דו"ח מדעי מסכם לתכנית 596-0411-19

אוגוסט 2020

השפעת תאורה מלאכותית בלילה על יעילות ניצולת מזון ותנובת חלב ורכיביו של עיזים גבוהות תנובה

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

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

בדירים רבים 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 וברתמוס 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 עזים לחלב. מטרת המחקר הייתה לבחון האם חשיפה של עזים גבוהות תנובה לאור מלאכותי בלילה תפגע במחזוריות השעון הביולוגי ותשפיע על ביצועים, יעילות ייצור וניצולת מזון.

הניסויים התבצעו בדיר מסחרי במושב נטור בשנתיים הראשונות ובשנה השלישית בדיר בקיבוץ אלומות. בשנה הראשונה העזים נחשפו בשעות הלילה לתאורה קצרת גל מסוג פלורסנט קומפקטית, בשנה השנייה העזים נחשפו בשעות הלילה לתאורה מלאכותית קצרת גל מסוג LED לבן, ובשנה השלישית לתאורה מלאכותית ארוכת גל (לא משבשת את ייצור המלטונין) מסוג LED אדום. בשלושת הניסויים העזים בקבוצות הביקורת נחשפו לתאורה טבעית (ללא שימוש בתאורה מלאכותית). במשך תקופת החשיפה נמדדו ביצועים (תנובת חלב, הרכב חלב, צריכת מזון ומשקל), חושבה יעילות ייצור וקצב הלב כמדד למחזוריות השעון הביולוגי.

התוצאות מלמדות כי חשיפה לתאורה המלאכותית קצרת גל מסוג פלורסנט קומפקטית ו LED לבן פגעה ביעילות הייצור וניצולת המזון ושינתה את מחזוריות קצב הלב של העזים יחסית לתאורה טבעית והפגיעה ביצרנות וביעילות הייתה משמעותית יותר כאשר העזים נחשפו לתאורת ה LED הלבנה יחסית לתאורת הפלורסנט. לא נמצאו הבדלים ביצרנות, ביעילות ובמחזוריות קצב הלב של העזים שנחשפו לתאורה ארוכת גל יחסית לחשיפה לתאורה הטבעית.

הסבר הביולוגי לתוצאות אלו עשוי להיות קשור למסלולי זרימת האנרגיה בגוף העז, 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 הדיר ואף פוגע ברווחת החיה. שימוש בתאורה ארוכת גל יכול לשמש כפתרון ביניים במידה ולא ניתן להשתמש במשטר תאורה טבעית בדיר.

Abstract

In many dairy goats farms in Israel, artificial lighting interface at night is a common practice to motivate feed consumption and due to security reasons. The basis of 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 specious (including humans). Melatonin, which is produced in the pineal gland and is secreted at night, serves as the mediator of darkness signal to tissues. Thus, the night short wavelength lighting interferes with its secretion and disturb the rhythm of physiological activities. Recently, worldwide interest has been focused on the negative effect of ALAN on human health; however, the information on the effect of ALAN on dairy goats is limited. Therefore, the purpose of this study was, to examine the effect of artificial lighting at night on the circadian rhythm of the master clock and on performance, feed and production efficiency of high-producing dairy goats. The experiments were conducted in commercial farms. At the first and second years, the experiment was conducted in Natur dairy goat farm while in the third year the experiment was conducted in kibbutz Alumot. During the first year, goats were exposed to compact florescent short wavelength illumination and in the second year goats were exposed to white LED (short wavelength illumination). In the third year, goats were exposed to red LED illumination (long wavelength illumination). The control groups in each experiment contained goats that were exposed to natural illumination during the night hours. During the exposure periods, the performance (milk yield and components, DMI, BW), efficiency of the goats and heart rate (as endogenic parameter for the master clock rhythmicity) were measured.

The results showed that goats that were exposed to short wavelength illumination, had lower feed and production efficiency, while their HR rhythmicity was disrupted compared to goats that were exposed to natural illumination. The decrease in performance and efficiency was more radical when goats were exposed to the white LED compared to the compact florescent. In the third year there were no differences between the performance, efficiency and HR between goats that were exposed to red LED compare to the natural light.

These results can be explained by the changes in energy utilization pathways, due to the different illumination that the goats were exposed to. Exposing the goats to short wavelength during the night hours, caused sympathetic excitation leading to increased maintenance demands and less metabolic energy was allocated to the production pathway. These findings indicate that exposing goats to short wavelength illumination during the night decrease the production efficiency of the dairy farm while damaging the

welfare conditions of the goats. Using long wavelength illumination in the pens 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 מסרוטונין, אשר נוצר ומצטבר בבלוטה בשעות היום. מבחינה כימית, המלטונין הינו אינדול-אמין הנמצא בצמחים ובבעלי 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 הזקיק (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

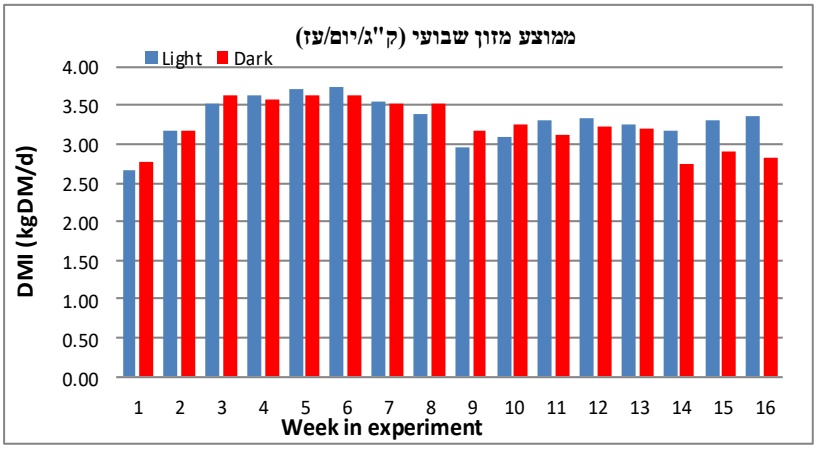
תוצאות שנה א'

1. **הרכב מנה וצריכת מזון**

הרכב מנת הניסוי (בליל + כפתיות) מוצג בטבלה 1. תכולת חומר יבש במנה נקבעה לאחר ייבוש דוגמאות של המנות השונות בטמפרטורה של 60 c° עד התייצבות המשקל ללא שינוי, ייבוש למשך 48 שעות. צריכת ח"י היומית חושבה כסכום של צריכת הבליל והכופתיות שהוגשו במכון החליבה. צריכת ח"י היומית (ק"ג ח"י/לעז/ליום) של קבוצת האור והחושך לאורך תקופת הניסוי מתוארת באיור 1. צריכת המזון היומית (הקבוצתית ◌לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה (ממוצע של 30 יום) של קבוצות האור והחושך (3.42, 3.43, בהתאמה) לא היו שונות באופן מובהק (P = 0.97◌◌). בתקופת מניפולציית התאורה צריכת המזון היומית הממוצעת (ממוצע של 90 יום) של קבוצות האור הייתה גבוהה ב 5% מקבוצת החושך (3.24, 3.08, בהתאמה).

טבלה 1. מרכיבים ותכולות של מנת ההזנה שהוגשה לעזים בקבוצות הניסויי

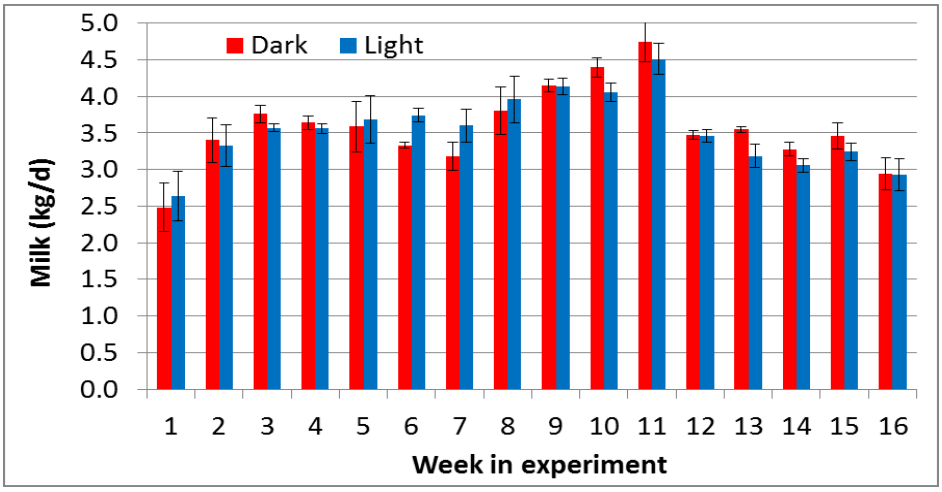
רכיב	כמות בק"ג יומי	אחוז במנה
מלח	0.005	0.2
תירס שלם	0.533	22.5
חציר אספסת	0.55	23.3
חציר שיבולת	0.2	8.5
כוספת סויה	0.257	10.9
אומניג'ן	0.005	0.2
תחמיץ חיטה	0.3	12.7
קליפות הדר	0.45	19
שומן מוגן	0.04	1.7
ויטמין לצאן	0.009	0.4
סודה לשתייה	0.015	0.6
סיכום	2.364	100
תכולות		
חומר יבש	1.6	67.7
חלבון	0.288	12.2
סידן גר'	12	
זרחן גר'	4.96	
ויטמין A	8000	
חלבון בח"י		18
אנרגיה נטו לח"י	1.731	
חומר יבש גס לח"י	0.474	35
דופן תא	0.472	20
דופן תא גס	0.394	16.7



איור 1: ממוצע שבועי של צריכת מזון יומית (DMI, kgDM / day) של עיזים מקבוצת האור (N = 12) ועזים מקבוצת החושך (N = 12) שנמדדה לאורך תקופת הניסיוי.

2. <u>תנובת החלב היומית</u>

תנובת החלב היומית (ממוצע ± ש.ת) של קבוצת האור והחושך לאורך כל תקופת הניסיוי מתוארת באיור 2. תנובת החלב הממוצעת ̊לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה של קבוצות האור והחושך (3.58, 3.48, בהתאמה) לא היו שונות באופן מובהק (̊̊P = 0.59). בתקופת מניפולציית התאורה תנובת החלב היומית הממוצעת של קבוצות האור הייתה נמוכה יחסית מקבוצת החושך (3.61±0.20, 3.75±0.22, בהתאמה), אך ההבדל לא היה מובהק (̊̊P = 0.56).



איור 2: ממוצע שבועי של תנובת החלב היומית (Milk, kg / day ± SE) של עיזים מקבוצת האור (N = 12) ועזים מקבוצת החושך (N = 12) שנמדדה לאורך תקופת הניסיוי.

3. <u>משקל גוף</u>

מדידות משקל גוף התבצעו 4 פעמים במהלך הניסיוי (ימים מתחילת הניסיוי: 1, 35, 70, 110). בתחילת הניסיוי (יום 1) משקל הגוף של ̊העיזים מקבוצת האור והחושך (62.0±2.77, 61.1±3.01, בהתאמה) לא היו שונים באופן מובהק (̊̊P = 0.74). ביום 35 מתחילת הניסיוי

משקל הגוף של ♂העיזים מקבוצת האור והחושך (3.06±60.6, 3.03±63.2, בהתאמה) לא היו שונים באופן מובהק (♂♂P = 0.57), אך הקבוצות נבדלו באופן מובהק (♂♂P = 0.04) בהפרש בין משקל העיזים בין יום 35 ליום 1 מתחילת הניסוי. קבוצת האור ירדה ב – 0.91±1.42 ק"ג לעומת קבוצת החושך שעלתה ב - 0.71±2.15 ק"ג. ביום 70 מתחילת הניסוי משקל הגוף של ♂העיזים מקבוצת האור והחושך (3.06 ± 64.8, 3.03 ± 63.46, בהתאמה) לא היו שונים באופן מובהק (♂♂P = 0.73), אך ההבדל בהפרש בין המשקלים בין יום 70 ליום 35 של הקבוצות נטה להיות מובהק (♂♂P = 0.07). קבוצת האור עלתה ב – 0.62 ± 4.21 ק"ג לעומת קבוצת החושך שירדה ב - 0.71 ± 0.26 ק"ג. ביום 110 מתחילת הניסוי משקל הגוף של ♂העיזים מקבוצת האור והחושך (3.03 ± 64.3, 3.07 ± 65.2, בהתאמה) לא היו שונים באופן מובהק (♂♂P = 0.85), אך ההבדל בהפרש בין המשקלים בין יום 110 ליום 70 של הקבוצות נטה להיות מובהק (♂♂P = 0.12). קבוצת האור ירדה ב – 0.12 ± 0.50 ק"ג לעומת קבוצת החושך שעלתה ב - 0.91 ± 1.74 ק"ג. לאורך כל תקופת הניסוי (ההפרש בין משקל הקבוצות ביום 110 לעומת יום 1), קבוצת האור עלתה ב - 0.11 ± 2.29 ק"ג ונבדלה באופן מובהק (P = ♂♂0.04), לעומת קבוצת החושך שעלתה ב - 1.01± 4.19 ק"ג מתחילת הניסוי.

4. <u>הרכב החלב</u>

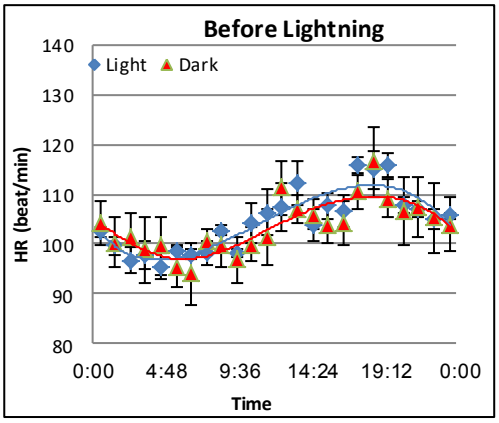
א. אחוז השומן בחלב לא היה שונה בין קבוצת האור לקבוצת החושך ♂לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה (0.10 ± 4.76, 0.09 ± 4.85, בהתאמה, P = 0.53) ולאחריה (0.22 ± 4.14, 0.26 ± 3.98, בהתאמה, P = 0.66). אחוז החלבון בחלב היה גבוה (נטייה) בקבוצת האור לעומת החושך ♂לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה (0.10 ± 3.59, 0.07 ± 3.41, בהתאמה, P = 0.12). אחרי מניפולציית האור, אחוז החלבון בחלב של קבוצת האור היה גבוה באופן מובהק מקבוצת החושך (0.09 ± 3.27, 0.26 ± 2.06, בהתאמה, P = 0.01). אחוז הלקטוז בחלב לא היה שונה בין קבוצת האור לקבוצת החושך ♂לפני מניפולציית האור (0.10 ± 4.76, 0.09 ± 4.85, בהתאמה, P = 0.34) ולאחריה (0.08 ± 4.71, 0.06 ± 4.58, בהתאמה, P = 0.24). כמות הסת"ס (cells*1000/ml) בקבוצת האור הייתה נמוכה (לא מובהק) מקבוצת החושך לפני מניפולציית האור (545 ± 1693, 435± 1845, בהתאמה, P = 0.52) ולאחריה (569 ± 1532, 444 ± 1847, בהתאמה, P = 0.76).

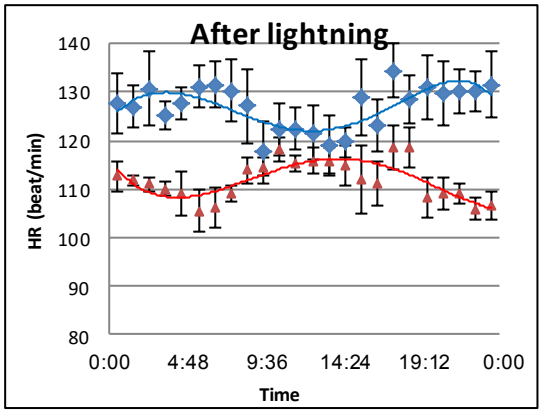
5. <u>יעילות ניצולת מזון</u>

יעילות ניצולת מזון לחלב, לפי היחס שבין כמות החלב לכמות צריכת ח"י (ק"ג/ק"ג ח"י) של קבוצת האור הייתה נמוכה ב % 5.2 יחסית לקבוצת החושך ♂לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה (0.13 ± 1.27, 0.25 ± 1.34, בהתאמה). אחרי מניפולציית האור, היחס שבין כמות החלב לכמות צריכת ח"י של קבוצת האור היה נמוך ב % 17.6 מקבוצת החושך (0.05 ± 0.98, 0.07 ± 1.19, בהתאמה).

6. **<u>קצב לב</u>**

קצב הלב (ממוצע ± ש.ת) של קבוצת האור והחושך לאורך היממה, לפני מניפולציית האור ולאחריה מתואר בגרף 2. קצב הלב (פעימות/לדקה) לאורך היממה והממוצע היומי של קצב הלב של עיזים מקבוצת האור והחושך לא היה שונה לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה (104.5 ± 2.38, 103.5 ± 4.86, בהתאמה, $P = 0.55$). לאחר מניפולציית האור, קצב הלב של קבוצת האור היה גבוה באופן מובהק בשעות הלילה (טווח השעות 18:30 עד 08:30) ובשאר שעות היממה לא נמצא הבדל מובהק בין הקבוצות. כמו כן, הממוצע היומי של קצב הלב של הקבוצה המוארת היה גבוה באופן מובהק מהקבוצה החשוכה (127.5 ± 5.44, 111.9 ± 3.15, בהתאמה, $P = 0.55$).





איור 3: קצב הלב (HR, beat / min ± SE) לאורך היממה לפני ואחרי מניפולציית האור בלילה של עיזים מקבוצת האור (n = 12) ועזים מקבוצת החושך (n = 12) שנמדדה לאורך תקופת הניסוי.

<u>ניסוי שנה ב':</u> השוואה בין חשיפה של עזים לתאורה קצרת גל מסוג LED לעומת אור טבעי וההשפעה על ביצועים, יעילות ייצור ומחזוריות אנדוגנית של השעון הביולוגי

<u>מהלך הניסוי</u>

48 עיזים חולבות מסוג זנן, 73 יום בתחלובה בממוצע, מספר תחלובה 3.4 בממוצע, במשקל ממוצע של 62.5 ק"ג ותנובת חלב ממוצעת של 3.38 ק"ג/ליום, חולקו לשתי קבוצות של 24 עזים בקבוצה, כאשר הקבוצות לא נבדלו במספר התחלובות, יום בתחלובה, משקל הגוף ותנובת החלב. קבוצת הניסוי הוארה בשעות הלילה החל משעה 19:00 עד 07:00 למחרת, בתאורה מסוג **LED (460** ננומטר, 125 לוקס) וקבוצת הביקורת הייתה תחת משטר תאורה טבעי כלומר ללא תאורה מלאכותית (680 ננומטר, 0.01 לוקס). הפעלת התאורה התבצעה בשבוע החמישי מתחילת הניסוי לאחר תקופת הרגלה של 30 יום למכלאות הניסוי. צריכת מזון קבוצתית נמדדה בכל יום (בליל + תערובת מכופתת שניתנה במכון החליבה). העיזים נחלבו פעמיים ביום, חליבת בוקר בשעה 06:00 וחליבת ערב בשעה 18:00 וכמויות החלב היומיות תועדו לאורך כל תקופת הניסוי. העזים נשקלו 8 פעמים בתקופת הניסוי ודיגומי חלב בוצעו בתחילת הניסוי (30 יום לאחר העברה למכלאות הניסוי ולפני ההארה) ובסוף הניסוי. קצב לב יומי נמדד לעזים משתי הקבוצות, למשך 4 ימים רצופים לפני מניפולציית ו 4 ימים רצופים מיד לאחר ההארה (מדידה של 8 ימים רצופים כאשר ביום הרביעי בוצעה מניפולציית

התאורה) לשתי קבוצות הניסוי, באמצעות חגורות קצב לב ייעודיות, בתחילת הניסוי (לאחר הרגלה למכלאות ולפני ההארה) ובסופו. משך הניסוי 12 שבועות כולל תקופת הרגלה (חודשים מאי עד אוגוסט 2018). הרכב מנת הניסוי (זהה לשתי הקבוצות) זהה למנה המתוארת בשנה א'.

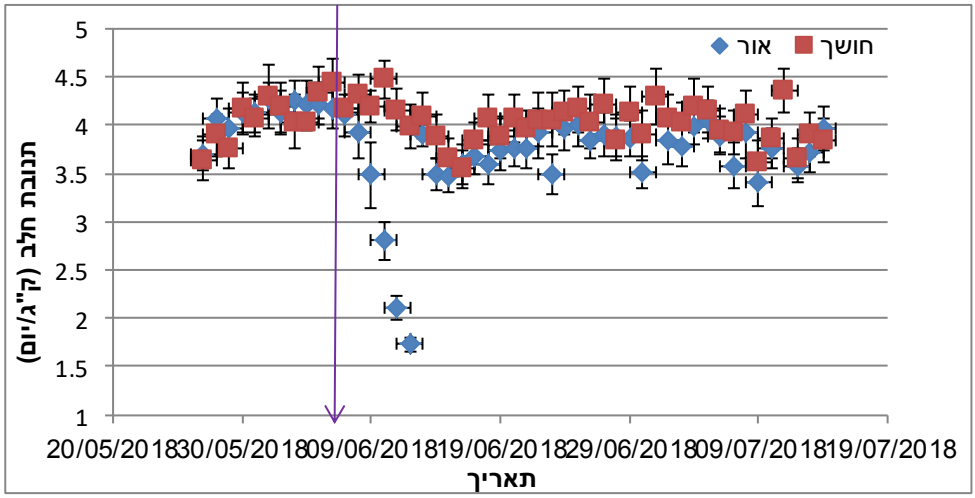
תוצאות שנה ב':

1. **צריכת מזון**

צריכת ח"י היומית חושבה כסכום של צריכת הבליל והכופתיות שהוגשו במכון החליבה ברמה הקבוצתית (נמדדה ברמה יומית). צריכת המזון היומית ◌ֹלעז לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה (ממוצע של 30 יום) של קבוצות האור והחושך (3.16, 3.29, בהתאמה). בתקופת מניפולציית התאורה צריכת המזון היומית הממוצעת (ממוצע של 56 יום) של קבוצות האור הייתה דומה לקבוצת החושך (3.26±0.04, 3.36±0.03, בהתאמה).

2. **תנובת החלב היומית**

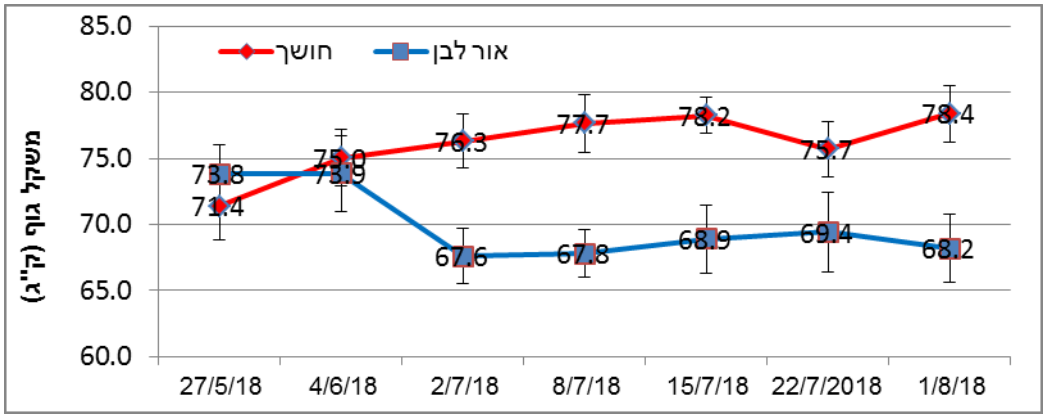
תנובת החלב היומית (ממוצע ± ש.ת) של קבוצת האור והחושך לאורך כל תקופת הניסוי מתוארת באיור 4. תנובת החלב הממוצעת ◌ֹלפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה של קבוצות האור והחושך (4.12±0.05, 4.12±0.08, בהתאמה) לא היו שונות באופן מובהק (P = 0.96◌ֹ◌ֹ). בשבוע הראשון שלאחר ההארה, הייתה ירידה חדה בתנובת החלב שהגיע לשפל ביום השביעי מתחילת המניפולציה (ירידה של 61% יחסית לממוצע החלב בקבוצה לפני המניפולציה) ולאחר היום השביעי החלה עליה בתנובת החלב אך תנובת החלב של קבוצת האור הייתה נמוכה יחסית לחושך עד סוף הניסוי. ממוצע תנובת החלב היומית בתקופת מניפולציית התאורה קבוצות האור הייתה נמוכה באופן מובהק יחסית לקבוצת החושך (3.60±0.05, 4.07±0.03, P < 0.001◌ֹ◌ֹ).



איור 4: ממוצע יומי של תנובת החלב היומית (Milk, kg / day ± SE) של עיזים מקבוצת האור (n = 24) ועזים מקבוצת החושך (n = 24) שנמדדה לאורך תקופת הניסוי. תחילת מניפולציית הארה בתאריך 18-06-07 (מסומן באיור בקיו סגול).

3. <u>משקל גוף</u>

מדידות משקל גוף התבצעו 7 פעמים במהלך הניסוי, שתי מדידות בתקופה שלפני מניפולציית האור וחמש מדידות אחרי המניפולציה (איור 5). בשבועיים שלפני הדלקת האור משקל הגוף של ◌ֹהעיזים מקבוצת האור והחושך (73.7±2.51, 72.8±2.45, בהתאמה) לא היו שונים באופן מובהק (P = 0.80). העזים מקבוצת האור הלבן ירדו 5.7 ק"ג בממוצע בחודש הראשון מתחילת המניפולציה ובשאר התקופה לא היה שינוי מהותי במשקל. העזים בקבוצת החושך עלו במשקל במהלך תקופת הניסוי, עליה של 4.5 ק"ג בממוצע מתחילת הניסוי ועד סופו. במשך תקופת המניפולציה משקל העזים מקבוצת האור היה נמוך באופן מובהק יחסית לקבוצת החושך (P < 0.001) .



איור 5: ממוצע משקל גוף (kg ± SE) של עיזים מקבוצת האור (n = 24) ועזים מקבוצת החושך (n = 24) שנמדדה לאורך תקופת הניסוי. תחילת מניפולציית הארה בתאריך 18-06-07.

4. <u>הרכב החלב לפני ואחרי מניפולציית תאורה</u>

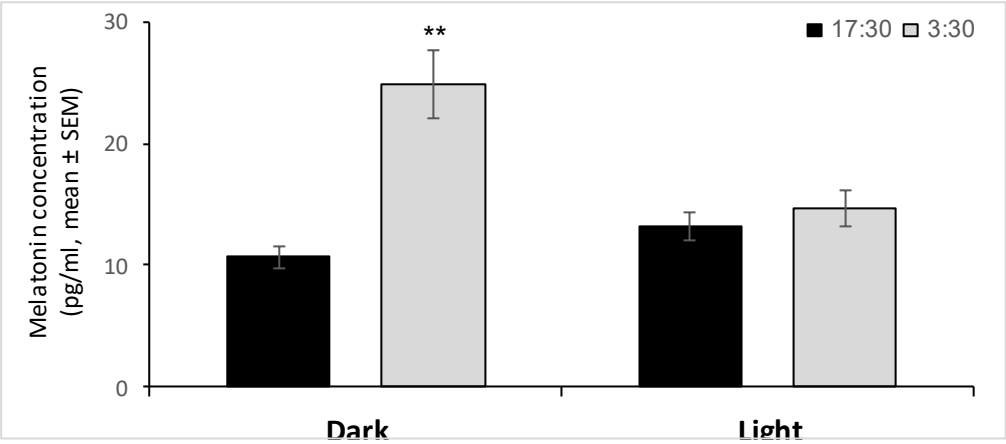
אחוז השומן בחלב לא היה שונה בקבוצת האור לעומת החושך ◌ֹלפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה (3.84 ± 0.17, 3.60 ± 0.21, בהתאמה, P = 0.36). אחרי מניפולציית האור, אחוז השומן בחלב של קבוצת האור היה גבוה באופן מובהק מקבוצת החושך (4.91 ± 0.27, 3.89 ± 0.20, בהתאמה, P < 0.01). אחוז החלבון בחלב לא היה שונה בקבוצת האור לעומת החושך ◌ֹלפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה (3.84 ± 0.05, 3.60 ± 0.04, בהתאמה, P = 0.36). אחרי מניפולציית האור, אחוז החלבון בחלב של קבוצת האור היה גבוה באופן מובהק מקבוצת החושך (3.48 ± 0.05, 3.22 ± 0.04, בהתאמה, P < 0.01). אחוז הלקטוז בחלב לא היה שונה בין קבוצת האור לקבוצת החושך ◌ֹלפני מניפולציית האור (4.49 ± 0.04, 4.46 ± 0.04, בהתאמה, P = 0.34) ולאחריה (4.51 ± 0.04, 4.34 ± 0.03, בהתאמה, P < 0.01). כמות הסת"ס (cells*1000/ml) בקבוצת האור הייתה גבוה (לא מובהק) מקבוצת החושך לפני מניפולציית האור (2501 ± 311, 2275 ±258, בהתאמה, P = 0.52) ולאחריה (2045 ± 282, 1881 ± 208, בהתאמה, P = 0.62).

5. <u>יעילות ניצולת מזון</u>

יעילות ניצולת מזון לחלב, לפי היחס שבין כמות החלב לכמות צריכת ח"י (ק"ג/ק"ג ח"י) של קבוצת האור הייתה גבוה ב 4.5% יחסית לקבוצת החושך לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה (1.31, 1.25, בהתאמה). אחרי מניפולציית האור, היחס שבין כמות החלב לכמות צריכת ח"י של קבוצת האור היה נמוך ב 11% יחסית לקבוצת החושך (1.11, 1.22, בהתאמה).

6. <u>ריכוז הורמון המלטונין בפלסמה</u>

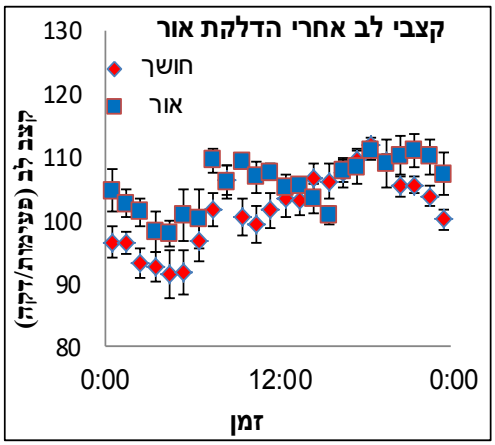
ריכוז המלטונין בפלסמה (pg/ml)נבדק באמצעות שיטת ELISA, לדוגמאות דם שנלקחו מהעזים בשתי נקודות זמן: בשעה 03:30 (שעה בימה שבו ריכוז המלטונין בדם אמור להיות בשיאו ביונקים יומיים) ובשעה 17:00 (זמן בימה שבה ריכוזי המלטונין ברמה נמוכה ביונקים יומיים). תוצאות של ריכוז המלטונין בפלסמה ביום ובלילה מוצגות באיור 6. בקבוצת החושך (חשיפה לתנאים טבעיים) נמצא שריכוז המלטונין בפלסמה שנדגמה לפנות בוקר (03:30) היה גבוה באופן מובהק מריכוז המלטונין בפלסמה שנדגמה ביום (17:00) מאותן עזים (24.9 ± 2.85, 10.7 ± 0.89, בהתאמה, $P < 0.001$). בקבוצת האור, לא נמצא הבדל בין ריכוז המלטונין בפלסמה ביום לעומת הלילה, מאותן עזים (14.7 ± 1.42, 13.6 ± 1.21, בהתאמה, $P = 0.45$). כמו כן, ריכוז המלטונין בפלסמה של עזים מקבוצת החושך שנדגמה לפנות בוקר, היה גבוה באופן מובהק ($P < 0.01$) מריכוז המלטונין בפלסמה של עזים מקבוצת האור שנדגמה באותה שעה. ריכוז המלטונין בפלסמה של עזים מקבוצת האור שנדגמה ביום, לא היה גבוה באופן מובהק ($P = 0.11$) מריכוז המלטונין בפלסמה של עזים מקבוצת החושך שנדגמה באותה שעה.

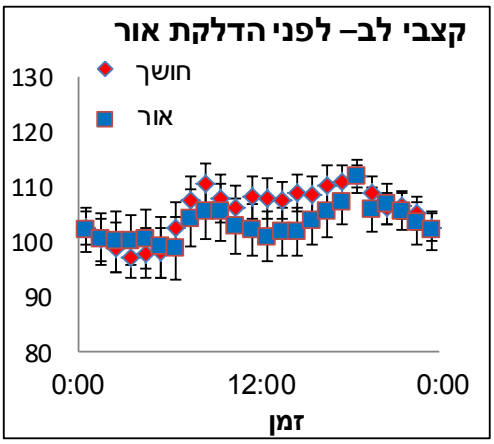


איור 6: ריכוז המלטונין בפלסמה (pg /ml ± SE) של עזים מקבוצת האור (n = 24) וקבוצת החושך (n = 24) שנדגמו בשעה 03:30, 17:30.

7. **<u>קצב לב</u>**

קצב הלב (ממוצע פעימות/לדקה ± ש.ת) של קבוצת האור והחושך לאורך היממה, לפני מניפולציית האור ולאחריה מתואר באיור 7. הממוצע היומי של קצב הלב של קבוצות האור והחושך לא היה שונה לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה (104.6 ± 1.40, 103.2 ± 3.54, בהתאמה, P = 0.28). חודשיים אחרי תחילת הארה קצב הלב ממוצע של קבוצת האור לא היה גבוה מקבוצת החושך (102.7±2.61,105.6±2.33, בהתאמה, P= 0.24), אך היו ההבדלים המובהקים בעיקר בשעות הלילה (טווח השעות 20:30 עד 05:30).





איור 7: קצב הלב (פעימות/לדקה ± ש.ת) לאורך היממה לפני ואחרי מניפולציית האור בלילה של עזים מקבוצת האור (n = 24) ועזים מקבוצת החושך (n = 24) שנמדדה לאורך תקופת הניסוי.

<u>ניסוי שנה ג'</u>: השוואה בין חשיפה של עזים לתאורה קצרת ארוכת גל מסוג LED אדום לעומת אור טבעי וההשפעה על ביצועים, יעילות ייצור ומחזוריות אנדוגנית של השעון הביולוגי

הניסוי נערך בדיר אלימות בקיבוץ אלומות במשך חודשיים רצופים, מיוני ועד אוגוסט 2019. בניסוי השתתפו בניסוי כ-24 עזים חולבות מגזע זאנן בתחלובה שנייה עד שלישית, תנובת חלב ממוצעת 2.1±0.15 (kg/day), משקל גוף 55 ±8.6 (kg), ימים בתחלובה 74.2±11.3. במשך כל תקופת הניסוי כמות, הרכב המנה (טבלה 1) ושעת החלוקה (5:00) היו אחידים. תכולות מרכיבי הבליל חושבו מתוך טבלאות (National Research Council, 1989). שאריות המנה נאספו ונשקלו מדי יום טרם החלוקה. ממשק החליבה בדיר כלל שתי חליבות ביום, בשעות: 7:00 ו-18:00. לקראת הניסוי העזים עברו תקופת הרגלה בת 4 שבועות במשטר תאורה טבעית (ללא תאורה מלאכותית; <1 lux, 690 nm). לאחר תקופת ההרגלה החל השלב הראשון שבניסוי ובו הקבוצות שהו במשטר תאורה טבעית זהה לתקופת ההרגלה למשך 4 שבועות. בתקופה זו החל ניטור מדדי תנובת החלב (ק"ג\יום), פעילות (דקות\ליום) וצריכת מזון קבוצתית על בסיס יומי ונמשך לאורך כל תקופת הניסוי. בנוסף, בוצעו שקילות של העזים אחת לשבועיים לאורך כל הניסוי. מיד עם תום שלב זה החל שלב הטיפול בן 4 השבועות. קבוצת הביקורת המשיכה בו על בסיס אותם תנאים ללא שינוי לעומת זאת קבוצת הטיפול נחשפה לתאורת LED אדומה (8 lux, 674 nm) החל מהשעה 19:55 ועד השעה 5:30. בסוף כל אחד

מהשלבים (הביקורת והטיפול) נדגם חלב בחליבת הבוקר והערב והורכבו חגורות קצב לב למשך 72 שעות רצופות. ספקטרום ועוצמת התאורה נמדדו באמצעות ספקטרומטר אופטי מכויל (AvaSpec-2048-FTSDU, Avantes, Eerbeek, Netherlands. יש לציין כי לעזים הורכבו פדומטרים למדידת פעילות (צעדים ליממה) (Afiact,Afimilk , קיבוץ אפיקים, ישראל).

תוצאות שנה ג'

1. ביצועים:

נתוני ביצועים הכוללים צריכת מזון קבוצתית (ק"ג ח"י/ליום /לעז), תנובת חלב (ק"ג ח"י/ליום /לעז), משקל גוף (ק"ג) ויעילות ניצולת מזון לפני ואחרי מניפולציית האור מתוארים בטבלה 2. צריכת המזון הקבוצתית של קבוצת האור האדום לפני מניפולציית התאורה הייתה נמוכה ב 8.5% יחסית לקבוצת הביקורת (אור טבעי) ואחרי המניפולציה צריכת המזון של קבוצת האור האדום הייתה נמוכה ב 15% יחסית לביקורת. קבוצות הניסוי לא נבדלו בתנובת החלב ובמשקל הגוף לפני ואחרי מניפולציית האור. יעילות ניצולת המזון הקבוצתית (ק"ג חלב/ק"ג ח"י) לא השתנתה במהלך הניסוי ובשלב שלפני המניפולציה ולאחריה יעילות קבוצת האור הטבעית הייתה גבוה ב 7% יחסית לקבוצת האור האדום.

Table 2. performance and feed efficiency of goats that were exposed to natural light (n = 20) compare to goats that were exposed to red LED illumination (n =20) during night hours.

Parameters	Period	Natural light	Red LED light	SEM[1]	*P-value*[2]
No of goats		12	12		
DMI (kg/day/goat)	control	1.93	1.65	0.1	-
	treatment	1.93	1.45	0.08	-
	control	2.22	2.1	0.14	0.51
Milk yield	treatment	2.2	1.9	0.15	0.12
(kg/day/goat)					
BW (kg)	control	53	54	2.1	0.63
	treatment	52	52	2	0.84
EMP (kg, milk/DMI)[3]	control	1.3	1.2	0.02	-
	treatment	1.3	1.2	0.02	-

Abbreviations: LED, light emitting diode; DMI, dry matter intake
[1] SEM = standard error of mean
[2] *P* = *P*-value obtained by t-TEST differences between groups.
[3]EMP = Efficiency of milk production (kg milk/kg DMI)

2. הרכב החלב:

מדדי הרכב החלב שכללו: אחוז שומן, חלבון, לקטוז וערך סת"ס אשר נבדקו בדגימות חלב שנלקחו מהעזים מקבוצת האור הטבעי והאור האדום בחליבת בוקר וערב מתוארים בטבלה 3. לא

נמצא הבדל מובהק במרכיבי החלב בין קבוצת האור הטבעי לקבוצת האור האדום לפני ואחרי מניפולציית התאורה.

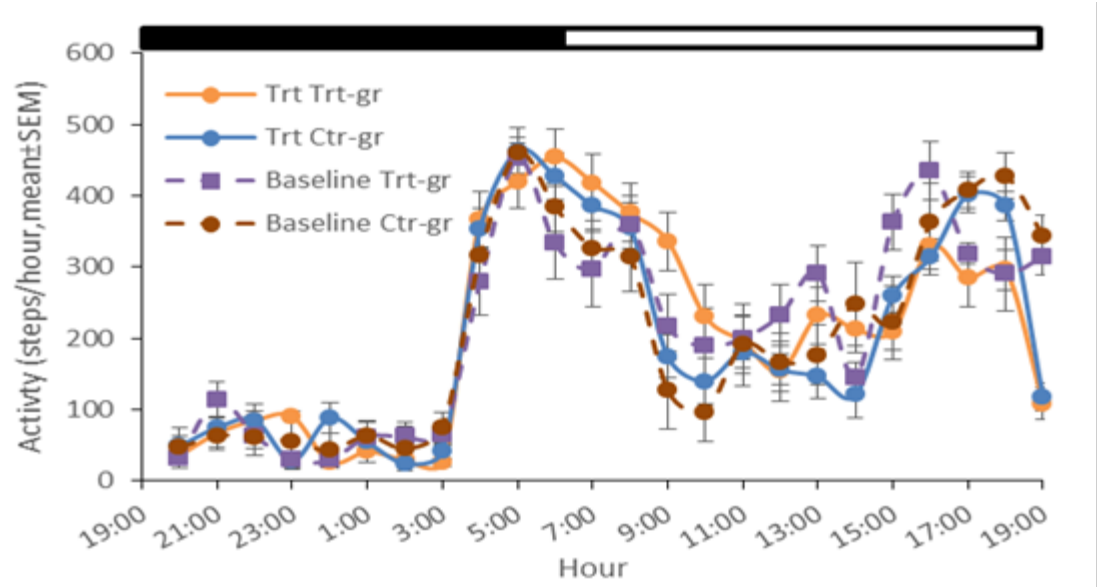
Table 3. Milk components of goats (n=20) exposed to natural light compare to goats (n=20) exposed to Red LED illumination.

Period	Time	Milk compound	Natural light	Red LED Light	SEM[1]	*P-value*[2]
Before light manipulation	Night (7:00)	SCC (cells*1000/ml)	2485	2216	451	0.6
		Fat %	3.95	3.15	0.38	0.2
		Protein %	3.06	3.07	0.18	0.88
		Lactose %	4.6	4.5	0.24	0.32
	Day (17:30)	SCC (cells*1000/ml)	3825	5806	1234	0.3
		Fat %	3.94	3.84	0.26	0.77
		Protein %	3	3.04	0.09	0.78
		Lactose %	4.56	4.43	0.07	0.32
After light manipulation	Night (7:00)	SCC (cells*1000/ml)	2345	2511	517	0.83
		Fat %	3	2.97	0.22	0.87
		Protein %	3.04	3.16	0.17	0.64
		Lactose %	4.55	4.41	0.24	0.25
	Day (17:30)	SCC (cells*1000/ml)	2984	3405	770	0.69
		Fat %	3.4	3.5	0.26	0.73
		Protein %	3.19	3.04	0.18	0.25
		Lactose %	4.5	4.32	0.22	0.09

Abbreviations: NL, natural light; LED, light emitting diode; SCC, somatic cell count
[1] SEM = standard error of mean
[2] *P* = *P*-value obtained by t-TEST differences between groups.

3. **<u>פעילות</u>**:

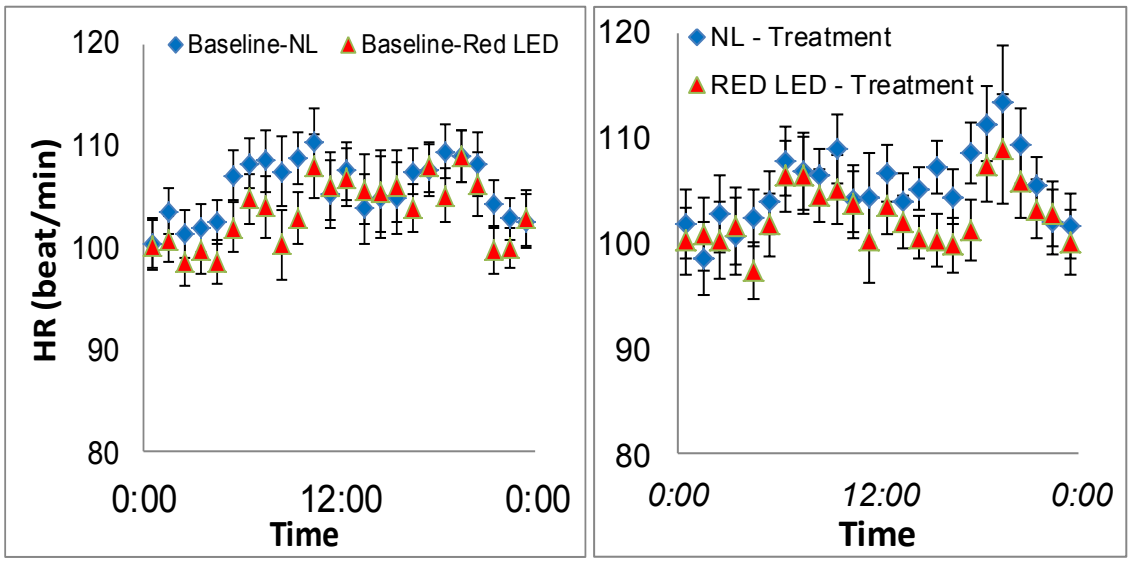
ממצאי הפעילות לאורך היממה של עזים מקבוצת האור הטבעי וקבוצת האור האדום במהלך תקופות הניסוי מתוארים באיור 8. לא נמצא הבדל מובהק בין קבוצות הניסוי או בין תקופת הניסוי השונות.



איור 8. דגם פעילות לאורך היממה. ממוצע פעילות (צעדים לשעה ± שגיאת תקן) במהלך 24 שעות של קבוצת האור הטבעי (Ctr-gr) וקבוצת האור האדום (Trt-gr) בתקופה שלפני המניפולציה (Baseline) ואחרי המניפולציה (Trt).

4. קצב לב:

קצב הלב (ממוצע פעימות/לדקה ± ש.ת) של קבוצת האור הטבעי והאור אדום לאורך היממה, לפני מניפולציית האור ולאחריה מתואר באיור 9. הממוצע היומי של קצב הלב של קבוצות האור הטבעי והאור האדום לא היה שונה ♂לפני מניפולציית האור המלאכותי בלילה (2.75 ± 105.8, 3.06 ± 103.6, בהתאמה, P = 0.16♂♂) ♂ואחרי מניפולציית האור (3.19 ± 105.3, 4.99 ± 102.7, בהתאמה,



P = 0.26♂♂).

איור 9: קצב הלב (פעימות/לדקה ± ש.ת) לאורך היממה לפני (A) ואחרי (B) מניפולציית האור בלילה של עזים מקבוצת האור הטבעי (n = 20) ועזים מקבוצת החושך (n = 20) שנמדדה לאורך תקופת הניסוי.

דיון מסכם לשלושת שנות הניסוי

במהלך שלושת שנות הניסוי בוצעו שלושה ניסויים שבחנו את השפעת שלושה סוגי תאורה (פלורסנט קומפקטית, LED לבן קצר גל ותאורת , LED אדום ארוך גל) על ביצועים (תנובת חלב, הרכב חלב, צריכת מזון קבוצתית, משקל), יעילות ניצולת מזון והשפעה על קצב הלב כמדד למחזוריות אנדוגנית של השעון הביולוגי. בכל שנה נבחנה תאורה שונה (קבוצת הטיפול) בהשוואה לנתוני הביצועים, היעילות וקצב הלב של עזים שנחשפו לתאורה טבעית בשעות הלילה (קבוצת הביקורת).

חשיפת העזים בשנה א׳ לאור פלורסנטי קצר גל לעומת אור טבעי בשעות הלילה גרמה לעליה בצריכת המזון של עזים בקבוצת האור אך לא נמצא הבדל בתנובת החלב, הרכבו ומשקל הגוף כלומר תוספת האנרגיה שלא התבטאה בעליה בכמות התוצר (תוספת חלב ואו עליה במשקל גוף). בעשור האחרון מחקרים בבני אדם ובעכברים (Cheung et al., 2014; Driller et al., 2019) מצאו קשר בין חשיפה לתאורת קצרת גל והגברת אכילה ע״י הגברת הפרשת הורמון הרעב (גרלין) ודיכוי של הפרשת הורמון השובע (לפטין). עליה בקצב הלב כתוצאה מחשיפה לתאורה מלאכותית קצרת גל הוכח בניסוי סוגי תאורה 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 בכדי שבעל החיים 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). שילוב של עלייה בצריכת מזון במקביל לעליה בקצב הלב יכול להסביר את התופעה שהעזים שנחשפו לתאורה הפלורסנטית עלו בצריכת המזון אך לא הניבו יותר חלב או עלו יותר במשקל היות והאנרגיה הנוספת נותבה לצרכי קיום (עליה בהוצאת האנרגיה/ייצור חום) ולא לייצור. כמו כן, עליה בצריכת המזון שלא מתבטאת בעליה בתנובת החלב פוגעת למעשה ביעילות ניצולת המזון.

בשנת הניסוי השנייה, עזים גם כן נחשפו לתאורה מלאכותית בלילה אך החשיפה הייתה לתאורת LED לבנה שדומיננטיות האור הכחול (קצר גל) בספקטרום גבוה יותר יחסית לפלורסנט (העוצמה הייתה זהה) ותגובת העזים בשנה השנייה התבטאה בירידה בתנובת החלב וירידה משמעותית במשקל גוף יחסית לקבוצת הביקורת. ממצאים אלה של העזים שנחשפו לתאורת ה LED הלבנה אופייניים לתגובה של בע״ח למצבי עקה ומצב בריאותי ירוד כגון, פציעה, צליעה, דלקות (בדגש על דלקות עטין) או תגובה לעקת חום (Bareille et al. 2003; González et al. 2008; Blackshaw and Blackshaw 1994). כלומר החשיפה לתאורת ה LED הלבן בהשוואה לחשיפה לתאורת הפלורסנט באותה עוצמה גרמה לעקה חמורה שהתבטאה בירידה ביצרנות, במחזוריות האנדוגנית

וביעילות הייצור של העזים. המשותף לתגובה של העזים לחשיפה לתאורת ה LED הלבן ולפלורסנט הייתה שבשני המקרים חל שינוי במחזוריות האנדוגנית של קצב הלב כלומר שינוי בריתמיות השעון הביולוגי. עצם השינוי במקצב הביולוגי כתוצאה מחשיפה לתאורה מלאכותית משמעו פגיעה ברווחת החיה בשני המקרים המתוארים.

לעומת השינויים שחלו בביצועים, ביעילות ובמחזוריות קצב הלב ורמתו לאורך היממה שנבעו כתוצאה מחשיפה לתאורה מלאכותית קצרת גל, בשנה השלישית שבה נחשפו עזים לתאורת LED ארוכת גל לא נמצאה השפעה על היצרנות, הפעילות לאורך היממה והמחזוריות האנדוגנית יחסית לעזים שנחשפו לתנאי תאורה טבעית בשעות הלילה. תוצאה זו תואמת את התוצאה של Som וחובריו 2020, שהראתה שחשיפה ל פרות מניבות לתאורה ארוכת גל בגוון צהוב 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). לממצאים אלו של תגובה לתאורה חסכונית ארוכת גל משמעות יישומית חשובה לדרים רבים היות ורוב הדרים מוארים בשעות הלילה בתאורה לבנה קצרת גל משיקולי הרתעה בהיבט של גניבות ובכדי שהנוקדים יוכלו לראות את בע״ח במצלמות שהותקנו בדרים רבים. היות ושימוש בתאורה ארוכת גל אינו פוגע ביצרנות ובמחזוריות אנדוגנית בעזים ובמקביל ה תאורה מאפשרת למגדל לראות את בע״ח גם בשעות הלילה ולכן תאורה חסכונית זו פוטנציאלית להחליף את התאורה קצרת הגל הנפוצה ברוב הדירים במידה ואין למגדל אפשרות לעבור למשטר תאורה טבעית בלילה.

ספרות מצוטטת

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-X.

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.

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.

Cheung, I. N., Shalman, D., Malkani, R. G., Zee, P. C., & Reid, K. J. (2014). Evening blue-enriched light exposure increases hunger and alters metabolism in normal weight adults. Sleep, 37(114).

Dahl, G.E., B.A. Buchanan, and H.A. Tucker. 2000. Photoperiodic effects on dairy cattle: A review. J.Dairy Sci. 83:885-89.

Driller, M. W., Jacobson, G., & Uiga, L. (2019). Hunger hormone and sleep responses to the built-in blue-light filter on an electronic device: a pilot study. Sleep Science, 12(3), 171.

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, melatonine and breed. J S Afr Vet Assoc. 72(4):228-31.

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 .

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, Jangock 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.

Wareski P, Motyl T, Ryniewicz Z, Orzechowski A, Gajkowska B, Wojewodzka U, Polszaj T. 2001. Expression of apoptpsis-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.