

## השפעת מקור החלבון במנות פרות חלב על ביצועיה

חיים תגרי, עמיחי אריאלי, ישראל ברוקנטאל, סמיר מביגיש, שאול זמבל, חנה לרר, משה נקבחת וחגית גואטה – הפקולטה לחקלאות, ברחובות והמכון לבע"ח, מרכז וולקני, בית-דגן

### מבוא

מטרות הניסוי הנוכחי היו א. ליבון השפעת תוספות חלבון משקיות של חלבון ממקור יחיד על כמות החלבון הזורמת למעי ובניוחד על הרכבו; ב. לבחון אם קיים קשר בין זרימת החלבון למעי לבין תנובת חלבון החלב.

### חומרים ושיטות

הניסוי נערך בחודשים פברואר-מאי 1990. בארבע פרות מתחלובה שניה ושלישית נקבעו קנולות בכרס ובתריסריון. הפרות שהיו בתחילת הניסוי בחודש השני לאחר ההמלטה הוחזקו ברפת המטבולית של מכון וולקני, הואבסו באופן חופשי כשהמזון מוגש פעמיים ביום ונחלבו 3 פעמים ביממה. הניסוי נערך במתכונת ריבוע לטיני (4 טיפולים  $\times$  מנות). מחזורי הניסוי כללו 12 ימי הסתגלות ו-10 ימי דגימות בהם נדגמו החלב, המזון, מעכלי הכרס והתריסריון וההפרשות.

ארבעת מנות הניסוי נבדלו במקור החלבון המוסף (כוספת סויה, כוספת כותנה, גלוטן תירס ושתנן), שהיווה 40% מכלל חלבון המנה, כמפורט בטבלה 1.

נמדדו צריכת המזון ותנובת החלב היומית והרכבו. נעכלות החומר היבש נקבעה בעזרת סמן בלתי נספג (איטרופיום אַצטאַט) שהוערה לכרס וריכוזו נמדד בקנולת המעי ובצואה. הרכב חומצות האמינו במעכל המעי נקבע ב-Amino Acid Analyzer לאחר הידרוליזה של המעכל. שרידיות החלבון ופריקות החומר האורגני נקבעו בשיטת שקי הדקרון. פוטנציאל החלבון של המזון חושב כסכום של שני מחברים: א. חלבון שרידי (חלבון המזון פחות פריקות מדודה של חלבון זה בכרס), ב. חלבון מיקרוביאלי (בהתאם למקדם יעילות הסינטזו המקובל, 200 גרם לכל ק"ג חומר אורגני שהתפרק לכאורה בכרס).

ניתן להגדיל את תנובת החלבון של פרת החלב באמצעות עירוי ישיר של חלבון לקיבה (Clark, 1975), או האבסה בחלבון שרידי (Girdler et al., 1987). מקובל ליחס תגובה זאת לעליה בתספוקת רבה יותר של חומצות-אמינו לחילוף החומרים בגוף בכלל, ובעטין בפרט. במנות אופייניות למשק החלב הישראלי למעלה ממחצית החלבון המגיע למעי הפרה מסונטז על ידי המיקרואורגניזמים שבכרס ויתרתו חלבון מזוני, אשר לא התפרק בכרס (חלבון שרידי), המלווה בכמות קטנה של חלבון אַנדוגני (תאי-אֶפֶיְתָל, אנוימים וכו'). מנקודת מבט תזונתית יש ענין, אפוא, בהכרת היחס ההדדי בין מרכיבי המנה (פריקות מול שרידיות של חלבון ואורגניה) לבין כמות החלבון הזורם למעי. את זרימת החלבון למעי מקובל להעריך באמצעות שתי שיטות. הראשונה נעזרת בסַמָּנים ובדגימת המעכל הזורם במעי, מקנולות שנקבעו בו. השיטה השנייה מעריכה את החלבון הפוטנציאלי הזורם למעי. חלבון זה מחושב מתוך נתוני העלמות החומר היבש והחלבון של דוגמאות מזון המודגרות בכרס. בעוד שניתן באמצעות שקי-הדקרון להעריך בדיוק סביר את שרידיות החלבון, מתבססת הערכת כמות החלבון המיקרוביאלי הזורם מהכרס על הערכת יעילות הסינטזו המיקרוביאלי שם. ידוע שיעילות זאת אינה קבועה, אך כיון שלא ניתן כיום להעריכה במדויק בכל צירוף מנה, נהוג להשתמש בערך ממוצע (200 גרם חלבון לק"ג חומר אורגני התוסס בכרס) שהתקבל ממספר ניסויים רב (ARC, 1984). כיון שסינטזו חלבון החלב מותנה גם באספקה נאותה של חומצות-אמינו, חשוב לדעת כיצד משפיעות תוספות חלבוניות ששרידיותן בכרס גבוהה על הרכב חומצות-האמינו המגיעות למעיים. לכן,

טבלה 1. הרכב ותכולה מתוכננים של מנות הניסוי (ב-%).

מזון	חומר יבש	חלבון כללי	מנה א'	מנה ב'	מנה ג'	מנה ד'
כוספת סויה	87	48	14			
כוספת כותנה	87	46		14		
גלוטן	87	60			11	
שתנן	100	260				2.5
פת"ז	87	5		17.5		
גרעיני שעורה	87	12	30	30	30	25
גרעיני תירס	87	10	27	26	29	25
תחמיץ חיטה	35	9	20	20	20	20
שחת זון	87	14	10	10	10	10
NEL מתוכנן <sup>1</sup>			1.72	1.72	1.72	1.72
ח"כ מתוכנן, %			16	16	16	16

<sup>1</sup> NEL<sup>1</sup> (מגה-קלוריה בק"ג חומר יבש)

## תוצאות

צריכת המזון, נעכלות החומר היבש והחלבון, תנובת החלב והרכבו ניתנים בטבלה 2. צריכת המזון הממוצעת במהלך הניסוי ירדה מ-22 ק"ג חומר יבש בתחילת הניסוי ל-14 ק"ג בסופו. בממוצע היתה צריכת המזון 17 ק"ג, ודמתה בטיפולים השונים. נעכלות החומר היבש היתה יציבה במהלך הניסוי, ודמתה בין הטיפולים השונים, כ-68%. גם נעכלות החלבון דמתה בין הטיפולים והיתה 70%, בממוצע. תנובות החלב הממוצעות והרכבו לא נבדלו סטטיסטית בטיפולים השונים. תנובת החלב הממוצעת היתה 23.6 ק"ג ביום, ותנובות החלבון והשומן 744 ו-733 גרם ביום, בהתאמה. ניכרה מגמה מסויימת של הבדלים ביעילות ייצור החלב והחלבון בין הטיפולים השונים. יעילות ייצור החלב היתה 1.46, 1.41, 1.39 ו-1.31 ק"ג חלב לק"ג חומר יבש נצרך בטיפולי הגלוטן, השתנן, הכותנה והסויה, בהתאמה. יעילות ייצור חלבון החלב היתה 47, 47 ו-45 ק"ג חלבון לק"ג חומר יבש נצרך בטיפולי הגלוטן, הכותנה, הסויה והשתנן, בהתאמה. ההערכות השונות של זרימת החלבון וחומצות-האמינו למעי מובאות בטבלה 3. זרימת החלבון הכללי למעי, זרימת כלל חומצות-האמינו וזרימת

החיוניות למעי המחושבים באמצעות שימוש בסמן האיטרביום-אצטאט ודגימת המעכל לא הושפעו באופן מובהק על ידי הטיפולים. כ-3.5 ק"ג חלבון כללי הגיע לתריסריון, כ-78% מאספקה זאת היתה חומצות-אמינו, ואילו חומצות-האמינו החיוניות היוו כ-37% מסך החלבון הכללי המגיע למעי.

אומדן זרימת החלבון למעי, על ידי חישוב המבוסס על פריקות חלבון והחומר האורגני בשקי דקרון הראתה ערכים נמוכים יותר, בהשוואה לערכים שנמדדו למעשה. בטיפול הגלוטן זרם באופן מובהק יותר חלבון למעי (3.14 ק"ג), בהשוואה לטיפול השתנן (2.46 ק"ג).

הפרופיל (הרכב יחסי) של חומצות-האמינו הושפע בכיורור על ידי סוג החלבון המוסף (טבלה 4). מעכל טיפול הגלוטן דל בליזין וארגינין, בהשוואה לטיפולים אחרים, אך עשיר באלנין, לאוצין, חומצה גלוטמית, טירוזין ופרולין. טיפול הכותנה עשיר יחסית לטיפול הגלוטן בארגינין וליזין ועני באלנין ולאוצין.

ריכוז כלל חומצות-השומן הנדיפות בכרס דמה בין הטיפולים השונים והיה 102 מילימולר. גם התפלגות חומצות-השומן הנדיפות העיקריות דמתה בטיפולים השונים. הערכים הממוצעים היו 51% חומצת חומץ, 33% חומצה

טבלה 2. צריכת המזון (ק"ג ח"י ביום), נעכלות החומר היבש (%), תנובת החלב (ק"ג ביום), החלבון והשומן (גרם ביום).

מדד	סויה	כותנה	גלוטן	שתנן	SEM
צריכת המזון	15.7	16.7	16.1	16.2	0.9
נעכלות החומר היבש	69.4	66.0	71.5	69.7	3.7
תנובת החלב	20.6	23.2	23.6	22.9	1.0
תנובת החלבון	700	788	758	730	33
תנובת השומן	628	831	774	699	68

טבלה 3. זרימת חלבון כללי וחומצות אמינו למעי (ק"ג ביום).

מדד	סויה	כותנה	גלוטן	שתנן	SEM
חלבון במעי <sup>1</sup>	3.562	3.847	3.411	3.495	0.23
חומצות-אמינו במעי <sup>1</sup>	2.76	2.99	2.67	2.53	0.15
חומצות-אמינו חיוניות במעי <sup>1</sup>	1.29	1.40	1.24	1.19	0.08
חלבון במעי <sup>2</sup>	2.92 <sup>ab</sup>	2.79 <sup>ab</sup>	3.14 <sup>a</sup>	2.46 <sup>b</sup>	0.13
חלבון במעי <sup>3</sup>	2.49	2.84	2.50	2.54	0.23

- 1 הערכות מבוססות על מדידת איטרביום במעכל המעי.
- 2 הערכות מבוססות על פריקות בשקי דקרון בכרס.
- 3 הערכות מבוססות על מדידת איטרביום בצואה.

מאחר שתכולת החלבון הכללי היתה זהה בין המנות, גם הכמות המוספת של החלבון שנבחן דמתה בטיפולים השונים. בהשוואה למנה המשקית, זאת היתה גבוהה באופן יחסי בניסוי הנוכחי והיוותה כ-40% מסך החלבון הכללי במנה. ארבע התוספות החנקניות היו שונות במידת פריקותן בכרס. גלוטן התירס היה בעל שרידיות החלבון הגבוהה ביותר (85%), חלבוני כוספת הסויה (60%) וכוספת הכותנה (42%) היו בעלות שרידיות נמוכה יותר, ואילו השתנן היה בעל שרידיות אפסית. מבנה ניסויי זה, בו ביקשנו לבחון את השפעתן של מספר תוספות חלבוניות מקובלות גרם לכך, שבעוד שתכולת החלבון השרידי בטיפול הכותנה (38%) תאם את ההמלצות המקובלות, תכולת החלבון השרידי במנות הגלוטן (56%) והסויה (46%) היתה גבוהה מהגבול המומלץ, ואילו תכולת החלבון השרידי בטיפול השתנן (22%) היתה נמוכה מדי. כאמור, סטיות אלה מהערכים המומלצים הותרו על מנת לבחון את הנחת

פרופיונית. ריכוז חומצת החמאה היה גבוה יותר בטיפולי הכותנה והשתנן (13%), בהשוואה לטיפולי הסויה והגלוטן (11%). ריכוז האמוניה בכרס היה גבוה יותר באופן מובהק בטיפול השתנן (9.3 מ"ג %), בהשוואה לטיפולי הכותנה והגלוטן (6.5 מ"ג %). בטיפול הסויה התקבל ערך ביניים (7.9 מ"ג %), אשר לא היה שונה באופן מובהק, בהשוואה לטיפולים האחרים. רמת השתנן בדם לא נבדלה בין הטיפולים והיתה בממוצע 7 מ"ג %.

### דין

ניסוי זה התבסס על השערת העבודה, שניתן להשפיע באמצעות הרכב המנה ומקור החלבון שבה על כמות ואיכות החלבון הזורם לתריסריון, ובכך להשפיע על כמות החלבון בחלב. 1. הקשר בין סוג החלבון המוסף לזרימת חלבון בתריסריון. צריכת המזון דמתה בין הטיפולים השונים.

טבלה 4. ההרכב היחסי (%) מכלל חומצות-האמינו) של חומצות-האמינו במעכל התריסריון.

חומצה	סויה	כותנה	גלוטן	שתנן	SEM
אספרטית	4.4 <sup>a</sup>	4.2 <sup>a</sup>	4.0 <sup>b</sup>	4.4 <sup>a</sup>	0.1
סרין	4.1	4.0	4.1	4.1	0.1
גלוטמית	16.0 <sup>a</sup>	16.9 <sup>a</sup>	17.5 <sup>a</sup>	15.8 <sup>b</sup>	0.2
פרולין	5.1 <sup>b</sup>	4.9 <sup>b</sup>	6.6 <sup>a</sup>	5.3 <sup>b</sup>	0.3
גליצין	6.8	6.0	5.3	6.8	0.4
אלנין	6.2 <sup>ac</sup>	6.0 <sup>c</sup>	7.1 <sup>a</sup>	6.6 <sup>b</sup>	0.1
ואלין	5.5	5.5	5.3	6.5	0.3
מתיונין	2.5	2.6	2.6	2.7	0.1
איולאוצין	4.9	4.6	4.6	5.0	0.1
לאוצין	7.8 <sup>bc</sup>	7.6 <sup>c</sup>	9.8 <sup>a</sup>	8.2 <sup>b</sup>	0.1
טירוזין	4.2 <sup>b</sup>	4.0 <sup>b</sup>	4.6 <sup>a</sup>	4.3 <sup>b</sup>	0.1
פנילאלנין	7.8	8.6	7.3	6.2	0.6
היסטידין	3.2	3.2	3.1	3.2	0.1
ליוזין	6.4 <sup>a</sup>	6.1 <sup>a</sup>	5.1 <sup>b</sup>	6.4 <sup>a</sup>	0.1
ארגינין	5.5 <sup>b</sup>	6.4 <sup>a</sup>	4.8 <sup>c</sup>	5.2 <sup>bc</sup>	0.2

של הנתונים. לכן יש, עניין בהשוואת זרימת החלבון למעי המתקבלת בשיטה זאת עם הערכות מקבילות. מקדמי עיכול החומר היבש שנקבעו באמצעות סמן האיטרביום-אצטאט תואמים את המקובל במנות כאלה בפרות חלב. הערכת זרימת חלבון למעי המסתמכת על ההערכה המקובלת של אחוז החלבון הנספג במעי היתה נמוכה בהשוואה למדידה הישירה במעי. כמויות החלבון החזויות שזרמו למעי בשיטה 'א' וב' היו גבוהות ב-38% וזהות, בהתאמה, בהשוואה לאספקת חלבון במנה. אספקה גבוהה יותר של חלבון במעי בהשוואה לצריכת חלבון במנה מוסברת על ידי מיחזור שתנן לכרס. לפי NRC (1985) ניתן היה לצפות במנות הניסוי הנוכחי למיחזור 240 גרם חלבון ביום. ערכי החלבון החזויים באמצעות שיטה ג' נפלו בתחום ממוצע זה.

בהשוואה בין שלוש השיטות יש להביא בחשבון נקודה נוספת. שיטה א' מחייבת שימוש בפרות עם קנולות ועל כן קשה לבצע אותה בנסיון ברמת המשק. שיטה ב' מאפשרת עבודה עם פרות תמימות ובכך יתרונה. שיטה ג' מחייבת קביעה ראשונית של פריקות החומר האורגני והחלבון בכרס. לאחר מכן ניתן ליישם

העבודה, שאפשר להשפיע על איכות החלבון המגיע למעי על ידי חלבון נבחר.

חישוב כמויות החלבון הזורם לתריסריון (טבלה 3) בוצע בשלוש דרכים: א. באמצעות דגימת סמן האיטרביום-אצטאט במעכל התריסריון; ב. באמצעות דגימת סמן האיטרביום בצואה, תוך שימוש בממוצע המקובל של נעכלות החלבון במעי מסך החלבון המגיע אליו (68%; NRC, 1985); ג. באמצעות חישוב החלבון הפוטנציאלי מנתוני הדגרת שקי דקרון בכרס.

על פי שתי שיטות החישוב הראשונות לא נמצא הבדל בין הטיפולים השונים בכמות החלבון הזורם ביום למעי. זאת היתה בממוצע 3579 גרם בשיטה א', 2591 גרם בשיטה ב'. לפי שיטה ג' היתה זרימת החלבון הממוצעת 2827 גרם. שיטת זאת כרוכה בשגיאת מדידה קטנה יחסית, ואיפשרה לדרג את הטיפולים בהתאם לאומדן החלבון הזורם למעי.

דיגום המעכל בתריסריון כרוך בבעיות טכניות בגלל השפעה אפשרית של הקנולה על הזרימה במעי ועל מהימנות הדיגום, בעיקר של מקטע החלקיקים שבמעכל. הפרשה אנדוגנית של מיצי עיכול בתריסריון מכבידה עוד יותר על פירושם

ברמה המגבילה את ייצור מרכיבי החלב. על ההשפעה האיכותית של החלבון המוסף על הרכב חומצות-האמינו במעכל ניתן לעמוד בנתוני טבלה 4. הרכב זה כולל ברובו חלבון מיקרוביאלי וחלבון מזוני שרידי. טבלה 4 מצביעה בביור על כך, שסוג תוספת החלבון משפיע באופן ניכר על ההרכב היחסי של חומצות-האמינו במעכל המעי. הגלוטן עני בליזין ועשיר מאד בפרולין ולאוצין. אכן, מעכל טיפול הגלוטן דל בליזין וארגינין, בהשוואה לטיפולים אחרים, אך עשיר באלנין, לאוצין, חומצה גלוטמית, טירוזין ופרולין. מעכל טיפול הכותנה עשיר, יחסית למעכל גלוטן, בארגינין וליזין ועני באלנין ולאוצין. יש להדגיש, כי החלב עשיר מאד בפרולין, ויותר מכך בליזין. מן הראוי לציין, שהשפעה זאת תגדל במקרים שבהם לסוג החלבון תהיה השפעה גם על כמות החומר היבש המזוני הנצרך.

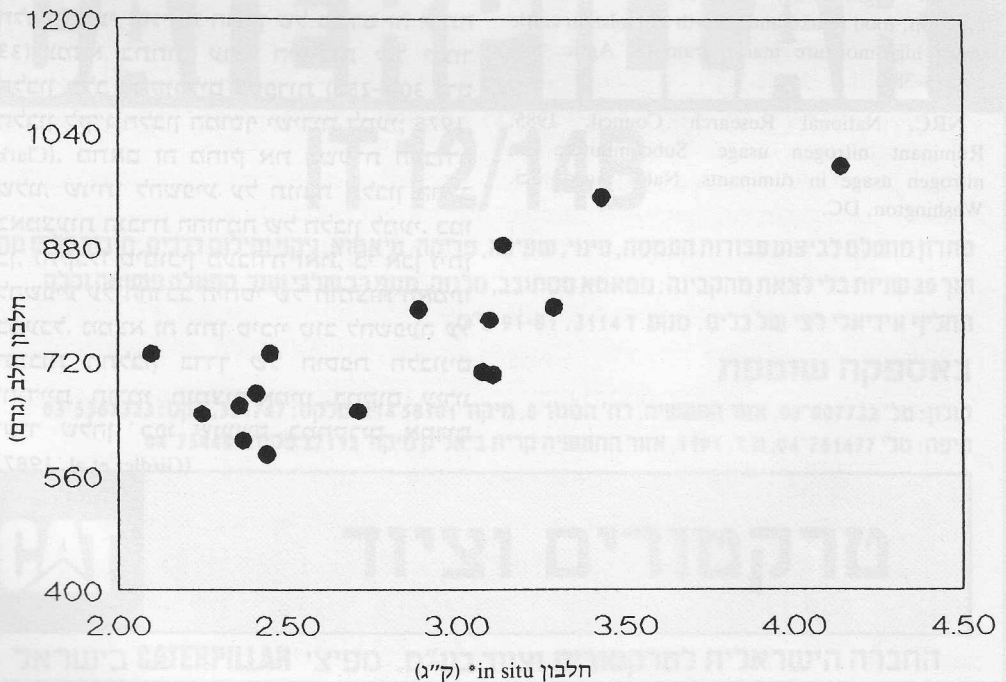
את נתונייה בכל מערכת משקית בתנאי שידועה צריכת המזון של הפרות, ואף להעזר בסימוכין בשיטה ב'.

**השפעת איכות החלבון המוסף**

כאמור, מבנה הניסוי הכתיב שימוש במנות בעלות שיעור גבוה יחסית של חלבון שרידי. מאידך, יש נתונים בספרות המצביעים על כך, שאף להרכב החלבון השרידי יש השפעה ניכרת על ביצועי בעלי החיים (Newbold & Gordon, 1990).

לכן, לקביעת הרכב המעכל יש חשיבות רבה מאחר שבמידה שחומצות(ות)-אמינו מסויימת מהווה מגבלה לסינטזו מרכיבי החלב, אספקת חלבון מתאים עשויה לפתור בעיה זאת. מקובל להניח, שחומצות-האמינו היסטידין, מטיונין, ליזין ולאוצין עשויות להימצא במנות שונות

ציור 1. מתאם בין תנובת חלבון החלב לזרימת חלבון פוטנציאלי במעי\*.



## 2. הקשר בין זרימת חלבון למעי לתנובת חלבון החלב.

בעבודה זאת נמצא, שניתן באמצעות הכללת סוגים שונים של חלבון שרידי במנה להשפיע על הרכב חומצות-האמינו המגיעות למעי של פרת החלב. כן נבדקו מספר שיטות לקביעת כמות החלבון הזורם למעי. בפרות שהניבו בין 500 ל-1000 גרם חלבון ביום נמצא מתאם מובהק בין זרימת חלבון למעי לבין תנובת חלבון החלב.

### ספרות

ARC, Agricultural Research Council. 1984. The nutrient requirements of ruminant livestock. Suppl. No 1. Commonw. Agric. Bur. Farnham Royal, Slough, Eng.

Clark J.H. 1975. Lactational responses to postruminal administration of protein and amino acids. *J. Dairy Sci.* 58:1178-1197.

Girdler C.P., Thomas P.C. and Chamberlain D.G. 1988. Effect of rumen-protected methionine and lysine on milk production from cows given grass silage diets. *Proc. Nutr. Soc.* 82A.

Newbold J.R. and Rust S.R. 1990. Effect of protein degradability and source on rumen function, food intake and growth in Holstein cattle given high-moisture maize grain. *J. Agric. Sci.* 50:383-389.

NRC, National Research Council. 1985. Ruminant nitrogen usage. Subcommittee on nitrogen usage in ruminants. *Nat'l. Acad. Sci.* Washington, DC.

בעבודה זאת נמצאה מגמה מסוימת של השפעת סוג החלבון המוסף על תנובת החלבון בחלב. מאחר שאין מגמה זאת מובהקת, אין לדעת אם אכן ההשפעה מתבטאת באופן משמעותי גם כאן. קשה למצוא השפעה כזאת בניסוי במתכונת של ריבוע לטיני. גורם המיסוך העיקרי הינו ירידת ביצועי הפרות (וצריכת המזון, בהתאם) במהלך הניסוי. לכן, לא מפתיע שבתנאים אלה גם רמות המטבוליטים בטיפולים השונים היו דומות. לכן, נבחנה הנחה זו בדרך אחרת. כאשר חושב עבור הפרות הבודדות ( $N = 16$ ) המתאם בין תנובת חלבון החלב לבין אספקת החלבון למעי נמצא מקדם מתאם של 0.42 בשיטה א', 0.585 בשיטה ב' ( $P < 0.05$ ), ו-0.826 בשיטה ג' ( $P < 0.001$ ).

משוואת הרגרסיה האחרונה היתה:  $Y = 236 + 180X$ ; בה  $Y =$  גרם חלבון בחלב ו- $X =$  ק"ג חלבון במעי (בשיטה ג'). יחס זה מוצג בציר 1.

מקדם הרגרסיה (כ-180 גרם חלבון חלב לק"ג חלבון במעי, שגיאת התקן של מקדם זה היתה 33) נמצא בתחום ערכי היעילות של ייצור חלבון חלב המקובלים בספרות (250-300 גרם חלבון לק"ג חלבון המוסף ישירות למעי; 1975, Clark). מתאם זה מחזק את השערת העבודה שלנו, שניתן להשפיע על תנובת חלבון החלב באמצעות הגברת ההזרמה של חלבון למעי. כמו כן, נתקבלו סימוכין מעבודה זאת, כי אכן ניתן להשפיע על ההרכב היחסי של חומצות-האמינו במעכל. ממצא זה נותן סיכוי טוב להשפעה על תנובת החלבון בדרך של הוספת חלבונים יחודיים תורמי חומצות-אמינו במקום עירו ישיר שלהן, כפי שנעשה במחקרים אחרים (Girdler et al, 1987).