

"הצד האפל של האור": זיהום אור והשפעתו על ביצועים ויעילות ייצור של פרות ובני בקר

**עד כמה משפיע צמצום האור
בלילות והאם להארת הרפת בלילה
השפעה על ביצועי הפרות?
ד"ר אביב אשר במאמר על תופעה
שלא ממש מוכרת, אך בהחלט
קיימת •**



ד"ר אביב אשר

מר"פ צפון | מכון המחקר מיגל, החברה לפיתוח הגליל

החשיכה בשעות הלילה, היא חלק טבעי ובלתי נפרד ממעגל החיים של בני האדם, בעלי החיים והצמחייה בטבע. עם זאת, ככל שהאנושות מתקדמת, הולכת החשיכה ומצטמצמת, בגלל השימוש הנרחב והבזבזני בתאורה. בעקבות המידע המדעי המצטבר בשנים האחרונות על ההשפעות מרחיקות לכת של תאורה מלאכותית קצרת גל על בריאות האדם, הגדיר לאחרונה ארגון הרופאים האמריקאי את המונח "זיהום אור", שקבע שאור מלאכותי בלילה מזיק לבני אדם, מאחר והוא פוגע בייצור הנוירו-הורמון מלטונין ומשבש ריתמוס (קצב) ביולוגי. לאור זאת זכה המונח "זיהום אור" להכרה בינלאומית ומעורר עניין רב בהקשר של השפעותיו על בריאות בני האדם.

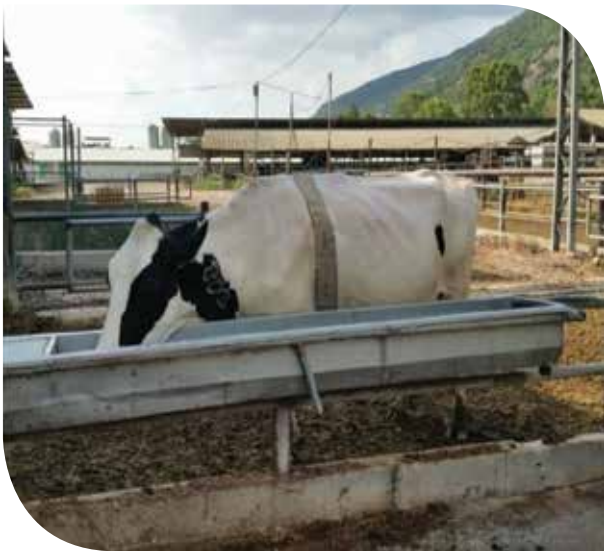
בעשור האחרון מהנדסים, יצרני תאורה, ואנשי הגנת הסביבה גרמו להתיעלות האנרגטית באמצעות תאורה חסכונית, הממירה יותר אנרגיה חשמלית לאור ופחות לחום, תוך חסכון באנרגיה חשמלית והפחתה בפליטת פחמן דו חמצני לאוויר. אמנם, התאורה חסכונית מבחינת צריכת חשמל (תאורת LED, ופלורסנט קומפקטית) אך ספקטרום האור הנפלט מתאורה זו הוא בעיקר של אורכי גל קצרים (490-460 ננומטר) המדכאת כמעט באופן מוחלט את ייצור המלטונין בבלוטה האצטרובלית. למלטונין חשיבות בהסדרת השעון הביולוגי, במערכת החיסון, בוויסות השינה, בבקרת וויסות החום, בבקרה על מערכת הרבייה ובהסדרת העונתיות. מחקרים בבני אדם ובעכברים הראו כי הירידה בייצור המלטונין, מושפעת מאורך הגל, מהעוצמה וממשך החשיפה לאור בשעות הלילה.



סככה מוארת בתאורת LED אדומה



סככה מוארת בתאורת LED לבן



פרה עם חגורת קצב לב ברפת יגור

בירידה ברמתם של הורמון הגדילה ואינסולין, הורמונים החשובים בהתפתחות ומטבוליזם תקין של הגוף. מחקרים רבים מעידים על כך שפגיעה במחזוריות השעון הביולוגי יכולה לגרום נזקים מידיים כגון פגיעה באורך ובאיכות השינה והחלשת המערכת החיסונית. נזקים ארוכי טווח עלולים להתבטא בתחלואה כרונית כתוצאה מרגישות לזיהומים, השמנה, ואף לגרום לגידולים סרטניים כגון סרטן השד וסרטן המעי הגס בבני אדם.

יש להבדיל בין מחקרים העוסקים בהשפעת תאורה מלאכותית לבין מחקרים העוסקים בנושא השפעת פוטו-פריודה במע"ג: עיקר המחקר בעשורים האחרונים עסק בפוטו-פריודה (השפעת העונתיות), והתמקד בהשפעת אורך היום ושינוי באורך היום על פרמטרים יצרניים. התקבל שמשטר תאורה של יום ארוך (16 שעות אור, 8 שעות חושך) בתחילת התחלובה הגביר את תנובת החלב ב-2-3 ק"ג/יום, כשהאפקט החיובי נמשך לאורך כל התחלובה. השפעה דומה התקבלה בכבשים ובעיזים. כמו כן, נמצא שפרות שנחשפו ליום קצר בתקופת היובש ייצרו בתחלובה העוקבת בממוצע 2.3 ק"ג/ליום יותר חלב מאלו אשר נחשפו ליום ארוך. נראה שלמשך שעות החושך משמעות יצרנית בפרות חלב; פחות ידוע על השפעת סוג התאורה, אורך הגל ועוצמתה על ביצועים אלו.

בשנה שעברה (2017) ביצענו ניסוי ברפת יגור אשר בא לבחון את השפעת תאורת LED לבן בהשוואה לפרות שנחשפות לתאורת LED אדום ולפרות שנחשפות לחושך בשעות הלילה. מתוצאות השנה הראשונה של הניסוי עולה שקבוצת הפרות שנחשפו לאור הלבן ייצרו בממוצע 3.6 ק"ג חלב/ליום פחות מקבוצת החושך ו-2.5 ק"ג חלב/ליום בממוצע פחות מאשר קבוצת האור האדום.

כמו כן, חשיפה של פרות לתאורת LED לבן גרמה לירידה באחוז השומן (3.98% לפני הארה ו-3.88% אחרי הארה) ואחוז השומן בחלב של קבוצת הפרות שנחשפה לחושך עלה בעקבות ההחשכה (3.98% לפני הארה ו-4.49% אחרי הארה), בקבוצת האור האדום לא היה שינוי באחוז השומן בחלב. בקבוצת האור הלבן, כמות התאים הסומטיים בחלב עלתה

לעומת הידע הקיים על השפעות התאורה המלאכותית על בני אדם, קיים מחסור משמעותי בידע הנוגע להשפעות התאורה החסכונית קצרת הגל (תאורת LED בעיקר) על מערכות פיזיולוגיות שונות בחיות משק. מידע ביולוגי מסוג זה יכול לחולל שינוי במדיניות התאורה ברפת, הנוגע למשך הזמן, עוצמת וסוג התאורה.

רוב הרפתות בארץ מוארות דרך קבע בשעות הלילה, ולאחרונה מתגברת הבנייה של סככות חדשות, בהן מותקנת בשפע, תאורת LED הפולטת אור באורך גל קצר במהלך הלילה... האם אנו עלולים לפגוע בביצועי הפרות? האם קיים ערך מקסימאלי לעצמת אור בשעות הלילה (נמדד ביחידות LUX) אשר מעליו נפגעים הביצועים? ומה תרומתו של אור קצר גל (דומיננטי בתאורת LED) בפגיעה ביעילות הייצור של הבקר?

מתוך סקר שערכנו במספר רב של רפתות ודירים בארץ עולה שהסיבות להארה של בע"ח בשעות הלילה (לאחר סיום חליבת ערב) נובע בעיקר מהחשיבה שיותר אור משמעו שהפרות יאכלו יותר ולכן יניבו יותר חלב, כמו כן יש צורך בהארה בלילה בכדי שהפרות יראו את המזון (תפישה שגויה היות ולפרות ראיית לילה מצוינת), זיהוי אירועים חריגים בסככות, שיקולי בטחון (מניעת גניבות בקר) והרגל מן העבר. השאלה הנשאלת היא מהי השפעת תאורת ה-LED בלילה ומהן ההשלכות על ביצועי הפרות, בריאותן, ורווחתן. הבה ונרחיב: בבע"ח שונים (כולל האדם) מתרחשות פעילויות ביולוגיות תלויות זמן בעלות מחזוריות יומית בכל הרמות - החל מהאורגניזם השלם ועד לרמה המולקולרית, 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. מבחינה אבולוציונית, המלטונין היא מולקולה עתיקה מאד באורגניזמים, ובעלת תפקוד מגוון, למשל כחומר נוגד חמצון יעיל ביותר (בעולם החי והצומח). בעשור האחרון מתרבות ההוכחות לכך שמלטונין משפיע באופן ישיר על תגובת המערכת החיסונית לפתוגנים, הן באמצעות גיוס תאי דם לבנים והן ע"י פגיעה ישירה בחיידקים. ייצור המלטונין מגיע לשיא באמצע הלילה, והינו תהליך מאוד רגיש, כך שגם כמות קטנה של אור מלאכותי בעל אורך גל קצר (בטווח שבין 460-490 ננומטר) יכולה לשבש את ייצורו. לעומת זאת, חשוב להדגיש - תאורה בעלת אורכי גל ארוכים, בטווח שבין 620-780 ננומטר (אור אדום) אינה משבשת את ייצור המלטונין.

מהו הסיכון בחשיפה ממושכת לתאורה קצרת גל בשעות הלילה?

הבסיס לאיום הבריאותי והיצרני נעוץ בעובדה כי תאורה מלאכותית בלילה מפרה את התפקוד התקין של השעון הביולוגי, המסנכרן פעילויות ביולוגיות תלויות-זמן, בעלות מחזוריות יומית; תהליכים אלו קשורים קשר הדוק עם פעילות מערכת החיסון, חילוף חומרים, ויסות החום והוצאת אנרגיה, התפתחות עוברית, התבגרות מינית והזדקנות. בניסוי בו נבחנה השפעת התאורה המלאכותית בלילה על גורי חולדות נמצאה פגיעה בחילוף החומרים הבסיסי בגוף שהתבטאה



מדידת צריכת מזון פרטנית בתחנת המחקר נווה יער



עגלים יונקים במלונות פרטניות בניסוי השפעת תאורה מלאכותית בתקופת היניקה

מעבר לפרות הבוגרות, רוב בני הבקר הצעירים נחשפים מיד לאחר ההמלטה לאור המלאכותי קצר גל בלילה היות ורוב היונקיות בארץ מוארות. בבעלי חיים ממחלקת היונקים, השעון הביולוגי מתחיל להתפתח בשליש האחרון של ההיריון, ומגיע להבשלה ולפעילות מלאה בתקופת הגמילה מחלב. כלומר, התקופה בה חשופים העגלים לתאורה מלאכותית במהלך הלילה היא אותה תקופה בחיי העגל שבה השעון הביולוגי מצוי עדין בשלבי התפתחותו. האם התאורה המלאכותית בשעות הלילה הנפוצה ביונקיות עלולה לפגוע בביצועי היונקים? במספר ניסויים פרטניים שביצענו בשיתוף עם המחלקה לבקר לברר בתחנת המחקר נווה יער ובהנחייתו של מנהל המחלקה ד"ר אריאל שבתאי, בחנו את צריכת המזון וביצועי הגדילה של עגלים יונקים אשר שהו בלילה בתנאי חושך לעומת תנאי תאורת לילה קצרת גל (תאורת פלורסנט קומפקטית) ונמצא שהעגלים שנחשפו לאור בלילה צרכו יותר מזון באופן מובהק, אך לא גילו ביצועי גדילה טובים יותר מקבוצת החושך; כלומר, נמצא שתאורת לילה מלאכותית קצרת גל בתקופת היניקה עלולה לגרום לירידה ביעילות ניצולת המזון ועליה בהוצאת האנרגיה (נמדדה באמצעות חגורות קצב לב ומדידת צריכת החמצן של העגלים). לאחר גמילה של עגלי הניסוי מחלב, אוחדו שתי הקבוצות (עגלים שנחשפו לאור ועגלים שנחשפו לחושך בלילה) והוכנסו להמשך גידול בסככה בעלת מערכת ניטור צריכת מזון פרטנית בתחנת המחקר נווה יער. בשלב זה של הניסוי (מגמילה ועד שיווק) כל העגלים נחשפו לתנאי חושך בלילה. באופן מפתיע, עגלים שנחשפו בינקותם לאור קצר גל בלילה המשיכו בבגרותם לאכול יותר ולגדול פחות יחסית לעגלים שנחשפו לתנאים חשוכים והוצאת האנרגיה של העגלים שנחשפו לאור מלאכותי קצר גל בינקותם הייתה גבוהה באופן מובהק מהוצאת האנרגיה של העגלים שנחשפו לתנאים חשוכים בלילה גם

מדידת הוצאת האנרגיה בעגלים באמצעות מדידת קצב לב וצריכת חמצן



תוצאות המחקר מצביעות על כך שניתן לשער כי גידול עגלים יונקים ללא תאורה מלאכותית בלילה יוזיל את עלויות הגידול בכך שישפר את יעילות ניצולת המזון של העגלים במשך כל תקופת הגידול, ויפחית את עלויות צריכת החשמל של המגדל

משמעותית לאחר ההארה (205.7 לפני הארה ו 389.4 תאים * 1000 / מ"ל, אחרי הארה), לעומת קבוצות האור האדום והחושך שבהן לא נמצא שינוי מובהק בכמות התאים הסומטיים בחלב. בהיבט של יעילות ניצולת מזון (תנובת חלב/ צריכת ח"י, האנרגיה בחלב/ צריכת ח"י), קבוצת האור הלבן ירדה ביעילות בעקבות ההארה וקבוצת החושך עלתה ביעילות לאחר ההחשכה. כמו כן נמצא שחשיפה של הפרות לאור הלבן קצר גל גרמה לעליה בקצב הלב לעומת ירידה בקצב הלב של פרות שעברו ממשטר מואר למשטר חושך, תוצאה זו 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 לעליה בהוצאת האנרגיה שהתבטאה בקצב לב גבוה יותר. עליה בהוצאת האנרגיה משמעה שיותר אנרגיה נותבה לדרישות לקיום ופחות אנרגיה נותבה למסלול ייצור החלב שהתבטא בירידה ביעילות הייצור בקרב פרות שנחשפו לאור קצר גל בלילה.

כלומר, תאורה מלאכותית קצרת גל פוגעת גם ברווחיות של המגדל (הפרות והעגלים היו פחות יעילים מבחינת הייצור) וגם ברווחת החיה עצמה!!!

לסיכום

בעת בניית סככה חדשה, או בעת שדרוג מערך התאורה בסככות, יש להשקיע מחשבה באשר לעוצמה, סוג ומשך האור בשעות הלילה. מחקרים שבדקו את השפעת עוצמת האור על פרות הראו שתאורה מתחת ל-LUX 40 אינה פוגעת בייצור המלטונין ואינה משפיעה על ביצועי הבקר. נראה שמעבר לרמה המינימאלית הדרושה לטובת בטיחות העובדים וזיהוי אירועים חריגים, אין צורך ואף מזיק להפריז בתאורה! ▲

תודה לד"ר רן סלומון (מכון תערוכות "אמבר") על תרומתו לעריכת הכתבה. תודה לד"ר אריאל שבתאי וד"ר מורי צינדר מהמחלקה לבקר, נווה יער, מנהל המחקר החקלאי, על הייעוץ, ההדרכה וליווי הניסויים. כמו כן, תודה למנהל רפת יגור מר אלן פדרסון ולצוות הרפת על העזרה בתפעול הניסוי ובמעקב השוטף.

בתקופת היניקה וגם בחיים הבוגרים של העגל (בתקופה של בין הגמילה לשיווק). כלומר הפגיעה בבשלות השעון הביולוגי בגיל הינקות באה לידי ביטוי גם בחיי הבוגרים של בעל החיים. תוצאה ייחודית זו, מדאיגה במיוחד לאור החשיפה של תינוקות וילדים כבר מגיל מאוד צעיר למכשירים רבים הפולטים אור קצר גל (מסכי הפלאפון, טלוויזיות, טבלטים וכו') ולתאורה הביתית קצרת הגל המכילה ברובה את תאורת LED. בהיבט החקלאי, תוצאות המחקר מצביעות על כך שניתן לשער כי גידול עגלים יונקים ללא תאורה מלאכותית בלילה יזיל את עלויות הגידול בכך שישפר את יעילות ניצולת המזון של העגלים במשך כל תקופת הגידול, ויפחית את עלויות צריכת החשמל של המגדל. מעבר לכך, כפי שהוכח בניסויים הנ"ל, התאורה חסכונית קצרת גל (תאורת LED ופלורסנט קומפקטית) שיבשה את המקצב הביולוגי של הפרות והעגלים שהיו חשופים לאור (שיבוש שנראה בברור בקצב הלב לאורך היממה של החיה) כלומר זו הוכחה לכך שחשיפה של פרות ועגלים לתאורה לילית קצרת הגל פוגעת במקצבים הביולוגיים של הבקר ולכן עונה להגדרה של "זיהום אור" והמשמעות היא פגיעה באופן חד משמעי ברווחת החיה.