

סלקציה ברמת הידנא לכמות ואיכות חלבון החלב באוכלוסית בקר לחלב בישראל

מיכה רוני¹, נטע צור¹, יהודה ולר¹ ואפרים עזרא²
¹מינהל המחקר החקלאי, ²המ"ב

הקציר

חלבון החלב הוא הרכיב בעל הערך המירבי, הן מבחינה תזונתית והן מבחינה כלכלית. לאחרונה, ייצור חלבון החלב הפך למטרת הטיפוח העיקרית בבקר לחלב. בארץ למעלה ממחצית החלב מעובד לגבינות; על כן, יש חשיבות רבה לשיעור חלבון גבוה וכושר התגבנות מיטבי בתהליך התעשייתי. שני גנים משפיעים על אלה; הראשון מקדד לקפאקזאין והשני לביתא-לקטוגלובולין. נמצאו שני וריאנטים חלבוניים של קפאקזאין (B ו-A) ושל בתא-לקטוגלובולין (אף אלה מכונים A ו-B). שרשרות חומצות האמינו של הווריאנטים של כל חלבון דומות זו לזו, אך יש ביניהן הבדלים זעירים חשובים. כאשר שני הגנים נמצאים במצב BB, הם מגבירים את כמות החלבון ב-3% ואת שיעור הגבינות עד 5%. עד עתה ניתן היה לקבוע את הגנוטיפ של פרות לחלבונים אלה על ידי בדיקה ביוכימית של חלבוני החלב. את הגנוטיפ של פרים ניתן היה לקבוע רק בצורה עקיפה על פי הגנוטיפים של בנותיהם. למרות שזכרים אינם מניבים חלב, הם מכילים את הגנים לחלבוני חלב אלה. במעבדתנו נקבע גנוטיפ הפרים ברמת הידנא לקפאקזאין וביתא-לקטוגלובולין בשיטה מולקולרית בעלת דיוק מירבי הנקראת שיטת PCR.

מטרות המחקר: א. לאמוד את שכיחות הגנים באוכלוסית הפרים; ב. לבחון את ההבדלים בייצור גבינה מדוגמאות חלב של פרות השונות בגנוטיפ לחלבוני חלב; ג. לקבוע את הערך הכלכלי של הגנים ולבחון, איך לשלב אותם באינדקס הסלקציה של הפרים.

תוצאות ראשוניות מראות ששכיחות האלל B לגן קפאקזאין, על פי מדגם פרים ישראליים, היא 17% בדומה לזו בארה"ב (15%), ושכיחות

האלל B לגן ביתא-לקטוגלובולין היא 30% ואינה דומה כלל לזו בארה"ב (60%). לפי כך נראה, ששכיחות האלל B, המעלה כלכלית בכל אחד משני הגנים, היא נמוכה בישראל. לכן, קיים פוטנציאל להתקדמות גנטית על ידי סלקציה לאלל זה בשני הגנים. על ידי העלאה של שכיחות האלל B לקפאקזאין מ-17% ל-100% ניתן יהיה לייצר את אותה הכמות של מוצרי גבינה ב-20 מליון ליטר חלב פחות לשנה בחסכון של 2.3% ברמה הארצית, שהם 18.5 מליון שקל.

מבוא

חלבון החלב הוא הרכיב בעל הערך המירבי, הן מבחינה תזונתית והן מבחינה כלכלית. בארץ למעלה ממחצית החלב מעובד לגבינות (המועצה לענף החלב, 1991). על כן, יש חשיבות רבה לשיעור חלבון גבוה וכושר התגבנות מיטבי בתהליך התעשייתי. החלבון בחלב מכיל בממוצע כ-80% קזאינים והיתרה חלבוני מ-הגבינה, בעיקר אלפא-לקטאלבומין וביתא-לקטוגלובולין. הקזאינים יוצרים את שלד הגבינות בשל כושר התגבנותם. מספר הקזאינים העיקריים הוא ארבעה: אלפא-1, אלפא-2, בתא וקפא והם מבוקרים על ידי גנים שונים הנמצאים בתאחיזה על הכרומוזום בבקר (Fries, 1990). חלבון נוסף אשר אינו נקרא אך תורם להתגבנות הוא הביתא-לקטוגלובולין.

לאחדים מהגנים לחלבוני החלב יש שניים או יותר מצבים אלטרנטיביים לגן (אללים) היוצרים חלבונים השונים זה מזה בחומצת אמינו אחת.

נמצאו שני אללים לגן קפאקזאין (A ו-B), ושני אללים לגן ביתא-לקטוגלובולין (אף אלה מכונים A ו-B). לכן, עבור כל גן קיימים באוכלוסיה שלושה גנוטיפים: AA, AB, BB.

שני האללים של קפא־קזאין ושל ביתא־לקטוגלובולין נמצאו בכל הגזעים שנבדקו, אך בשכיחויות שונות. אלל A של קפא־קזאין הוא השכיח בכל הגזעים פרט לג'רוי, נורמנדי והזבו הדרום־אפריקאי. שכיחויות הגנים הנ"ל בארצות שונות מוצגות בטבלה 1. בגזע ג'רוי אלל B הוא דומיננטי באוכלוסיה (90%), בעוד שבגזע הולשטיין הוא נע בין 15 ל־30 אחוז. שכיחות אלל B בגן לביתא־לקטוגלובולין בבקר נעה בין 48 ל־61% במדינות השונות.

ב. בדיקות DNA

למרות שזכרים אינם מניבים חלב, הם מכילים את הגנים לחלבוני חלב אלה. את הגנוטיפ של פרים ניתן היה לקבוע רק בצורה עקיפה על פי הגנוטיפים של בנותיהם. שיטה זו דורשת קביעת גנוטיפ של מספר רב של פרות ובהרבה מקרים אינה מביאה למסקנה חד־משמעית. קביעה ישירה של הגן ברמת ה־DNA היא מורכבת בגלל מספר העותקים הנמוך של הגן ב־DNA והצורך להשתמש בסימון רדיואקטיבי. לאחרונה דווח על קביעת גנוטיפ הפרים ברמת ה־DNA לקפא־קזאין וביתא־לקטוגלובולין בשיטה מולקולרית בעלת דיוק מירבי, הנקראת שיטת Polymerase chain reaction (PCR) (Medrano, 1990a ו־Skidmore, 1990b; וחוב', 1990). זאת תגובת שרשרת של האנזים המבצעת הכפלה של קטע DNA ספציפי פי מליון ויותר. DNA המופק מדם או זרמה של

בשני הגנים משפיע סוג האלל על כמות החלבון הכללי ועל ההתגבנות; אלל B של קפא־קזאין מביא להגדלת כמות החלבון ומאיץ את ההתגבנות על ידי אנזים הנקט וקשור לשיעור נמוך יותר של חומצת הלימון בחלב (1968 Aschaffenburg); אלל B של ביתא־לקטוגלובולין מגביר את כמות הקזאין, את שיעור החלבון המתגבן ואת כמות החומר היבש בגבינה (1985, Schaar; Marziali, 1986; וחוב', Aleandri; וחוב', 1990).

העדויות לגבי שיעור ההשפעה של BB על כמות החלבון והגבינות אינן חד־משמעיות; בסקירה של Gibson (1990) מתקבל, שהגן לקפא־קזאין במצב BB מגביר את כמות החלבון בשיעור של 3% לעומת מצב AA. האומדן המירבי של BB על כמות הגבינות הוא 5%.

בעבודה זו ידווחו השכיחויות של הגנים לקפא־קזאין וביתא־לקטוגלובולין באוכלוסיות הבקר הישראלי, ההשפעות הגנטיות והכלכליות של הגנים ויחושב אינדקס הסלקציה המתחשב בגנים אלה.

שכיחות הגנים לקפא־קזאין וביתא־לקטוגלובולין בבקר

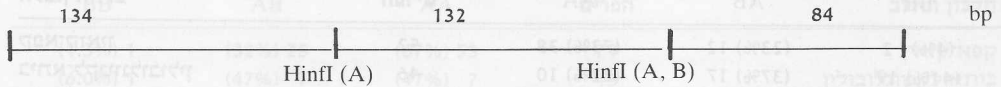
א. בדיקות חלב

עד עתה ניתן היה לקבוע את הגנוטיפ של פרות לחלבונים אלה על ידי הפרדת חלבונים בגל אלקטרופורזה על פי משקלם המולקולרי.

טבלה 1. שכיחות האלל B בגנים לחלבוני חלב בקר (ב%).

זנע	ארץ	שנה	קפא־קזאין B	ביתא־לקטוגלובולין B
ג'רוי			90	
הולשטיין	אנגליה		17	
	צרפת	1967	29	
	איטליה	1981	28	54
	קנדה	1984	26	61
	הולנד	1990	17	48
	גרמניה	1990	20	59
	ארה"ב	1990	15	60

איור 1. הכפלה של 350 בסיסים של הגן לקפא-קזאין. אתרי חיתוך של כל אלל (A או B) מוצגים לאנזים HinfI.



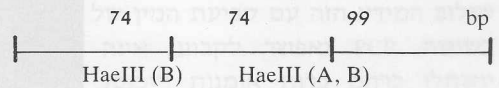
הפעיל אנזימי חיתוך; HinfI על תוצר ה-PCR של הגן לקפא-קזאין ואת HaeIII על תוצר ה-PCR של הגן לביתא-לקטוגלובולין. אנזים החיתוך מזהה את רצף הבסיסים של האלל המתאים, A או B, וחותר את קטע ה-DNA (איור 1 ו-2); נוצרים מקטעי דנא באורך שונה עבור כל אלל. המקטעים המתקבלים מהחיתוך מורצים על גל אלקטרופורזה. מרחק התנועה של כל מקטע נקבע על פי אורכו. ניתן להבחין במקטעים השונים וכך לקבוע את האללים של הגנוטיפ (טבלה 2). (Medrano & Estuardo, 1990; Levezuel; וחוב', 1988).

קביעת גנוטיפים הפרים מבוצעת באופן שוטף בארצות הבאות: צרפת, קנדה, איטליה, גרמניה, ארה"ב, בלגיה ושווייץ. בגרמניה נבדקים כל הפרים הצעירים לגבי הגנוטיפ של קפא-קזאין ונבחרים למבחן צאצאים רק אלה הנושאים גנוטיפ AB או BB.

בטבלה 3 מוצגים שכיחות הגנוטיפים לגנים הנ"ל בפרי הולשטיין בקליפורניה. הנתונים מאשרים את אלה של Ng-Kwai-Hang 'חוב' (1986) ו-Aleandri et al. (1990). הגנוטיפ הרצוי לגבי קפא-קזאין (BB) נמצא בשכיחות של כ-4% בלבד, בעוד שהגנוטיפ הרצוי לביתא-לקטוגלובולין נמצא בשכיחות של כ-41%.

הפר ישתתף בריאקציה, עותקים מהגן הרצוי מיוצרים בכמות שמאפשרת אנליזה בג'ל אגרוז (agarose) ללא סימון רדיואקטיבי. שיטת PCR מותנית בקיום תחלים (primers), שהם קטעי DNA סינתטיים המכילים כ-20 בסיסים, ברצף ייחודי, המנתבים את האנזים (DNA פולימראז) לאתר יחיד בגנום לייצור עותקים רבים. כדי ליצור את התחלים, דרוש מידע על רצף הבסיסים סביב האתר שבו מעוניינים. Medrano (1990b) ייצר את התחלים הדרושים להכפלה ספציפית של כל אחד מהגנים בנפרד ובעזרת תגובת שרשרת הוא הגדיל את מספר העותקים של כל אחד מהגנים: קפא-קזאין וביתא-לקטוגלובולין. על בסיס המידע של רצף הבסיסים השונה בין האללים לכל גן בנפרד הוא

איור 2. הכפלה של 250 בסיסים של הגן לביתא-לקטוגלובולין. אתרי חיתוך של כל אלל (A או B) מוצגים לאנזים חיתוך HaeIII.



טבלה 2. אורך המקטעים הצפויים מחיתוך תוצרי PCR לכל אחד מהגנים.

גן	גנוטיפ	אנזים חיתוך	אורך מקטעים
קפא-קזאין	AA	HinfI	84, 132, 134
	AB		84, 266, 132, 134
	BB		84, 266
ביתא-לקטוגלובולין	AA	HaeIII	99, 148
	AB		74, 74, 99, 148
	BB		74, 74, 99

טבלה 3. שכיחות גנוטיפים בפרי הולשטיין בקליפורניה (לפי Medrano, 1990a).

גנוטיפ			מספר הפרים	חלבון החלב
BB	AB	AA		
2 (4%)	12 (23%)	38 (73%)	52	קפא־קזאין
19 (41%)	17 (37%)	10 (22%)	46	ביתא־לקטוגלובולין

מקטעי החיתוך של הגן לקפא־קזאין של 6 פרים בעדר הישראלי. M הוא סמן דנא לגודל המקטעים, AA הוא גנוטיפ הפרים בהם נתקבלו מקטעים בגודל 132/4 בסיסים ו-84 (נראה חלש), BB הוא גנוטיפ הפר "אדיר" על פי מקטעי החיתוך בגודל 266 ו-84 בסיסים (נראה חלש).

התוצאות של פרים מהעדר הישראלי מוצגות בטבלה 4. הפר "אדיר" נמצא בעל גנוטיפ BB לגן קפא־קזאין. על פי תוצאות אלה חושבה שכיחות האלל לכל אחד מהגנים בישראל; שכיחות האלל B לגן קפא־קזאין היא $17 \pm 5\%$ בדומה לזו שבקליפורניה (15 ± 5), ושכיחות האלל B לגן ביתא־לקטוגלובולין היא $30 \pm 17\%$ ואינה דומה כלל לזו שבקליפורניה (60 ± 7). המשמעות הטיפוחית לתוצאות אלה היא, ששכיחות האלל הרצוי B לגן קפא־קזאין ולגן

גודל המדגם הדרוש לקביעת תדירויות אללים

חישבנו את גודל המדגם הדרוש לאומדן מהימן של שכיחות האללים ל-2 הגנים. אם p ו- q מייצגים את שכיחותי שני האללים לגן ו- n הוא גודל המדגם, אז מרווח האמינות $\{2SQR(pq/2n)\}$ לאומדן שכיחות האללים, על פי מדגם של 100 פרטים, יהיה ± 0.05 ו- ± 0.07 לגנים קפא־קזאין וביתא־לקטוגלובולין, בהנחה ששכיחותי האללים לגנים אלה בארץ יהיו דומות לאלה בעולם.

שכיחות הגנים לקפא־קזאין ובתא־לקטוגלובולין בבקר בישראל

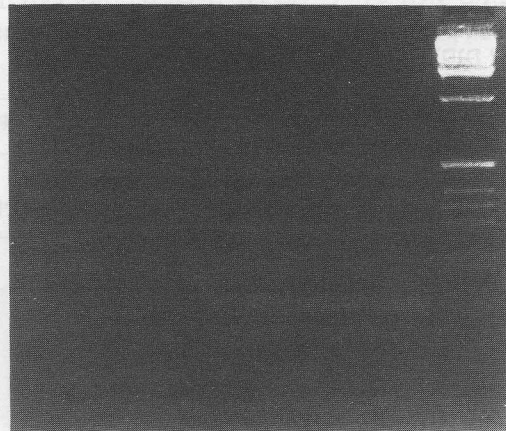
בדיקת הגנוטיפ לגן קפא־קזאין ולגן ביתא־לקטוגלובולין בוצעה באמצעות שיטת PCR. בתמונה 1 מובאים תוצאות ההפרדה של

BB AA AA AA AA AA M

266 -

132 -

bp



תמונה 1: קביעת הגנוטיפ של 6 פרים לגן קפא־קזאין, M הוא סמן דנא. לפר אדיר גנוטיפ BB.

טבלה 4. שכיחות גנוטיפים בפרי הולשטיין ישראליים.

גנוטיפ			מספר הפרים	חלבון החלב
BB	AB	AA		
1 (1.3%)	25 (32%)	53 (67%)	79	קפאיקזאין
1 (6.0%)	7 (47%)	7 (47%)	15	ביתא-לקטוגלובולין

בפרים, ופי 18 או 41 באמהות לפרים, בהתאמה. עלות הבדיקה היא כ-100\$ לפר בשיטה מולקולרית על דגא המופק מתאיזרע, ו-12\$ לפרה בשיטה ביוכימית של הפרדת חלבוני חלב, (Gibson, 1990). בהנחה שייבדקו 50 פרים לשנה ההוצאה היא \$5000 לשנה.

ניתוח כלכלי

הנחות

1. השפעות הגן לקפאיקזאין במצב BB לעומת AA הן תוספת של כ-3% בייצור חלבון ו-5% בייצור גבינות. השפעת הגנוטיפ הטרזויגוטי (AB) היא ממוצעת בין שני ההומוזיגוטים, כלומר מחצית ההשפעה של BB.
2. למידע אודות השפעת הגן על כמות החלבון אין יתרון רב בטיפוח, בגלל שהאומדן הגנטי של הפר לחלבון הוא בעל מהימנות גבוהה. לפיכך, לא נדון בהמשך בהערכה כלכלית של השפעת הגן על כמות החלבון.
3. על פי הספרות לא ברור, אם התרומה של הגן BB היא רק על גבינות קשות או גם על גבינות רכות. לפיכך, נדון בשני מצבים:
 - א. השפעת הגן היא על כל הגבינות.
 - ב. השפעת הגן היא רק על גבינות קשות.
4. בתנאי ישראל, 55% מצריכת החלבון היא של גבינות (20% קשות ו-35% רכות).
5. שכיחות האלל B בישראל היא 17%. שכיחות זו מהווה את רמת הבסיס, כאשר השאיפה היא להגדיל את שיעור האלל B באוכלוסייה.
6. הייצור הלאומי הוא 900 מיליון ליטר.
7. מחיר המטרה הוא 0.9 שקל לליטר.

ביתא-לקטוגלובולין היא נמוכה בישראל ולכן, קיים פוטנציאל להתקדמות גנטית על ידי סלקציה לאלל זה בשני הגנים.

ניתוח כדאיות הבדיקה

אם יוכח, שהאלל B בגן לקפאיקזאין או בגן לביתא-לקטוגלובולין או בשניהם מעלה את כמות החלבון ואיכותו לייצור גבינות, ניתן יהיה להעלות את שכיחותו באוכלוסייה ביעילות. לצורך כך, ייקבע הגנוטיפ של שני הגנים בפרים לאחר מבחן צאצאים ותהיה עדיפות לבחירה של אלה הנושאים את הגן B במצב הומוזיגוטי או הטרזויגוטי. בנוסף, ניתן יהיה לבצע סלקציה מוקדמת של עגלים הנכנסים למבחן צאצאים. במקום לבחור 50 עגלים לשנה מפרות עתודות כפי שנהוג כיום, ייבחנו מאות עגלים לפרות עתודות, לגנוטיפים לשני הגנים וייבחרו אותם 50 העגלים המכילים את הגנים במצב הומוזיגוטי מסוג BB, או לפחות AB. בעתיד ניתן יהיה לקבוע את הגנוטיפ של עוברים לגבי שני הגנים. שילוב המידע הזה עם קביעת המין של העובר בשיטת PCR יאפשר לקבוע, איזה עגלים יושתלו ברחם פרות אומנות וייכנסו למבחן צאצאים.

Gibson (1990) ניתח את הכדאיות של קביעה מולקולרית של גנוטיפ פרים ופרות לגן קפאיקזאין ויישומם בטיפוח בעדר לאומי של מליון פרות. בהנחה ש-65% מהחלב משמש לייצור גבינה, שיעור השפעה של 3.3% לגן קפאיקזאין על ייצור חלבון ואיכותו, עולה התועלת על עלות קביעת גנוטיפ ההורים במשך 10 שנים (כ-300 פרים וכ-6000 פרות לשנה) בשיעורי ריבית של 10% או 5%, פי 65 או 199

מושביו 50 פרות. סטיית התקן הצפויה על פי הנוסחה $(pq/2n)^{0.5}$, כאשר $p=0.17$ ו- n מספר הפרות במשק, היא 1.5% ו-3.7%, בהתאמה. מתקבל, שההבדלים בין משקים קיבוציים הם $\pm 3\%$ ובמושבים $\pm 7.5\%$.

קביעת שכיחות האלל במשקים

אוכלוסית הפרות אינה משתנה במהירות. לכן, ניתן לדגום את החלב של הפרות בעדר פעם בשנה ולקבוע את הגנוטיפ לגן הרצוי על ידי אנליזה של חלבוני החלב בגל אלקטרופורזה. הבעיה היא, שיש לקבוע את הגנוטיפ של כל הפרות והעלות היא גבוהה ולא כדאית. אפשרות אחרת היא, להשתמש במידע על גנוטיפי הפרים כדי לאמוד את שכיחות האלל באוכלוסית הפרות בעדר. בהנחה שגנוטיפי הפרים נקבע באופן שיגרתי במערכת, המידע על האבות ועל אבות האמהות של הפרות יאפשר לחשב את שכיחות האלל של פרות בעדרים השונים במהימנות העולה על 50%. במצב זה דרושה רק תוכנית מחשב לחישוב שכיחות האלל B למשק, ולמעשה ניתן להריץ את התוכנית פעמיים בשנה כמו מבחני הפרים.

שיטת התגמול למשקים

החלק שישולם למשקים יהיה ההפרש בשכיחות האלל לשנה כפול שיעור ההתייעלות וכמות החלב הארצית המיוצרת. לדוגמה, תוספת של 2% בשיעור האלל B באוכלוסיה, בחישוב התייעלות של 2.3% יביא לחלוקה של 440,000 שקל בין המשקים. יש לקבוע מדיניות חלוקה של התגמול. אפשרות אחת היא לתגמל רק את המשקים המייצרים עם אוכלוסית פרות בעלת הרכב גנטי כזה ששכיחות האלל B גבוהה מרמת הבסיס. שיעור התגמול יהיה על פי כמות החלב המיוצרת ושכיחות האלל.

חישוב אינדקס טיפוח

הערך השולי המירבי של גנוטיפ BB לעומת AA שווה ל-2.75%. בהנחה שהחקלאי יתגמל בהתאם ושהפרה הישראלית מייצרת בממוצע 300 ק"ג חלבון, הרי התרומה הכלכלית במונחי

השפעה כלכלית של הגן BB

ההשפעה של גן BB לעומת AA משוקללת בכמות המיוצרת של הגבינות תביא להתייעלות בשיעור:

$$\text{מצב א' גבינות קשות ורכות} \quad 5\% \times 55\% = 2.75\%$$

$$\text{מצב ב' גבינות קשות} \quad 5\% \times 20\% = 1\%$$

בתנאי ישראל שבה שכיחות האלל B שווה ל-17% (רמת הבסיס), הרי ההתייעלות המירבית תהיה כאשר שכיחות האלל B תהיה 100%, כלומר 83% מההשפעה של גנוטיפ BB לעומת AA. החישוב להשפעה מירבית יהיה לפי מצב א'; ההשפעה תהיה 2.3%, שהיא 20.5 מליון ליטר חלב בייצור הלאומי שהם 18.5 מליון שקל.

סלקציה

העלאת שכיחות האלל B באוכלוסיה וערכו הכלכלי

על פי סימולציה של גיבסון (1990), העליה בשכיחות האלל B באוכלוסיה כתוצאה של שימוש באינדקס סלקציה בזכרים, הכולל בנוסף לתכונות הייצור גם את השפעת הגן העיקרי של קזאין, מוערכת באחוז לשנה. המשמעות הכלכלית היא תוספת מירבית של 220 אלף שקל לשנה במצב א'. יש לקחת בחשבון ירידה מסויימת בסלקציה לק"ג חמ"מ.

סלקציה לגן מוצדקת, רק אם יש תגמול להעלאת שכיחות האלל באוכלוסיה. העלאת תדירות האלל לשנה תביא לתוספת כלכלית לתעשייה. לכן, אם התעשייה מעוניינת להתייעל, היא צריכה לתגמל את היצרנים על העלאת של שכיחות האלל מרמת הבסיס של 17%. כל שנה תתעדכן רמת הבסיס כשהעליה הרב-שנתית בממוצע מגדילה את יעילות התעשייה.

הבדלים צפויים בין משקים בתדירות האלל

אלל B מתפלג בינומיאלית, כלומר סטיית התקן בין משקים היא פונקציה של שכיחות האלל ומספר הפרטים.

נניח, שבמשק שיתופי יש 300 פרות ובמשק

בטבלה 5 מוצגים ההשפעות של הגן לקפא-קזאין על אומדן התורשה של פרים בעלי גנוטיפים שונים לגן: ניתן לראות, שלגן קפא-קזאין יש השפעה על אינדקס הסלקציה ודירוג הפר; הפר "אדיר" מדורג מס' 31 באינדקס הנוכחי ובזכות הגנוטיפ BB שלו הוא מקודם בין 20 ל-10 מקומות בדירוג הפרים על פי עוצמת ההשפעה הכלכלית של הגן (מצב א' ו-ב'). זה השינוי היכול להכריע, אם להשתמש בפר או לא. ההשפעה של הגן במצב הטרוזיגוטי

ק"ג חלבון שווה ל-8.25, שהם 287 ק"ג חמ"מ. הערך הטיפוחי בק"ג של גנוטיפ BB יחסית לרמת הבסיס, של שכיחות אלל B באוכלוסיה בשיעור 17%, הוא $E_1 = 287 \times (1 - 0.17) = 238$. הערך הטיפוחי של גנוטיפ AB הוא $E_2 = 287 \times (0.5 - 0.17) = 95$ גנוטיפ AA הוא $E_3 = -287 \times 0.17 = -49$. אומדני התורשה (PD) מהווים רק מחצית מהערך הטיפוחי ולכן, אינדקס הסלקציה של פר i יהיה: $S_i = -274 \times PD(\text{milk}) + 6.42 \times PD(\text{fat}) + 34.82 \times PD(\text{protein}) + E_i/2$

$$S_i = -274 \times PD(\text{milk}) + 6.42 \times PD(\text{fat}) + 34.82 \times PD(\text{protein}) + E_i/2$$

טבלה 5. השפעת הגן לקפא-קזאין על אינדקס הסלקציה של פרים.

שם הפר	א"ת ²	דירוג	השפעה ¹		גנוטיפ
			מצב א' ³	מצב ב'	
			דירוג	S	
פצפון	494	1	1	485	AA
אדיר	228	31	14	277	BB
עמית	158	44	33	188	AB

¹ השפעה כלכלית לפי מצב א' או ב'
² אומדן תורשה
³ אינדקס סלקציה

ניתן יהיה לייצר את אותה הכמות של מוצרי גבינה ב-20 מליון ליטר חלב פחות לשנה, בחיסכון של 2.3% ברמה הארצית שהם 18.5 מליון שקל.

היא של 50% ולכן, השינוי בדירוג הפר "עמית" הוא עד 10 מקומות.

המסקנות הן:
 א. על פי תוצאות ראשוניות נראה, ששכיחות האלל B, המעלה כלכלית בכל אחד משני הגנים, היא נמוכה בישראל. לכן, קיים פוטנציאל להתקדמות גנטית על ידי סלקציה לאלל B בשני הגנים.

השפעת הגנוטיפ של קפא-קזאין תהיה גבוהה פי 2 ויותר בחישוב אינדקס הסלקציה של פרים צעירים, בגלל השונות הנמוכה בין אומדני התורשה שלהם. לדוגמא, בדיון על עגלים שהתקיים בתאריך 30.3.92 הובאו לדיון 39 עגלים, מתוכם נבחרו 17 שייכנסו למבחן צאצאים. פר בן אדיר, שהוא BB לקפא-קזאין, דורג במקום 21. אם נוסיף לו 119 ק"ג חמ"מ לפי חישוב א' לעיל הוא יעלה בדירוג למקום 2.

ב. יש לאמוד את שכיחות הגנים באוכלוסית הפרים.

סיכום ומסקנות

ג. יש לבחון את ההבדלים בייצור גבינה מדוגמאות חלב של פרות השונות בגנוטיפ לחלבוני חלב.
 ד. ניתן לחשב את שכיחות האלל B במשקים, על בסיס המידע של גנוטיפ הפרים, במהימנות העולה על 50%.

שכיחות האלל B לגן קפא-קזאין היא 17% בדומה למדווח בספרות. שכיחות האלל B לגן ביתא-לקטוגלובולין היא 30% בניגוד ל-60% בארה"ב. בחישוב מירבי, על ידי העלאה של שכיחות האלל B לקפא-קזאין מ-17% ל-100%

- Medrano J.F. and A.C. Estuardo 1990. Genotyping of bovine kappa-casein loci following DNA sequence amplification. *BioTechnology* 8: 144-146.
- Medrano J.F. 1990a. Application of the polymerase chain reaction procedure for genetic evaluation in cattle. Proc. of the 4th world congress on genet. appl. to livest. prod. XIII: 71-74.
- Medrano J.F. and Aguilar-Cordova, E. 1990b. Polymerase chain reaction amplification of bovine b-lactoglobulin genomic sequence and identification of genetic variants by RFLP analysis. *Anim. Biotechnology* 1:73-77.
- Ng-Kwai-Hang K.F., Hayes J.F., Moxley J.E. and Monardes H.G. 1986. Relationships between milk protein polymorphism and major milk constituents in Holstein-Friesian cows. *J. Dairy Sci.* 69: 22-26.
- Schaar J. 1985. Effects of genetic variants of k-casein and b-lactoglobulin on cheesemaking. *J. of Dairy Res.* 52: 429-437.
- Skidmore, C.J., Pinder S.J., Perry B.N. and Saava D. 1990. Genotyping the k-casein locus in cattle using PCR procedure for genetic evaluation in cattle. Proc. of the 4th world congress on genet. appl. to livest. prod. XIV: 248-251.
- Zadworny D., Kuhnlein, U/ and Ng-Kwai-Hang K.F. 1990. Determination of kappa-casein alleles in Holstein dairy cows and bulls using the polymerase chain reaction. Procedure for genetic evaluation in cattle. Proc. of the 4th world congress on genet. appl. to livest. prod. XIV: 251-254.
- ה. כל עוד הגנים החלבוני חלב אינם מתוגמלים בשיטת התשלום לחלב, אין הצדקה לשלב אותם באינדקס הסלקציה.

References

- Aleandri R., Buttazzoni L.G., Schneider J.C., Caroli A, and Davoli R. 1990. The effects of milk protein polymorphisms on milk components and cheese-producing ability. *J. Dairy Sci.* 73:241.
- Aschaffenburg R. 1968. Review of the progress of dairy science. Section G. Genetics. Genetic variants of milk proteins: their breed distribution. *J. Dairy Res.* 35:447.
- Fries R. 1990. The bovine gene map. Dep. of animal science. Swiss Federal Institute of Technology.
- Gibson, J.P., Jansen. G.B. and Rozzi P. 1990. The use of k-casein genotypes in dairy cattle breeding. Proc. of the 4th world congress on genet. appl. to livest. prod. XIV: 163-166.
- Leveziel H. Metenier L., Mahe M.F., Choplain J., Furet J.P., Paboeuf G., Mercier J.C. and Grosclaude F. 1988. Identification of the two common alleles of the bovine k-casein locus by the RFLP technique, using the enzyme Hind III. *Genet. Sel. Evol.* 20 (2): 247-254.
- Marziali A.S. and Ng-Kwai-Hang. K.F. 1986. Relationships between milk protein polymorphism and cheese yielding capacity. *J. Dairy Sci.* 69: 1193-1201.