

דו"ח מדעי שנתי לתכנית 596-0410-17

מרץ 2019

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

החשכה האופיינית לשעות הלילה, היא חלק טבעי ובלתי נפרד ממעגל החיים של בני האדם, בעלי החיים והצמחייה בטבע. יחד עם זאת, ככל שהאנושות מתקדמת, כך הולכת החשכה ומצטמצמת, בגלל השימוש הנרחב בתאורה מאסיבית ובזבזנית. לכך יש השפעות מרחיקות לכת. ההכרה הבינלאומית המשמעותית בהשפעות "זיהום אור" והשלכותיו התקבלה ביוני 2012 על ידי ארגון הרופאים האמריקאי (AMA) שקבע שאור מלאכותי בלילה הוא גורם מזהם לבני אדם, מאחר והוא פוגע בייצור המלטונין ומשבש ריתמוסים ביולוגיים. בעקבות ההחלטה זכה המושג החדש, "זיהום אור" להכרה בינלאומית ומעורר עניין רב בהקשר של השפעותיו על בריאות בני אדם, אך עדיין אין התייחסות להשפעה על חיות המשק החשופות לו. קיים מחסור בידע בסיסי-תשתיתי לגבי השפעות התאורה המלאכותית על מערכות פיזיולוגיות שונות בבקר לעומת הידע הקיים על השפעות התאורה המלאכותית על בני אדם. יותר מכך, רמת זיהום האור החמירה בעשור האחרון עם הכנסה אגרסיבית של נורות חסכוניות מסוג LED המייצרות עוצמות תאורה גבוהות של תאורה קצרת גל, ולכן זיהום האור גבר והשפעתו משמעותית יותר מבעבר גם על בני האדם וגם על חיות המשק. בישראל כיום, רוב הרפתות מוארות באור מלאכותי קצר גל (תאורת פלורוסנט או LED) במשך רוב שעות הלילה, ואין כלל התייחסות לתנאי התאורה בזמן המוקצה לשינה של החיה.

היפותזות המחקר, המתבססת על תוצאות הקדמיות, הינה שניתן לשפר את יעילות ניצול המזון והייצור של בקר לחלב על ידי מניפולציות במשטר התאורה. מטרת המחקר היא לבחון האם חשיפה של פרות חולבות לאור מלאכותי בלילה תפגע במחזוריות השעון הביולוגי ותשפיע על ביצועים, יעילות ייצור וניצולת מזון בטווח הקצר ובטווח הארוך של חייהן. חדשנותו של המחקר היא בעצם התפיסה כי מניפולציות ממשקיות, קלות לניהול ברמת המשק, יכולות לשפר באופן ניכר את ביצועי העדר, בטווח הקצר (יעילות ייצור וניצולת מזון לחלב, בריאות ורווחת החיה) והארוך (תנובה ופוריות). הבנת המנגנון באמצעותו האור המלאכותי משפיע על מערכות ביולוגיות בגוף הפרה תשלים פערים מדעיים רבים הקשורים להשפעת האור על חיות המשק בתעשייה החקלאית המודרנית. המחקר המוצע משלב מספר דיסציפלינות (פיזיולוגיות, אנדוקריניות והתנהגותיות) שיכולות "לשפוך אור" על משטר תאורה אופטימאלי לפרות מניבות, ויוכל לסייע למקסם את פוטנציאל הייצור וניצולת המזון, וכתוצאה מכך לשפר את הרווחיות בענף הבקר לחלב.

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-תצובתי (SCN) בהיפותלמוס, מעל לתצובת 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 נירוהורמון 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?

מטרת המחקר:

דו"ח זה מתייחס למטרות המחקר של שנת הניסוי השנייה:

1. מדידה קבוצתית של צריכת מזון, תנובה והרכב חלב, משקל ויעילות הייצור במהלך התחלובה בשלושה משטרי תאורה (אור לבן מסוג LED, אור אדום מסוג LED, אור טבעי = חושך).
2. מדידת קצב הלב לאורך היממה כסמן אנדוגני למחזוריות החיה בשלושת משטרי התאורה.

מהלך הניסוי

הניסוי נערך במשק יגור במהלך החודשים דצמבר 2017 עד ספטמבר 2018, ב 189 פרות מניבות מסוג 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 ההתייחסות לתוצאות הן לכל קבוצה בנפרד (השוואה של ביצועים בתקופה שלפני המניפולציה לעומת התקופה שאחרי המניפולציה) ולא בין הקבוצות. הניסוי כלל שלושה משטרי תאורה:

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). 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 שהוגשה במהלך הניסוי לשלושת הקבוצות מוצג בטבלה 1. תכולת חומר יבש במנה נקבעה לאחר ייבוש דוגמאות של המנות השונות בטמפרטורה של 60 °C עד התייבבות המשקל ללא שינוי, יבוש למשך 48 שעות. מניתוח תכולת ח"י נמצא שמנת הניסוי הכילה 61.1 ח"י.

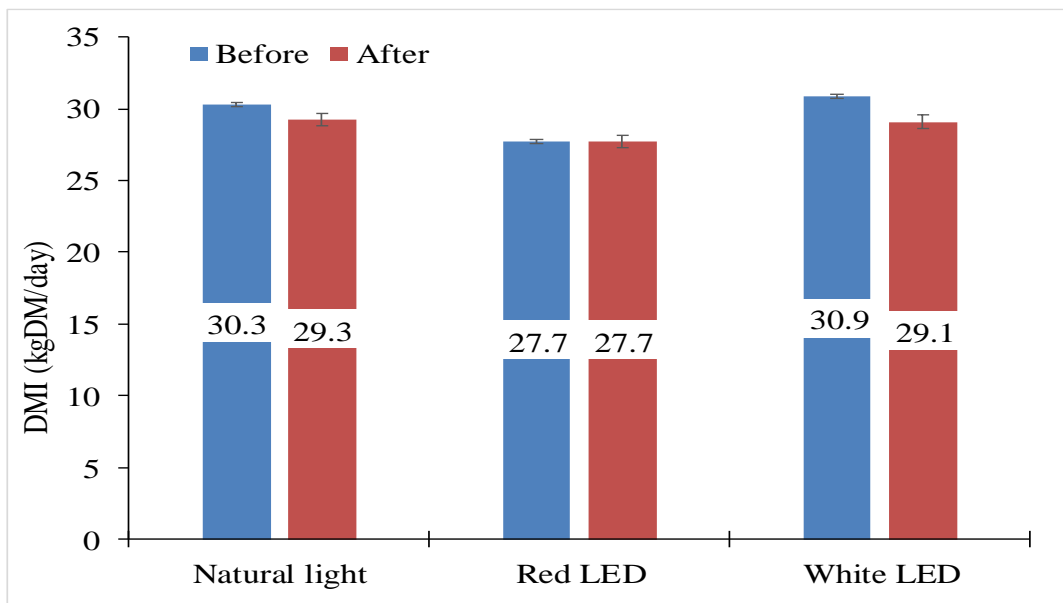
טבלה 1. מרכיבים ותכולות של מנת ההזנה שהוגשה לפרות בקבוצות הניסויי

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	0.23	0.67
מלח	0.041	0.12
סידנית	0.21	0.59
תרכיז חשח	0.017	0.05
ויטמין A	0.018	0.05
סובין	0.5	1.43
שזרות תירס	3.1	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	
חלבון כללי %	16.6	
דופן תא %	33.3	
דופן תא גס %	0.199	
שומן %	0.048	
שומן מוגן %	0.033	
אנרגיה נטו לח"י (מק"ל לק"ג ח"י)	1.758	

תוצאות

1. הרכב מנה וצריכת מזון

צריכת ח"י היומית (ממוצע \pm ש.ת) של הקבוצות לפני מניפולציית האור ולאחריה מתוארת באיור 1. ההבדל המשמעותי ביותר בין צריכת ח"י ליום (ק"ג ח"י/ליום) לפני מניפולציית התאורה לעומת צריכת ח"י בתקופה שאחרי המניפולציה, היה בקבוצה 4 (LED לבן). צריכת המזון הממוצעת אחרי המניפולציה הייתה נמוכה ב 6% יחסית לצריכה לפני המניפולציה. צריכת המזון של קבוצה 1 (תאורה טבעית) המלאכותי בלילה אחרי המניפולציה הייתה נמוכה ב 3.36% לעומת הצריכה לפני המניפולציה. לא נמצא הבדל בצריכת המזון בקבוצה 2 (LED אדום) לפני ואחרי מניפולציית האור.

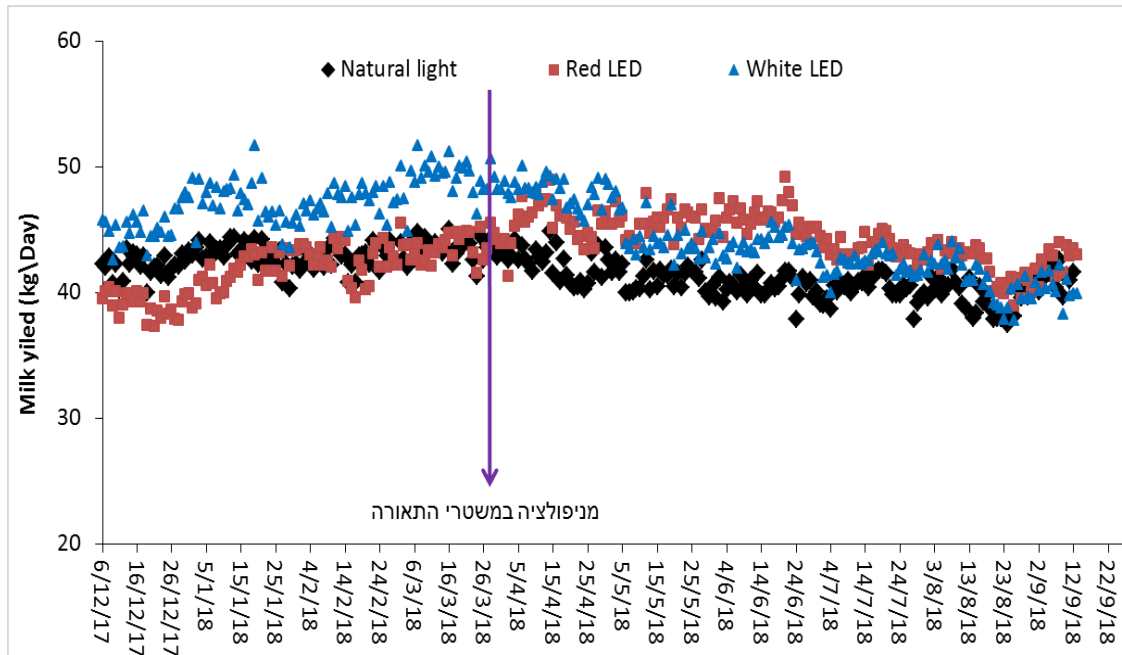


איור 1: צריכת המזון היומית (ממוצע שבועי \pm ש.ת) של פרות מקבוצת האור הלבן (N = 63), האור האדום (N = 65), וקבוצת החושך (N = 61) שנמדדה לפני מניפולציית התאורה (06-12-17 עד 01-04-18) (18 אחרי מניפולציית האור (01-04-18 עד 01-09-18)).

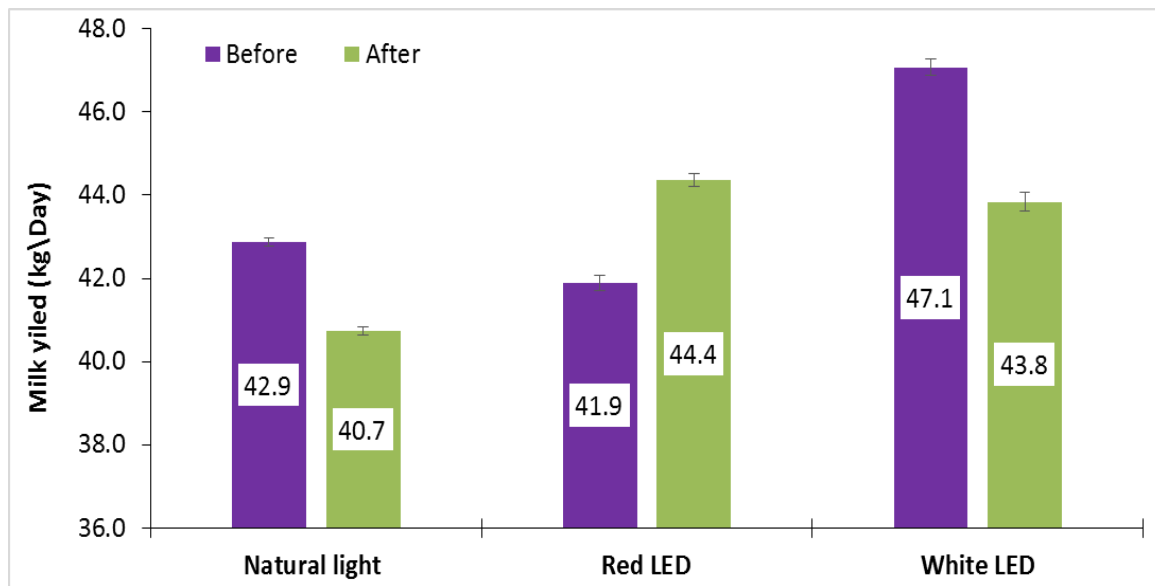
2. תנובת החלב היומית

תנובת החלב היומית (ממוצע \pm ש.ת) של קבוצות הניסוי לאורך כל תקופת הניסוי מתוארת באיור 2. תנובת החלב היומית הממוצעת (ממוצע \pm ש.ת) של קבוצות הניסוי לפני ואחרי מניפולציית מתוארת באיור 3. קבוצות האור הלבן והאור הטבעי הראו ירידה מובהקת בכמות החלב ($P < 0.01$) לאחר מניפולציית התאורה לעומת קבוצת האור האדום שהניבה יותר חלב באופן מובהק ($P < 0.01$) לאחר מניפולציית התאורה. ההבדל המשמעותי ביותר בתנובת החלב לפני ואחרי המניפולציה (47.1 ± 0.19 , 43.8 ± 0.22 , ק"ג חלב ליום בממוצע, בהתאמה) היה בקבוצת האור הלבן שירדה בתנובת החלב באופן משמעותי לאחר מניפולציית התאורה. קבוצת האור הטבעי גם כן ירדה בתנובת החלב כלומר תנובה נמוכה לפני וגבוהה אחרי

מניפולציה (42.9 ± 0.10 , 40.7 ± 0.11 , ק"ג חלב ליום בממוצע, בהתאמה) אך הירידה הייתה מתונה יותר יחסית לקבוצת האור הלבן. לעומת הירידה בתנובת החלב בקבוצות האור הלבן והאור הטבעי, קבוצת האור האדום הראתה עליה משמעותית בתנובת החלב לאחר מניפולציית התאורה (41.9 ± 0.19 , 44.4 ± 0.16 , ק"ג חלב ליום בממוצע, בהתאמה).



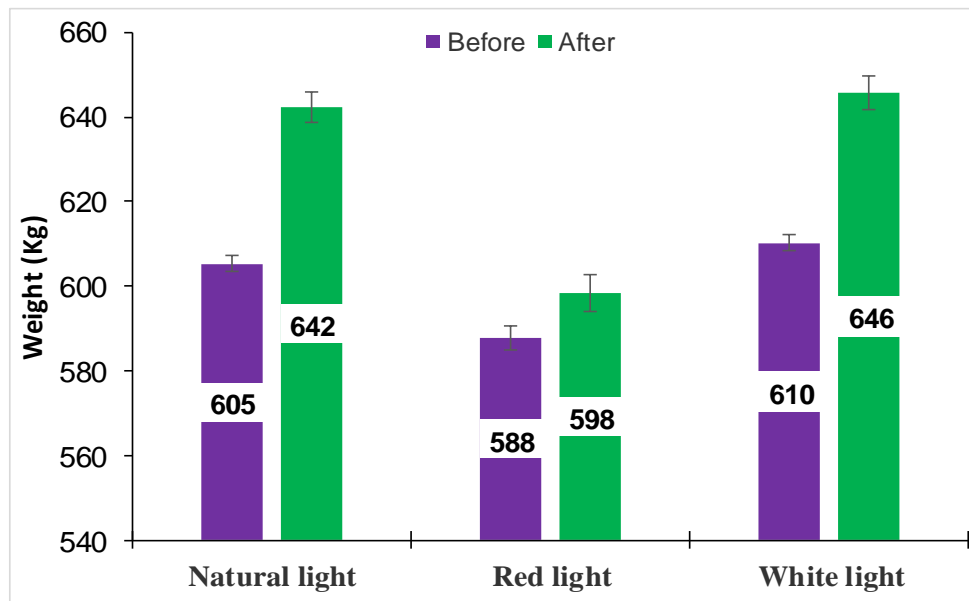
איור 2: תנובת חלב יומית (ממוצע שבועי \pm ש.ת.) של פרות מקבוצת האור הלבן ($N = 63$), האור האדום ($N = 65$), וקבוצת האור הטבעי ($N = 61$) שנמדדה לאורך תקופת הניסוי.



איור 3: תנובת חלב יומית (ממוצע שבועי \pm ש.ת.) של פרות מקבוצת האור הלבן ($N = 63$), האור האדום ($N = 65$), וקבוצת האור הטבעי ($N = 61$) שנמדדה לפני מניפולציית התאורה (06-12-17 עד 01-04-18) ואחרי מניפולציית האור (01-04-18 עד 01-09-18).

3. משקל גוף

משקל הגוף של פרות הניסוי (ק"ג) נמדד 3 פעמים ביום (ביציאה מהמכון חליבה) במהלך הניסוי. משקל הגוף (ממוצע \pm ש.ת) של קבוצות הניסוי לאורך כל תקופת הניסוי מתוארת באיור 4. בשלושת קבוצות הניסוי הפרות עלו במשקל בתקופת הניסוי והמשקל הממוצע בתקופת המניפולציה היה גבוה מאשר משקלן לפני המניפולציה. משקל הפרות הממוצע בתקופה שאחרי המניפולציה לעומת המשקל בתקופה שלפני המניפולציה של קבוצות האור הלבן והאור הטבעי הראו עליה מובהקת ($P < 0.001$) של 35.5, 36.9, ק"ג במשקל הגוף, בהתאמה. משקל הפרות הממוצע בקבוצת האור האדום גם כן עלה באופן מובהק ($P < 0.05$), עליה של 10.6 ק"ג במשקל הגוף, אך העלייה במשקל הייתה מתונה יותר באופן משמעותי יחסית לקבוצות האור הלבן והאור הטבעי.



איור 4: משקל גוף (ממוצע \pm ש.ת) של פרות מקבוצת האור הלבן ($N = 63$), האור האדום ($N = 65$), וקבוצת האור הטבעי ($N = 61$) שנמדדה לאורך תקופת הניסוי.

4. מצב גופני

דרוג המצב הגופני (scale 1-5) של פרות הניסוי נמדד בתחילת הניסוי ובסופו. דרוג המצב הגופני של הפרות בקבוצת האור הלבן בתקופה שאחרי המניפולציה היה גבוה באופן מובהק ($P < 0.001$) יחסית לדרוג שלהן לפני המניפולציה (2.48 ± 0.06 , 2.14 ± 0.05 , בממוצע, בהתאמה). דרוג המצב הגופני של הפרות בקבוצת האור האדום בתקופה שאחרי המניפולציה לא היה שונה ($P = 0.67$) יחסית לדרוג שלהן לפני המניפולציה (2.49 ± 0.16 , 2.47 ± 0.10 , בממוצע, בהתאמה). בקבוצת האור הטבעי דרוג המצב הגופני של הפרות בתקופה שאחרי

המניפולציה לא היה שונה ($P = 0.84$) יחסית לדרוג שלהן לפני המניפולציה (2.49 ± 0.16 , 2.47 ± 0.10 , בממוצע, בהתאמה).

5. פעילות

פעילות הפרות (מספר צעדים ביממה) נמדדה בכל יום באמצעות מד צעדים (חברת צח"מ אפיקים). מספר הצעדים ביממה של הפרות בקבוצת האור הלבן בתקופה שאחרי המניפולציה היה גבוה באופן מובהק ($P < 0.05$) יחסית למספר הצעדים שלהן ביממה לפני המניפולציה (135 ± 4.7 , 122 ± 4.9 , בממוצע, בהתאמה). מספר הצעדים ביממה של הפרות בקבוצת האור הטבעי בתקופה שאחרי המניפולציה היה גבוה באופן מובהק ($P < 0.05$) יחסית למספר הצעדים שלהן ביממה לפני המניפולציה (203 ± 9.3 , 187 ± 10.7 , בממוצע, בהתאמה). לעומת קבוצות האור הלבן והאור הטבעי מספר הצעדים ביממה של הפרות בקבוצת האור האדום בתקופה שאחרי המניפולציה לא היה שונה ($P = 0.72$) יחסית לדרוג שלהן לפני המניפולציה (167 ± 5.1 , 165 ± 5.8 , בממוצע, בהתאמה).

6. הרכב החלב

א. **שומן:** אחוז השומן של הפרות בקבוצת האור הלבן בתקופה שאחרי המניפולציה היה נמוך משמעותית ($P = 0.07$) יחסית לאחוז השומן לפני המניפולציה (4.01 ± 0.15 , 4.47 ± 0.18 , בממוצע, בהתאמה). אחוז השומן של הפרות בקבוצת האור האדום בתקופה שאחרי המניפולציה לא היה שונה ($P = 0.12$) יחסית לאחוז השומן לפני המניפולציה (4.56 ± 0.21 , 4.73 ± 0.18 , בממוצע, בהתאמה). אחוז השומן של הפרות בקבוצת האור הטבעי בתקופה שאחרי המניפולציה לא היה שונה ($P = 0.18$) יחסית לאחוז השומן לפני המניפולציה (4.36 ± 0.11 , 4.20 ± 0.15 , בממוצע, בהתאמה).

ב. **חלבון:** אחוז החלבון של הפרות בקבוצת האור הלבן בתקופה שאחרי המניפולציה היה גבוה ($P = 0.04$) יחסית לאחוז החלבון לפני המניפולציה (3.61 ± 0.08 , 3.37 ± 0.07 , בממוצע, בהתאמה). אחוז החלבון של הפרות בקבוצת האור האדום בתקופה שאחרי המניפולציה לא היה שונה ($P = 0.18$) יחסית לאחוז החלבון לפני המניפולציה (3.60 ± 0.07 , 3.46 ± 0.09 , בממוצע, בהתאמה). אחוז החלבון של הפרות בקבוצת האור הטבעי בתקופה שאחרי המניפולציה היה גבוה ($P < 0.05$) יחסית לאחוז החלבון לפני המניפולציה (3.81 ± 0.12 , 3.57 ± 0.08 , בממוצע, בהתאמה).

ג. **לקטוז:** אחוז הלקטוז של הפרות בקבוצת האור הלבן בתקופה שאחרי המניפולציה היה נמוך ($P < 0.05$) יחסית לאחוז הלקטוז לפני המניפולציה (4.99 ± 0.07 , 5.18 ± 0.09 , בממוצע, בהתאמה). אחוז הלקטוז של הפרות בקבוצת האור האדום בתקופה שאחרי המניפולציה לא היה שונה ($P = 0.43$) יחסית לאחוז הלקטוז לפני המניפולציה

(5.12 ± 0.04 , 5.16 ± 0.03 , בממוצע, בהתאמה). אחוז הלקטוז של הפרות בקבוצת האור הטבעי בתקופה שאחרי המניפולציה היה נמוך ($P < 0.05$) יחסית לאחוז הלקטוז לפני המניפולציה (4.91 ± 0.07 , 5.20 ± 0.05 , בממוצע, בהתאמה).

ד. **סת"ס:** ערך הסת"ס ($\text{cells} \cdot 1000/\text{ml}$) של הפרות בקבוצת האור הלבן בתקופה שאחרי המניפולציה לא נבדל ($P = 0.57$) יחסית לערך לפני המניפולציה (137 ± 25.9 , 145 ± 49.5 , בממוצע, בהתאמה). ערך הסת"ס של הפרות בקבוצת האור האדום בתקופה שאחרי המניפולציה לא היה שונה ($P = 0.18$) יחסית לערך הסת"ס לפני המניפולציה (108 ± 33.5 , 79 ± 17.1 , בממוצע, בהתאמה). ערך הסת"ס של הפרות בקבוצת האור הטבעי בתקופה שאחרי המניפולציה לא נבדל ($P = 0.14$) יחסית לערך הסת"ס לפני המניפולציה (82 ± 28.8 , 129 ± 19.6 , בממוצע, בהתאמה).

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. כמות האנרגיה בחלב (מק"ל / יום):

כמות האנרגיה בחלב של הפרות בקבוצת האור הלבן בתקופה שאחרי המניפולציה ירדה באופן מובהק ($P < 0.001$) יחסית לערך לפני המניפולציה (31.9 ± 1.30 , 39.3 ± 1.65 , בממוצע, בהתאמה). בדומה לקבוצת האור הלבן גם כמות האנרגיה בחלב של קבוצת האור הטבעי בתקופה שאחרי המניפולציה ירדה באופן מובהק ($P < 0.001$) יחסית לערך לפני המניפולציה (29.9 ± 1.47 , 38.2 ± 1.05 , בממוצע, בהתאמה). לעומת קבוצות האור הלבן והטבעי, כמות האנרגיה בחלב של הפרות בקבוצת האור האדום בתקופה שאחרי המניפולציה לא השתנה באופן מובהק ($P = 0.31$) יחסית לערך לפני המניפולציה (39.1 ± 1.29 , 41.5 ± 2.05 , בממוצע, בהתאמה).

ב. יעילות ניצולת מזון לחלב (ק"ג/ק"ג ח"י):

יעילות ניצולת מזון לחלב של הפרות בקבוצת האור הלבן בתקופה שאחרי המניפולציה ירדה באופן מובהק ($P < 0.001$) יחסית לערך לפני המניפולציה (1.42 ± 0.05 , 1.52 ± 0.06 , בממוצע, בהתאמה). בדומה לקבוצת האור הלבן גם יעילות ניצולת מזון לחלב של קבוצת האור הטבעי בתקופה שאחרי המניפולציה ירדה באופן מובהק ($P < 0.001$) יחסית לערך לפני המניפולציה (1.31 ± 0.05 , 1.53 ± 0.04 , בממוצע, בהתאמה). לעומת קבוצות האור הלבן והטבעי, יעילות ניצולת מזון לחלב של הפרות בקבוצת האור האדום בתקופה שאחרי המניפולציה לא השתנה באופן מובהק ($P = 0.62$) יחסית לערך לפני המניפולציה (1.73 ± 0.05 , 1.83 ± 0.11 , בממוצע, בהתאמה).

ג. יעילות ניצולת מזון לחלב (מק"ל/ק"ג ח"י):

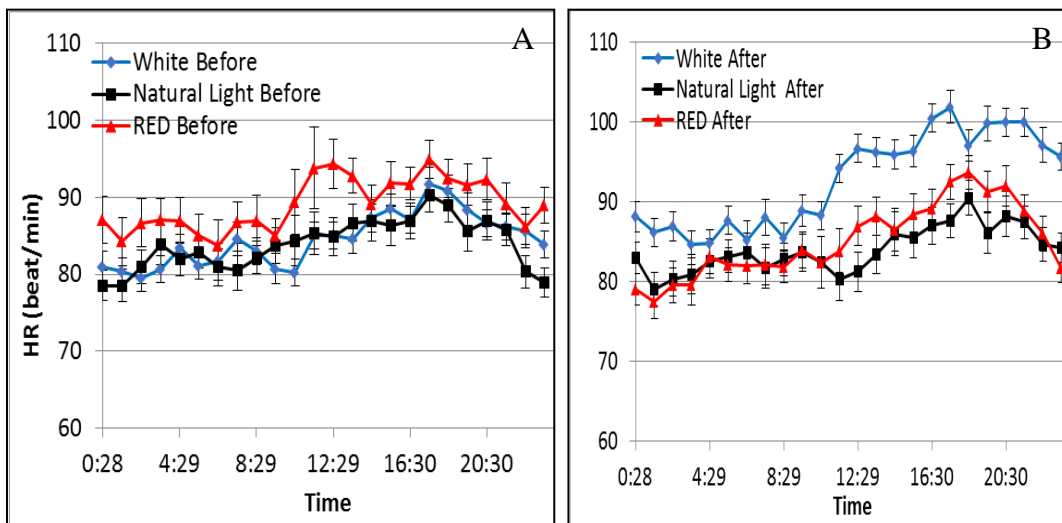
יעילות ניצולת מזון לחלב, לפי היחס שבין כמות האנרגיה בחלב לכמות צריכת ח"י (מק"ל/ק"ג ח"י) של הפרות בקבוצת האור הלבן בתקופה שאחרי המניפולציה ירדה באופן מובהק ($P < 0.001$) יחסית לערך לפני המניפולציה (1.09 ± 0.05 , 1.20 ± 0.05 , בממוצע, בהתאמה). בדומה לקבוצת האור הלבן גם יעילות ניצולת מזון לחלב (מק"ל/ק"ג ח"י) של קבוצת האור הטבעי בתקופה שאחרי המניפולציה ירדה באופן מובהק ($P < 0.001$) יחסית לערך לפני המניפולציה (1.02 ± 0.04 , 1.24 ± 0.05 , בממוצע, בהתאמה). לעומת קבוצות האור הלבן והטבעי, יעילות ניצולת מזון לחלב (מק"ל/ק"ג ח"י) של הפרות בקבוצת האור האדום בתקופה שאחרי המניפולציה לא השתנה באופן מובהק ($P = 0.68$) יחסית לערך לפני המניפולציה (1.46 ± 0.05 , 1.50 ± 0.07 , בממוצע, בהתאמה). כלומר, קבוצות האור הלבן והאור הטבעי ירדו באנרגיה בחלב ובמדי היעילות ולעומתן בקבוצת האור האדום לא השתנתה כמות האנרגיה בחלב ויעילות ניצולת המזון.

8. קצב לב

קצב הלב (ממוצע \pm ש.ת.) לאורך היממה של שלושת קבוצות הניסוי, לפני מניפולציית התאורה ולאחריה מתואר באיור 5.

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 5: 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:

תוצאות הניסוי המתוארות בדוח זה הן של השנה השנייה במסגרת תכנית המחקר הכוללת שלוש שנות ניסוי. לעומת השנה הראשונה, בשנה השנייה בגלל אילוצים משקיים של רפת יגור, לא ניתן היה לחלק את הפרות לקבוצות הניסוי בהתאם לגיל, משקל ויום בתחלובה ולכן ההתייחסות לתוצאות הן לכל קבוצה בנפרד (השוואה של ביצועים בתקופה שלפני המניפולציה לעומת התקופה שאחרי המניפולציה) ולא בין הקבוצות.

מתוצאות השנה השנייה של הניסוי עולה שההשפעה של האור המלאכותי קצר הגל בלילה התבטאה בירידה בתנובת החלב, ב % השומן בחלב, באנרגיה בחלב, בצריכת המזון ובמדדי יעילות ניצולת המזון. מאידך, הפרות בקבוצת האור הלבן עלו במשקל, במצב הגופני, ברמת הפעילות לאורך היממה ועליה מובהקת בקצב הלב. כלומר, הארה בתאורת LED בעלת אורך גל קצר בלילה גרמה לירידה משמעותית בייצור החלב וביעילות הייצור והעלתה את הוצאת האנרגיה של הפרות. 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 מדיכוי 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 עלייה 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 שהתבטאו בירידה ביעילות הייצור בקרב פרות שנחשפו לאור קצר גל. 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. הפרות מקבוצת האור האדום עלו בתנובת החלב ובמשקל הגוף, לא נמצא שינוי משמעותי בצריכת המזון, בהרכב החלב, ברמת הפעילות וביעילות הייצור. לעומת זאת נמצא שהורדת עוצמת התאורה גרמה לירידה מובהקת בקצב הלב כלומר ניתן לשער שהורדה בעוצמה גרמה לירידה בהוצאת האנרגיה של הפרות, והעליה בתנובת החלב יכולה לנבוע מירידה בדרישות לקיום ועליה בניתוב האנרגיה לייצור חלב. יש לציין שלדעת הצוות 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), 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 שהמטטר היעיל ביותר מבחינת ביצועים ויעילות ייצור הייתה הקבוצה במטטר אור אדום. ההשפעה השלילית ביותר של מטטר 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.

היות והניסוי נערך ברפת מסחרית, היו מגבלות שונות כגון הכנסה והוצאה של פרות לחלקות הניסוי (בעיקר בקבוצת האור הטבעי), חוסר אפשרות לחלוקת הסכנות ניסוי בהתאם לשלב בתחלובה, גיל, משקל וכו' ובהיבט של מדידת צריכת מזון שהייתה ברמה הקבוצתית. יחד עם זאת ניתן עדיין להבחין בהשפעות/מגמות שחזרו על עצמן יחסית לשנת הניסוי הקודמת. בשנת הניסוי השלישית אנו נבחן את אותם מטטרי תאורה אך ברפת פרטנית בעלת מכשור ייעודי לניטור צריכת מזון פרטנית, התנהגות אכילה וכו', נבחן את השפעות התאורה המלאכותית על יעילות ייצור ברמה האינדיבידואלית ונשווה להשפעות שנצפו בתנאים מסחריים.

ספרות מצוטטת

1. 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.
2. Dahl, G.E., B.A. Buchanan, and H.A. Tucker. 2000. Photoperiodic effects on dairy cattle: A review. *J.Dairy Sci.* 83:885-89.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Reiter RJ. 1993. the melatonin rhythm: both a clock and a calendar. *Experientia.* 49(8): 654-664.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.

