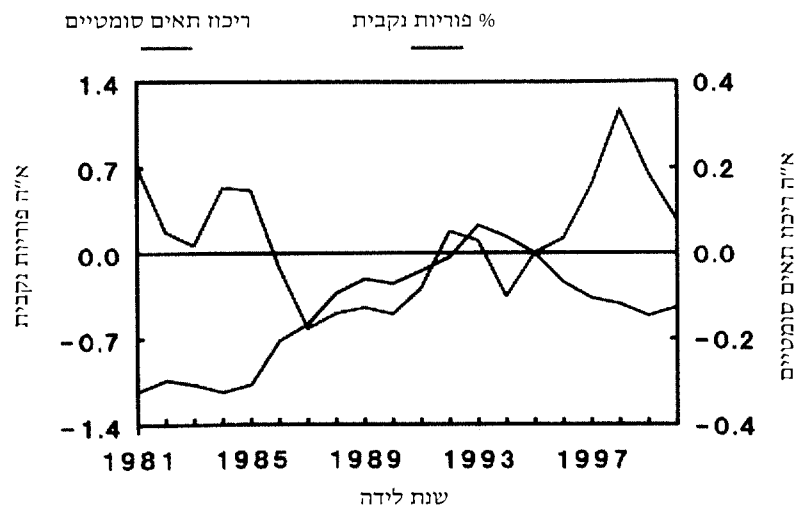
תרשים 2. נטיות גנטיות לתכונות תנובת חלב ו־PD01.

חיוביות. עד 1990 הנטיה הגנטית השלילית לריכוז שומן היתה חזקה יותר, מאז הנטיות דומות לשתי התכונות. בתרשים 4 מופיעות הנטיות גנטיות לפוריות נקבית ולרת"ס. אין

נטיה גנטית ברורה לפוריות נקבית. הנטיה הגנטית לרת"ס היתה "חיובית" (לא רצוי) עד 1993, ומאז "שלילית" (רצוי). ריכוז תאים סומטיים הוכנס לאינדקס הטיפוח רק ב-1996.



תרשים 3. נטיות גנטיות לריכוז שומן וחלבון.



תרשים 4. נטיות גנטיות לריכוז תאים סומטיים ופוריות נקבית. השוואת אומדני הורשה של פרים לפי שני המודלים.

סקורר. א"ה של הפריים המסומנים באדום. גיוס, שץ, שואג, גבי, גנדי, גלגל, גולית וגופי (גיוס, גלגל, גולית וגופי ממשפחת גיוס) יורדים עם העליה במספר התחלובה. בולט בירידה במיוחד הפר גלגל, ואכן גלגל היה מדורג במקום ראשון כאשר לבנות שלו היו רשומות רק בתחלובה ראשונה. אומדני ההורשה של הפריים סף, פלור, ובוילר (כולם ממשפחת פרחח) יציבים לאורך התחלובות.

השוואת אומדני הורשה של פריים עם יותר מ-5,000 רשומות לפי שני המודלים

בטבלה 8 מופיעים אומדני הורשה לק"ג חלבון של פריים עם יותר מ-5,000 רשומות לפי המודל הרב-תכונתי. א"ה של הפריים לייזר, בוטה, פצפון, וטבע (המסומנים בכחול) עולים עם העליה במספר התחלובה. כלומר במודל החד-תכונתי, עם הגעת הגל השני של בנות הפריים הני"ל, אומדני ההורשה שלהם צריכים לרדת. במיוחד בולטת התופעה אצל הפר

טבלה 8. אומדני הורשה לק"ג חלבון של פריים מעל 5000 רשומות לפי מודל רב-תכונתי.

מספר תחלובה						
מספר פר	שם פר	1	2	3	4	5
829	גיוס	-1.4	-2.8	-3.8	-5.1	-5.4
2122	שץ	-2.0	-7.2	-8.5	-8.4	-6.7
2124	שואג	-2.4	-5.7	-5.9	-5.7	-5.0
2132	גבי	0.3	-6.9	-7.2	-6.9	-5.8
2283	גנדי	3.9	-2.4	-3.9	-5.1	-6.5
2303	גלגל	3.4	-6.0	-7.4	-8.2	-7.9
2335	סף	-3.5	-4.6	-3.6	-1.8	-0.9
2357	פלור	6.3	8.8	6.8	4.1	2.0
3099	גולית	5.6	1.4	-0.5	-2.8	-4.5
3212	סינבד	9.5	12.3	11.9	11.2	9.4
3304	גופי	11.1	10.6	9.6	8.0	5.8
3376	בוילר	8.2	13.9	13.4	11.8	9.3

טבלה 9. מתאמים בין אומדני הורשה של הפריים לפי המודלים החד-תכונתי והרב-תכונתי, 508 פריים.

מתאם	תכונה
0.98	ק"ג חלב
0.99	ק"ג שומן
0.98	ק"ג חלבון
1.00	אחוז שומן
1.00	אחוז חלבון
0.99	חמ"מ 91
0.98	לרת"ס
0.99	פוריות בנות
0.98	חמ"מ 96
0.99	חמ"מ 01

השוואת אומדני הורשה של פריים לפי שני המודלים.

בטבלה 9 מופיעים המתאמים בין אומדני הורשה של פריים לק"ג חלב, שומן, חלבון, לרת"ס, פוריות בנות, PD91, PD96, ו-PD01 לפי שני המודלים עבור 508 פריים עם הישגות מעל 75% לכל התכונות. כל המתאמים גבוהים מאד, 0.98 ויותר. המתאמים צפויים להיות גבוהים, מאחר שבנות רב הפריים סיימו תחלובות 1-5. עיקר השינוי הוא לפריים צעירים ולפריים עם בנות חוזרות מהגל השני. סטיות התקן בין א"ה היו בדרך כלל גבוהות יותר לפי המודל הרב-תכונתי. סטיית התקן עבור PD91 היתה 273 במודל החד-תכונתי, ו-303 במודל הרב-תכונתי.

סיכום

פותח מודל רב־תכונתי לאחר אמידת ערכי תורשתיות ומתאמים גנטיים לתחלובות 1-5 לתכונות ק"ג חלב, שומן, חלבון, לרת"ס ופוריות בנות. בדרך כלל ערכי התורשתיות לכל התכונות היו גבוהים מאשר במודל הנוכחי. המתאמים הגנטיים לכל התכונות היו גבוהים לתחלובות סמוכות, ונמוכים יותר בין תחלובות רחוקות. המתאמים בין תוצאות המודל הרב־תכונתי לחד־תכונתי היו מעל 0.97 עבור כל התכונות ובהתאם לצפוי. יישום המודל עשוי להקטין את תופעת ה־RIP-DIP, בגלל חישוב אומדני ההורשה לתחלובות 1-5 בנפרד.

ועדת ספר העדר אישרה את המודל הרב־תכונתי כמבחן פרים רשמי בישראל. נשלח קובץ מעודכן ל־INTERBULL ולאחר קבלת אישור INTERBULL ייושם למבחנים שגרתיים. לפי המודל החד־תכונתי מחשבים "פוטנציאל הייצור" כסכום אומדני ההורשה והשפעת הסביבה הקבועה של כל פרה. כאמור, לפי המודל הרב־תכונתי השפעת הסביבה הקבועה כבר לא קיימת. בשנה הקרובה נפתח אומדנים לפוטנציאל ייצור לפי המודל הרב־תכונתי על בסיס המתאמים בין התחלובות.

המחבר

השוואת אומדני הורשה של פרי הצמרת לפי שני המודלים

בטבלה 10 מופיעים מבחני הפרים לפי המודל הרב־תכונתי של עשרת הפרים הגבוהים ביותר לפי PD01. א"ה של כל הפרים האלה היה גבוה יותר לפי המודל הרב־תכונתי, אך המיון בטבלה היה לפי המדד הזה. לפרים צעירים עם תחלובות ראשונות בלבד (דליה, ליבה, גוקאי, ודנדן) יש שינויים גדולים יחסית. ערכי הפרים לתחלובות 2-5 מושפעים מהמתאמים הגנטיים וכן מאילן היוחסין שלהם. אומדן פר צעיר שבנותיו בתחלובה ראשונה והוא בן לפר שאומדנו משתפר עם העליה במספר התחלובה יזכה ל"בונוס" (דליה ודנדן).

טבלה 10. מבחן פרים לפי מודל הרב־תכונתי, עשרה הפרים הגבוהים ביותר לפי PD01.

שם פר	רב־תכונתי	חד־תכונתי	הפרש
דליה	965	777	188
דאמסל	881	787	94
סידון	881	871	10
אקסטרים	813	761	52
לילאק	746	647	99
ליבה	738	588	150
אבשה	714	673	41
דנדן	697	486	211
גוקאי	656	474	182
צליין	640	504	136

ספרות

ולר, י., עזרא, א., (2001) חזרתיות של מבחן פרים בישראל לפי מודל הפרט הבודד. משק הבקר והחלב 294: 9-14.

Da, Y. and Grossman, M. (1991) Multitrait animal model with genetic groups. *J. Dairy Sci.* **74**: 3183-3195.

Weller, J. I. and Ezra, E. (1997) Genetic analysis of somatic cell concentration and female fertility of Israeli Holsteins by the individual animal model. *J. Dairy Sci.* **80**: 586-594.