



סלקציה ברמת הידנא לגנים בעלי ערך כלכלי בבקר

מ. רון, מ. בנד, ע. ינאי, וי. ולר – היחידה לגנטיקה, מינהל המחקר החקלאי
א. עזרא – ספר העדר, המ"ב

מבוא

טיפול בחיות משק מבוסס על בחירת פרטים מצטיינים כהורים לדורות הבאים. בבקר לחלב, מערך הטיפול מורכב במיוחד מפני שהתכונות הכלכליות מתבטאות רק בנקבות שמספר צאצאיהן קטן. לעומת זאת, בהזרעה מלאכותית בזרמה קפואה ניתן לקבל אלפי צאצאים מכל פר. היות והזכרים אינם מניבים חלב, ניתן ללמוד על הערך הגנטי שלהם רק בעקיפין על פי ביצועי בנותיהם. לכן, מערך הטיפול בארץ ובעולם מבוסס על מבחני צאצאים של פרים מועמדים לפרים משביחים. מבחן צאצאים נמשך כ-5 שנים. בתום המבחן נבחר פר אחד מתוך שבעה פרים כמשביח על פי ביצועי הבנות. תכנית הטיפול הנוכחית מעלה את הרמה הגנטית של עדר הבקר בכ-1% לשנה.

רוב התכונות בעלות חשיבות כלכלית בבקר הן תכונות כמותיות הנשלטות על ידי מספר רב של גנים. שיטת הטיפול הנהוגה מתעלמת מקיומם של גנים ספציפיים המבקרים את תכונות הייצור. התכונות הגנטיות של כל פרט נקבעות על ידי רצף הידנא הנמצא בכל תא. שינויים קטנים ברצף זה מביאים להבדלים גנטיים בין פרטים שחלקם בא לידי ביטוי בבריאות וביצרנות של בע"ח. עם ההתקדמות בגנטיקה מולקולרית נוספים אמצעים לסלקציה ברמת הידנא של גנים המשפיעים על תכונות כלכליות בבקר.

סמנים גנטיים

"סמן גנטי" הוא כל אתר בגנום, שניתן לעקוב אחר העברתו מהורה לצאצא. לדוגמא, קבוצות

הדם מהוות סמנים גנטיים. גנים הנמצאים באותו כרומוסום עוברים בדרך כלל יחד מהורה לצאצא. לכן, בעזרת סמן גנטי ניתן לעקוב אחר גנים הנמצאים בסמיכות אליו בכרומוסום. כבר לפני שבעים שנה השתמש חוקר בשם זקס בסמן גנטי, כדי לבדוד השפעה של גן ספציפי על תכונה כמותית בצמח פול על ידי הכלאה בין שני זנים. עד הזמן האחרון היעדר סמנים גנטיים מתאימים הגביל את יישום השיטות האלה בבקר לחלב. לאחרונה, יושמו שיטות אלה בבקר הודות למציאת סמנים גנטיים מתפצלים מסוג מיקרוסאטליטים. סמנים אלה בנויים מרצף קצר של 1-4 נוקלאוטידים החוזר על עצמו מספר רב של פעמים. רצפים אלה נמצאו פולימורפיים ביותר בגלל השוני הקיים בין ובתוך פרטים במספר העותקים של הרצף החוזר. סמנים אלה הם רב-אללים בעלי שיעור הטרוזיגוטיות גבוה של כ-70%. רצפים אלה נמצאו מפוזרים בגנום: שמספרם בבקר נאמד ב-150,000 שהם כ-5% מהגנום האוקריוטי. לפיכך, ניתן לרוות את הכרומוסומים בסמנים אלה ובעזרתם לחפש גנים למחלות גנטיות ולתכונות כמותיות.

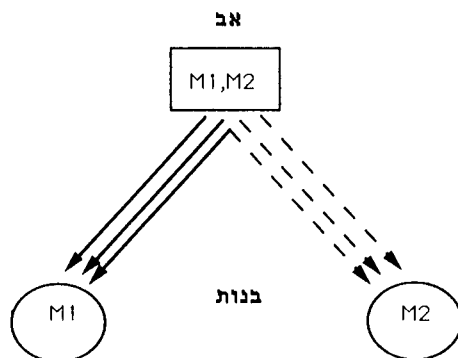
סלקציה ברמת הידנא של גן כמותי

כבר כיום ישנן דוגמאות לסלקציה ברמת הידנא בחיות משק. נמצא הגן לוולדנות בכבשים (בורולה) באמצעות סמנים גנטיים ובכך ניתן לערוך סלקציה מוקדמת של פרטים ולדניים, ובאמצעות הכלאות מתאימות לקבוע את הגן לוולדנות באוכלוסייה. המשמעות היא הכפלת מספר הוולדות מהמלטה. בבקר, פרים שלהם גנוטיפ BB לגנים קפא-קזאין ובתא-

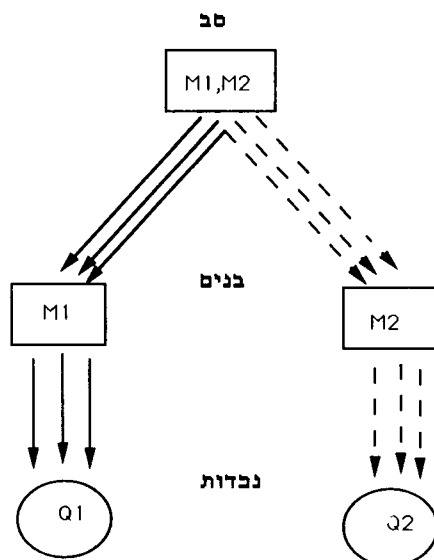
לבנותיו לא צפוי להיות הבדל בתכונות כלכליות בין קבוצות הבנות, למרות השוני באלל של הסמן הגנטי. לעומת זאת, כאשר קיים גן כמותי הטרוזיגוטי אצל האב (Q1, Q2), האחוז לסמן הגנטי על הכרומוסום, קבוצת הבנות שתקבל

חיפוש גן כמותי בבקר

1. בתי-אב



2. בתי-סב



לקטוגלובולין זוכים לדירוג גבוה יותר. בכמה ארצות, כמו גרמניה, קיימת סלקציה נגד עגלים ועוברים נושאי גנוטיפ AA לחלבוני חלב. זרמה של פרים הנושאים גנים למחלות גנטיות, כמו BLAD לדוגמה, זוכה לדירוג נמוך יותר בשוק העולמי. ניתן לבצע סלקציה של עוברים לפי מין לפני ההשתלה. נמצא הגן לקרניים בבקר באמצעות סמנים גנטיים וכך ניתן לערוך סלקציה של פרים שאינם מורשי קרניים ובפועל ליצירת בקר ללא קרניים. נמצאו 5 סמנים גנטיים לתכונות ייצור בבקר על ידי חברת GenMark והכרותם כפוטנציאל לביא לעידן חדש בטיפוח. קווי טיפוח בקר ללא סמנים גנטיים יפגרו אחרי אותם הקווים שבהם תבוצע סלקציה מוקדמת של סמנים גנטיים.

איתור גנים כמותיים באמצעות סמנים גנטיים יאפשר לבצע "סלקציה בעזרת סמנים גנטיים" (Markers Assisted Selection) בעגלים ועוברים העשויה להביא להאצת ההתקדמות הגנטית על ידי הגדלת עוצמת הסלקציה, קיצור אורך הדור והגדלת הדיוק בהערכות גנטיות. ניתן יהיה לבצע סלקציה ראשונית של עגלים או עוברים הנושאים גנים כמותיים רצויים. ההתקדמות הגנטית השנתית הקיימת תגדל כתוצאה של הפעלת MAS בין 5 עד 20 אחוז, בהתאם לגודל ההשפעה של הגן לתכונה הכלכלית. היתרון היחסי של MAS יבוא לידי ביטוי בהאצת ההתקדמות הגנטית של תכונות בעלות תורשתיות נמוכה, תכונות הנמצאות במתאם גנטי שלילי ואינדקס סלקציה המשלב מספר רב של תכונות.

שיטות לחיפוש גן כמותי

באוכלוסיות מסחריות ניתן לחפש את הגן הכמותי בבתי אב וסב. באנליזה של בתי-אב בוחרים פר שהוא הטרוזיגוטי לסמן הגנטי (M1, M2) ומחלקים את בנותיו לשתי קבוצות הנבדלות באָלל של הסמן הגנטי שהתקבל מהאב, כלומר קבוצת בנות עם אלל M1 וקבוצת בנות עם אלל M2 (איור 1). משווים את תכונות הייצור של שתי קבוצות הבנות. בהנחה של התפלגות בלתי תלויה של כל הגנים מהאב

10 סמנים גנטיים שונים במבנה של בתי-סב. נמצא הבדל מובהק בין שתי קבוצות הבנים של הפר פרחח לסמן גנטי מסויים (סמן "א") בייצור חלב וחלבון, אך לא בשומן; ל-13 בנים של הפר פרחח אשר ירשו את האלל "18" היו הערכות גנטיות הגבוהות ב-283 ק"ג חלב ו-5.7 ק"ג חלבון מ-7 בנים שירשו את האלל "21" ($p < 0.025$). בדיקת סמן "א" ל-151 בנות של הפר פרחח במבנה בית-אב אימתה את התוצאות האלה; ההערכות הגנטיות של 67 בנות שירשו את האלל "18" היו גבוהות ב-117 ק"ג חלב ו-2.9 ק"ג חלבון מ-50 בנות שירשו את האלל "21" ($p < 0.05$). לא היה הבדל בייצור ק"ג שומן בין שתי קבוצות הבנות. לפי כך, נתקבל אימות לקיום גן כמותי מתפצל במשפחה של הפר פרחח בשני גנוטיפים בלתי תלויים באמצעות סמן גנטי "א". לכן, ניתן להאיץ את ההתקדמות הגנטית על ידי בחירת בנים של הפר פרחח הנושאים את האלל "18" לסמן הגנטי "א" כעגלים או עוברים. לאחרונה קיבלנו כופתיות זרמה מארה"ב של 24 פרים נפוצים ולכל אחד לפחות 50 בנים. מבנה זה של בתי-סב יאפשר לחפש את הגן הכמותי ביעילות גבוהה.



את האלל המסויים של הסמן הגנטי, למשל M1 תקבל גם אלל מסויים של הגן הכמותי, למשל Q1. לפי כך, כל הבדל סטטיסטי שיתקבל בין קבוצות הבנות נושאות האללים M1 או M2, מקורו בהשפעה של האלל Q1 לעומת Q2. על פי אותה גישה ניתן לחפש את הגן הכמותי במבנה משפחתי של בתי-סב (איור 1). בנים של אב הטרוזיגוטי לסמן הגנטי נבדקים לגבי האלל (M1 או M2) של הסמן הגנטי שאותו ירשו מאביהם. קבוצת הבנים הנושאת אלל M1 תשווה לקבוצת הבנים השניה הנושאת אלל M2 בתכונות הייצור של הפרות הנכדות. במבנה של בתי-סב ייבחן רק מחצית האפקט של הגן בהשוואה לבתי-אב, בגלל השוואת נכדות ולא בנות. לעומת זאת, המספר הרב של נכדות מפצה על כך והעוצמה הסטטיסטית של מבנה ניסויי זה גבוהה יותר.

חיפוש גן כמותי בבקר

התוצאות ההקדמיות שלנו מבוססות על אוכלוסיית הפרים בישראל, כאשר רק בשתי משפחות של גיוס ופרחח היה מספר בנים סביר של כ-30 פרטים לאנליזה של גן כמותי. נבדקו

התאחדות מגדלי בקר בישראל וציבור הבוקרים
משתתפים באבל חברנו **שואל אגרנוב** ומשפחתו

עם פטירתה של **שרה ז"ל**

ושולחים תנחומינו הכנים לבני המשפחה ולכל מוקירי זכרה.

ההתאחדות