דו"ח מדעי מסכם דו-שנתי 2017-2018 לתוכנית 362-0517-17

מוגש למועצה לענף החלב

ע"י: מירון יהושע, ערן גרשון, ואילן הלחמי

נושא המחקר: פיתוח צינון מבוקר חיישנים לשיפור היצרנות והפוריות בתנאי עקת חום

תקציר:

מטרות המחקר היו: 1. פיתוח שיטה לצינון מיטבי המבוסס על חיישני טמפרטורת גוף אינדיבידואליים (בולוסים בכרס בהשוואה לסידרים בנרתיק) המשדרים את מצב הנוחות הטרמית של הפרה לאורך היממה והתחלובה; 2. בחינת השפעת צינון מיטבי מבוסס חיישנים לפרות ברפת הפרטנית המואבסות במנה משקית רגילה על התנהגות האכילה, טמפרטורת גוף, מדדי רווחה והתנהגות, ביצועי הפרות ומדדי הפוריות;

בקיץ של השנה הראשונה נבחנו שתי קבוצות בנות 21 פרות כל אחת שקיבלו רמות צינון שונות (8 לעומת 5 צינונים ביממה). במהלך המחקר פותחה שיטה למדידה רציפה של טמפרטורת הגוף בפרה בעזרת בולוסים שהוכנסו לכנס (איור 1). תוצאות הניסוי הראו כי במהלך תקופת הניסוי (5 שב' בקיץ) הגדלת מס' הצינונים ליממה משפרת את תנובות החלב, החלב מושווה אנרגיה, והחלב מושווה מחיר. השיפור בייצור נובע מהנטייה לשיפור בצריכת המזון היומית בעקבות עלייה בגודל הארוחה, שווסתה ככל הנראה מעלייה ברמת ההורמונים המטבוליים אציל ג'רלין ולפטין (טבלה 1). העלייה בצריכת המזון ובייצור החלב בקבוצת ה 8 טיפולים, קשורה גם לשיפור ברווחת הפרות שהתבטא בהורדת טמפרטורת הגוף מתחת לרמה של 39.3 מ"צ (איור 2) ושיפור ברביצה (טבלה 1) תוך חיסכון אנרגטי מהצורך של הפרה להיפטר מעודפי חום. עם זאת לא נמצאה השפעה של הצינונים הנוספים על הרכב החלב. למרות העלייה בצריכת המזון בקבוצת ה 8 צינונים לא נפגעו מדדי יעילות הייצור כנראה בגלל השיפור בייצור החלב מושווה אנרגיה, ברווחת הפרה, ובנעכלות החומר היבש. ההבדלים הברורים והמובהקים בין הקבוצות ברמות ההורמונים המטבוליים וברמת הפרוגסטרון בדם, מראים על השפעה משמעותית של הגדלת מספר הצינונים על מדדים הורמונאליים הקשורים לפוריות.

בקיץ של השנה השנייה נערכה בשתי קבוצות של 15 פרות כל אחת, השוואת ציון מיטבי מוכוון חיישני טמפרטורה (SB ע"פ בולוסים בכרס 7-8 צינונים ביממה) לצינון מוגבל (3 צינונים לפני החליבות TB) ובחינת השפעתם על ההתנהגות והביצועים. נתוני טמפרטורת הגוף בשבועות 5-8 לניסוי מראים (איור 6) שמטרת הניסוי הושגה והפרות לא עברו את הטמפרטורה המירבית שהוגדרה (39.3 מ"צ). על מנת להיות בטוחים שתוצאה זו נגרמה עקב הצינון ולא ע"י הפרעות חיצוניות (סככה, שינויי מזג אויר) הפרות הוצרחו בטיפולים בפרוצדורת Crossover (איור 7) ואכן נמצא שהתוצאה נשמרה – הפרות המצוננות ב SB לא עברו את סף הטמפרטורה שנקבע (39.3 מ"צ) ואילו הפרות שקבלו 3 צינונים קבועים עלו מעל טמפרטורת הסף.

בהתנהגות האכילה (איור 9 וטבלה 4) בשבועות 5-8 בניסוי, ניתן לראות כי קבוצת הצינון לפי חיישנים אכלו יותר לאורך כל היום בכ 8 ארוחות גדולות לעומת כ 4.5 ארוחות של קבוצת

הביקורת. ניתן לייחס את הדבר להפחתת עקת החום בהשפעת הצינונים הנוספים יחד עם השפעת ההתנהגות החברתית (עדרית) של הפרות שבתום כל אירוע צינון הולכות יחד לאכול (איור 9). קבוצת הצינון לפי חיישנים אכלו בממוצע 2 ק"ג ח"י ליום יותר מזון, כשכל ארוחה נאכלה בקצב מהיר יותר ובארוחות גדולות יותר מאשר קבוצת הTB (טבלה 4). pH הכרס שנמדד בקבוצת ה SB היה מעט נמוך מזה של קבוצת ה TB אך לא הגיע לתנאי SARA (איור 8). ניתן להסביר זאת עקב כמות המזון הגדולה יותר שנצרכה בכל ארוחה אשר הורידה את ה pH בכרס. למרות שתנובת החלב הייתה דומה בשתי הקבוצות, הפרות בקבוצת ה SB היו עדיפות ביצור מוצקי החלב וכן בתנובת חלב משווה שומן (FCM) וחלב משווה אנרגיה (ECM) (טבלה 3) ולכן היעילות של שתי הקבוצות במונחי RFI הייתה דומה.

מתוצאות הפרויקט ניתן להסיק כי ממשק צינונים אינטנסיבי יכול לסייע בהתמודדות עם ההשפעות השליליות של עקת חום על פוריות הפרות, תוך שיפור ברווחת הפרה וברמת הייצור בלי פגיעה ביעילות הייצור.

המטרה השלישית בתכנית המקורית הייתה לבחון השפעות משטר הזנה מותאם לקיץ בשילוב עם צינון מיטבי מוכוון חיישני כרס, על ביצועי פרות חלב ופוריותן. בגלל מגבלות קיצוץ תקציבי המחקר של מועצת החלב ב 2019, בוטלה השנה השלישית בהסכמה בין החוקרים למנהלת המחקרים.

Abstract

In the 1st year experiment, we examined the effects of different cooling management during the summer on ghrelin isoforms and leptin secretion. In dairy cows on the globe, the heat stress developed during the summer months, depresses appetite leading to decreased food intake and negative energy balance, decrease in cow's fertility and changes in ghrelin and leptin blood levels. Both hormones are involved in the regulation of many other processes including reproduction. The estrous cycle of 20 Israeli-Holstein dairy cows was synchronized under heat stress. The cows were then divided into two groups: one was exposed to 5 evaporative cooling sessions per day (5CS) and the other to 8 evaporative cooling sessions per day (8CS). Blood was collected and leptin and ghrelin level were radioimmunoassayed. Data show that the 8CS cows ruminate and lied down more hours per day and had lower body temperature than the 5CS cows. Average DMI and milk yield tended to be higher ($p<0.07$) in the 8CS group, resulting in increase of 2.5% energy corrected milk (ECM) production. The 8CS group exhibited higher blood levels of acyl-ghrelin, leptin and progesterone as compared to the 5CS group. Reversely, the blood levels of total ghrelin were lower in the cows exposed to 8CS as compared to cows from the 5CS treatment. Dry matter digestibility tended to be higher in the 8CS group. Results suggest that intensive cooling management during the hot season helps to mitigate the detrimental effect of heat stress on body temperature, welfare,

production and progesterone levels. It is also evident that the additional coolings influenced the levels of metabolic hormones with paramount importance to the reproductive system in the circulation.

In the 2nd year experiment, we proposed a method utilizing a dynamic cooling system, based on sensors (rumen bolus) that measured the cows' body temperatures. Thus, cooling can be activated when needed, and is thus most efficacious. A total of 30 lactating cows were randomly assigned to one of two groups which received two different evaporative cooling regimes: a control group, which received the common methods used in farms, time-based cooling (TB); and an experimental group, which received the sensor-based cooling regime (SB), that was changed every week (2 month in total) according to the cow's response to last week's change in terms of body temperature, as measured by reticulorumen boluses. During weeks 5-8 when cooling regime stabilized, the two groups of cows had similar milk yields, but those in the SB group had higher milk fat (3.65 vs 3.43%), higher milk protein (3.23 vs 3.13%), higher energy corrected milk (ECM, 42.84 vs 41.48), higher fat corrected milk 4%; (FCM, 42.76 vs 41.34) and lower average body temperatures (38.6^{o} C) comparing to the TB cows. Dry matter intake was higher by 2 kg DM/d in the SB group. Daily meals in the feed trough were motivated by external events including 8 coolings and feeding (8-9 meals/d) in the SB cows, and less meals were shown in the TB group. Efficiency in terms of RFI was similar in the two groups. The sensor-based cooling regime may be an effective tool to detect and ease heat stress in high-producing dairy cows under summer heat load in arid and semi-arid zones.

מבוא:

בחודשי הקיץ שוררים באזורים רבים בארץ תנאי מזג אוויר הגורמים לעקת חום בפרות חולבות. פרות חלב גבוהות תנובה נמצאות בחודשי הקיץ בעומס חום עקב דרישות מטאבוליות מחד וקושי בפינוי חום לסביבה מאידך, דבר הגורם להיפרתרמיה, שינוי בהתנהגות האכילה, פגיעה בפוריות וירידה ביצרנות. נהוג בארץ לצנן את הפרות ע"מ להפחית את נזקי עומס החום ולהביא אותן ככל הניתן לנורמותרמיה. ממשק הצינונים הנהוג כיום בארץ (3-7 צינונים ביממה) מסתמך על מדידת טמפ' ולחות חיצונית ליצירת ערך THI (Thermal Humidity Index) הקובע מהי רמת עומס החום אותה מרגישה הפרה. ערך זה מסתמך על מדידה חיצונית ולא לוקח בחשבון מדדים משתנים המשפיעים על העומס המטאבולי של הפרה עצמה כמו: מצב גופני, שונות גנטית לעמידות לסטרס חום בעדר ועוד.

בהתבסס על ספר העדר הישראלי ניתן לראות ירידה ניכרת בשיעור ההתעברות בין החורף לקיץ. בנוסף, לעקה זו השפעה ברורה על ירידה בצריכת המזון, המלווה בשינויים ברמות גרלין ולפטין במחזור הדם. גרלין ידוע בתפקידו כמתווך בין מערכת העיכול למוח, וכן כאחראי להפרשת GH אך פעילותו הביולוגית מגוונת הרבה מעבר לכך. נמצא שגרלין מתבטא ופועל במגוון רקמות ותאים בגוף כולל מערכת הרבייה. לגרלין שני מופעים עיקריים: אציל-גרלין ודס-אציל-גרלין. בבקר, נמצא קשר בין ריכוזי אציל-גרלין וגרלין כללי במחזור הדם לצריכת מזון וגדילה, בנוסף אציל-גרלין וGH הראו יכולת השפעה על תפקודי שחלה בפרות חולבות. מחקר קודם שלנו בפרות חולבות ב 2015, הראה כי רמות גבוהות יותר של אציל-גרלין נמדדו בחורף לעומת הקיץ והיו בהתאמה חיובית לאחוזי ההתעברות. ייתכן כי לגרלין תפקיד במנגנון המשלב בין מאזן אנרגיה ורבייה, בשיתוף עם רגולטורים אחרים כגון לפטין המיוצר בעיקר ברקמת שומן. כמו גרלין, לפטין מתווך בין מערכת העיכול למוח; אך בעוד גרלין מעודד תחושת רעב, לפטין מעודד תחושת שובע. ישנן עדויות לכך שלפטין משפיע באופן חיובי על פוריות. בפרות נמדדו ריכוזי לפטין גבוהים יותר בפרטים שהציגו ייחום מוקדם יותר לאחר המלטה. לאור הבדל מהותי בשיעור ההתעברות בין החורף לקיץ בישראל, קיים עניין רב להעמיק בהבנת השפעות ממשק הצינונים המקובל כיום ברמה הפיסיולוגית של הפרה מעבר להשפעותיו ברמה היצרנית.

מטרות המחקר היו: 1. פיתוח שיטה לצינון מיטבי המבוסס על חיישני טמפרטורת גוף אינדיבידואליים (בולוסים בכרס בהשוואה לסידרים בנרתיק) המשדרים את מצב הנוחות הטרמית של הפרה לאורך היממה והתחלובה;

2. בחינת השפעת צינון מיטבי מבוסס חיישנים לפרות ברפת הפרטנית המואבסות במנה משקית רגילה על התנהגות האכילה, טמפרטורת גוף, מדדי רווחה והתנהגות, ביצועי הפרות ומדדי הפוריות;

3. המטרה השלישית של התכנית המקורית הייתה לבחון בשנה השלישית השפעות משטר הזנה מותאם לקיץ בשילוב עם צינון מיטבי מוכוון חיישני כרס, על ביצועי פרות חלב ופוריותן. בגלל מגבלות קיצוץ תקציבי המחקר של מועצת החלב ב 2019, בוטלה השנה השלישית בהסכמה בין החוקרים למינהלת המחקרים.

במהלך השנה הראשונה 2017 התמקדנו בשתי מטרות משנה של מטרה 1:

1 א. בניית מודל אשר יכייל את נתוני הטמפרטורה המתקבלים מבולוס בכרס ע"י השוואתם לסידרים עם חיישנים למדידת טמפרטורה בנרתיק, לצורך יצירת מדד אמין לגבי מצבה התרמודינמי של הפרה.

1 ב. בחינה בפרות בתחילת התחלובה במהלך תקופת הייחום, השפעת שני משטרי צינון (8 צינונים מול 5 צינונים ביממה) בתנאי הזנה רגילה במנה המשקית בקיץ, על דפוס ורמות הפרשת פרוגסטרון, לפטין, גרלין כללי ואציל-גרלין במחזור הדם, ועל השינויים בטמפרטורת הגוף, מדדי רווחת הפרה, התנהגות האכילה וביצועי הייצור של החלב ורכיביו.

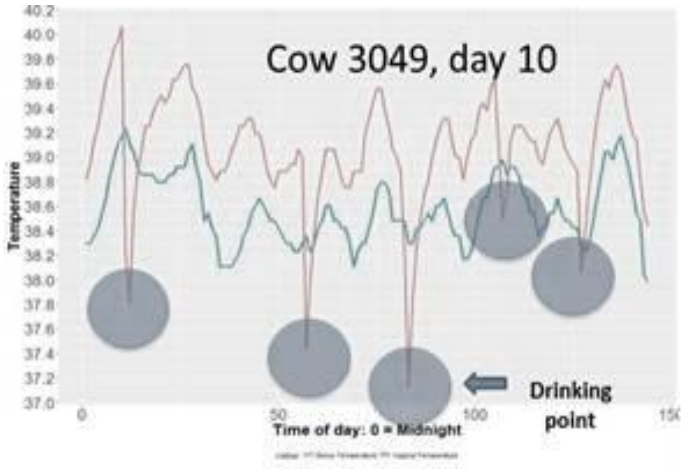
מהלך הניסוי בשנה הראשונה: הניסוי נערך במהלך יולי-ספטמבר ברפת הפרטנית של מכון וולקני. 42 פרות מתחלובה שנייה ומעלה חולקו באופן הומוגני לשתי קבוצות שוות. קבוצת הטיפול קיבלה

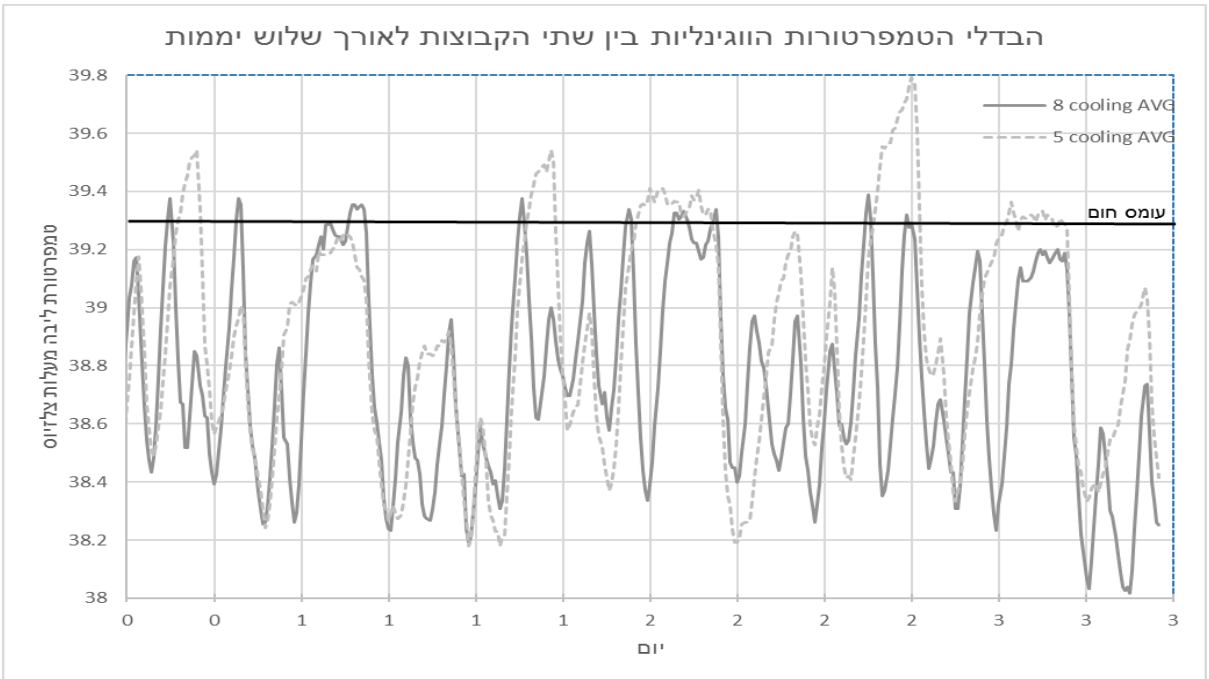
צינון מיטבי של 8 צינונים וקבוצת הביקורת קיבלה 5 צינונים ביממה. מכל קבוצה נבחרו כ-10 פרות אשר סונכרנו בשיטת ovsync, בפרות אלו נמדדו רמות הורמונים מטאבוליים בדם כולל ג'רלין, אציל ג'רלין, לפטין, פרוגסטרון, וכן נעכלות החומר היבש טמפרטורת הגוף ומדדי עקה.

במקביל נאספו מכלל הפרות בשני הטיפולים נתוני התנהגות אכילה (צריכת מזון פרטנית, משך ארוחה, מספר ארוחות יומי, משך אכילה יומי), רביצה, העלאת גירה, טמפ' הכרס לכל אורך הניסוי (בולוס BellaAg), טמפ' וגינלית לתקופות של ארבעה ימים כל פעם בעזרת חיישני טמפרטורה שהוכנסו בסידרים לבושת. נמדדו גם טמפ' ולחות סביבתית (THI).

נתוני הטמפרטורה מהחיישנים השונים שימשו לניתוח ההבדלים בין הקבוצות ולבניית מודל אשר יכייל את נתוני הבולוס לכדי מדד אמין של מצבה התרמודינמי של הפרה. במודל, נתוני הבולוסים הושוו עם נתוני הטמפ' הווגינלית (טמפ' ליבה) ובוצע תיקון לנקודות שתיית המים אשר היוו רעש רקע כפי שניתן לראות באיור 1.

איור 1. תיקון שתיית המים במודל המבוסס על טמפ. בולוסים

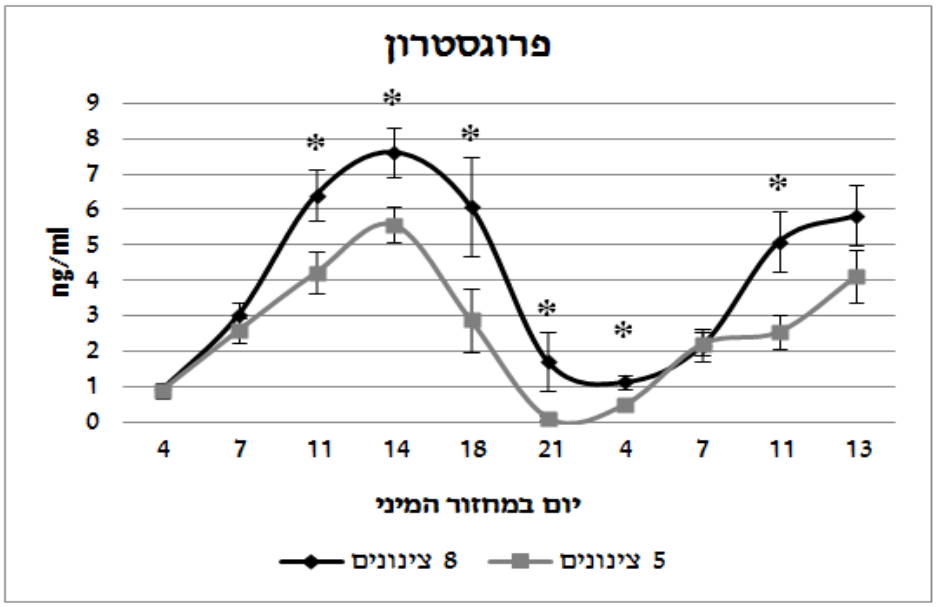




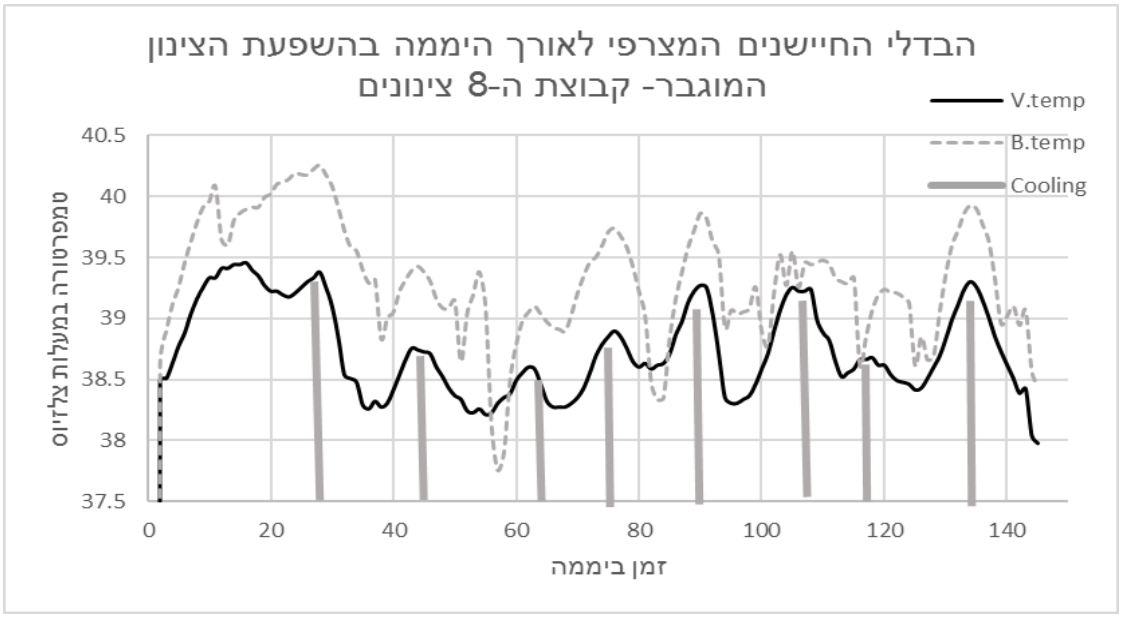
טבלה 1. תנובת חלב והרכבו, יעילות ניצול המזון, רביצה, התנהגות אכילה, וריכוזי הורמונים מטאבוליים בדם במהלך הניסוי.

מדד	5 צינונים	8 צינונים	שת"מ*	P
צריכת מזון פרטנית (ק"ג ח"י ליום)	27.8	28.3	0.13	0.07
תנובת חלב (ק"ג ליום)	44.5	45.4	0.26	0.07
חלב מושווה שומן (ק"ג ליום)	40.3	41.3	0.20	0.01
חלב מושווה אנרגיה (ק"ג ליום)	b40.7	41.7	0.20	0.01
חלב מושווה מחיר (ק"ג ליום)	44.1	45.1	0.21	0.01
שומן בחלב (%)	3.42	3.43	0.01	0.92
חלבון בחלב (%)	3.17	3.18	0.005	0.37
לקטוז בחלב (%)	4.89	4.92	0.004	0.52
יעילות RFI	+1.46	+1.43	0.10	0.81
יעילות ECM/DMI	1.46	1.47	0.29	0.94
רביצה (דקות ליום)	548	595	2.9	0.001
נעכלות ח"י בפרות	0.669	0.678	0.003	0.069
משך אכילה באבוס (דקות\יום)	188	194	2.00	0.06
מספר ארוחות ביום	8.85	8.37	0.07	0.07
קצב אכילה (ג' ח"י /דקה)	148	146	0.68	0.18
משך ארוחה ממוצע (דקות)	21.2	23.2	0.12	0.40
גודל ארוחה ממוצעת (ק"ג ח"י)	3.14	3.38	0.02	0.05
פרוגסטרון (ng/ml)	2.56	4.05	0.22	0.001
לפטין (ng/ml)	16.70	22.83	0.49	0.001
גרלין (pg/ml)	357.1	305.8	8.99	0.002
אציל-גרלין(pg/ml)	55.64	67.59	2.19	0.003

*שגיאת תקן של הממוצע



איור 3. רמות הפרוגסטרון לאורך המחזור המיני בשתי הקבוצות



איור 4. ההבדלים בין שני סוגי החיישנים לאורך הצינונים בקבוצת ה-8 צינונים

תוצאות ודיון של ניסוי השנה הראשונה:

כפי שניתן לראות בטבלה 1, נמצאה נטייה לשיפור בצריכת המזון ובתנובת החלב (P<0.07) בקבוצת ה 8 צינונים, ושיפור מובהק (P<0.01) בתנובת חלב מושווה אנרגיה וחלב מושווה מחיר בהשוואה לקבוצת ה 5 צינונים. הנטייה של קבוצת ה-8 צינונים לאכול יותר מזון לעומת קבוצת ה 5 צינונים נבעה מגודל הארוחה הממוצעת שהיה גדול יותר בפרות אלו. לעומת זאת משך השהייה באבוס, מספר הארוחות ביום, וקצב האכילה לא נבדלו בין שתי הקבוצות.

למרות לו"ז הצינונים הצפוף ניתן לראות כי קבוצת ה 8 צינונים שהתה בתנאי נוחות תרמית טובה יותר בהשוואה לקבוצת ה 5 צינונים, שהתבטאה ביצרנות גבוהה יותר, נטייה לאכילה גבוהה יותר ומשך רביצה גבוה יותר. איור 2, ממחיש את תנאי הנוחות התרמית ומראה שקבוצת הביקורת (חמישה צינונים) הייתה בטמפ' גוף גבוהה יותר על פי נתוני הסידרים בבושת מזו של קבוצת הניסוי (שמונה צנונים) שהייתה מתחת לערך הסף 39.3 מעלות צלזיוס שנקבע לסף עומס חום. למרות העלייה בצריכת המזון נמצא שיפור בנעכלות החומר היבש של קבוצת ה 8 צינונים, ולכן לא נמצא הבדל בין הקבוצות ביעילות היצור (טבלה 1) .

הרווחה היחסית הטובה יותר של קבוצת ה 8 צינונים התבטאה בנתוני הפוריות, שכן רמות ההורמונים אציל-גרלין, לפטין ופרוגסטרון היו גבוהים באופן מובהק בקבוצת ה 8 צינונים בהשוואה לקבוצת ה 5 צינונים (טבלה 1 ואיור 3).

איור 4 , מראה שללא עיבוד ע"י המודל יש הבדל בנתוני החיישנים השונים: הבולוס שבכרס מציג טמפ' גבוהה בממוצע ב 0.75 מ"צ מהטמפ' הנמדדת בוואגינה. את השפעת הצינונים ניתן לראות היטב בנתוני החיישן הוואגינלי שמצביע על ירידת טמפ' הפרה ללא הפרעות שתיית המים לאחר הצינון.

נתונים אלו והמודל שפותח שימשו כבסיס לבחינת הנוחות הטרמית של הפרות במהלך ניסוי הקיץ של השנה השנייה שהתמקד בהשלמת מטרה 1 .

ניסוי השנה השנייה- 3 צינונים קבועים (TB) מול 8-7 צינונים מוכווני חיישנים (SB).

קבוצת הניסוי שכללה 15 פרות נוהלה במשטר צינונים משתנה (קבוצת צינון לפי חיישנים, SB) בעוד שקבוצת הביקורת נוהלה בממשק צינונים קבוע (קבוצת צינון לפי זמנים קבועים, TB) שכלל שלושה צינונים ביום בחצר צינון, לפני החליבה. הפרות נחלבו שלוש פעמים ביום בשעות 06:00, 12:00, 22:00. הפרות הוזנו בעמדות פרטניות מנה כולית בצריכה חופשית לפי ההרכב בנספח 1. המזון ניתן פעם ביום (10:00) על בסיס צריכה חופשית בהתאם לשאריות של היום הקודם (5%). זמני הארוחות מהעמדות הפרטניות נאספו ונותחו לקבלת התנהגות אכילה.

לפרות הותקן בולוס בכרס-רטיקולורומן (SmaXtec Animal Care GmBH, Graz, Austria) למדידת טמפרטורת הכרס, הבולוס מותקן בבליעה ואינו יוצא מהכרס. הבולוס שידר את המידע אלחוטית כל עשר דקות.

טמפרטורת הכרס הושוותה לטמפרטורת הגוף הנמדדה בעזרת לוגר (Signatrol SL52T-A, Signatrol data logging solutions, UK) שמדד טמפ' כל 10 דקות, הותקן בסידר וגינלי למשך 4 ימים והוצא ביום הרביעי לשליפת נתונים. הטמפרטורה הוואגינלית שימשה כרפרנס (Gold standard) לטמפרטורת הפרה שנמדדה בכרס.

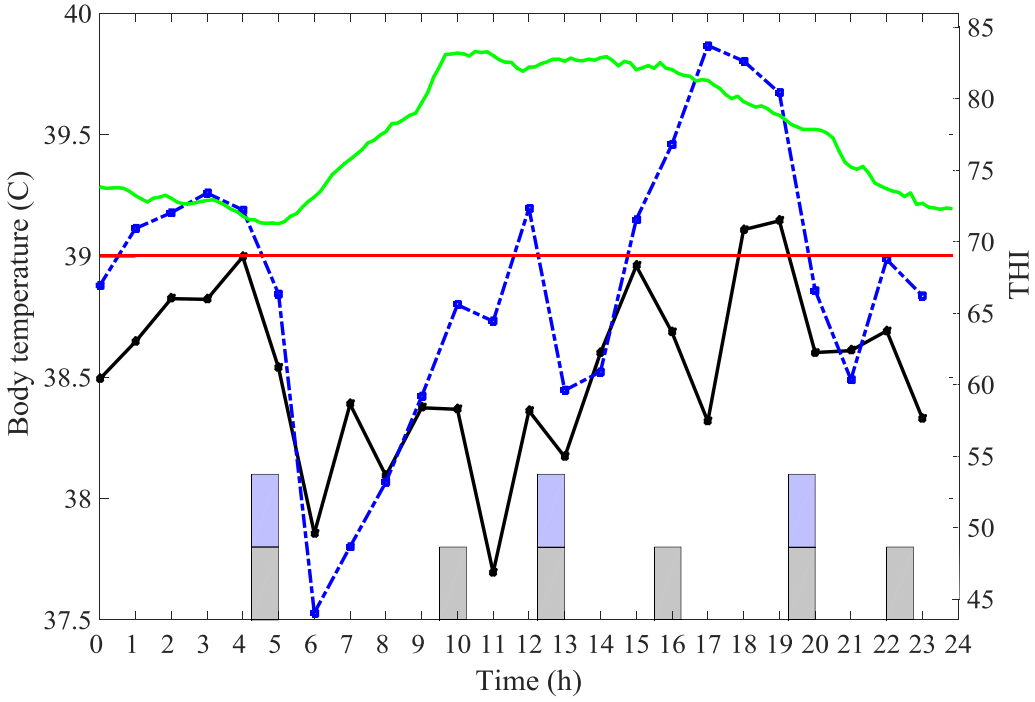
ארבע פרות מכל קבוצה נדגמו לבדיקות חומציות כרס pH המשכית ע"י לוגר נוסף שהותקן בכרס (SmaXtec Animal Care GmBH, Graz, Austria). החלב עבר אנליזה במערכת AfiLab (Afilab, Afimilk Ltd., Kibbutz Afikim, Israel) לתנובת חלב (ק"ג), ומוצקי חלב (%) (תכולת חלבון, שומן, לקטוז) . העלאת גירה נמדדה בתגי צוואר (HR-Tags; SCR Engineers Ltd., Hadarim, Netanya, IL) ששידרו לאנטנה כל 20 דקות. עומס החום THI (temperature-humidity index) נמדד

במערכת מטאורולוגית (Campbell CR- 10) בסככה פתוחה (טמפ', לחות) בגובה 3.4 מ' מעל האבוס כל 10 דקות. לוח זמני הצינונים של קבוצת החיישנים נבחר במדויק לאחר בחינת טמפרטורת הגוף וביצועי היצרנות (תנובה וחלב משווה אנרגיה). בתקופת ההרגלה (שבוע לפני תחילת הניסוי) שתי הקבוצות צוננו באותו משטר צינונים (5 צינונים ביום). לאחר ההרגלה, לפרות היו משטרי צינון שונים: קבוצת הצינון לפי זמנים קבועים **(TB)** צוננה 3 פעמים ביום (45 דקות, לפני החליבה 04:15, 12:15, 19:15) בעוד קבוצת הצינון לפי חיישנים (SB) היתה תחת משטר צינון דינמי לפי תגובת טמפרטורת הגוף. משטר צינון זה שונה 3 פעמים בתקופת הניסוי ע"מ להגיע לתוצאות מיטביות: צינונים הוזזו במועד ובמשך הצינון ע"מ להוריד את טמפרטורת הגוף בסף שנקבע (39°C).

בשבוע הראשון לאחר ההרגלה קבוצת הצינון לפי חיישנים צוננה 6 פעמים ביום, כפי שמוצג באיור 9. (45 דקות כל צינון ב 04:15, 09:30, 12:15, 15:30, 19:15, 22:00). מכיוון שלא הושגו תוצאות מיטביות, משטר צינון זה שונה בשבוע השני ע"י הוספת צינון להורדת עומס החום בשעות אחה"צ. בשבוע 3, משטר צינון זה שונה ע"י הוספת צינון לילה בשעה 01:00 להפגת עליית החום בשעות הלילה של קבוצת הצינון לפי חיישנים.

בשבוע 4, לאחר בחינה מדוקדקת של עומס החום בשעות אחה"צ ושינוי לו"ז הצינונים בשעות אלו, התקבלו תוצאות מיטביות כאשר הפרות היו נתונות ל-8 צינונים ביום בתדירות שונה (04:15, 09:30, 12:15, 15:00, 17:00, 19:15, 22:00, 01:00) במהלך שבועות 5 עד 8 למהלך הניסוי (איור 10). מדד להצלחה נקבע על הורדת טמפרטורת הגוף מתחת ל-39°C). החלפת קבוצות הניסוי (crossover) התבצע בסוף הניסוי בשבועות 9-10 בהן כל קבוצה קיבלה את משטר הצינונים של הקבוצה השנייה (איור 12). בנוסף לצינון שהתבצע בחצר הצינון, הותקנו בחצר הרפת מאווררי תקרה גדולים לייבוש המרבץ (VS fan, CMP Impianti S.r.l., IT) שפעלו כל הזמן, בשתי הקבוצות. בניסוי ברפת המסחרית, בשל אילוצי כ"א ורווחיות, שתי הקבוצות החלו באותו מספר צינונים (8 ביום). בעוד קבוצת הביקורת נשארה ללא שינוי, לקבוצת הניסוי הוחסרו צינונים לפי קריאות טמפרטורת הגוף בעזרת בולוסים בכרס.

ניתוח סטטיסטי - ברפת הפרטנית, טמפרטורת הכרס נותחה אחת לשבוע בצורה מצרפית לקבוצת הפרות עבור כל שעה ביום כך שכל שעה מייצגה את המדידה עבור שעה זו עבור כל הפרות בימים האחרונים. מידע זה שימש לקביעת משטר הצינון בשבועות הראשונים לניסוי (איור 5) לפי הערכת עומס החום בו שרויה הפרה עם שילוב נתוני תחזית עומס חום מתחזית משרד החקלאות, המחלקה לאגרומטאורולגיה. בשבוע זה עומס החום שהפרות היו שרויות בו הגיע למינימום 73 ומקסימום 81 בערכי THI.

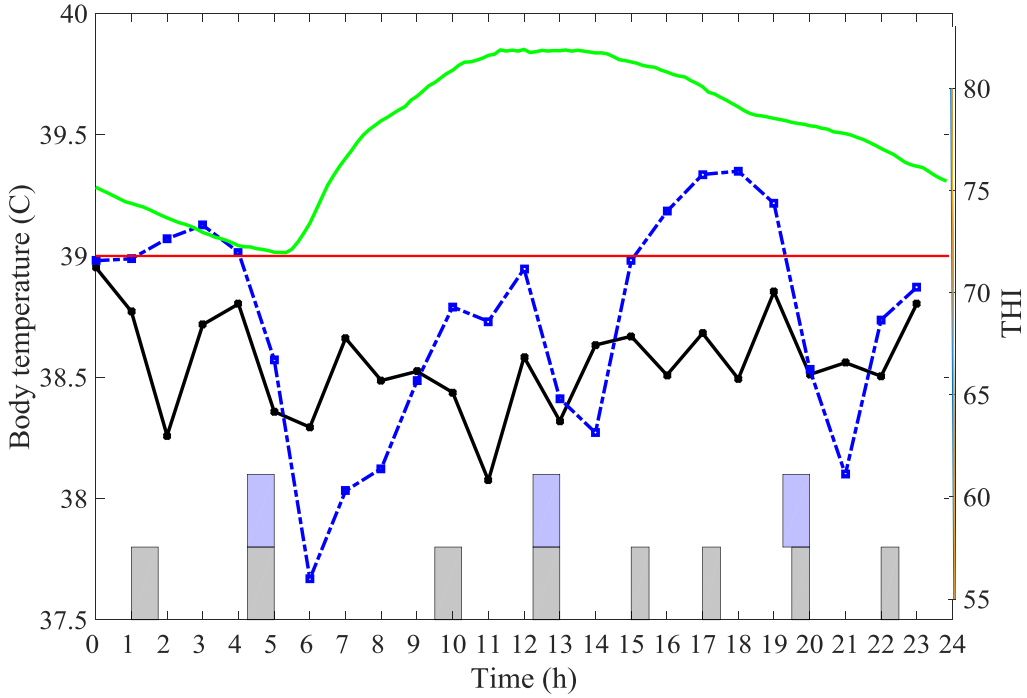


איור 5. טמפרטורת הגוף (בולוסים בכרס) של שתי הקבוצות בשבוע הראשון, בממוצע שעתי של כל השבוע. שתי קבוצות טיפול: צינון לפי חיישנים (שחור) וצינון לפי זמנים קבועים (כחול). עומס החום (THI) הממוצע לשעה זו ביום (בירוק) וטמפרטורת הסף שהוגדרה בניסוי (39.0 °C - באדום).

תוצאות ודיון של ניסוי השנה השנייה

באיור 5. ניתן לראות כי 3 צינונים ביום לקבוצת הזמנים הקבועים (9:30, 15:30, 22:00) שניתנו בשבוע הראשון לניסוי, לא היו אפקטיביים כי טמפרטורת הגוף של הפרות בקבוצה זו עברה את הסף שנקבע לעומס חום (39°C) בשלוש נקודות במהלך היום. לכן, בשבוע השני הוספו שני צינונים נוספים בשעות 15:00 ו-17:0 במקום הצינון שניתן ב16:00. בשבוע השלישי לניסוי, הוספנו צינון לילה בשעה 01:00 ע"מ להוריד את עומס החום המצטבר בשעות הלילה ובשבוע הרביעי אורך הצינונים שהוספו שונה עד לקבלת תוצאות מיטביות וירידה תחת סף טמפרטורת הגוף הממוצעת שנקבעה ל 39.0 מ"צ כפי שמוצג באיור 6. חשוב לציין שהגרף מראה טמפרטורה ממוצעת של הפרות כך שפרות שהיו בהרבה מתחת לטמפרטורת המקסימום קיזזו את הפרות שהיו מעל טמפרטורה זו. לכן חישבנו בטבלה 2 רק את משך הזמן מעל 39 מ"צ שבו שהו הפרות בממוצע יומי בכל אחד משבועות הניסוי.

טבלה 2 מראה את משך הזמן הממוצע בשעות ליום שבו היו הפרות מעל טמפרטורת גוף של 39 מ"צ בכל אחד ממשטרי הצינון הנבחנים לאורך שבועות הניסוי. ניתן לראות שבשבוע הרביעי הגיעו הפרות מקבוצת ה SB לערך המינימלי של 5 שעות שהייה ביום מעל 39 מ"צ בהשוואה ל 9.5 שעות מעל טמפרטורה זו עבור הפרות שקיבלו רק 3 צינונים קבועים (TB). כלומר נוצר פער של 4.5 שעות בין שתי הקבוצות.



איור 6. שתי קבוצות הניסוי בשבועות 5-8 לניסוי – זמני צינון מיטביים לפי חיישנים. שתי קבוצות ניסוי: לפי חיישנים (שחור), לפי זמנים קבועים (כחול), סף טמפרטורה לעומס חום שנקבע (39.3°C - באדום), ועומס חום סביבתי (THI – בירוק 73-81).

טבלה 2. ממוצע משך הזמן היומי מעל טמפרטורת גוף 39.0 מ"צ שבו היו הפרות משני משטרי הצינון בכל אחד משבועות הניסוי. ניתוח השונות בכל שורה משווה בין שני משטרי הצינון, וניתוח השונות בכל טור משווה את השינוי בכל שבוע בעיתוי ובמשך הצינונים בקבוצת ה SB .

Duration of temperature above 39°C (hours/day)

		Cooling regime			
Period	Weeks	Sensor Base	Time Base	*SEM*	*P SB vs TB*
A	1	11.97^{A}	15.06^{A}	0.75	0.01
B	2	7.14^{B}	11.81^{B}	0.80	0.01
C	3	5.44^{C}	10.59^{C}	0.79	0.01
D	4	5.05^{C}	9.48^{D}	0.70	0.01
E	5-8	5.03^{C}	9.46^{D}	0.71	0.01

^{ABCD} – Mean values in the same column (periods) of each cooling regime marked by different superscripts differ significantly at P<0.05.

ניסוי Crossover - ממצאי הניסוי בשבועות 5-8 לניסוי (איור 6) אוששו בהליך ניסוי מסוג Crossover בו כל קבוצה קיבלה את ממשק הצינון של הקבוצה השנייה: קבוצת הצינון לפי חיישנים הראתה טמפרטורה נמוכה יותר (בממוצע 38.5°C) ביחס לקבוצת הצינון לפי זמנים שהראתה טמפרטורות גבוהות יותר מעל הסף שנקבע לעומס חום (בשעות 15:00-19:00) (איור 7).

מדדי יצרנות- קבוצת הצינון לפי חיישנים (SB), בשבועות 5-8 הראתה יתרונות מובהקים ביצור מוצקי החלב: (%) חלבון, (%) שומן, (%) לקטוז ולכן גם בתנובת חלב משווה אנרגיה (ECM) וחלב משווה שומן 4% (FCM 4%) בהשוואה לקבוצת ה 3 צינונים קבועים (TB, טבלה 3.)

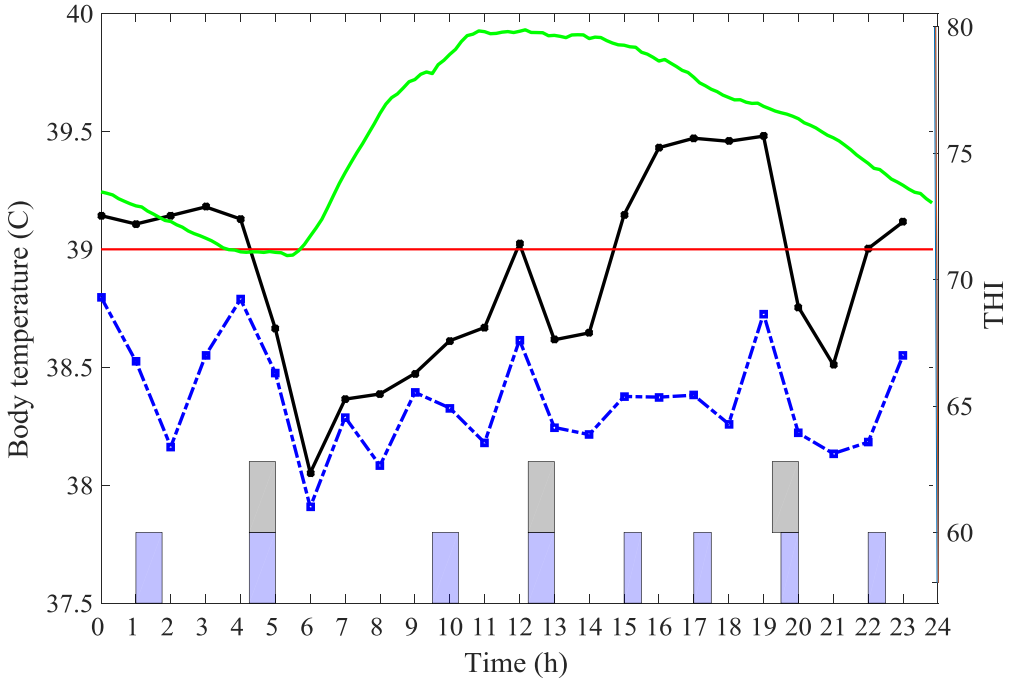
צריכת המזון (DMI) של קבוצת הצינון לפי חיישנים הייתה גבוהה יותר ב 2 ק"ג ח"י ליום מזו של קבוצת ה TB, אך מכיוון שגם תנובת ה FCM וה ECM של קבוצה זו היו גבוהות יותר, יצא שמדד היעילות במונחי RFI (Residual feed intake) היו דומים בשתי הקבוצות (טבלה 3, טבלה 4).

קבוצת הצינון לפי חיישנים אכלה יותר חומר יבש ליום והיתה בעלת קצב אכילה גבוה יותר.

קבוצת הצינון לפי חיישנים הראתה פחות ביקורים במהלך היום אך עם אורך ביקור ארוך יותר.

בנוסף, קבוצה זו אכלה כמות גדולה יותר בכל ביקור.

קבוצת הצינון לפי חיישנים העלתה גירה במשך זמן רב יותר ולמרות הפעילות הגדולה יותר הצליחה להעלות יותר מסת גוף במהלך הניסוי (טבלה 4.)



איור 7. שבועות 9-10, ניסוי Crossover תגובת הפרות להחלפת משטרי הצינון בין הקבוצות.
קבוצת הצינון לפי חיישנים (כחול), קודם צוננה 3 פעמים לפי זמנים וקבוצת הצינון לפי זמנים

(שחור) אשר קודם צוננה לפי חיישנים. באדום סף לעומס חום שנקבע (39°C בירוק עומס חום סביבתי (THI, 80-71 בתקופה זו).

טבלה 3. מדדי יצרנות בשבועות 5-8 של שתי הקבוצות. צינון לפי חיישנים וצינון לפי זמנים קבועים. FCR =(ECM/DMI)

מדד	צינון לפי חיישנים	צינון לפי זמנים קבועים		*SEM*	*p*
תנובת חלב ק"ג/יום	44.7	44.7		0.37	0.99
שומן חלב, %	3.72_{A}	3.46_{B}		0.01	0.001
חלבון חלב, %	3.26_{A}	3.15_{B}		10.0	0.001
לקטוז חלב, %	4.83_{A}	4.89_{B}		0.01	0.001
ECM, ק"ג/יום	42.8_{A}	41.3_{B}		0.30	0.001
FCM 4%, ק"ג/יום	42.7_{A}	41.0_{B}		0.30	0.001
FCR ק"ג ח"י/יום	1.53_{A}	1.59_{B}		0.01	0.001
RFI, ק"ג ח"י/יום	1.03	1.03		0.01	0.93
N	15	15			

מדדים מובהקים מסומנים באותיות שונות.

ניתן לראות (באיור 5) כי הפרות בקבוצת הצינון לפי חיישנים קיבלו צינון נוסף בשעה 10:00 למרות שנראה בדיעבד שקבוצת הצינון לפי זמנים לא היתה בעומס חום. בעבודה זו הוחלט לא להוריד את הצינון הנ"ל ולהתמקד בשעות בהן היו לפרות חריגות טמפרטורה מובהקות. במידה ועבודה זו היתה באה לבדוק היבטים כלכליים של השיטה, היה נכון להוריד את הצינון הנ"ל.
לאחר הוספה הדרגתית ושינויי צינון (איור 6 וטבלה 2) מטרת הניסוי הושגה והפרות לא עברו את הטמפרטורה שהוגדרה (39.3°C). על מנת להיות בטוחים שתוצאה זו נגרמה עקב הצינון ולא ע"י הפרעות חיצוניות (סככה, שינויי מזג אויר) הפרות הוצרחו בטיפולים בפרוצדורת Crossover (איור 7) והתוצאה נשמרה – הפרות לא עברו את סף הטמפרטורה שנקבע (39.3°C).
בהתנהגות האכילה (איור 9) ניתן לראות כי קבוצת הצינון לפי חיישנים אכלו ב 8 פיקים (ארוחות) לאורך היממה, כאשר הטריגר לכל ארוחה היה צינון או הגשת מזון, לעומת כ 4.5 פיקים של קבוצת ה 3 צינונים (כפי שניתן לראות גם בטבלה 3) שאכלו בעיקר לאחר הגשת המזון ולאחר הצינונים. גם בשעות הלילה רואים פיק גבוה נוסף בעקבות הצינון בקבוצת ה SB שלא מופיע בקבוצת ה TB
.

למרות שתנובת החלב היתה זהה בשתי הקבוצות, הפרות בקבוצת הצינון לפי חיישנים היו עדיפות בביצועי מוצקי החלב וכן בחלב משווה שומן (FCM) וחלב משווה אנרגיה (ECM) ויעילות (FCR).

ההבדל במובהקות FCR ו- RFI נובע מצורת חישובם בעוד הראשון הוא היחס בין החלב למזון שנאכל השני הוא ההפרש בין הצריכה החזויה לפי NRC והתוצאה שנמדדה בפועל.
קבוצת הצינון לפי חיישנים אכלו יותר מזון, אכלו בקצב מהיר יותר, ביקרו פחות פעמים באבוס אך כל ביקור היה ארוך יותר ונאכלה בו כמות גדולה יותר.

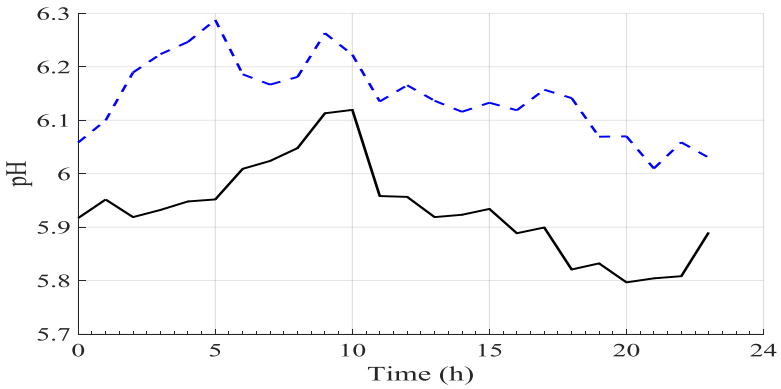
טבלה 4. התנהגות אכילה ומדדי נוחות הפרה בשבועות 5-8 לניסוי בשתי הקבוצות – צינון לפי חיישנים וצינון לפי זמנים קבועים. מובהקות מסומנת בערכי אותיות שונות.

מדד	צינון לפי חיישנים	צינון לפי זמנים קבועים		*SEM*	*p*
צריכת מזון פרטנית, ק"ג ח"י/יום	28.4_A	26.4_B		0.19	0.001
קצב אכילה, גרם חומר יבש/דקה	142.6 A	131.6 B		1.72	0.001
זמן אכילה יומי, דקות/יום	199.1	200.6		2.46	0.112
מספר ביקורים, יום	7.69 A	9.31 B		0.06	0.001
אורך ביקור, דקות/ביקור	28.1 A	23.7 B		0.33	0.001
כמות נאכלת בביקור, ק"ג ח"י	3.80 A	2.83 B		0.05	0.001
רביצה, דקות/יום	563.9	558.8		6.74	0.598
פעילות, צעדים/שעה	136.5 A	97.9 B		2.46	0.001
משקל גוף, ק"ג	656.4 A	639.6 B		2.54	0.001
העלאת גירה, דקות/יום	487.6 A	393.4 B		95.4	0.001

מדדים מובהקים מסומנים באותיות שונות.

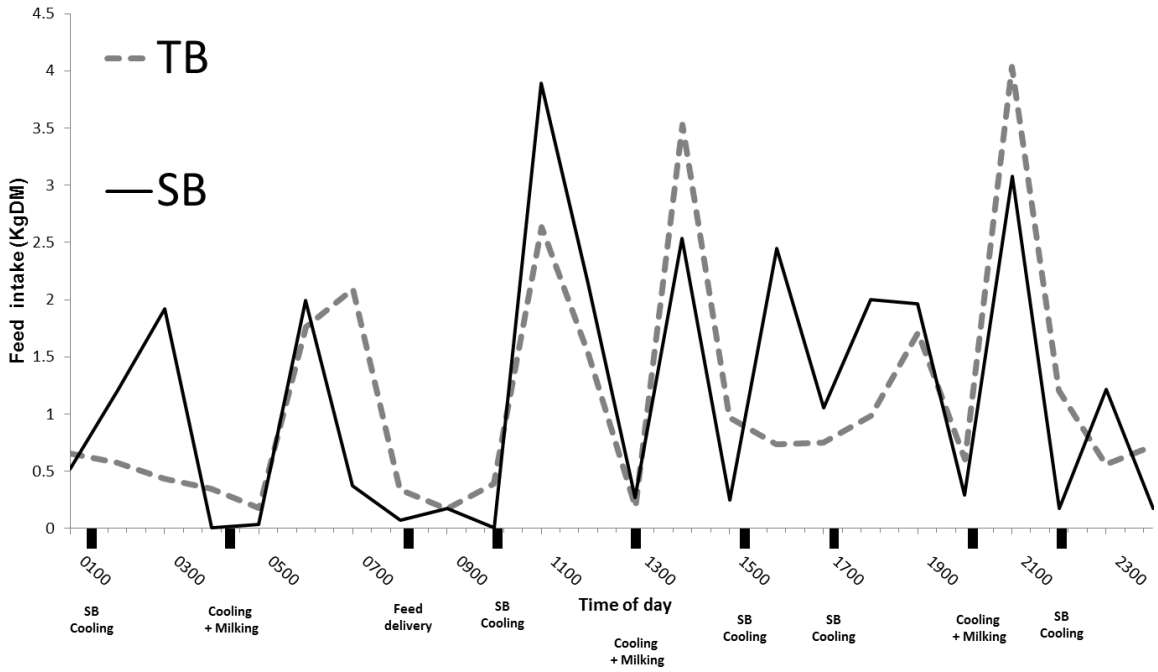
חומציות כרס

תוצאות מדידות חומציות הכרס (pH) היו נמוכות יותר בקבוצת הצינון לפי חיישנים (שחור קבוע, 5.9) מאשר בקבוצת הצינון לפי זמנים קבועים (כחול מקווקו, 6.1) אך לא הגיעו למצב של חמצת (SARA) (איור 8).



איור 8. חומציות הכרס (pH) בשבועות 5-8 לניסוי בשתי הקבוצות. קבוצת הצינון לפי חיישנים (שחור קבוע, בממוצע 5.9) וקבוצת הצינון לפי זמנים קבועים (כחול מקווקו, בממוצע 6.1). שתי הקבוצות היו מעל 5.8, סף לחמצת כרס (SARA).

חומציות הכרס שנמדדה בקבוצת הצינון לפי חיישנים הייתה מעט נמוכה ביחס לקבוצה השנייה אך לא הגיעה לתנאי SARA, ניתן להסביר זאת עקב כמות המזון הגדולה יותר שנצרכה ובמספר הנמוך של הביקורים ובכמות המזון בכל ביקור אשר הורידה את חומציות הכרס. ייתכן והתנהגות אכילה זו השפיעה על חומציות הכרס ובממשק אבוס שונה הייתה מתקבלת תמונה מאוזנת יותר בתמונת חומציות הכרס.



איור 9. התנהגות האכילה (ק"ג ח"י נצרך בכל שעה) לאורך שעות היממה של שתי קבוצות הניסוי בשבועות 5-8 לניסוי. קו רציף = SB - 8 צינונים בעיתוי מיטבי לפי הכוונת החיישנים; קו מקווקו = TB- 3 צינונים לפני החליבות. הקוביות השחורות בציר ה Xים מסמנות את עיתוי האירועים שמעוררים פיק של אכילה כולל: הגשת המזון, ומועדי צינון וחליבה.

לסיכום:

תוצאות מחקר זה מראים שניתן בעזרת חיישנים שמשדרים המשכית את טמפרטורת הגוף (בולוסים בכרס) להגיב ישירות למצב עקת החום של הפרה, ולצנן טוב יותר את הפרות בקיץ (שינוי עיתוי ומספר הצינונים), כדי למנוע התחממות יתר (אפילו לזמן קצר) של הגוף ושל מערכת הרבייה למניעת הפגיעה בפוריות ובייצור.

המטרה השלישית בתכנית המקורית הייתה לבחון השפעות משטר הזנה מותאם לקיץ בשילוב עם צינון מיטבי מוכוון חיישני כרס, על ביצועי פרות חלב ופוריותן. בגלל מגבלות קיצוץ תקציבי המחקר של מועצת החלב ב 2019, בוטלה השנה השלישית בהסכמה בין החוקרים למנהלת המחקרים.

נספח - הרכבי המנות בשני הניסויים.

Table 5: Ingredients, chemical composition and in vitro digestibility of the TMR fed to the cows in experiments 1 and 2.

Item	Amount
Ingredient (% of DM)	
Wheat silage	20.5
Oat hay	8.8
Vetch hay	2.3
Corn grain, ground	29.4
Corn gluten feed	13.4
Dried distillers grains	6.2
Rapeseed meal	4.5
Soy pulp	3.5
Lactose concentrate	3.2
Barley grain, ground	1.7
Whole cottonseed	2.0
Ca-LCFA[1]	1.7
Prickly pear oil	0.1
Sodium bicarbonate	1.0
Calcium and sodium chloride	0.7
Limestone	0.6
Vitamins and trace minerals mix[2]	0.1
Urea	0.3

Chemical composition and in vitro digestibility		
	% of dry TMR	SEM
DM (% of wet TMR)	63.4	0.99
OM	92.3	0.41
CP	17.5	0.15
Ether extract	5.25	0.07
NDF	33.3	0.39
Forage NDF	18.0	0.32
peNDF[1]	10.9	0.09
Hemicellulose	17.6	0.61
Cellulose	12.0	0.36
Lignin	3.40	0.20
Non structural carbohydrate	36.3	0.39
In vitro DM digestibility	75.3	0.07

[1] Ca-LCFA = calcium salts of long-chain fatty acids; peNDF = physically effective NDF remaining above the 8mm sieve.

[2]Containing (g/kg of mix DM): Zn, 24; Fe, 24; Cu, 12.8; Mn, 24; I, 1.44; Co, 0.32; Se, 0.32; 16M IU of vitamin A; 3.2M IU of vitamin D3; and 48K IU of vitamin E.