

האם ניתן לשפר את תכנית הטיפול הישראלית?

א. עזרא ריי. ולר

היחידה לגנטיקה של בע"ח, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני

הקדמה

היתה כארבע שנים. ממוצע מספר הבנים לאבות ילידי הארץ היה שבעה (נכללו בחישוב רק אבות עם יותר מבן אחד).

כללית, מטרת כל תכנית טיפוח היא להשיג התקדמות גנטית מירבית לתכונות יעד סלקציה (בירור) תחת אילוצים ביולוגיים, כלכליים ואחרים. בעדר הבקר הישראלי האילוצים העיקריים הם: גודל העדר (כ-100,000 פרות, כש-70% בביקורת חלב), מספר המבכירות המצטרפות לעדר בכל שנה (כ-30,000), מחזור החיים ושיעור הרבייה של הפרה, הצורך להקטין את אחוז הקרבה בשאירות וההוצאות הכרוכות בהחזקת פרים. מטרת עבודה זו לחזות את ההתקדמות הגנטית הצפויה בשנה, כפונקציה של הגורמים הניתנים לויסות על ידי המטפחים והם:

- מספר הפרים הנבחנים בכל שנה;
 - מספר הפרות המזווגות עם פרים צעירים;
 - מספר השנים שמשמשות בפר נבחן.
- מטרה נוספת היתה לאמוד את התרומה הצפויה של השתלת עוברים מפרות עתודות להתקדמות הגנטית.

תכנית הטיפול הקיימת בארץ הוטוטה לפני כ-20 שנה. התכנית מבוססת על מבחן צאצאים של פרים, כשהיעד העיקרי בטיפול הוא חלב מתוקן מחיר (חמ"מ). לפי התכנון מזווגות המבכירות בעדרי ביקורת החלב עם כ-40 פרים צעירים. כדי להשיג את מספר הפרים הדרוש מזווגות כ-250 פרות עתודות עם ששת הפרים הטובים ביותר. כדי למתן את הקרבה בשאירות, כשליש מן הפרים הצעירים הם בנים של פרים מחו"ל, בעיקר מארה"ב. כשהפר בגיל חמש בממוצע, מתקבלות תוצאות מבחני הצאצאים. מתוך פרים אלה נבחרים בכל שנה כ-5 פרים לשימוש נרחב, היתר נשחטים. מחזור החיים של פר מופיע בטבלה 1. כ-20 פרים נמצאים בשימוש נרחב בעת ובעונה אחת ומהם מזריעים כ-80% מהפרות בעדר הישראלי. כ-200 פרים נמצאים בפריות שבמכוני ההזרעה המלאכותית.

בטבלה 2 מופיעה ההתפלגות בפועל של הפרים שנבחנו, לפי שנת הלידה ומספר אבות הפרים. בין השנים 1980-75 נבחנו 37 פרים בממוצע לשנה, ומהם נבחרו 5.6 פרים לשימוש רחב, בממוצע. תקופת השימוש הממוצעת

טבלה 1. מחזור חיים של פר.

גיל הפר בשנים	תיאור השלב
0	לידה
1-1.4	הפקה ובדיקות זירמת הפר, והזרעות עם מבכירות.
1.9-2.2	המלטות של הפרות שהזרעו.
2.9-3.7	הזרעות עגלות בנות הפר.
3.6-4.4	המלטות בנות הפר.
5	סיכום תחלובה ראשונה, בחירת פרים מצטיינים לשימוש נרחב, שחיטת יתר הפרים.
6	סיכום תחלובה שנייה, ובחירת פרים כאבות לפרים צעירים.
7	סיכום תחלובה שלישית, ולידת עגלים.
8-12	שחיטת פרים נבחנים.

טבלה 2. התפלגות פרים צעירים לפי שנת לידה.

שנת לידה			מספר הפרים הנבחים				מספר האבות של הפרים ²	
	סה"כ	מהם פרים שחזרו ¹	בנים לאבות ילידי הארץ		סה"כ	ילידי הארץ		
			מספר	אחוז			מספר	אחוז
1975	34	5	22	65	8	4	50	
1976	47	10	35	74	8	6	75	
1977	33	5	21	64	7	5	71	
1978	34	4	23	68	6	3	50	
1979	47	4	22	47	10	5	50	
1980	32	?	18	56	10	5	50	
1981	34	?	29	85	6	6	100	
סה"כ	261	28	170	65	39	23	59	

¹ עדיין אין סיכום של מספר הפרים ילידי 81-1980 ולכן מופיע סימן שאלה.

² מספר פרים שימשו כאבות לפרים בתקופה של יותר משנה אחת.

שיטות

כאשר:

R ההתקדמות הגנטית הצפויה בשנה.
 G_{ss} ההתקדמות הגנטית הצפויה לדור כתוצאה מסלקציה אב לבן.
 G_{sd} ההתקדמות הגנטית הצפויה לדור כתוצאה מסלקציה אב לבת.
 G_{ds} ההתקדמות הגנטית הצפויה לדור כתוצאה מסלקציה אם לבן.
 G_{dd} ההתקדמות הגנטית הצפויה לדור כתוצאה מסלקציה אם לבת.
 L_{ss} אורך דור ממוצע מכיוון אב לבן.
 L_{sd} אורך דור ממוצע מכיוון אב לבת.
 L_{ds} אורך דור ממוצע מכיוון אם לבן.
 L_{dd} אורך דור ממוצע מכיוון אם לבת.

את ההתקדמות הגנטית הצפויה לדור בכל כיוון ניתן לחשב לפי הנוסחה הבאה:

$$G_j = i_j (h_j) \sigma_G$$

כאשר:

G_j ההתקדמות הגנטית הצפויה לדור מכיוון j.
 i_j לחץ הסלקציה מכיוון j.

חישובי ההתקדמות הגנטית מבוססים על ההנחות הבאות:

1. בכל שנה משתמשים בכששה פרים כאבות לפרים צעירים.
2. עשרים פרים נבחים נמצאים בשימוש רחב בפריות שבאגודות להזרעה.
3. סטית התקן הפנוטיפית של חמ"מ שווה ל-1400 ק"ג.
4. התורשתיות לחמ"מ שווה ל-0.2.
5. 17.5% מהפרות מוצאות מהעדר בגלל חמ"מ נמוך.
6. השתלת עוברים תגדיל את שיעור הבירור (הסלקציה) של פרות עתודות פי שלושה מהמצב הנוכחי.

ההתקדמות הגנטית לדור תהיה שונה בכל אחת מארבעת כיווני התורשה: אב לבן, אב לבת, אם לבן, אם לבת. ניתן לחשב את ההתקדמות הגנטית הממוצעת הצפויה בשנה לפי הנוסחה הבאה (1):

$$R = \frac{G_{ss} + G_{sd} + G_{ds} + G_{dd}}{L_{ss} + L_{sd} + L_{ds} + L_{dd}}$$

טבלה 3. שיעור הסלקציה, אורך דור ורמת הדיוק מארבעת כיווני תורשה¹.

כיוון תורשה	אורך דור	שיעור סלקציה	דיוק אומדן תורשה
אב לבן	$\frac{14 + (Y-1)}{2}$	$\frac{6}{Y(N)}$	$\sqrt{\frac{0.05}{0.05 + 0.45N/(300Q) + 0.5N/(540Q)}}$
אב לבת	$\frac{(100-Q)(6+Y)+4Q}{200}$	$\frac{20}{Y(N)}$	$\sqrt{\frac{0.05}{0.05 + 0.95N/(300Q)}}$
אם לבן ללא השתלת עוברים	6	$\frac{N}{5000}$	0.6
אם לבן עם השתלת עוברים	6	$\frac{N}{15000}$	0.6
אם לבת	4	0.83	0.55

¹ Q אחוז הפרות המזווגות עם פרים צעירים.

Y מספר שנים ממוצע לעבודה עם פר נבחן.

N מספר הפרים הצעירים הנבחנים בכל שנה.

בהתאם להנחות המודל שימוש בהשתלת עוברים בתוכנית הטיפוח ישפיע רק על שיעור ולחץ הסלקציה בכיוון אם לבן, ולכן בטבלה 3 מופיעות שתי שורות לכיוון סלקציה זה.

σ_G שווה לשורש התורשתיות כפול סטית

התקן הפנוטיפית בעדר הבקר בישראל.

$$\sigma_G = 1400 \sqrt{0.2} = 630 \text{ ק"ג}$$

תוצאות

בטבלה 4 מוצגים השינויים בהתקדמות הגנטית לחמ"מ עם ובלי השתלת עוברים, כפונקציה של מספר הפרים הנבחנים בשנה, וזמן השימוש הממוצע של פר נבחן, כאשר מספר המבכירות בכל שנה בנות לפרים צעירים שווה ל-4500. כאמור, בין השנים 1980-75 נבחנו 37 פרים בממוצע לשנה, ותקופת השימוש הממוצעת היתה כארבע שנים. בנתונים אלה ההתקדמות הגנטית הצפויה לשנה שווה ל-124 ק"ג. בפועל ההתקדמות היתה 100 ק"ג (3), כלומר 80% מהערך הצפוי. ההתקדמות הגנטית המירבית, 127 ק"ג חמ"מ, מתקבלת כאשר פר נבחן משרת ארבע שנים, 70 פרים נבחנים בכל שנה, לכל פר צעיר כ-64 בנות חולבות, וסה"כ

h_i מידת הדיוק של אומדן תורשת ההורה בכיוון j.

σ_G סטית התקן הגנטית של תכונת יעד הסלקציה.

לחץ הסלקציה הוא פונקציה של שיעור הסלקציה, שהוא היחס בין מספר הפרטים הנבחרים כהורים לבין מספר הפרטים הנבדקים. בעבודה זו לחץ הסלקציה חושב על ידי נוסחת הקירוב הבאה (2):

$$i = 0.8 + 0.41[\ln(1/p - 1)]$$

כאשר: p שיעור הסלקציה.

מידת הדיוק הינה פונקציה של התורשתיות ומספר הקרובים של הפרט עם רישום לתכונת היעד ומידת קרבתם לפרט הנבחן.

בטבלה 3 מופיעים אורכי הדור, שיעורי הסלקציה ומידת הדיוק של אומדני התורשה לחמ"מ, עבור ארבעת כיווני התורשה. ערכים אלה מופיעים כפונקציה של:

Q אחוז הפרות המזווגות עם פרים צעירים.

Y מספר שנים ממוצע לעבודה עם פר נבחן.

N מספר הפרים הצעירים הנבחנים בכל שנה.

טבלה 4. התקדמות גנטית לחמ"מ, כאשר 4500 מבכירות הן בנות לפרים צעירים (מצב נוכחי).

מספר שנות עבודה של פר נבחן	מספר פרים צעירים	התקדמות גנטית לשנה (ק"ג חמ"מ) ללא השתלת עוברים	עם השתלת עוברים
2	30	115	122
	40	118	126
	50	121	128
	60	122	129
	70	123	130
	80	124	131
	90	124	131
	100	124	131
3	30	120	126
	40	123	129
	50	124	131
	60	125	132
	70	126	133
	80	126	133
	90	127	134
	100	127	134
4	30	121	128
	40	124	130
	50	125	132
	60	126	133
	70	127	133
	80	127	134
	90	127	134
	100	127	133
5	30	121	128
	40	123	130
	50	125	131
	60	125	132
	70	126	132
	80	126	133
	90	126	133
	100	126	132

יוחזקו כ־300 פרים בפריות שבאגודות להזרעה. הצעירים הנבחים בכל שנה ל־80 מביא יישום השתלת עוברים בשיטת הטיפוח יגדיל את ההתקדמות הגנטית לחמ"מ בכ־6–7 ק"ג. שיפור של 10 ק"ג, יחסית למצב הנוכחי. בטבלה 5 מוצגים השינויים בהתקדמות שילוב של השתלת עוברים ושינוי מספר הפרים

טבלה 5. התקדמות גנטית צפויה לחמ"מ, כתלות באחוז הפרות המזווגות עם פרים צעירים ומספר הפרים הנבחנים בכל שנה¹.

סה"כ	מבכירות בנות פרים צעירים	ממוצע לפר	מספר פרים צעירים	התקדמות גנטית לשנה (ק"ג חמ"מ)	
				ללא השתלת עוברים	עם השתלת עוברים
3000	10	75	40	122	128
		60	60	123	130
		38	80	123	129
		30	100	122	129
4500	15	113	40	124	130
		75	60	126	133
		56	80	127	134
		45	100	127	134
6000	20	150	40	125	131
		100	60	128	134
		75	80	129	136
		60	100	129	136
7500	25	188	40	125	132
		125	60	128	135
		94	80	130	137
		75	100	131	137
9000	30	225	40	125	131
		150	60	128	135
		113	80	130	137
		90	100	131	138
20000	267	400	50	117	125
		200	100	119	127
		133	150	119	128
		100	200	119	128

¹ פר נבחן משרת ארבע שנים בממוצע.

² אחוז זה מהווה את כל המבכירות בעדרי ביקורת החלב.

הגנטית לחמ"מ עם ובלי השתלת עוברים כפונקציה של מספר המבכירות בנות לפרים צעירים ומספר הפרים הנבחנים בכל שנה. הטבלה בנויה על סמך ההנחה, שפר נבחן משרת ארבע שנים, בממוצע, מקרה בו מושגת ההתקדמות הגנטית המירבית. ההתקדמות הגנטית המירבית שווה ל-131 ק"ג חמ"מ והיא מתקבלת, כאשר 7500 מבכירות הן בנות לפרים צעירים, 100 פרים צעירים נבחנים בכל שנה, לכל פר צעיר כ-75 בנות חולבות ו-420 פרים יוחזקו בפירות שבאגודות להזרעה. שילוב של השתלת עוברים במערכת הטיפוח גורם לתוספת של 6-7 ק"ג חמ"מ בכל הצירופים שנבדקו.

מסקנות ודיון

תכנית הטיפוח הנוכחית מביאה לתוצאות גנטיות טובות. ניתן לשפר את ההתקדמות הגנטית, ברמה הנוכחית של מספר המבכירות בנות לפרים צעירים, על ידי הגדלת מספר הפרים הנבחרים בכל שנה והשתלת עוברים. הכנסת שני הגורמים בריזמית תביא לשיפור גנטי של כ-10 ק"ג חמ"מ בשנה. השיפור הוא גדול בהתחשב בעובדה, שהוא מצטבר לאורך השנים. לאחר 10 שנות טיפוח התוספת להתקדמות הגנטית תהיה 100 ק"ג חמ"מ. ראוי לציין, שהרחבת מדגם הפרים הנבחרים בכל שנה תצמצם את הקרבה בשאירות, מחד – והקטנת מספר הפרות אמהות לפרים צעירים (עתודות) תגדיל את הקרבה בשאירות, מאידך.

השיפור המירבי בהתקדמות הגנטית מושג, כאשר יוגדל מספר המבכירות בנות פרים צעירים ל-7500 ומספר הפרים הנבחרים ל-100. השינויים הדרושים בתכנית הטיפוח הינם משמעותיים. ראשית, השינוי ידרוש הכפלת מספר העמדות של פרים בפירות שבאגודות להזרעה. שנית, העלאת מספר המבכירות בנות לפרים צעירים תחייב כתיבת תכנית זיווגים חדשה לאוכלוסית הפרות. כיום מזווגות רק מבכירות המשתתפות בביקורת החלב עם פרים צעירים. שינוי התכנית ידרוש זיווגים בין פרים צעירים ופרות נוספות שאינן מבכירות, לכן הפרות האלה לא יהיו מדגם גנטי אקראי. ניתן להתגבר על חוסר האקראיות באמצעות שינוי מודל מבחן הפרים מ-"מודל הפר" (Sire Model),

הנהוג כיום, ל-"מודל הפרט" (Animal Model). מודל זה מומלץ על ידי ה-Inter Bull, שהוא ארגון עולמי המפקח על מבחני הפרים (4).

שילוב של השתלת עוברים בתכנית הטיפוח של עדר הבקר הישראלי עשוי להביא לשיפור של 6-7 ק"ג חמ"מ בשנה. בתחום הנידון, השיפור אינו תלוי ביתר הגורמים הניתנים לויסות.

שינוי התכנית הטיפוחית חייב לבוא בהקשר הכלכלי, כלומר כדאיות ההשקעה בשינוי. במאמר זה נסקרו ההבטים הגנטיים של תכנית הטיפוח הנוכחית וכן כיצד ניתן לשפר את ההתקדמות הגנטית לתכונות יעד הסלקציה באמצעות שינוי תכנית הטיפוח. בעתיד הקרוב נסקור, במאמר נפרד, את ההבטים הכלכליים של שינוי תוכנית הטיפוח. 

ספרות

1. Owen, J.B. (1975). Selection of dairy bulls on half-sister records. *Animal Production*. 20:1-10.
2. Smith, C. (1969). Optimum selection procedures in animal breeding. *Animal Production*. 11:433-443.
3. Weller, J.I., M. Ron and R. Bar-Anan. (1986). Multilactation genetic analysis of the Israeli dairy cattle population. 3rd World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Lincoln, NE. 202.
4. Anon. Recommended Procedures for International Use of Sire Proofs. International Bull Evaluation Service. Draft, September 1988. 16 pp.

