

דו"ח מדעי מסכם לתכנית 596-0410-19

אוגוסט 2020

השפעת תאורה מלאכותית בלילה על יעילות ניצולת מזון ותנובת חלב ורכיביו של פרות

חלב גבוהות תנובה

The influence of artificial light at night on feed efficiency and milk yields of high producing dairy cows

מגיש: דר' אביב אשר, מו"פ צפון, מיג"ל

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים אינם מהווים המלצות לחקלאים.



חתימת החוקר הראשי

דר' אביב אשר

תקציר

ברפתות רבות בישראל ישנו שימוש בממשק של תאורה מלאכותית קצרת גל (בשנים האחרונות השימוש הוא בעיקר בתאורת LED קצרת גל) לאורך שעות הלילה שהמניעים לו הם בעיקר בהיבט הביטחוני (מניעת גניבות) והיצרני (הגברת האכילה) לכאורה. הבסיס לאיום הבריאותי והיצרני נעוץ בעובדה כי תאורה מלאכותית בלילה מפרה את התפקוד התקין של השעון הביולוגי המסנכרן בבעלי חיים שונים (כולל האדם) פעילויות ביולוגיות. המלטונין, המיוצר בבלוטה האצטרובלית ומופרש בלילה, הוא המתווך של סיגנל החושך לרקמות, ותאורה לילית קצרת גל פוגעת בהפרשתו ובריתמוס הפעילויות הפיסיולוגיות.

בשנים האחרונות ישנה התעניינות ברמה העולמית בהשפעות החשיפה לתאורה קצרת גל בלילה על בריאות האדם אך ישנו מידע דל על השפעת התאורה המלאכותית בלילה על בקר לחלב. מטרת המחקר הייתה לבחון האם חשיפה של פרות חלב גבוהות תנובה לאור מלאכותי בלילה תפגע במחזוריות השעון הביולוגי ותשפיע על ביצועים, יעילות ייצור וניצולת מזון.

הניסויים התבצעו ברפת מחקרית וברפת מסחרית כאשר חלק מהפרות נחשפו בשעות הלילה לתאורה מלאכותית קצרת גל מסוג LED לבן, לתאורה מלאכותית ארוכת גל (לא משבשת את ייצור המלטונין) מסוג LED אדום ולתאורה טבעית (ללא שימוש בתאורה מלאכותית) ובמשך תקופת החשיפה נמדדו ביצועים, יעילות ייצור וקצב הלב כמדד למחזוריות השעון הביולוגי.

התוצאות מלמדות כי חשיפה לתאורה המלאכותית קצרת גל פגעה ביעילות הייצור וניצולת המזון ובמחזוריות קצב הלב של הפרות יחסית לתאורה טבעית. יעילות הייצור של הפרות שנחשפו לתאורה ארוכת גל היו גבוהים יחסית לאלו של הפרות שנחשפו לתאורה קצרת גל וברוב הניסויים לא היו שונים מאלו של התאורה הטבעית. מחזוריות קצב הלב של הפרות שנחשפו לתאורה ארוכת גל לא שובשה והייתה דומה למחזוריות של הפרות שנחשפו לתאורה טבעית.

חשיפה של אותן פרות לשלושה משטרי תאורה עוקבים (אור טבעי, אור לבן קצר גל מסוג LED ואור אדום ארוך גל מסוג LED) הראתה ירידה בביצועים, ביעילות הייצור ובמחזוריות קצב הלב לאחר מעבר מתאורה טבעית לתאורה קצרת גל ושיפור הביצועים ויעילות הייצור וחזרה למחזוריות אנדוגנית במעבר מתאורה קצרת גל לתאורה ארוכת גל.

הסבר הביולוגי לתוצאות אלו עשוי להיות קשור למסלולי זרימת האנרגיה בגוף הפרה, כלומר, הארה בתאורה קצרת גל גורמת לאקסיטציה (ערור) של מערכות שונות בשעות הלילה וכתוצאה מכך יותר אנרגיה מטבולית מנותבת לצרכי קיום ולכן ניתוב האנרגיה למסלול הייצור פוחת. ממצאים אלו מצביעים על כך ששימוש בתאורה מלאכותית בלילה פוגע ברווחיות הרפת ואף פוגע ברווחת החיה. שימוש בתאורה ארוכת גל יכול לשמש כפתרון ביניים במידה ולא ניתן להשתמש במשטר תאורה טבעית ברפת.

Abstract

In many dairy farms in Israel artificial lighting interface at night is a common practice to motivate feed consumption and because of security reasons. The basis for the health and

industrial threat lies in the fact that artificial lighting at night (ALAN) violates the normal functioning of the biological clock that synchronizes various biological activities in many animals (including humans). Melatonin, which is produced in the pineal gland and secreted at night, is the mediator of the darkness signal to tissues, and night short wavelength lighting interferes with its secretion and the rhythm of physiological activities. Recently, worldwide interest has focused on the negative effect of ALAN on human health; however, there is limited information on the effect of ALAN on dairy cattle. Therefore, the purpose of the study was to examine the effect of artificial lighting at night on the circadian rhythm of the master clock and on performance and feed and production efficiency of high-producing dairy cows. The experiments were conducted in a research farm and commercial farms. Some of the cows were exposed to short wavelength illumination and other cows were exposed to long wavelength illumination and the third group was exposed to natural illumination during the night hours. During the exposure periods the performance and efficiency of the cows and heart rate (as endogenic parameter for the master clock rhythmicity) were measured.

The results showed that cows that were exposed to short wavelength illumination had lower feed efficiency and production and their HR rhythmicity was disrupted compare to cows that were exposed to natural illumination. The feed efficiency of the cows that were exposed to the long wavelength illumination was higher compare to the cows that were exposed to short wavelength illumination and in most of the experiments the feed efficiency of the cows that were exposed to the long wavelength illumination didn't differ compare to the cows that were exposed to the natural illumination. The HR rhythmicity of the cows that were exposed to the long wavelength illumination was not disrupted.

Exposing cows to three illumination regimes that include natural light, white LED (short wavelength illumination) and red LED (long wavelength illumination) showed that cows performance and efficiency were decreased and their HR rhythmicity was disrupted after switching from natural light regime to short wavelength illumination. Exposing the cows to red LED illumination after exposure to white LED illumination caused an improvement in their performance and efficiency and the HR returned to the rhythmicity that was showed in the natural illumination. These results can be explained by the changes in energy utilization pathways as a result of different illumination that the cows

were exposed during the experiments. Exposing the cows to short wavelength during the night hours caused sympathetic excitation and as a result the maintenance demands increased and less metabolic energy was allocated to the production pathway. These findings indicates that exposing cows to short wavelength illumination during the night decrease the production efficiency of the dairy farm while damaging the welfare conditions of the cows. Using long wavelength illumination in the dairy farm during the night can be an adequate solution if there is no option to use natural light illumination during the night hours.

מבוא

בבעלי חיים שונים (כולל האדם) מתרחשות פעילויות ביולוגיות תלויות זמן בעלות מחזוריות יומית בכל הרמות - החל מהאורגניזם השלם ועד לרמה המולקולארית - המתוזמנות על ידי השעון הביולוגי השוכן בגרעין העל-תצלובתי (SCN) בהיפותלמוס, מעל לתצלובת של עצבי הראיה המגיעים מהעיניים. השעון בנוי מתאי עצב, ואת המידע על אור וחושך הוא מקבל מתאי הרשתית שבעין. מהשעון הביולוגי מועבר המידע לבלוטה האצטרובלית המייצרת את המלטונין ("הורמון החושך"), שמגיע לזרם הדם ומעביר את "מסר החושך" לכל תאי הגוף. ייצור המלטונין מגיע לשיא באמצע הלילה, והינו תהליך מאוד רגיש, שאפילו כמות קטנה של אור מלאכותי בעל אורך גל קצר יכולה לשבש אותו (Seron-Ferre, 2001). אורך גל קצר מוגדר בטווח שבין 450–490 ננומטר, והוא דומיננטי בתאורה מסוג פלורוסנט ו-LED (אור לבן). לעומת זאת, תאורה בעלת אורכי גל ארוכים, בטווח שבין 620–780 ננומטר (אור אדום) אינה משבשת את ייצור המלטונין (Dahl et al., 2000).

ביונקים, מלטונין הוא נוירוהורמון שכמויות גדולות שלו יחסית נוצרות בבלוטה האצטרובלית בשעות החושך מסרטונין, אשר נוצר ומצטבר בבלוטה בשעות היום. מבחינה כימית, המלטונין הינו אינדול-אמין הנמצא בצמחים ובעלי חיים מקבוצות שונות. מבחינה אבולוציונית, המלטונין היא מולקולה עתיקה מאד באורגניזמים, והיא בעלת פונקציות שונות. אחת הפונקציות המשותפות לצמחים ולבעלי חיים היא היותה חומר נוגד חמצון יעיל ביותר (Reiter et al., 2007). ביונקים, מעבר לתפקיד החשוב של המלטונין במערכת החיסון כנוגד חמצון רב-עוצמה, בעשור האחרון מתרבות ההוכחות לכך שמלטונין משפיע באופן ישיר על יכולת התגובה של מערכת החיסון כנגד פתוגנים שונים, באמצעות גיוס תאי דם לבנים ואף פגיעה ישירה בחיידקים מסוגים שונים (Tekbas et al., 2008). מאחר והמלטונין מופרש בחושך, הוא גם קשור בהסדרת העונתיות, כלומר, המלטונין משמש לא רק כביטוי לשעון היממתי, אלא גם ביטוי ללוח השנה, למשל לסנכרון מועדי הרבייה (Reiter, 1993). יותר מכך, מחקרים שפורסמו בעשור האחרון הוכיחו שמערכת הרבייה מושפעת מרמות המלטונין באופן ישיר, וההוכחה לכך היא הימצאותם של קולטנים למלטונין בגונדות ובתאי מערכת הרבייה - בעיקר בתאי הגרנולוזה, פרוסטטה וספרמטוזואה, ובנוזל הזיקיק (Tamura et al., 2012). במחקר שנערך בקרב נשים שעברו טיפולי פוריות נמצא, שלקבוצת הנשים שנטלו מלטונין במהלך התקופה היו אחוזי

הפריה, קליטה והשרשה גבוהים באופן מובהק מקבוצת הנשים שלא נטלה מלטונין (Tamura et al., 2008). כיום, עדיין לא ברור כיצד משפיע המלטונין על פוריות בזכרים ובנקבות וההנחה העיקרית היא שהמלטונין מגן על הביצית ועל הזרע מפני רדיקלים חופשיים בסביבת תאי המין, וכך מונע פגיעה בחיוניותם (Tamura et al., 2012). בעשורים האחרונים פורסמו מחקרים רבים בנושא השפעת פוטופריודה על מעלי גירה, שהתמקדו בעיקר בנושא השפעת אורך היום ושינוי באורך היום על היצרנות (Dahl et al., 2000). עדויות ממחקרים בנושא בצפון אמריקה ובאירופה מראות, כי משטר תאורה של יום קצר בתחילת התחלובה מעלה את תנובת החלב בפרות ב-2 עד 3 ליטר ליום, והאפקט החיובי נמשך לאורך כל התחלובה. באופן דומה השפעה זו נמדדה גם בכבשים ובעיזים (Wareski et al., 2001) ואף נמצא אפקט גדול יותר בעיזים מאשר בפרות (Capuco et al., 1997). כמו כן, נמצא שפרות שנחשפו ליום קצר בזמן היובש ייצרו בתחלובה העוקבת בממוצע 3.2 ליטר/ליום יותר חלב מאלו אשר נחשפו ליום ארוך (Miller et al., 2000). כלומר, עיקר המחקר בנושא פוטופריודה בבקר התמקד בשינויים עונתיים, דהיינו השפעת אורך היום ושינוי באורך היום על פרמטרים פיזיולוגיים שונים. בספרות המקצועית, המידע על השפעות תאורה מלאכותית על מערכות פיזיולוגיות בפרה הוא דל ביותר. מתוך כך עולה השאלה, כיצד משפיע האור המלאכותי על מערכות שונות בגוף הפרה? והאם יש לכך השלכה על יעילות ניצולת המזון לייצור חלב, בריאות ורווחת החיה?

מטרות המחקר:

מטרתו הכללית של המחקר היא שיפור יעילות הייצור של פרות לחלב באמצעות מניפולציות תאורה. המחקר יתמקד בשתי רמות: א. הבנת המנגנונים לשיפור היעילות המצויים בבסיס מניפולציות האור, לצורך מחקר והטמעה בטווח הארוך. ב. בחינה של מניפולציות התאורה לצרכים יישומיים ברמת הרפת המסחרית בטווח הקצר והארוך.

מטרות ביניים: בחינה של מספר סוגי תאורה ומשטרי תאורה, ומציאת פתרון מעשי לניהול משטר תאורה יעיל ואפקטיבי תוך שמירה על יצרנות, בריאות ורווחת החיה.

ניסוי שנה א'

מהלך הניסוי

הניסוי נערך במשק יגור במהלך החודשים מאי עד ספטמבר 2017, ב 199 פרות מניבות מסוג הולשטיין, מספר תחלובה: 2.76 בממוצע, ימים בתחלובה: 190 יום בממוצע, משקל גוף: 609.9 ק"ג בממוצע, תנובת חלב יומית ממוצעת: 43.8 ק"ג/יום, שעות חליבה: 4:00, 12:00, 20:00, הזנה: מנת חולבות (1.75 מק"ל). הפרות חולקו לשלוש קבוצות בהתאם למשטר ההארה, כאשר הקבוצות לא נבדלו במספר התחלובות, יום בתחלובה, ותנובת החלב. קבוצה מספר 1 (N = 62) הוארה בתאורת LED לבן (462 ננומטר, 180 לוקס) בשעות הלילה החל משעה 19:00 עד 07:00 למחרת. קבוצה 2 (N = 69), הוארה בתאורת LED אדום (670 ננומטר, 180 לוקס) בשעות הלילה החל משעה 19:00 עד 07:00 למחרת. קבוצה 3 (N = 69), הייתה תחת משטר תאורה טבעי כלומר ללא תאורה מלאכותית (680 ננומטר, 2.01 לוקס). הדלקת האורות בקבוצות 1 ו 2 התבצעה בשבוע 5 בניסוי. הפרות נחלבו שלוש פעמים ביום

(04:00, 12:00, 20:00). הפרות נשקלו 3 פעמים ביום (בכניסה למכון החליבה), מצב גופני נמדד פעמיים במהלך הניסוי (תחילה וסוף ניסוי) ודיגומי חלב בוצעו בסוף הניסוי. קצב לב יומי נמדד לאורך 4 ימים רצופים לשלוש קבוצות הניסוי, באמצעות חגורות קצב לב ייעודיות, בתחילת הניסוי (לפני ההארה) ובסופו. הרכב ותכולת המנה שהוגשה במהלך הניסוי לשלושת הקבוצות מוצגים בטבלה 1. תכולת חומר יבש במנה נקבעה לאחר ייבוש דוגמאות של המנות השונות בטמפרטורה של 60°C עד התייבבות המשקל ללא שינוי, ייבוש למשך 48 שעות. מניתוח תכולת ח"י נמצא שמנת הניסוי הכילה 59.7% ח"י.

טבלה 1. מרכיבים ותכולות של מנת ההזנה שהוגשה לפרות בקבוצות הניסוי

רכיב	כמות בק"ג יומי	אחוז במנה
תירס גרוס	2.848	8.13
תירס גרוס בחליפה	1.595	4.56
מלח מרמז	0.211	0.60
שחת אספסת	0.984	2.81
כוספת סויה	0.5	1.43
ויטמין E	0.002	0.01
לבן	2	5.71
כוספה ליפתית	1.206	3.44
חיטה חליפה	0.3	0.86
שמן	0.03	0.09
D.D.G.S	1.43	4.08
גלוטן פיד בחליפה	3	8.57
סודה לשתיה	0.22	0.63
שמרים ביוספ	0.005	0.01
אדולק	0.235	0.67
מלח	0.0418	0.12
סידנית	0.2077	0.59
תרכיז חשח	0.0168	0.05
ויטמין A	0.018	0.05
סובין	0.5	1.43
שזרות תירס	3	8.57
תחמיץ חיטה	7.7593	22.16
תחמיץ תירס	4	11.43
גפת תירס	1.6	4.57
שחת דגן	2.5	7.14
שעורה לחוצה	0.8	2.29
סיכום	35.1	100.00
תכולות		
חומר יבש %	59.7	

16.6	חלבון כללי %
33.3	דופן תא %
0.199	דופן תא גס %
0.048	שומן %
0.033	שומן מוגן %
1.758	אנרגיה נטו לח"י (מק"ל לק"ג ח"י)

תוצאות

1. הרכב מנה וצריכת מזון

צריכת ח"י יומית לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה (ממוצע שבועות 1 עד 4) מתוארת בטבלה 2. צריכת ח"י יומית אחרי מניפולציית האור המלאכותי בלילה (ממוצע שבועות 6 עד 17) מתוארת בטבלה 3. לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה, קבוצת החושך לא הייתה שונה מקבוצת האור הלבן וצריכת המזון של קבוצת האור האדום הייתה נמוכה מצריכת המזון של קבוצת האור הלבן והחושך (טבלה 2).

טבלה 2. ביצועים, הרכב חלב ויעילות ניצולת מזון של פרות משלושת משטרי התאורה: חושך, אור אדום ואור לבן, לפני מניפולציית התאורה

P value	SEM	לבן	אדום	חושך	פרמטר
					ביצועים
-	-	29.8	28.4	29.5	צריכת ח"י, ק"ג ח"י/יום
< 0.001	2.87	652 ^b	616 ^a	619 ^a	משקל גוף, ק"ג
0.63	0.03	2.62	2.64	2.60	מצב גופני (סקלה 1-5)
< 0.001	5.63	303 ^b	433 ^a	440 ^a	פעילות, צעדים ליום
< 0.001	0.86	85.5 ^a	89.9 ^b	84.7 ^a	קצב לב, פעימה לדקה
< 0.01	0.42	41.4 ^b	43.6 ^a	43.8 ^a	תנובת חלב, ק"ג ליום
					מרכיבי חלב
0.25	0.10	3.98	4.14	3.98	שומן, %
0.17	0.06	3.37	3.49	3.45	חלבון, %
< 0.001	0.03	4.84 ^c	5.00 ^b	4.94 ^a	לקטוז, %
0.74	55.4	205.7	157.1	187.3	סת"ס (תאים*1000/מ"ל)
< 0.001	0.32	30.8 ^b	33.7 ^a	33.3 ^a	אנרגיה בחלב, מק"ל ליום
					יעילות ניצולת מזון
-	-	1.41	1.53	1.42	תנובת חלב/ צריכת ח"י
-	-	1.04	1.18	1.12	האנרגיה בחלב/ צריכת ח"י

^{a,b} ערכים באותה שורה המסומנים באותיות שונות נבדלים סטטיסטית $P < 0.05$.

טבלה 3. ביצועים, הרכב חלב ויעילות ניצולת מזון של פרות משלושת משטרי התאורה: חושך, אור אדום ואור לבן, אחרי מניפולציית התאורה

P value	SEM	לבן	אדום	חושך	פרמטר
-	-	27.4	27.5	27.9	ביצועים
< 0.01	4.55	649 ^c	597 ^b	616 ^a	צריכת ח"י, ק"ג ח"י/יום
< 0.001	0.03	2.42 ^b	2.49 ^b	2.58 ^a	משקל גוף, ק"ג
< 0.001	10.74	379 ^c	421 ^b	448 ^a	מצב גופני (סקלה 1-5)
< 0.001	0.58	86.1 ^b	80.4 ^a	79.6 ^a	פעילות, צעדים ליום
< 0.001	0.51	37.8 ^c	41.2 ^b	42.8 ^a	קצב לב, פעימה לדקה
					תנובת חלב, ק"ג ליום
					מרכיבי חלב
< 0.001	0.12	3.88 ^b	4.13 ^{ab}	4.49 ^a	שומן, %
0.01	0.05	3.45 ^b	3.53 ^b	3.31 ^a	חלבון, %
0.24	0.04	4.94	5.03	5.01	לקטוז, %
0.06	61.5	389.4 ^b	209.3 ^{ab}	181.5 ^a	סת"ס (תאים*1000/ מ"ל)
< 0.001	0.39	28.12 ^c	31.96 ^b	34.08 ^a	אנרגיה בחלב, מק"ל ליום
					יעילות ניצולת מזון
-	-	1.45	1.49	1.53	תנובת חלב/ צריכת ח"י
-	-	1.03	1.17	1.23	האנרגיה בחלב/ צריכת ח"י

^{a,b} ערכים באותה שורה המסומנים באותיות שונות נבדלים סטטיסטית $P < 0.05$.

2. תנובת החלב היומית

תנובת החלב היומית (ממוצע \pm ש.ת) של קבוצות הניסוי לאורך כל תקופת הניסוי מתוארת באיור 2. תנובת החלב היומית לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה (ממוצע שבועות 1 עד 4) מתוארת בטבלה 2. תנובת החלב היומית אחרי מניפולציית האור המלאכותי בלילה (ממוצע שבועות 6 עד 17) מתוארת בטבלה 3. תנובת החלב היומית הממוצעת לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה של קבוצות האור הלבן הייתה נמוכה באופן מובהק מקבוצת האור האדום והחושך, אך לא נמצא הבדל מובהק בתנובת החלב של פרות מקבוצת אור אדום לקבוצת החושך (ראה טבלה 2). בתקופת מניפולציית התאורה תנובת החלב היומית הממוצעת של קבוצות האור הלבן הייתה נמוכה באופן מובהק מקבוצת החושך והאור ותנובת החלב היומית של קבוצת החושך הייתה גבוהה מתנובת החלב היומית של קבוצת האור האדום (ראה טבלה 3).

3. משקל גוף

משקל הגוף של פרות הניסוי נמדד 3 פעמים ביום (ביציאה מהמכון חליבה) במהלך הניסוי. משקל הגוף לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה (ממוצע שבועות 1 עד 4) מתואר בטבלה 2. משקל הגוף אחרי מניפולציית האור המלאכותי בלילה (ממוצע שבועות 6 עד 17) מתואר בטבלה 3. משקל הגוף הממוצע לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה של קבוצות האור

הלבן, היה גבוה באופן מובהק ($P < 0.01$) מקבוצות האור האדום והחושך, ולא היה שונה בין קבוצות האור האדום והחושך ($P = 0.58$). בתקופה זו קבוצת האור הלבן וקבוצת האור האדום עלו ב 0.21, 0.36 ק"ג ליום בהתאמה, לעומת קבוצת החושך שירדה -0.26 ק"ג ליום. בתקופה שלאחר ההארה ועד סוף הניסוי (שבוע 5 עד שבוע 17) כל הקבוצות ירדו במשקל הגוף אך הירידה המתונה ביותר במשקל הגוף הייתה של קבוצת האור האדום לעומת קבוצות החושך והאור הלבן (-0.25, -0.27, -0.32, ק"ג ליום בממוצע, בהתאמה). משקל הסיום של קבוצת האור הלבן היה הגבוה ביותר יחסית למשקלי הסיום של קבוצת החושך והאור האדום שלא נבדלו ביניהן.

4. מצב גופני

דרוג המצב הגופני (scale 1-5) של פרות הניסוי נמדד בתחילת הניסוי ובסופו (שבועות 1, 17). המצב הגופני לפני מניפולציית האור מתואר בטבלה 2 והמצב הגופני אחרי מניפולציית האור המלאכותי בלילה מתואר בטבלה 3. דרוג המצב הגופני לא היה שונה בין קבוצת החושך, האור האדום והאור הלבן בתחילת הניסוי ($P = 0.63$). בסוף הניסוי דרוג המצב הגופני היה שונה באופן מובהק בין קבוצות הניסוי, כאשר הדרוג הגבוה ביותר היה בקבוצת החושך ולאחריה האור האדום והדרוג הנמוך ביותר היה בקבוצת האור הלבן (טבלה 3).

5. פעילות

פעילות הפרות (מספר צעדים ביממה) נמדדה בכל יום באמצעות מד צעדים (חברת צח"מ אפיקים). פעילות הפרות לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה מתוארת בטבלה 2 והפעילות אחרי מניפולציית האור מתוארת בטבלה 3. מספר הצעדים לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה של קבוצות האור הלבן, היה נמוך באופן מובהק ($P < 0.001$) מקבוצות האור האדום והחושך, ולא היה שונה בין קבוצות האור האדום והחושך ($P = 0.95$).

בחמשת השבועות לאחר ההארה הייתה עליה של 40% בפעילות של הפרות מקבוצת האור הלבן לעומת עליה של 5% בכמות הצעדים של קבוצת האור האדום ועליה של 0.7% בקבוצת החושך. בין השבועות 10 ל 11 ישנה ירידה משמעותית של 68 צעדים ליממה בממוצע בקבוצת האור הלבן אך לאחר מכן משבוע 11 עד שבוע 17 ישנה עליה בכמות הצעדים בקבוצת האור הלבן וקבוצת החושך שמגיע לרמת פעילות של 384 ו 493 צעדים ליממה, בהתאמה, בשבוע 17. בקבוצת האור האדום לא היה שינוי ברמת הפעילות בין שבועות 11 עד 17.

6. הרכב החלב

הרכב החלב של הפרות לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה מתואר בטבלה 2 והרכב החלב אחרי מניפולציית האור מתואר בטבלה 3. א. שומן: אחוז השומן בחלב לא היה שונה ($P = 0.25$) בין הקבוצות לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה. לאחר מניפולציית האור, אחוז השומן בחלב הגבוה ביותר היה

בקבוצת החושך והוא נבדל באופן מובהק מקבוצת האור הלבן. אחוז השומן הנמוך ביותר היה בקבוצת האור הלבן.

ב. חלבון: אחוז החלבון בחלב לא היה שונה ($P = 0.17$) בין הקבוצות לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה. לאחר מניפולציית האור, אחוז החלבון בחלב הגבוה ביותר היה בקבוצת האור הלבן והוא נבדל באופן מובהק מקבוצת האור החושך. אחוז החלבון הנמוך ביותר היה בקבוצת החושך.

ג. לקטוז: אחוז הלקטוז בחלב היה שונה בין הקבוצות לפני מניפולציית האור, אחוז הלקטוז הגבוה ביותר נמצא בקבוצת האור האדום ולאחריה קבוצת החושך וקבוצת האור הלבן.

לאחר מניפולציית האור לא נמצא הבדל מובהק בקבוצות באחוז הלקטוז ($P = 0.24$).

ד. סת"ס: ערך הסת"ס ($\text{cells} \cdot 1000/\text{ml}$) בחלב לא היה שונה בין הקבוצות לפני מניפולציית התאורה ($P = 0.74$). לאחר מניפולציית האור ערך הסת"ס הגבוה ביותר נמצא באור הלבן והוא היה שונה באופן מובהק מקבוצת החושך שהייתה בעלת ערך הסת"ס הנמוך ביותר מכל הקבוצות. ערך הסת"ס בקבוצת האור האדום לא נבדל באופן מובהק מקבוצת האור הלבן והחושך.

7. האנרגיה בחלב ויעילות ניצולת מזון

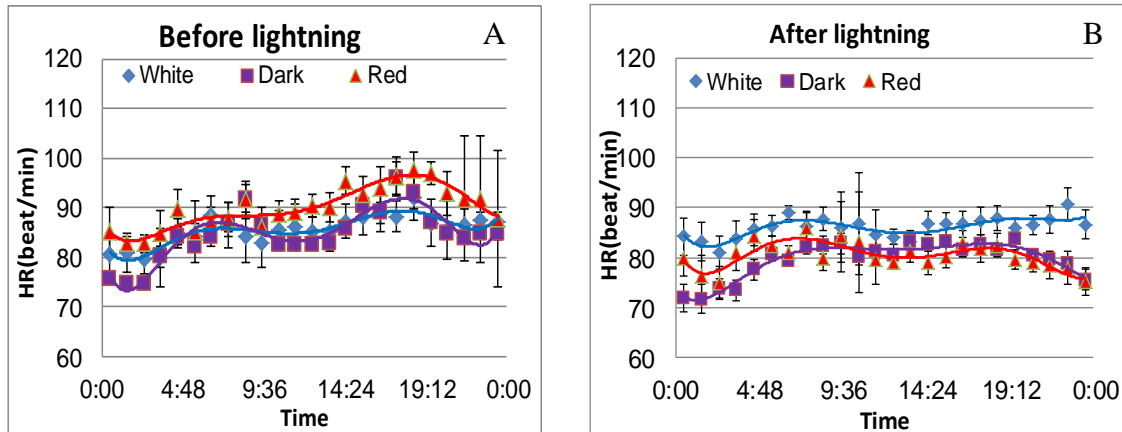
כמות האנרגיה בחלב (מק"ל / יום), ויעילות ניצולת מזון לפי היחס של כמות חלב/צריכת ח"י והיחס של האנרגיה בחלב/ צריכת ח"י של הפרות, לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה מתוארות בטבלה 2 ויעילות ניצולת המזון אחרי מניפולציית האור מתוארת בטבלה 3.

א. לפני מניפולציית האור נמצא הבדל מובהק בכמות האנרגיה בחלב בין קבוצת האור הלבן לחושך ולאור האדום כאשר האנרגיה בחלב בקבוצת האור הלבן הייתה הנמוכה ביותר יחסית לקבוצות האחרות אך לא נמצא הבדל באנרגיה בחלב של קבוצת האור האדום לבין קבוצת החושך.

ב. יעילות ניצולת מזון לחלב, לפי היחס שבין כמות החלב לכמות צריכת ח"י (ק"ג/ק"ג ח"י) הייתה דומה בין הקבוצות האור לקבוצת החושך לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה. לאחר מניפולציית האור, היחס שבין כמות החלב לכמות צריכת ח"י של קבוצת החושך היה הגבוה ביותר יחסית לערכי היעילות של קבוצת האור הלבן שהיה הנמוך ביותר בין הקבוצות. ערכי היעילות של פרות מקבוצת האור האדום היו דומים יחסית לאור הלבן ולחושך.

8. קצב לב

קצב הלב (ממוצע \pm ש.ת.) של קבוצת האור והחושך לאורך היממה, לפני מניפולציית האור ולאחריה מתואר באיור 1. קצב הלב הממוצע ליממה של הפרות לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה מתואר בטבלה 2 וקצב הלב הממוצע ליממה אחרי מניפולציית האור מתואר בטבלה 3.



איור 1: קצב הלב (HR, beat / min \pm SE) לאורך היממה לפני מניפולציית האור (A) ואחרי ההארה (B) בלילה של פרות מקבוצת האור הלבן (N = 62) והאור האדום (N = 69), וקבוצת החושך (N = 68).

הממוצע היומי של קצב הלב (פעימות/לדקה) נבדל בין קבוצות הניסוי כאשר קצב הלב הגבוה ביותר נמצא אצל פרות מקבוצת האור האדום שנבדל באופן מובהק מקבוצת האור הלבן והחושך. לא נמצא הבדל מובהק בממוצע קצב הלב של קבוצת החושך והאור הלבן. לאחר מניפולציית האור קצב הלב הגבוה ביותר היה של קבוצת האור הלבן וקצב הלב הנמוך ביותר היה של פרות מקבוצת החושך. כמו כן בנוגע לשינויי בקצב הלב לאורך היממה ניתן להתרשם שלפני מניפולציית האור המחזוריות של קצב הלב בין הקבוצות דומה לאורך היממה אך לאחר מניפולציית האור ניתן לראות שקצב הלב של קבוצת האור הלבן אינו יורד באופן מובהק בין השעות 19:00 ל 24:00 וזאת בשונה מהירידה המובהקת בקצב הלב בטווח שעות אלו לפני מניפולציית ההארה.

דין שנה א':

מתוצאות השנה הראשונה של הניסוי עולה שההשפעה של האור המלאכותי קצר הגל בלילה התבטאה בירידה בחלב ובמשקל גוף כאשר פרות שנחשפו לאור לבן מסוג LED ירדו באופן המשמעותי ביותר בייצור החלב ובמשקל הגוף לעומת פרות שלא נחשפו לתאורה מלאכותית בלילה. כמו כן, נמצא שהייתה השפעה משמעותית ביותר לתאורה המלאכותית על הרכב החלב וחיפיה של פרות לתאורה מלאכותית קצרת גל גרמה לירידה באחוז השומן ועליה באחוז החלבון בחלב. כמו כן, מניעת חשיפת הפרות לאור מלאכותי העלתה את כמות השומן והורידה את אחוז החלבון ובהתאם, מניעה של פרות מחשיפה לאור בלילה העלתה את כמות האנרגיה בחלב. כמו כן נמצא שמעבר ממשטר מואר למשטר חשוך העלה את איכות החלב שהתבטאה בערך נמוך יותר של תאים סומטיים בחלב ובהתאם חשיפה של פרות לתאורה קצרת גל בעלת עוצמה גבוה פוגעת באיכות החלב.

בהיבט של יעילות ייצור נמצא שאור מלאכותי בלילה גרם לירידה ביעילות ניצולת המזון של הפרות (ירידה בשני מדדי היעילות) ושינויי של משטר תאורה ממואר לחשוך העלה את יעילות ניצולת המזון כלומר ניתן לשפר את היעילות ע"י שינויי במשטר תאורה.

העלייה בקצב הלב של הפרות שנחשפו לאור לבן לעומת ירידה בקצב הלב של פרות שעברו ממשטר מואר (לפני מניפולציית התאורה) למשטר חשוך וחוסר התנודתיות בשעות הלילה בקצב הלב של הקבוצה שהוארה באור לבן קצר גל, משתלבות עם ממצאים נוספים מניסויים בעכברים, בעגלים ובבני אדם שהראו שקצב הלב עולה בחשיפה לאור לבן קצר גל כתוצאה מדיכויי הפרשת המלטונין בעקבות חשיפת העין לאורכי גל קצרים. בתנאי חשוכים הפרשת המלטונין גוברת במהלך הלילה וגורמת לירידה בקצב הלב, לחץ הדם וטמפרטורת הגוף של יונקים יומיים. המשמעות של עליה בקצב הלב היא עלייה בדרישות לקיום בשעות ביממה שבהן הפרות אמורות להיות במצב אנרגטי "חסכוני" המתבטא בין היתר בירידה בקצב הלב, לחץ דם, מטבוליזם וטמפרטורת גוף בשעות החשכה. לפיכך אנו משערים שחשיפה של הפרות לאור קצר גל גרמה להוצאת אנרגיה שהתבטאה בקצב לב גבוה יותר, בירידה משמעותית יותר במשקל ושינויי בניתוב האנרגיה לייצור ולקיום שהתבטאו בירידה ביעילות הייצור בקרב פרות שנחשפו לאור קצר גל. יש לציין שרוב תקופת הניסוי התרחשה בתנאי עומס חום ולכן יש לבחון את ההשפעה של האור המלאכותי בעונות בהן לא קיים עומס חום ולהשוות בין ההשפעות בתנאים השונים. השימוש באור ארוך גל (אדום) בעוצמה המקבילה לעוצמת התאורה באור לבן קצר גל התברר כפתרון ביניים אפקטיבי באופן יחסי מכיוון שיעילות הייצור נפגעה פחות יחסית לאור הלבן אך עדיין הייתה ירידה ביעילות ולכן יש לבחון את השימוש באור האדום בעוצמות תאורה נמוכות יותר.

ניסוי שנה ב'

מהלך הניסוי

הניסוי נערך במשק יגור במהלך החודשים דצמבר 2017 עד ספטמבר 2018, ב 189 פרות מניבות מגזע הולשטיין, ממשק של שלוש חליבות ביום, שעות חליבה: 3:30, 11:30, 19:30, הזנה: מנת חולבות (1.75 מק"ל). בשנה זו בגלל אילוצים משקיים של רפת יגור, לא ניתן היה לחלק את הפרות לקבוצות הניסוי בהתאם לגיל, משקל ויום בתחלובה (כפי שבוצע בשנת הניסוי הראשונה) ולכן הוכנס תיקון קו-ואריאנס להשפעת ההבדלים ההתחלתיים בין הקבוצות בימים מהמלטה, תנובת החלב, ומשקל הגוף.

קבוצה מספר 1 ($n = 63$) הוארה בתאורת LED לבן (462 ננומטר, 180 לוקס) בשעות הלילה החל משעה 19:00 עד 07:00 למחרת, מספר תחלובה: 4.5 בממוצע, ימים בתחלובה: 150 יום בממוצע, משקל גוף: 615 ק"ג בממוצע, תנובת חלב יומית ממוצעת: 44.4 ק"ג/יום לפרה.

קבוצה 2 ($n = 65$), הוארה בתאורת LED אדום (670 ננומטר, 90 לוקס) בשעות הלילה החל משעה 19:00 עד 07:00 למחרת, הורדה של 50% בעוצמת התאורה בהשוואה לשנה א'. מספר תחלובה: 2.1 בממוצע, ימים בתחלובה: 130 יום בממוצע, משקל גוף: 592 ק"ג בממוצע, תנובת חלב יומית ממוצעת: 38.9 ק"ג/יום לפרה.

קבוצה 3 ($n = 61$). הייתה תחת משטר תאורה טבעי כלומר ללא תאורה מלאכותית (680 ננומטר, 2.01 לוקס), מספר תחלובה: 2.8 בממוצע, ימים בתחלובה: 190 יום בממוצע, משקל גוף: 601 ק"ג בממוצע, תנובת חלב יומית ממוצעת: 41.6 ק"ג/יום לפרה.

משטר התאורה (תאורת התמצאות בכל קבוצות הניסוי) לפני המניפולציה של התאורה היה משטר מואר באור פלורסנט בעוצמה (520 ננומטר, 92.01 לוקס). תקופת הניסוי המוגדרת כתקופה לפני מניפולציית התאורה הייתה בין התאריכים 06-12-17 עד 01-04-18, והתקופה לאחרי מניפולציית האור (01-04-18 עד 01-09-18).

הפרות נחלבו שלוש פעמים ביום (03:30, 11:30, 19:30). צריכת המזון (ממוצע קבוצתי) נמדדה ברמה יומית, הפרות נשקלו 3 פעמים ביום (בכניסה למכון החליבה), מצב גופני נמדד פעמיים במהלך הניסוי (תחילה וסוף ניסוי) ודיגומי חלב בוצעו בסוף הניסוי. קצב לב יומי נמדד לאורך 4 ימים רצופים לשלוש קבוצות הניסוי, באמצעות חגורות קצב לב ייעודיות, בתחילת הניסוי (לפני ההארה) ובסופו. הרכב המנה זהה למנת הניסוי בשנה א' ומוצג בטבלה 1 (אותה המנה הוגשה לשלושת הקבוצות). תכולת חומר יבש במנה נקבעה לאחר ייבוש דוגמאות של המנות השונות בטמפרטורה של 60 מ"צ עד התייבבות המשקל ללא שינוי, ייבוש למשך 48 שעות. אחוז ח"י במנה עמד על 61.1%.

תוצאות

תוצאות הביצועים, מרכיבי החלב ויעילות ניצולת מזון, בתקופה שלפני המניפולציה ולאחריה מתוארות בטבלאות 4, 5.

1. צריכת מזון

צריכת המזון (ק"ג ח"י/ליום) ממוצעת של הקבוצות ירדה ב 5% בתקופה שלפני המניפולציה יחסית לצריכה הממוצעת בתקופה שלאחר המניפולציה. ההפרש המשמעותי ביותר בין צריכת המזון לפני מניפולציית התאורה לעומת צריכת ח"י בתקופה שאחרי המניפולציה, היה בקבוצת האור הלבן (LED לבן). צריכת המזון הממוצעת של פרות מקבוצה ואחרי המניפולציה הייתה נמוכה ב 11% יחסית לצריכה לפני המניפולציה. צריכת המזון בקבוצת האור האדום (LED אדום) לפני ואחרי מניפולציית האור הייתה כמעט זהה, וצריכת המזון של קבוצת התאורה הטבעית אחרי המניפולציה הייתה נמוכה ב 3.4% לעומת הצריכה לפני המניפולציה. בתקופה שלפני המניפולציה ממוצע צריכת המזון הקבוצתית של הפרות מקבוצת האור הלבן הייתה הגבוה ביותר (צריכה הגבוה ב 5% יחסית לקבוצת האור הטבעי וב 15.6% יחסית לקבוצת האור האדום). בתקופה שלאחר המניפולציה צריכת המזון הגבוה ביותר הייתה של קבוצת האור הטבעי שהייתה גבוהה ב 5.4% יחסית לצריכה בקבוצת האור האדום ודומה לצריכת המזון הממוצעת של קבוצת האור הלבן ($>1\%$).

2. תנובת החלב היומית

בכל שלושת הקבוצות תנובת החלב בשלב שלפני המניפולציה הייתה גבוהה יחסית לתנובה בשלב שלאחר המניפולציה ($P < 0.01$). הירידה המשמעותית ביותר בתנובת החלב התרחשה בקבוצת האור הלבן, ירידה של 22.3% בתנובת החלה בתקופה שאחרי המניפולציה יחסית לתנובה בתקופה שלפני המניפולציה. בקבוצה 3 חלה ירידה של 18.5% בתנובת החלב בתקופה שלאחר המניפולציה יחסית לתנובה בתקופה שלפני המניפולציה. בקבוצה 2 הירידה בתנובת החלב בתקופה שלאחר המניפולציה

עמדה על 17% יחסית לתקופה שלפני המניפולציה. יחד עם זאת, לא נמצא הבדל מובהק בתנובת החלב היומית בין הקבוצות בשתי תקופות הניסוי.

טבלה 4. ביצועים, הרכב חלב ויעילות ניצולת מזון של פרות משלושת משטרי התאורה בלילה: אור טבעי (680 ננומטר, 2.01 לוקס), תאורת LED לבן (462 ננומטר, 180 לוקס), תאורת LED אדום (670 ננומטר, 90 לוקס), לפני מניפולציית התאורה. אותיות שונות מראות על הבדל מובהק סטטיסטית (Tukey-HSD, $P < 0.05$)

P value	SEM	LED אדום	LED לבן	אור טבעי	פרמטר
					ביצועים
-	-	27.5	32.6	30.9	צריכת ח"י, ק"ג ח"י/יום
0.95	2.05	49.2	49.7	48.1	תנובת חלב, ק"ג ליום
0.71	45.8	606	583	600	משקל גוף, ק"ג
0.24	0.16	2.47	2.14	2.46	מצב גופני (סקלה 1-5)
< 0.05	24.5	359 ^a	288 ^b	388 ^a	פעילות, צעדים ליום
					מרכיבי חלב
0.84	0.16	4.23	4.34	4.14	שומן, %
0.27	0.08	3.46	3.37	3.50	חלבון, %
0.73	0.04	5.13	5.14	5.12	לקטוז, %
< 0.05	37.2	105 ^{ab}	76 ^b	144 ^a	סת"ס (תאים*1000/ מ"ל)
0.69	1.95	38.6	39.3	37.4	אנרגיה בחלב, מק"ל ליום
					יעילות ניצולת מזון
-	-	1.79	1.52	1.56	תנובת חלב/ צריכת ח"י
-	-	1.40	1.20	1.21	האנרגיה בחלב/ צריכת ח"י

^{a,b} ערכים באותה שורה המסומנים באותיות שונות נבדלים סטטיסטית $P < 0.05$.

טבלה 5. ביצועים, הרכב חלב ויעילות ניצולת מזון של פרות משלושת משטרי התאורה בלילה: אור טבעי (680 ננומטר, 2.01 לוקס), תאורת LED לבן (462 ננומטר, 180 לוקס), תאורת LED אדום (670 ננומטר, 90 לוקס), אחרי מניפולציית התאורה. אותיות שונות מעל העמודות מראות הבדל מובהק סטטיסטית (Tukey-HSD, $P < 0.05$)

P value	SEM	LED אדום	LED לבן	אור טבעי	פרמטר
					ביצועים
-	-	27.7	29.1	29.3	צריכת ח"י, ק"ג ח"י/יום
0.39	0.93	40.8	38.6	39.2	תנובת חלב, ק"ג ליום
0.74	44.2	611	645	642	משקל גוף, ק"ג
0.84	0.11	2.49	2.46	2.48	מצב גופני (סקלה 1-5)
< 0.05	38.6	411 ^a	339 ^b	462 ^a	פעילות, צעדים ליום
					מרכיבי חלב
< 0.05	0.12	4.36 ^a	4.01 ^b	4.38 ^a	שומן, %
0.30	0.08	3.68	3.55	3.75	חלבון, %

0.70	0.05	5.11	5.09	5.06	לקטוז, %
< 0.01	26.1	102 ^b	161 ^a	110 ^b	סת"ס (תאים*1000/ מ"ל)
0.34	1.31	32.9	29.6	31.8	אנרגיה בחלב, מק"ל ליום
<u>יעילות ניצולת מזון</u>					
-	-	1.47	1.33	1.34	תנובת חלב/ צריכת ח"י
-	-	1.19	1.02	1.09	האנרגיה בחלב/ צריכת ח"י

^{a,b} ערכים באותה שורה המסומנים באותיות שונות נבדלים סטטיסטית $P < 0.05$.

3. משקל גוף

בשלושת קבוצות הניסוי הפרות עלו במשקל בתקופת הניסוי והמשקל הממוצע של שלושת הקבוצות בתקופת המניפולציה היה גבוה באופן מובהק ($P < 0.05$) מאשר משקלן לפני המניפולציה (632 ± 10.9 , 596 ± 6.9 , בממוצע, בהתאמה). משקל הפרות הממוצע בתקופה שאחרי המניפולציה לעומת המשקל בתקופה שלפני המניפולציה של קבוצות האור הלבן והאור הטבעי הראו עליה מובהקת ($P < 0.05$) של 9.6%, 6.5%, במשקל הגוף, בהתאמה. משקל הפרות הממוצע בקבוצת האור האדום לא השתנה באופן מובהק ($P < 0.05$), בתקופה שאחרי המניפולציה יחסית למשקל הגוף בתקופה שאחרי המניפולציה. משקל הגוף הממוצע של הפרות לא נבדל באופן מובהק בין הקבוצות בתקופה שלפני ובתקופה שאחרי המניפולציה.

4. מצב גופני

דרוג המצב הגופני (scale 1-5) של פרות הניסוי נמדד בתחילת הניסוי ובסופו. לא נמצא הבדל מובהק בין הקבוצות בדרוג המצב הגופני בשתי תקופות הניסוי. יחד עם זאת, ניקוד המצב הגופני של הפרות בקבוצת האור הלבן בתקופה שאחרי המניפולציה היה גבוה באופן מובהק ($P < 0.05$) יחסית לדרוג שלהן לפני המניפולציה. בקבוצת האור הטבעי ובקבוצת האור האדום לא נמצא הבדל בין הניקוד של המצב הגופני של הפרות בקבוצה אחרי ולפני המניפולציה.

5. פעילות

פעילות הפרות (מספר צעדים ביממה) נמדדה בכל יום באמצעות מד צעדים (חברת צח"מ אפיקים). מספר הצעדים ביממה נבדל באופן מובהק בין הקבוצות בתקופה שלפני המניפולציה ובתקופה שאחריה. כמו כן, בכל הקבוצות התרחשה עליה מובהקת בפעילות בתקופה שאחרי המניפולציה לעומת הפעילות של הקבוצה בתקופה שאחרי המניפולציה. מספר הצעדים הגבוה ביותר היה של הפרות מקבוצת החושך, גם בתקופה שלפני וגם בתקופה שאחרי המניפולציה כאשר הפעילות בקבוצה זו עלתה ב 16% בתקופה שלאחר המניפולציה יחסית לתקופה המקדימה. בשתי תקופות הניסוי פעילות של קבוצת האור האדום הייתה נמוכה מאשר הפעילות של קבוצת החושך וגבוהה יחסית לפעילות של קבוצת האור הלבן, כאשר בתקופה שלאחר המניפולציה הייתה עליה של 15% יחסית לתקופה המקדימה. הפעילות הנמוכה ביותר ביממה הייתה של הפרות מקבוצת האור הלבן בשתי תקופות הניסוי. רמת הפעילות בקבוצת האור הלבן גם כן עלתה באופן מובהק ($P < 0.05$) בתקופה שאחרי המניפולציה יחסית לתקופה המקדימה, עליה של 12% ברמת הפעילות.

6. הרכב החלב

א. שומן:

בתקופה שלפני המניפולציה אחוז השומן בחלב לא נבדל באופן מובהק בין קבוצות הניסוי. בתקופה שלאחר המניפולציה, אחוז השומן בקבוצות האור הטבעי והאור האדום גבוה באופן מובהק יחסית לאחוז השומן בחלב של פרות מקבוצת האור הלבן. בקבוצת האור הטבעי אחוז השומן עלה באופן מובהק ($P < 0.05$) בתקופה שאחרי המניפולציה יחסית לתקופה המקדימה. בקבוצת האור האדום אחוז השומן עלה גם כן בתקופה שלאחר המניפולציה יחסית לתקופה המקדימה אך לא באופן מובהק. בקבוצת האור הלבן חלה ירידה מובהקת ($P < 0.05$) באחוז השומן בתקופה שלאחר המניפולציה יחסית לתקופה המקדימה.

ב. חלבון:

אחוז החלבון בחלב לא נבדל בין הקבוצות בתקופה שלפני המניפולציה ובתקופה שאחרי המניפולציה. בשלושת הקבוצות נמצאה עליה מובהקת ($P < 0.01$) באחוז החלבון בתקופה שאחרי המניפולציה יחסית לתקופה המקדימה.

ג. לקטוז:

אחוז הלקטוז בחלב לא נבדל בין הקבוצות בתקופה שלפני המניפולציה ובתקופה שאחרי המניפולציה. בשלושת הקבוצות ערך אחוז הלקטוז ירד בתקופה שאחרי המניפולציה יחסית לתקופה המקדימה אך ירידה זו לא הייתה מובהקת באף אחת מהקבוצות.

ד. סת"ס:

בתקופה שלפני המניפולציה ערך הסת"ס בקבוצת האור הטבעי היה גבוה באופן מובהק ($P < 0.05$) יחסית לערך הסת"ס בחלב של פרות מקבוצת האור הלבן אך לא נבדל מערך הסת"ס בחלב של פרות מקבוצת האור האדום. כמו כן בתקופה המקדימה לא נמצא הבדל מובהק בין ערך הסת"ס של קבוצת האור הלבן יחסית לערך הסת"ס של קבוצת האור האדום. בתקופה שלאחר המניפולציה, ערכי הסת"ס של קבוצת האור הלבן היה גבוה באופן מובהק ($P < 0.01$) יחסית לקבוצת האור הטבעי והאור האדום. לא נמצא הבדל מובהק בין הסת"ס בחלב של פרות מהאור הטבעי לעומת האור האדום. בקבוצת האור הלבן חלה עליה מובהקת ($P < 0.01$) בערך הסת"ס בתקופה שלאחר המניפולציה יחסית לתקופה המקדימה. בקבוצת האור הטבעי חלה ירידה מובהקת ($P < 0.05$) בערך הסת"ס בתקופה שלאחר המניפולציה יחסית לתקופה המקדימה.

ה. כמות האנרגיה בחלב

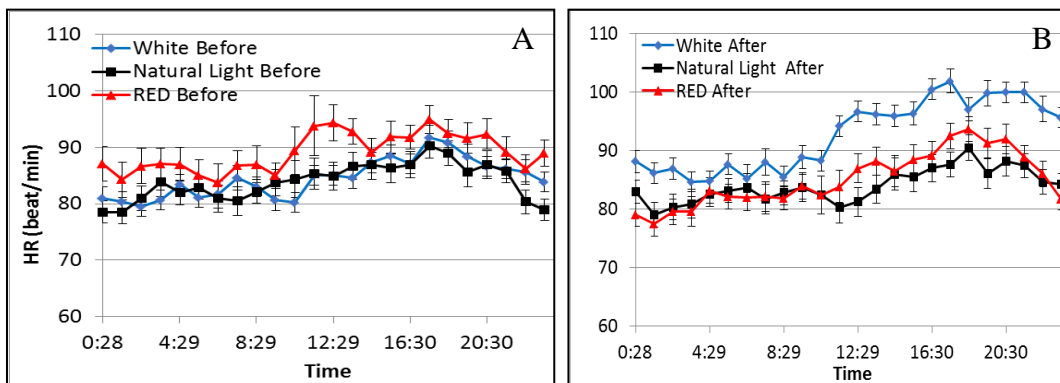
כמות האנרגיה בחלב (מק"ל ליום) בתקופה שלפני המניפולציה ובתקופה שאחרי המניפולציה, לא נבדלה בין הקבוצות. כמות האנרגיה בחלב של כל שלושת הקבוצות ירדה באופן מובהק ($P < 0.001$) בתקופה שלאחר המניפולציה בהשוואה לתקופה המקדימה, כאשר הירידה החדה ביותר היא של קבוצת האור הלבן שירדה ב % 24.7 לעומת קבוצת האור הטבעי והאור האדום שירדו ב % 15 ו % 14.7, בהתאמה.

ו. יעילות ניצולת מזון לחלב:

מדד יעילות ניצולת המזון הקלאסי (ק"ג/ק"ג ח"י) לחלב של הפרות בשלושת הקבוצות ירד בתקופה שאחרי המניפולציה ביחס לתקופה המקדימה. הערך הגבוה ביותר היה של קבוצת האור האדום, גם לאחר המניפולציה וגם לפני המניפולציה, כאשר לפני המניפולציה הערך של מדד היעילות של קבוצת האור האדום היה גבוה ב 12.8% יחסית לאור הטבעי וב 15.1% יחסית לאור הלבן. בתקופה שלאחר המניפולציה ערך היעילות הקלאסית של קבוצת האור האדום היה גבוה ב 9% יחסית לאור הטבעי ולאור הלבן. יעילות ניצולת מזון המחושבת לפי היחס בין האנרגיה בחלב לצריכת המזון (מקל/ק"ג ח"י) של קבוצת האור האדום בתקופה לפני המניפולציה הייתה גבוהה ב 14% יחסית לקבוצת האור הטבעי והאור הלבן. כמו כן, בכל שלושת הקבוצות חלה ירידה ביעילות ניצולת המזון המחושבת לפי היחס בין האנרגיה בחלב וצריכת המזון ירדה בתקופה שלאחר המניפולציה יחסית לתקופה המקדימה כאשר, קבוצת האור הטבעי ירדה ב 10% ביעילות וקבוצת האור הלבן והאור האדום ירדו ב 15% ביעילות בתקופה שלאחר המניפולציה יחסית לתקופה המקדימה.

7. קצב לב

קצב הלב (ממוצע \pm ש.ת) לאורך היממה של שלושת קבוצות הניסוי, לפני מניפולציית התאורה ולאחריה מתואר באיור 2. ממוצע קצב הלב (פעימות/לדקה) לאורך היממה של הפרות בקבוצת האור הלבן בתקופה שאחרי מניפולציית התאורה היה גבוה באופן מובהק ($P < 0.001$) יחסית לקצב הלב הממוצע לפני המניפולציה (92.9 ± 1.23 , 84.5 ± 0.09 , בממוצע, בהתאמה). שינויי קצב הלב לאורך היממה בקבוצת האור הלבן בתקופה שלפני המניפולציה דומים להשתנות קצב הלב לאורך היממה אחרי המניפולציה. לעומת זאת, ממוצע קצב הלב לאורך היממה של הפרות בקבוצת האור האדום בתקופה שאחרי מניפולציית התאורה היה נמוך באופן מובהק ($P < 0.01$) יחסית לקצב הלב הממוצע לפני המניפולציה (85.1 ± 0.94 , 89.3 ± 0.73 , בממוצע, בהתאמה). כמו כן, חל שינוי בתנודתיות קצב הלב לאורך היממה בקבוצת האור האדום בתקופה שאחרי המניפולציה. עיקר השינוי הוא בשעות הצהריים, בתקופה שלפני המניפולציה (עוצמת האור האדום כפולה מהעוצמה אחרי המניפולציה) בין השעות 09:30 ל 13:30 ניתן להבחין בעליה משמעותית בקצב הלב ובתקופה שאחרי המניפולציה העלייה מתונה יותר. זמני השיא והשפל של קצב הלב לפני ואחרי מניפולציה בקבוצת האור האדום לא השתנו אך ערך נקודת השפל של קצב הלב בתקופה שאחרי המניפולציה נמוך מאשר ערך נקודת השפל לפני המניפולציה. קצב הלב הממוצע לאורך היממה של הפרות בקבוצת האור הטבעי לא השתנה בתקופה שאחרי מניפולציית התאורה ($P < 0.82$) יחסית לקצב הלב הממוצע לפני המניפולציה (84.0 ± 0.59 , 83.8 ± 0.64 , בממוצע, בהתאמה). שינויי קצב הלב לאורך היממה בקבוצת האור הטבעי בתקופה שלפני המניפולציה דומים להשתנות קצב הלב לאורך היממה אחרי המניפולציה.



איור 2: קצב הלב (HR, beat / min \pm SE) לאורך היממה לפני מניפולציית האור (A) ואחרי ההארה (B) בלילה של פרות מקבוצת האור הלבן (N = 63) והאור האדום (N = 65), וקבוצת החושך (N = 61).

דיון שנה ב':

מתוצאות השנה השנייה של הניסוי עולה שההשפעה של האור המלאכותי קצר הגל בלילה התבטאה בירידה בתנובת החלב, ב % השומן בחלב, ועליה מובהקת במשקל, בסת"ס, בפעילות ובקצב הלב. כמו כן, בהשוואה בין הקבוצות בשלב שלאחר המניפולציה נמצא שלקבוצת האור הלבן היה אחוז שומן הנמוך ביותר ורמת פעילות, אחוז סת"ס וקצב לב הגבוהים ביותר באופן מובהק יחסית לקבוצת האור הטבעי והאור האדום. כלומר, הארה בתאורת LED בעלת אורך גל קצר בלילה גרמה לירידה משמעותית בייצור החלב באיכותו ובאחוז השומן והעלתה את הוצאת האנרגיה של הפרות (קצב הלב גבוה באופן מובהק יחסית לאור טבעי ואדום). העלייה בקצב הלב של הפרות שנחשפו לאור לבן התרחשה גם בניסוי הראשון (בשנה א') ומשתלבת עם ממצאים נוספים מניסויים בעכברים, בעגלים ובבני אדם שהראו שקצב הלב עולה בחשיפה לאור לבן קצר גל כתוצאה מדיכויי הפרשת המלטונין בעקבות חשיפת העין לאורכי גל קצרים (בתנאי חשוכים הפרשת המלטונין גוברת במהלך הלילה וגורמת לירידה בקצב הלב, לחץ הדם וטמפרטורת הגוף של יונקים יומיים). המשמעות של עליה בקצב הלב היא עלייה בדרישות לקיום בשעות ביממה שבהן הפרות אמורות להיות במצב אנרגטי "חסכוני" המתבטא בין היתר בירידה בקצב הלב, לחץ דם, מטבוליזם וטמפרטורת גוף בשעות החשכה. לפיכך אנו משערים שחשיפה של הפרות לאור קצר גל גרמה לעליה בהוצאת אנרגיה שהתבטאה בקצב לב גבוה יותר ושינויי בניתוב האנרגיה לייצור ולקיום שהתבטא בירידה ביעילות הייצור בקרב פרות שנחשפו לאור קצר גל. כמו כן, העליה במספר התאים הסומטיים בחלב של פרות שנמצאו תחת תאורה קצרת גל נמצאה גם במחקרים נוספים שבה נבדקה השפעת תאורה קצרת גל על חיות מניבות (פרות ועזים) כולל ניסויים שביצענו בעבר בנושא זה (Asher et al., 2015). ההסבר לעליה בסת"ס בחלב בעקבות החשיפה לתאורה קצרת גל מוסברת על ידי הדיכוי של המלטונין שנגרם כתוצאה מהחשיפה לאור הקצר גל היות ומעבר לתפקיד החשוב של המלטונין במערכת החיסון כנוגד חמצון רב-עוצמה, בעשור האחרון מתרבות ההוכחות לכך שמלטונין משפיע באופן ישיר על יכולת התגובה של מערכת החיסון כנגד פתוגנים שונים, באמצעות גיוס

תאי דם לבנים ואף פגיעה ישירה בחיידקים מסוגים שונים (Tekbas et al., 2008) כולל חיידקים הקשורים לדלקות עטין. כלומר, מלטונין בריכוז גבוה בדם ובהתאם גם בחלב יכול להגן על העטין מפני פתוגנים שונים ואף לצמצם את הנזק הנגרם בגלל היותו נוגד חמצון עוצמתי (Reiter et al., 2007). כמו כן, בעיזים חולבות נערך ניסוי שבו הוחדרו שתלים תת עוריים של מלטונין בשחרור מושהה ונמצא שריכוז התאים הסומאטיים בחלב ירד באופן מובהק לאחר החדרת שתלי המלטונין (Jimenez et al., 2009). שילוב תוצאות הסת"ס במחקר הנוכחי עם ממצאי מחקרים נוספים, מצביע על כך שחלב לילה של פרות שאינן נחשפות לתאורה קצרת גל בלילה הינו איכותי יותר (סת"ס נמוך) יחסית לאיכות החלב לילה של פרות המצויות תחת תאורה קצרת גל (המצב ברוב הרפתות בישראל כיום). קצב הלב הגבוה של הפרות שנחשפו לתאורה קצרת הגל בלילה מוסבר על ידי כך שהאור קצר הגל גורם לאקסיטציה של המערכת הסימפטית ותופעה זו נמצאה בניסוי סוגי תאורה שונים על בע"ח שונים כגון: עכברים, חולדות ואף בני אדם (Cajochen et al., 2005). האור קצר הגל הפוגע בקרנית של היונקים היומיים גורם להעברת סיגנל על ידי התאים הפולריים המכילים את חלבון המלנופסין וגורמים לשעון המרכזי לקבל אינדיקציה שבעל החיים נמצא בשעות יום ובהתאם מופעלות מערכות שונות כגון מערכת העיכול, מערכת הראיה, קצב הלב ולחץ הדם וכו' והטענה למהות השינויים היא שבעל החיים היומי יוכל לנצל את שעות האור לאכילה, פעילות וכו' (Dahl et al., 2000). הפעלת מערכות שונות ובעיקר מערכות הקשורות לקיום בזמן שהן אמורים לפעול ברמות נמוכות, גורמת לעלייה בקצב הלב גם בשעות החושך בהן הוא אמור להיות ברמה נמוכה. כיוון נוסף הוא המלטונין עצמו שאחד מתפקידיו הוא להוריד את קצב הלב ולחץ הדם לרמות נמוכות בשעות הלילה ומחסור במלטונין יכול למתן את הירידה בקצב הלב בשעות הלילה ועלייה כללית בקצב הלב לאורך היממה (Cajochen et al., 2005). הירידה באחוז השומן כתוצאה מחשיפה לתאורה קצרת גל כמו גם עליה באחוז השומן כתוצאה ממעבר מתאורה מלאכותית קצרת גל לתאורה טבעית יכולה להיות קשורה לתפקיד של המלטונין בהגברת סינטזת ליפידים בתא אך מנגנון זה עדיין לא ברור (Yao et al., 2020). קשר נוסף של המלטונין לעליה/ירידה בשומן יכול להיות קשור להוכחות שנמצאו שעליה במלטונין מפחיתה עומס חום על ידי הורדת ההוצאה האנרגטית/ייצור החום הכללי וסיבה זו גם יכולה להיקשר לעליה בשומן במיוחד בתקופת הקיץ (Hyder et al., 2017).

בקבוצת האור האדום, השינוי העיקרי מהניסוי בשנה הקודמת הוא הורדה של עוצמת התאורה ב 50%. לאחר ההורדה בעוצמה בדקנו עם צוות הרפת האם העוצמה הנוכחית מספקת והתשובה הייתה חיובית גם בהיבט של זיהוי מקרים של תחלואה, הבאת הפרות למכון החליבה וגם מבחינת בטיחות העובדים. תנובת החלב הגבוה ביותר בתקופה שלאחר המניפולציה והירידה המתונה ביותר בתנובת החלב אחרי המניפולציה יחסית לשלב המקדים הייתה של הפרות מקבוצת האור האדום. כמו כן, לקבוצת האור האדום היה שומן גבוה וסת"ס נמוך באופן מובהק יחסית לאור הלבן ויעילות ניצולת המזון של קבוצה זו הייתה הגבוהה ביותר בשני המדדים ליעילות שנבחנו. קצב הלב של פרות מקבוצת האור האדום ירד כתוצאה מהמעבר מתאורה קצרת גל לתאורה

ארוכת גל כלומר ניתן לשער שהורדה בעוצמה גרמה לירידה בהוצאת האנרגיה של הפרות והעליה בתנובת החלב יכולה לנבוע מירידה בדרישות לקיום ועליה בנייתוב האנרגיה לייצור חלב. יש לציין שלדעת צוות הרפת ניתן אף להוריד יותר את עוצמת האור האדום ועדיין לעמוד בדרישות בטיחות העובדים ולזהות אירועים חריגים.

בקבוצת האור הטבעי נרשמה ירידה בתנובת החלב (מתונה יותר מהירידה בתנובת החלב של האור הלבן), ירידה בסת"ס, באנרגיה בחלב ובמדדי יעילות ניצולת המזון, ועליה במשקל הגוף, ב % השומן והחלבון בחלב ועליה בפעילות. קצב הלב לא נמצא שינוי בערך קצב הלב לאחר המניפולציה. תוצאות אלו שונות מהתוצאות שהתקבלו בשנה שעברה בקבוצת האור הטבעי. הסיבות לשינויים אינן ברורות אך יש לציין שבניסוי שבוצע השנה לעומת השנה שעברה, הייתה תחלופה רבה בפרות בגלל בעיית צפיפות ומכיוון שחלק ניכר מהפרות היה בשליש האחרון של התחלובה בחלק ניכר מתקופת הניסוי.

לסיכום, בשנה זו נמצא שהמשטר היעיל ביותר מבחינת ביצועים ויעילות ייצור הייתה הקבוצה במשטר אור אדום. ההשפעה השלילית ביותר של משטר התאורה היה של קבוצת האור הלבן כאשר המדד שנפגע באופן המשמעותי ביותר היה תנובת החלב. בדומה לשנה הקודמת, גם בשנה זו מתוך תוצאות הניסוי אנו משערים כי חשיפה לאור קצר גל ולאור בעל עוצמה גבוה גורם לעליה בהוצאת האנרגיה ובדרישות לקיום בשעות ביממה שבהן הפרות אמורות להיות במצב אנרגטי "חסכוני". כמו כן, תאורה באור אדום בעוצמה נמוכה (רצוי מקסימום 50 לוקס בגובה 0.5 מטר מעל הקרקע) יכולה לשמש כתאורת התמצאות לעובדים ובעלת פוטנציאל לשפר את הביצועים ויעילות הייצור יחסית לאור לבן קצר גל הנפוץ כיום ברוב הרפתות בשעות החושך.

ניסוי שנה ג':

השפעת שלושה משטרי תאורה עוקבים על ביצועים (תנובת חלב ורכיביו, צריכת מזון ומשקל) בחלב יום ולילה ברפת פרטנית

מהלך הניסוי:

הניסוי נערך ברפת הפרטנית במכון וולקני במשך שלושה חודשים, מספטמבר ועד דצמבר 2019. בניסוי השתתפו 42 פרות מניבות מגזע הולשטיין ישראלי מתחלובה 2 עד 6, תנובת חלב ממוצעת 48.4 ± 1.14 ק"ג/יום, משקל ממוצע 652 ± 6.9 , ימים בתחלובה 161 ± 12.7 .

הפרות שוכנו בסככה פרטנית לכל תקופת הניסוי. גובה הסככה 7 מטר במרכז (14 מ"ר מקורה לפרה). כוון מבנה הרפת מזרח – מערב. בצמוד לרפת חצר פתוחה (8 מ"ר לפרה) שפתוחה לפרות בחודשי הקיץ. הרפת מצוידת ב- 42 אבוסים פרטניים שמונחים על משקל אלקטרוני. כמות המזון הנאכלת בכל אבוס, התנהגות האכילה, מספר ארוחות ביום, משך הארוחה וזמני הארוחה נרשמים באופן אוטומטי (Halachmi et al., 1998). לכל פרה שויכה עמדה עם אבוס אחד בלבד. לאבוס הייתה גישה חופשית כל היממה מלבד שעת חלוקת המזון (בין השעות 10:30 ל 11:30). הפרות קיבלו בליל חולבות שלא השתנה לאורך הניסוי (טבלה

6). בשגרה הפרות נחלבו 3 פעמים ביום (שעות חליבה: 05:00, 13:00, 20:00). לקראת הניסוי הפרות הנבחרות הוכנסו לרפת פרטנית ועברו תקופת הרגלה לאבוסים האלקטרוניים (כל פרה למדה להכיר את העמדה הספציפית שלה) במשך 21 ימים. לאחר תקופת ההרגלה החל השלב הראשון שבניסוי שבו הקבוצה נחשפה לתאורה טבעית (ללא תאורה מלאכותית, אורך גל דומיננטי 670 nm בעוצמה של 1.8 lux) למשך שלושה שבועות ובסופם בוצעו דיגומי חלב ודם בשתי נקודות זמן (3:30 ו-13:00). קצב לב נמדד לאורך 72 שעות רצופות. פרמטרים נוספים כמו תנובת חלב יומית (ק"ג/יום), משקל (ק"ג/יום), פעילות (דקות ליום) וצריכת מזון תועדו על בסיס יומי במשך כל תקופת הניסוי. לאחר סיום שלב התאורה הטבעית החל שלב ב' שבו הווארה הסככה בתאורה מסוג LED לבנה (אורך גל דומיננטי 462 nm בעוצמה של 125.4 lux) במשך שלושה שבועות ובסופם בוצעו אותם דיגומים ומדידות המצוינים בשלב א'. בסיום שלב ב' החל שלב ג' שבו הווארה הסככה בתאורה מסוג LED אדום (אורך גל דומיננטי 663 nm בעוצמה של 124.6 lux) במשך שלושה שבועות ובסופם בוצעו אותם דיגומים ומדידות המצוינים בשלבים א' ו ב'. יש לציין כי כל הפרות עברו את כל שלושת השלבים ולא הוחלפו פרות במהלך הניסוי. אורכי הגל ועוצמת התאורה נמדדו באמצעות ספקטרומטר אופטי מכויל (AvaSpec-2048-FTSDU, Avantes, Eerbeek, Netherlands). לכל הפרות הורכבו קולרים עם מדי העלאת גירה המודדים את משך העלאת הגירה (דקות ליממה) באופן רציף (חברת SCR). ניתוח התוצאות להשוואה בין הטיפולים בוצע תוך שימוש בתיקון קו-וואריאנס לימים בתחלובה, לתנובת החלב, למשקל ולאורך היום ושינוי באורך יום (כמות שעות אור ביממה והשינוי בכמות שעות האור יחסית לתחילת הניסוי).

Table 6. Lactating cow diet ingredients and chemical composition of formulated TMR

Ingredients	Amount, % of
	DM
Corn ground	25.1
Wheat silage	22.8
Wheat hay	12.9
Gluten feed	10.2
Dried distillers grain	7.1
Soybean meal	4.8
Rapeseed meal	4.2
Lactose water	2.6
Wheat grain, rolled	2.4
Protected fat	1.9

Cottonseed	1.5
Barley grain, rolled	1.1
Clover hay	0.9
Calcium salts	0.9
Bicarbonate	0.7
Limestone	0.5
Urea	0.3
Vitamins and minerals ¹	
Chemical composition	
DM (%)	64.6
Ether extracts (%)	4.4
Crude Protein (%)	16.5
Crude NDF (%) ²	28.7
NDF-forage (%) ³	17.5
NE _L (Mcal / kgDM) ⁴	1.78

¹Contained (per kg of DM) 20,000,000 IU of vitamin A; 2,000,000 IU of vitamin D; 15,000 IU of vitamin E; 6,000 mg of Mn; 6,000 mg of Zn; 2,000 mg of Fe; 1,500 mg of Cu; 120 mg of I, 50 mg of Se; and 20 mg of Co.

²NDF from forage and non-forage sources.

³NDF from forage sources.

⁴NE_L = Diet Net Energy for lactation, Calculated for 4 maintenance levels, using NRC (2001) recommendations.

תוצאות:

1. ביצועים, יעילות ניצולת מזון פרטנית והתנהגות הפרות בשלושת שלבי הניסוי:

נתוני הביצועים (תנובת חלב, צריכת מזון, משקל), יעילות ניצולת מזון פרטנית והתנהגות (העלאת גירה ופעילות) מתוארים בטבלה 7. תנובת החלב היומית (ממוצע ק"ג/יום/לפרה) של הפרות בשלב הראשון (תאורה טבעית) הייתה גבוהה באופן מובהק ($P < 0.001$) יחסית לתנובת החלב בשלבים 2, 3. תנובת החלב ירדה ב 7.6% כאשר הפרות שהו באור הלבן יחסית לתנובה בתקופת האור הטבעי ובשלב האור האדום תנובת החלב עלתה ב 2% יחסית לתקופה של החשיפה לתאורה הלבנה שקדמה למשטר האור האדום, אך לא נמצא הבדל מובהק בין תנובת החלב בשלב 2 לעומת שלב 3.

צריכת המזון הפרטנית (ק"ג ח"י/יום/לפרה) של הפרות בשלב הראשון בו הפרות נחשפו לתאורה טבעית הייתה גבוהה באופן מובהק ($P < 0.001$) יחסית לצריכת המזון בשלב התאורה מסוג LED לבן ויחסית

לצריכה בשלב התאורה מסוג LED אדום. בדומה לתנובת החלב, צריכת המזון ירדה ב 5.6% כאשר הפרות שהו באור הלבן יחסית לצריכה בתקופת התאורה הטבעית ובשלב האור האדום צריכת המזון עלתה ב 3.4% יחסית לתקופה של החשיפה לתאורה הלבנה שקדמה למשטר האור האדום אך לא נמצא הבדל מובהק בין צריכת המזון בשלב 2 לעומת 3. משקל הגוף (ק"ג) של הפרות עלה במהלך הניסוי וההבדלים במשקל הגוף היו מובהקים בין השלבים ($P < 0.001$). לא נמצא הבדל מובהק בהעלאת הגירה ובפעילות לאורך היממה.

Table 7. Cows performance and feed efficiency during three illumination regimes; Natural light NL, 670 nm, 1.8 lux), White LED light (WLL, 462 nm, 125.4 lux), Red LED light (RLL, 663 nm, 124.6 lux)

Calves measured trait	NL	WLL	RLL	SEM ¹	P-value ²
No of cows	41	41	41		
Days in lactation	177	203	226		
Performance					
Milk yield (kg/d)	47.7 ^a	44.1 ^b	44.9 ^b	1.34	< 0.001
DMI, kg/d	30.6 ^a	28.9 ^b	29.9 ^c	0.55	< 0.001
BW (kg)	664 ^a	674 ^b	690 ^c	6.38	< 0.001
EMP (kg milk/kg DMI) ³	1.56 ^a	1.52 ^{ab}	1.50 ^b	0.06	< 0.05
Rumination, min/d	525.3	538.7	531.1	12.78	0.12
Activity, steps/d	464	461	460	11.1	0.69

¹ SEM = standard error of mean

² P = P-value obtained by repeated ANOVA F-test for differences between periods.

³ EMP = Efficiency of milk production (kg milk/kg DMI)

^{a-c} Least square means within a row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

2. הרכב חלב יום וחלב לילה של פרות מקבוצת הניסוי בשלושה משטרי תאורה עוקבים.

הרכב החלב (סת"ס, שומן, חלבון, לקטוז) בחלב לילה שנדגם בשעה 03:30, חלב יום שנדגם בשעה 13:30, בשלושת משטרי התאורה העוקבים (תאורה טבעית, אור LED לבן ואור LED אדום) מתוארים בטבלה 8. ערך הסת"ס הנמוך ביותר "בחלב לילה" היה בשלב 1 כאשר בשלבים 2 ו 3 ערכי הסת"ס אינם נבדלים אך גבוהים (נטיה) יחסית לשלב 1. ערך הסת"ס "בחלב לילה" עלה בין השלבים כלומר עליה בסת"ס בשלב 2 ובשלב 3. בחלב לילה לא נמצא הבדל מובהק באחוז השומן בחלב בין שלושת השלבים. בחלב יום אחוז השומן בשלב 2 עלה יחסית לשלב 1 ואחוז השומן בשלב 3 עלה יחסית לשלב 2. בחלב לילה לא נמצא הבדל מובהק באחוז החלבון בחלב בין שלושת השלבים. בחלב יום אחוז החלבון לא היה שונה בין שלבים 1 ו 2 ובשלב 3 נמצא אחוז חלבון גבוה יחסית לשלבים 1 ו 2. בחלב לילה נמצא כי אחוז הלקטוז הגבוה ביותר היה בשלב 1 ולא נמצא הבדל מובהק בין אחוז הלקטוז בין שלבים 2 ו 3. לעומת זאת בחלב יום אחוז הלקטוז זהה בין שלבים 1 ו 2 ובשלב 3 אחוז החלבון נמוך יחסית לשלבים 1 ו 2.

Table 8. Milk components of cows (n=42) exposed to: natural night, White LED light and Red LED light. Columns marked with different letters differ; Repeated Measures ANOVA, $P < 0.05$;

Time	Milk compound	NL	White LED	Red LED	SEM ¹	P-value ²
Night Milk (3:00)	SCC (cells*1000/ml)	83	120	128	21.1	0.09
	Fat %	3.68	3.56	3.75	0.13	0.36
	Protein %	3.41	3.36	3.39	0.05	0.36
	Lactose %	5.01 ^a	4.86 ^b	4.81 ^b	0.04	<0.001
Day Milk (13:00)	SCC (cells*1000/ml)	61 ^a	95 ^b	126 ^c	16.2	<0.001
	Fat %	3.41 ^a	3.77 ^b	4.36 ^c	0.12	<0.001
	Protein %	3.31 ^a	3.35 ^a	3.45 ^b	0.04	<0.001
	Lactose %	4.94 ^a	4.94 ^a	4.87 ^b	0.03	<0.01

3. קצב לב לאורך היממה של פרות מקבוצת הניסוי בשלושה משטרי תאורה עוקבים

קצב הלב (ממוצע שעתי \pm ש.ת.) לאורך היממה של הפרות בשלושת שלבי הניסוי מתואר באיור 6. ממוצע קצב הלב (פעילות/לדקה) לאורך היממה של הפרות בשלב האור הטבעי והאור האדום היה גבוה באופן מובהק ($P < 0.05$) יחסית לקבוצת האור הלבן (84.6 \pm 1.02, 81.3 \pm 2.92, 78.4 \pm 2.21, בהתאמה).

תנודתיות קצב הלב לאורך היממה של הפרות בשלב התאורה הטבעית ושלב האור האדום הקבוצות הייתה דומה כאשר נקודת השפל של קצב הלב במהלך היממה (קצב הלב הנמוך ביותר במהלך היממה) בשלב האור הטבעי ובשלב האור האדום הייתה סביב השעה 04:00 לעומת קבוצת האור הלבן שנקודת השפל התרחשה סביב השעה 03:00 אך נקודה זו אינה ברורה היות ואין הבדל מובהק בין קצבי הלב (ממוצע שעתי) לאורך היממה בשלב 2. קצב הלב בנקודת השפל של פרות בשלב האור הטבעי, האור האדום והאור הלבן לא נבדל באופן מובהק (79.7 \pm 4.31, 77.7 \pm 2.92, 76.1 \pm 2.30, בהתאמה) ($P=0.21$). קצב הלב בנקודת השיא של פרות בשלב האור הטבעי והאור האדום התרחש סביב השעה 18:00 והיה גבוה באופן מובהק ($P < 0.05$) יחסית לקצב הלב בשעה זו בשלב האור הלבן (92.8 \pm 4.31, 89.6 \pm 2.92, 80.1 \pm 2.30, בהתאמה). לא נמצא הבדל מובהק בין ערכי נקודות השיא של קצבי הלב בשלב התאורה הטבעית לעומת האור האדום ($P=0.37$).

ערך קצב הלב הגבוה ביותר בשלב האור הלבן התרחש סביב השעה 12:00 (81.9 \pm 1.58), אך יש לציין שבשלב האור הלבן לא נמצא הבדל מובהק בין קצבי הלב בשעות השונות לאורך היממה.

Figure 3. Twenty-four hours of continuing heart rate (HR, beat/min) of the same cows (n = 12) during 3 illumination regimes: natural night (NL, 670 nm, 1.8 lux); White LED light (WLL, 462 nm, 125.4 lux); Red LED light (RLL, 663 nm, 124.6 lux). Values are given as means \pm S.E.

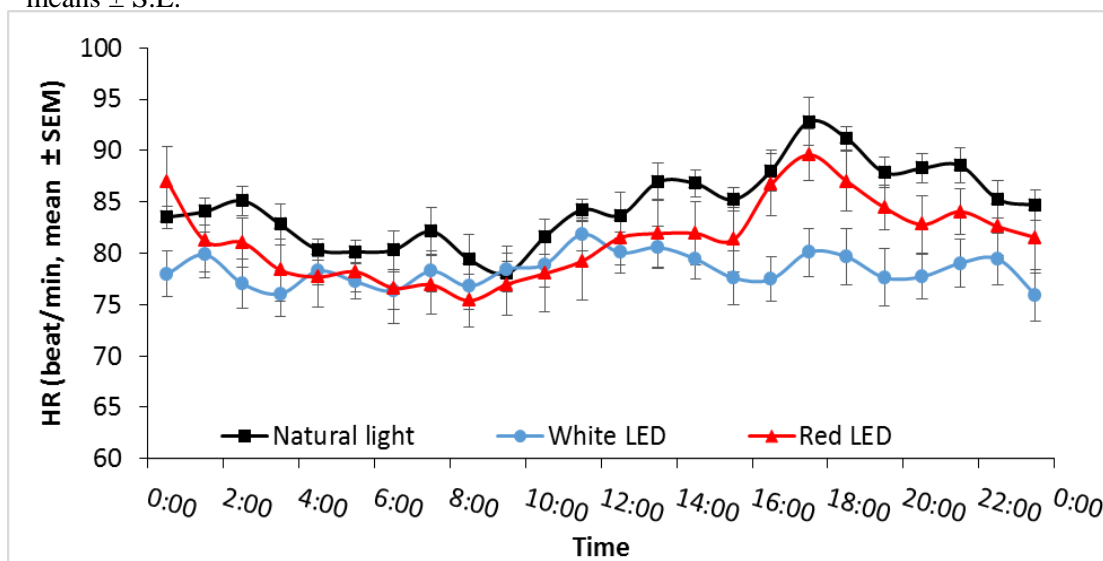


Figure 3. Twenty-four hours of continuing heart rate (HR, beat/min) of the same cows (n = 12) during 3 illumination regimes: natural night (NL, 670 nm, 1.8 lux); White LED light (WLL, 462 nm, 125.4 lux); Red LED light (RLL, 663 nm, 124.6 lux). Values are given as means \pm S.E.

דיון ניסוי שנה ג':

המטרות המרכזיות של ניסוי זה היו לבחון את השפעת שלושה משטרי תאורה עוקבים (אור טבעי, תאורת LED לבן קצרת גל ותאורת LED אדום ארוכת גל) על ביצועים פרטניים (צריכת מזון, תנובת חלב, מרכיבי החלב ומשקל גוף) ויעילות ניצולת מזון פרטנית בכדי שנוכל לאתר את משטר התאורה המועדף שאינו פוגע ביצרנות וביעילות הייצור המשפיעים על ריווחיות המגדל. כמו כן בחנו את השפעת משטרי התאורה העוקבים על קצב הלב לאורך היממה המשמש כמדד אנדוגני למחזוריות השעון הביולוגי ואינדיקטור לעקה ביונקים ולפגיעה ברווחת החיה.

מתוך תוצאות הביצועים הפרטניים בשלושת שלבי הניסוי עולה כי תנובת החלב, צריכת המזון ויעילות ניצולת המזון ירדו באופן מובהק בשלב 2 בו הפרות נחשפו לאור קצר גל מסוג LED לבן ולעומת זאת בשלב 3 בו הפרות נחשפו לאור ארוך גל מסוג LED אדום התרחשה עליה מובהקת בצריכת המזון ועליה של 0.8 ליטר/ליום (לא מובהק) כלומר ניתן לקבוע כי הירידה בתנובת החלב נעצרה ואף החלה מגמת עלייה בתנובת החלב. בהתאם לנתוני תנובת החלב וצריכת המזון, יעילות ניצולת המזון הפרטנית ירדה באופן מובהק בשלב 2 יחסית לשלב 1 ולא השתנתה בשלב 3. ירידה בצריכת מזון ובמקביל ירידה בתנובת חלב עשויה לאפיין מצב של עקה היות ובאופן טבעי עם התקדמות התחלובה לאחר ההגעה לשיא הייצור (המתרחש בד"כ בשבועות 7-

8 (לאחר המלטה) קיימת ירידה טבעית בתנובת החלב אך צריכת המזון נשארת במגמת עליה ומתייצבת בשבועות 16-18 לאחר ההמלטה כלומר בתקופה שלאחר שיא הייצור מתחיל תהליך אצירת אנרגיה בגוף וחיזוש מאגרי השומן בגוף הפרה. מצב של ירידה בשני הפרמטרים אופיינית למשל למצב של עקת חום, תחלואה, הרעה בתנאי הרווחה, טילוף ועוד כאשר הבסיס המשותף לכל הארועים הוא מצב של עקה שחווה הפרה (Bareille et al. 2003; González et al. 2008; Blackshaw and Blackshaw 1994). מתוך תוצאות ניסוי שפורסם לאחרונה על ידי Son וחבריו 2020, בו נחשפו פרות לתאורת LED באורכי גל שונים נמצא שבפרות שנחשפו לתאורת LED מונוכרומטית באורך גל קצר (470 ננומטר) במשך שעות הלילה, נמצאה ירידה בתנובת החלב ועליה בהורמון הקורטיזול המשמש כסמן לסטרס בבע"ח ולעומת זאת בקבוצה שנחשפה לאור טבעי ולתאורת LED צהובה (580 ננומטר) לא חלה ירידה בתנובת החלב וריכוז הקורטיזול בפלסמה היה נמוך באופן מובהק יחסית לקבוצה שהאורה באור קצר הגל. ולפיכך החוקרים הסיקו במחקר כי השילוב של הירידה בחלב ועליה בקורטיזול מעידים על מצב של עקה שנגרמה כתוצאה מהתאורה קצרת הגל. תוצאות חדשות אלו משתלבות עם התוצאות בניסוי הנוכחי ומחזקות את ההשערה כי תאורה קצרת הגל בשלב 2 גרמה לארוע עקה מתמשך אצל הפרות. כמו כן, התוצאה בניסוי הנוכחי שבשלב 3 בו הפרות נחשפו לתאורה ארוכת גל לאחר חשיפה לתאורה קצרת גל, עצרה את הירידה בחלב והעלתה את צריכת המזון יכולה לאפיין מצב של התאוששות ויציאה/הפחתה מהעקה שנגרמה לפרות בשלב 2. תוצאה זו גם תואמת את התוצאה של Som וחבריו 2020, שהראתה שתאורה ארוכת גל בגוון צהוב (אורכי גל קצרים יותר מהתאורה האדומה בה השתמשו בניסוי) לא פגעה בתנובת החלב ובריכוז הקורטיזול בפלסמה. מחקרים נוספים בבע"ח ובבני אדם מצאו כי תאורה בספקטרום האדום הינה תאורה ארוכת גל אשר נמצאה כי אינה פוגעת בייצור המלטונין (Wright and Lack 2001) ולכן פוטנציאלית להחליף את התאורה קצרת הגל הנפוצה ברוב הרפתות כיום (במידה ואין לרפת אפשרות לעבור למשטר תאורה טבעית בלילה).

המדד בהרכב החלב שהשתנה באופן משמעותי בין השלבים גם בחלב לילה וגם בחלב יום הוא הסת"ס. מתוך התוצאות עולה כי בשלב 2 בחלב יום ולילה חלה עליה בסת"ס והעליה ממשיכה גם בשלב 3. לעליה בסת"ס יכולות להיות סיבות שונות כגון: החלשת מערכת החיסון הנגרמת מתחלואה או מעקה, חשיפה לפתוגנים כתוצאה ממשטחים מזוהמים (חוסר קילטור החצר), לחץ לא מתאים באשכול החליבה ועוד (Harmon, 1994). בנוסף לסיבות המצוינות לעיל הגורמות לעליה בסת"ס, תוצאות מחקר שבחן את השפעת תאורה מלאכותית קצרת גל לעומת טבעית מראות עליה בסת"ס בקבוצה החשופה לאור מלאכותי קצר גל מסוג LED (Asher et al., 2015). כמו כן, במחקר בו הוחדרו שתלי מלטונין לעיזים חולבות נמצא שריכוז התאים הסומאטיים בחלב ירד באופן מובהק לאחר החדרת שתלי המלטונין (Jimenez et al., 2009). ידוע שלמלטונין תפקיד משמעותי ביותר במערכת החיסון כנוגד חמצון רב-עוצמה, בעשור האחרון מתרבות ההוכחות לכך שמלטונין משפיע באופן ישיר על יכולת התגובה של מערכת החיסון כנגד פתוגנים שונים, באמצעות גיוס תאי דם לבנים ואף פגיעה ישירה בחיידקים מסוגים שונים כולל חיידקים הגורמים לדלקות

עטין (Tekbas et al., 2008). ידוע כי חשיפה לתאורה קצרת גל בשעות הלילה גורמת לדיכוי של ייצור המלטונין (Brainard et al., 2001; Thapan et al., 2001), לכן ישנו בסיס לשער כי החשיפה של הפרות לאור קצר גל בשלב 2 החלישה את מערכת החיסון וחשף את הפרות לזיהומים שונים כולל דלקות עטין והביטוי לכך הוא עליה ברמת הסת"ס. המשך מגמת העליה בסת"ס גם בשלב האור האדום אינה ברורה, אך ישנן מספר השערות העשויות להסביר את התופעה וביניהן העוצמה הגבוהה בו השתמשנו באור האדום או שלמעשה השלכות של הפגיעה במערכת החיסון כתוצאה מהחשיפה לגל הקצר בשלב 2 השפיעו גם על תוצאות הס"ס בשלב 3.

אחוז השומן והחלבון בחלב לילה לא השתנו באופן מובהק בשלבים השונים. בחלב יום אחוז השומן ואחוז החלבון היו גבוהים יותר בשלבים 2 ו-3 אך העלייה בחלבון היא מינורית ועלייה בשומן התרחשה בעיקר בשלב 3. מניסוי שבו נבחן הקשר בין ריכוז המלטונין בחלב לשינויים באחוז השומן והחלבון במהלך השנה נמצא כי התקצרות שעות היממה גורמת לעליה בשומן והחלבון בחלב (Dahl et al., 2000). היות ואחוז החלבון עלה באופן מינורי ואחוז השומן עלה באופן משמעותי רק בשלב 3, אנו מניחים כי ההשתנות של החלבון והשומן עשויה להיות קשורה להתקצרות היום (הניסוי התחיל בספטמבר והסתיים בנובמבר כלומר ירידה בכמות שעות האור ביממה). אחוז הלקטוז גם כן ירד אך באופן מינורי ולא השתנה בין שלב 2 לשלב 3 בחלב לילה ובחלב יום הירידה בלקטוז הייתה בשלב 3 וגם היא הייתה מינורית. גם במקרה של הלקטוז היות והשינויים היו מינוריים אנו לא משערים שהם קשורים למניפולציות התאורה אלא להתקצרות שעות האור ביממה היות ובמחקרים שעסקו בהשפעת אורך היום על % הלקטוז נמצא ש % הלקטוז ירד עם התקצרות שעות האור ביממה (Aharoni et al., 2000; Dahl et al., 2000).

קצב הלב משמש כמדד אנדוגני למחזוריות השעון הצירקדאני בגוף בע"ח ושינויים במחזוריות של קצב הלב לאורך היממה מעידים על שינוי במחזוריות זו (Cajochen et al., 2005). תנודתיות קצב הלב לאורך היממה של הפרות בשלב התאורה הטבעית ובשלב האור האדום דומים מאוד (נקודת שפל בשעות הבוקר המוקדמות ונקודת שיא ברורה בשעות בין הערביים כלומר לקראת חשיכה). מופע זה של תנודתיות קצב הלב אופייני לבע"ח יומיים (כולל האדם) ומעיד על כך שבשני משטרי התאורה הללו לא היה שיבוש במחזוריות השעון הביולוגי והפרות הגיבו לשינויי הטבעי של מחזורי האור והחושך בסביבתם החיצונית. לעומת שלב האור הטבעי והאור האדום, בשלב התאורה קצרת הגל נראה באופן ברור שהתנודתיות פחתה וברוב היממה אין הבדל מובהק בין קצב הלב בשעות השונות ובמיוחד בשעות הערב והלילה. שיבוש במחזוריות קצב הלב לאורך היממה משמעה שיבוש במחזוריות השעון הצירקדאני כתוצאה מגורם חיצוני שבמקרה שלנו היה האור המלאכותי קצר הגל. "זיהום אור" מוגדר כתאורה מלאכותית הגורמת לשיבוש מחזוריים ביולוגיים בבע"ח ושיבוש זה משמעו גרימת סטרס לבע"ח כלומר פגיעה ברווחת החיה (Labin et al., 2011). משמעות הדבר, שכאשר הפרות היו חשופות לאור קצר הגל, מעבר לפגיעה בביצועים, ביצילות הייצור ובאיכות התוצר (עליה בסת"ס בחלב) שנצפתה בניסוי זה, נפגעה גם ריווחתן. גורם נוסף המבדיל בין קצב הלב של הפרות בשלב

האור הטבעי ובשלב האור האדום הוא גובה/רמת קצב הלב, כלומר, באור הטבעי ובאור האדום קצב הלב לאורך רוב שעות היממה היה גבוה באופן מובהק מקצב הלב של הפרות בשלב האור הלבן קצר הגל. תופעה זו של ירידה משמעותית בקצב הלב לאורך היממה מאפיין מצב של תשישות או יעפת בבני אדם (Burton et al., 2010), כלומר ניתן לשער כי בשלב התאורה קצרת הגל הפרות היו שרויות במצב של תשישות שהתבטאה בקצב לב נמוך ולא מחזורי ותופעה זו משתלבת עם הירידה בצריכת המזון, תנובת החלב ויעילות הייצור של פרות אלו. נקודה נוספת שיש להתייחס אליה היא השינוי בקצב הלב ובמחזוריות בשלב האור האדום (לאחר תקופת ההארה באור הלבן) שבו נצפתה עליה בקצב הלב לרמה הקרובה לגובה (כמות הפעימות בדקה) לקצב הלב של הפרות בשלב האור הטבעי והתנודתיות של קצב הלב גם כן חזרה לתנודתיות קצב הלב באור הטבעי. לפיכך ניתן לשער שהתאורה ארוכת הגל הפחיתה את הסטרס וביטוי לכך נמצא גם בעלייה בצריכת המזון ובתנובת החלב ולכן שימוש בתאורה ארוכת גל יכולה לשמש כאופציה חלופית לתאורה קצרת הגל במידה ולא ניתן להחשיך את הפרות במהלך הלילה.

דיון מסכם לשלושת שנות הניסוי

מתוצאות ניסויים 1, 2 ו-3, עולה שתנובת החלב, יעילות ניצולת המזון ואיכות החלב של פרות שנחשפו למשטר תאורה טבעית וארוכת גל, היתה גבוהה יחסית למשטרי תאורה קצרת גל. לעומת זאת נמצא שחשיפה לאור לבן קצר גל בלילה גורמת לירידה באיכות החלב (סת"ס גבוה) וביעילות ניצולת המזון ואף גרמה לשיבוש במחזוריות קצב הלב (לעומת מחזוריות קצב הלב בתנאי תאורה טבעית) המעידה על פגיעה ברווחת החיה. המשמעות של עליה בקצב הלב היא עלייה בהוצאת האנרגיה ולמעשה עליה בדרישות לקיום בשעות ביממה שבהן הפרות אמורות להיות במצב אנרגטי "חסכוני" המתבטא בין היתר בירידה בקצב הלב, לחץ דם, מטבוליזם וטמפרטורת גוף בשעות החשכה. לפיכך אנו משערים שחשיפה של הפרות לאור קצר גל גרמה להוצאת אנרגיה שהתבטאה בקצב לב גבוה יותר ושינויי בניתוב האנרגיה לייצור ולקיום שהתבטא בירידה ביעילות הייצור בקרב פרות שנחשפו לאור קצר גל. בשנה ג', תוצאות קצב הלב של הפרות שנחשפו לתאורה קצרת גל לתקופה קצרה יחסית (שלושה שבועות) הראו ירידה בקצב הלב ויציאה ממחזוריות לעומת תוצאות קצב הלב בשנה א' ו ב' של פרות שנחשפו לתקופה ארוכה יחסית (מספר חודשים) לאור קצר גל שהראו עליה בקצב הלב וגם במקרה זה יציאה ממחזוריות לאורך היממה. תופעה זו של ירידה בקצב הלב ומחזוריותו המלווה בירידה ביצרנות וביעילות הייצור בשנה ג' עשויה להעיד על כך שהפרות היו במצב של סטרס מתמשך שמתבטא לאחר מספר שבועות לתשישות המתבטאת בירידה בקצב הלב המלווה בירידה בצריכת מזון וביצרנות אך מתוך שילוב תוצאות אלו עם מחקרים הקדמיים ותוצאות שנה א' ו ב', מסתמן כי לאחר התגובה הראשונית לתאורה קצרת הגל מאופיינת בתשישות ובירידה בקצב הלב ובפעילות מטבולית ולאחר אדפטציה של בע"ח למשטר התאורה מצב זה עלול להיתפך ולהתאפיין בעליה בצריכת המזון אך ניתוב של האנרגיה הנוספת הזמינה לתהליכים מטבוליים למסלול הקיום במקום למסלול הייצור וכתוצאה מכך ירידה ביעילות הייצור.

היות וישנן רפתות אשר משיקולי ביטחון ובטיחות, אינן מסוגלות להחשיך לחלוטין את הרפת בשעות הלילה, בחנו בכל אחת משנות המחקר שימוש בתאורה חסכונית ארוכת גל מסוג לד אדום בהתאם להיפותזה שתאורה ארוכת גל אינה משבשת את מחזוריות השעון המרכזי. עוצמת ההארה של תאורת ה-LED האדומה הייתה זהה לתאורת ה-LED הלבן בשנה א' ו ג' וזאת בכדי שנוכל לבודד מרכיב אחד בתאורה שיהיה שונה (אורך הגל) בין שתי תאורות ה-LED ושאר מרכיבי התאורה (עוצמת התאורה ומשך ההארה) היו זהים. השתנות קצב הלב לאורך היממה של הפרות שנחשפו לאור אדום היה מחזורי ודמה לקצב הלב של פרות שנחשפו לתאורה טבעית. לממצא זה חשיבות מדעית רבה ביותר היות ובניגוד למחקרים רבים שנעשו בשנים האחרונות בבני אדם ובחנו את השפעות אורך הגל על מדדים פיזיולוגיים שונים, במעלי גירה מחקרי התאורה התמקדו בהשפעת עוצמת התאורה ולא בספקטרום התאורה. בניסוי בשנה ג' הפרות נחשפו לתאורה לבנה למשך שלושה שבועות שבסופם אותן הפרות נחשפו לתאורה אדומה למשך אותו פרק זמן והתוצאות מעידות על עלייה בריכוז המלטונין בחלב לילה, ואף עלייה בתנובת החלב, בצריכת המזון וחזרה למחזוריות בקצב הלב הדומה למחזוריות שנצפתה בשלב האור הטבעי, כלומר המעבר מתאורה קצרת גל לתאורה ארוכת גל שיפרה את היצרנות של הפרות ואף היטיבה את רווחתן היות וקצב הלב חזר להיות מחזורי לאחר שיבוש המחזוריות בעקבות החשיפה לתאורה קצרת הגל הלבנה. אי לכך, ניתן להסיק כי שימוש בתאורה ארוכת גל מסוג LED בעוצמה נמוכה (50 לוקס) בשעות הלילה יכולה להפחית ואף למנוע פגיעה ביצרנות ובאיכות התוצר ואף לשפר את רווחת החיה יחסית לשימוש בתאורת LED קצרת גל. יחד עם זאת, משלושת שנות המחקר עולה שמשטר תאורה טבעית בשעות הלילה (כלומר ללא שימוש בתאורה מלאכותית בשעות אלו) הוא המשטר המועדף גם מבחינת יצרנות החלב ויעילות ניצולת המזון וגם מבחינת איכות התוצר ורווחת החיה.

ספרות מצוטטת

- Aharoni, Y., Brosh, A., & Ezra, E. (2000). Prepartum photoperiod effect on milk yield and composition in dairy cows. *Journal of dairy science*, 83(12), 2779-2781.
- Asher, A., Shabtay A, Brosh A, Eitam H, Agmon R, Zubidat AE, Cohen-Zinder M and Haim A. (2015). "Chrono-functional milk": The difference between melatonin concentrations in night-milk versus day-milk under different night illumination conditions. *Chronobiol. Int.* 32(10), pp.1409-1416.
- Bareille, N., F. Beaudeau, S. Billon, A. Robert, and P. Faverdin. 2003. "Effects of Health Disorders on Feed Intake and Milk Production in Dairy Cows." *Livestock Production Science* 83 (1): 53–62. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(03\)00040](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00040).
- Blackshaw, Judith K., and A. W. Blackshaw. 1994. "Heat Stress in Cattle and the Effect of Shade on Production and Behaviour: A Review." *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34 (2): 285–95. <https://doi.org/10.1071/EA9940285>.

- Burton, A. R., Rahman, K., Kadota, Y., Lloyd, A., & Vollmer-Conna, U. (2010). Reduced heart rate variability predicts poor sleep quality in a case-control study of chronic fatigue syndrome. *Experimental brain research*, 204(1), 71-78.
- Cajochen C, Münch M, Kriebitzsch S, Kräuchi K, Steiner R, Oelhafen P, Orgul S, Wirz-Justice A. (2005). High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *J. Clin. Endocrinol/ Metab.* 90:1311-1316.
- Capuco, A. V., R. M. Akers, and J. J. Smith. 1997. Mammary growth in Holstein cows during the dry period: quantification of nucleic acids and histology. *J. Dairy Sci.* 80:477-487.
- Dahl, G.E., B.A. Buchanan, and H.A. Tucker. 2000. Photoperiodic effects on dairy cattle: A review. *J.Dairy Sci.* 83:885-89.
- Du Preez ER, Donkin EF, Boyazoglu PA, Rautenbach GH, Barry DM, Schoeman E. 2001. Out of season breeding of milk goats. The effect of light treatment, melatonin and breed. *J S Afr Vet Assoc.* 72(4):228-31.
- González, L. A., B. J. Tolkamp, M. P. Coffey, A. Ferret, and I. Kyriazakis. 2008. "Changes in Feeding Behavior as Possible Indicators for the Automatic Monitoring of Health Disorders in Dairy Cows." *Journal of Dairy Science* 91 (3): 1017–28. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0530>.
- Halachmi, I., Edan, Y., Maltz, E., Peiper, U. M., Moallem, U., & Brukental, I. (1998). A real-time control system for individual dairy cow food intake. *Computers and Electronics in Agriculture*, 20(2), 131-144.
- Harmon, R. J. (1994). Physiology of mastitis and factors affecting somatic cell counts. *Journal of dairy science*, 77(7), 2103-2112.
- Hyder, I., Sejian, V., Bhatta, R., & Gaughan, J. B. (2017). Biological role of melatonin during summer season related heat stress in livestock. *Biological Rhythm Research*, 48(2), 297-314.
- Jimenez A, Andre´s S, Sa´nchez J. 2009. Effect of melatonin implants on somatic cell counts in dairy goats. *Small Rum Res* 84:116–20.
- Labin T, Avisar A, Brand-Klibanski S et al. Light pollution and its mitigation - Scientific background, current status and possible action plans. Experts' opinion. The Israel Society of Ecology and Environmental Sciences 2017
- Miller, A. R. E., R. A. Erdman, L. W. Douglass and G. E. Dahl. 2000. Effects of photoperiodic manipulation during the dry period of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83:962-967.
- Reiter RJ. 1993. The melatonin rhythm: both a clock and a calendar. *Experientia.* 49(8): 654-664.

Reiter, R. J., Tan, D. X., Korkmaz, A., Erren, T. C., Peikarski, C., Tamura, H. 2007. Light at night, chronodisruption, melatonin suppression, and cancer risk: A review. *Critical Reviews in Oncogenesis*, 13(4), 303–328.

Seron-Ferre M, Torres-Farfan C, Forcelledo ML, Valenzuela GJ. The development of circadian rhythms in the fetus and neonate. *Semin Perinatol* 2001; 25:363–370.

Son, Jiseon, Jinryong Park, Darae Kang, Shah Ahmed Belal, Jangoek Cha, and Kwanseob Shim. (2020). “Effects of White, Yellow, and Blue Colored LEDs on Milk Production, Milk Composition, and Physiological Responses in Dairy Cattle.” *Animal Science Journal* 91 (1): 1–9. <https://doi.org/10.1111/asj.13337>.

Tamura H, Nakamura Y, Korkmaz A, Manchester LC, Tan D, Sugino N. 2009. Melatonin and the ovary: Physiological and pathophysiological implications. *Fertil Steril* 92:328–343.

Tamura, H., Takasaki, A., Taketani, T., Tanabe, M., Kizuka, F., Lee, L., Tamura, I., Maekawa, R., Aasada, H., Yamagata, Y. and Sugino, N. 2012. The role of melatonin as an antioxidant in the follicle. *Journal of ovarian research*, 5(1), p.1.

Tekbas OF, Ogur R, Korkmaz A, Kilic A & Reiter R J. 2008. Melatonin as an antibiotic: new insights into the actions of this ubiquitous molecule. *J. pineal. res*, 44(2): 222-226.

Thapan, K., Arendt, J., & Skene, D. J. (2001). An action spectrum for melatonin.

Wareski P, Motyl T, Ryniewicz Z, Orzechowski A, Gajkowska B, Wojewodzka U, Polszaj T. 2001. Expression of apoptosis-related proteins in mammary gland of goat. *Small Rumin. Res.* 40:279-289.

Wright, H. R., and L. C. Lack. (2001). “Effect of Light Wavelength on Suppression and Phase Delay of the Melatonin Rhythm.” *Chronobiology International* 18 (5): 801–8. <https://doi.org/10.1081/CBI-100107515>

Yao, S., Wu, H., Ma, H., Fu, Y., Wei, W., Wang, T & Lu, Y. (2020). Effects of rumen bypass melatonin feeding (RBMF) on milk quality and mastitis of Holstein cows. *PeerJ*, 8, e9147.