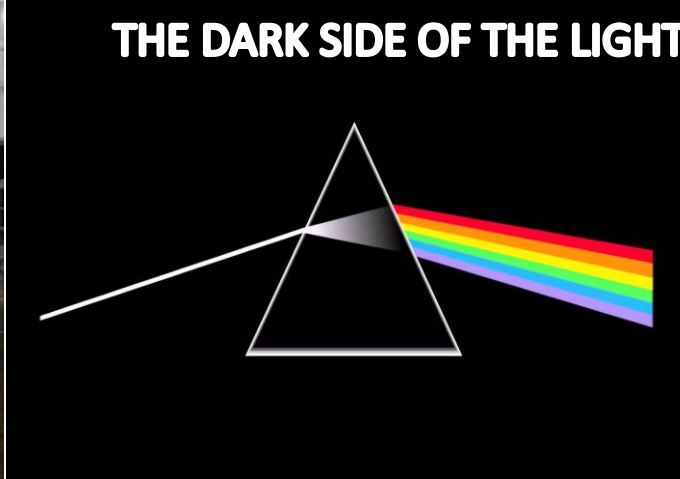




"הצד האפל של האור": השפעת תאורה מלאכותית מודרנית על ביצועים ויעילות ייצור חלב של מעלי גירה

אביב אשר

מחקר ופיתוח צפון

מכון מדעי למחקר ופיתוח יישומי בגליל (מיג"ל)

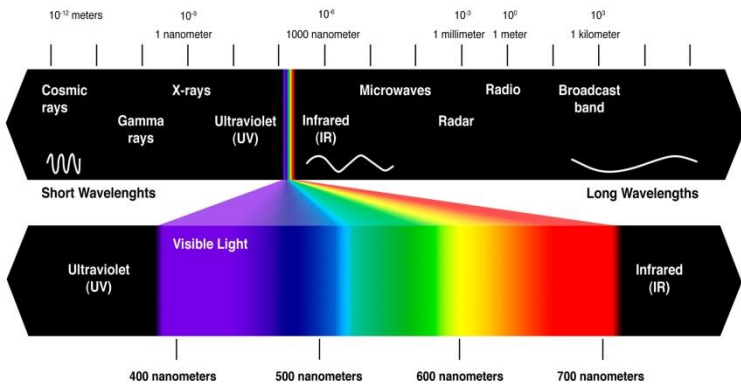


אור



האור הוא קרינה אלקטרומגנטית בעלת אורך גל הנראה לעין, הכולל את כל קרינה אלקטרומגנטית בטווח שבין התת-אדום לעל-סגול.

שלושת המאפיינים העיקריים של האור הם בהירות (או אמפליטודה, משרעת), צבע (או תדירות) וקיטוב (זווית התנודות).



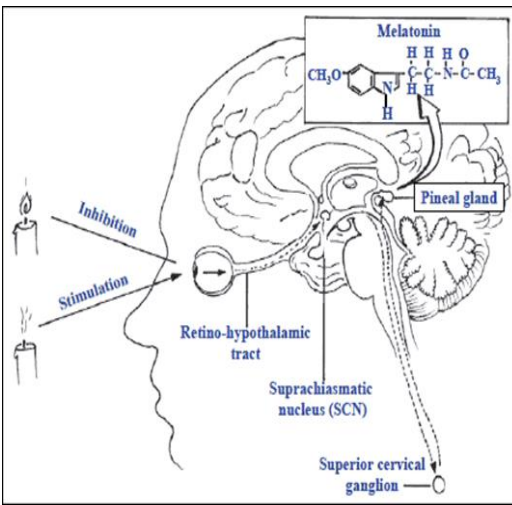
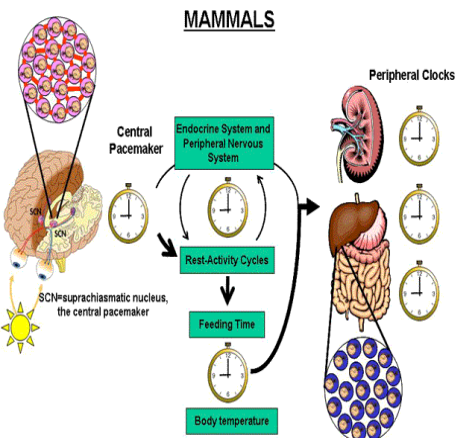
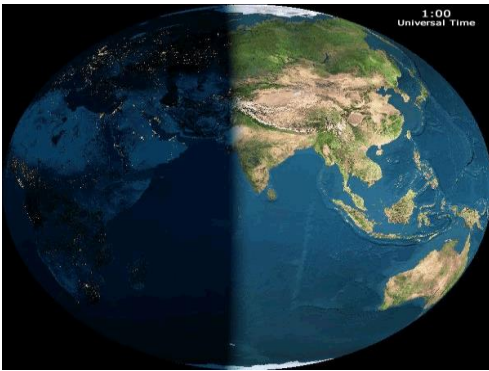
אורכי הגל השונים מתפרשים על ידי המוח האנושי כצבעים, מאדום באורכי הגל הארוכים ביותר (התדירות הנמוכה ביותר) ועד סגול באורכי הגל הקצרים ביותר (התדירות הגבוהה ביותר).

אורכי הגל הנראים בעין האדם: התחום בספקטרום, בין אורכי הגל של 400 ננומטרים ו-800 ננומטרים.

אור השמש ובמיוחד רכיב האור הכחול שבו הינו **סמן הזמן החשוב ביותר לסנכרון השעון הביולוגי באדם**.

צבע	אורך גל (nm)
סגול	390-455
כחול	455-492
ירוק	492-577
צהוב	577-597
כתום	597-622
אדום	622-780

השעון הביולוגי



• בבעלי חיים שונים (כולל האדם) מתרחשות פעילויות ביולוגיות תלויות זמן בעלות מחזוריות יומית בכל הרמות מהאורגניזם השלם ועד לרמה המולקולארית.

• קוצב הזמן החיצוני TIME KEEPER המכוונן מחזוריות הוא סיבוב כדור הארץ על צירו, כלומר אור ביום חושך בלילה.

• קוצב זמן פנימי = השעון הביולוגי - משמש את האורגניזם לצורך ניהול המקצבים הביולוגיים. ביונקים התפתחות השעון הביולוגי מתרחשת בטרמיסטר האחרון של ההיריון ובשבועות הראשונים לאחר ההמלטה.

• השעון המרכזי נמצא בבלוטת האצטרובל אשר מסונכרנת עם מחזורי אור וחושך. הבלוטה מייצרת ומפרישה את ההורמון **מלטונין** ("הורמון החושך").

• ביונקים המלטונין ממלא פונקציות שונות בגוף כגון:

✓ ויסות מחזורי השינה והעירות.

✓ נוגד חמצון רב-עוצמה.

✓ בעל השפעה ישירה על יכולת התגובה של מערכת החיסון.

✓ בעל השפעה ישירה על מערכת הרבייה.

• ייצור המלטונין מגיע לשיא באמצע הלילה אך כמות קטנה של אור מלאכותי קצר גל יכולה לשבש אותו (Seron-Ferre, 2001).

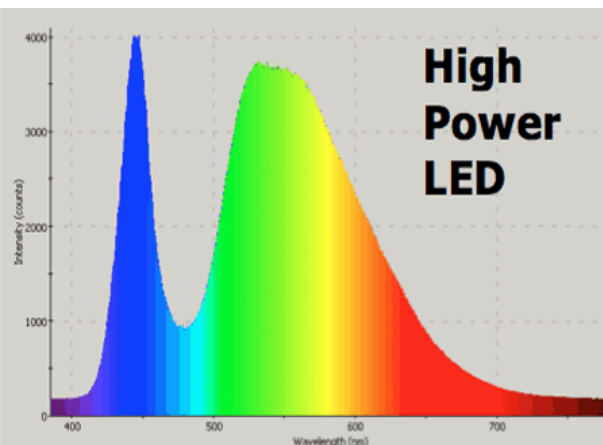
תאורה מלאכותית



An incandescent light bulb produces light by heating a filament wire to a high temperature until it glows.

A CFL contains a mixture of argon and mercury gases that produces invisible ultraviolet light (UV) when the gas is excited by electricity.

An LED contains electrons that recombine with electron holes, releasing energy in the form of photons and illuminating the bulb.



סוגי תאורה מלאכותית :

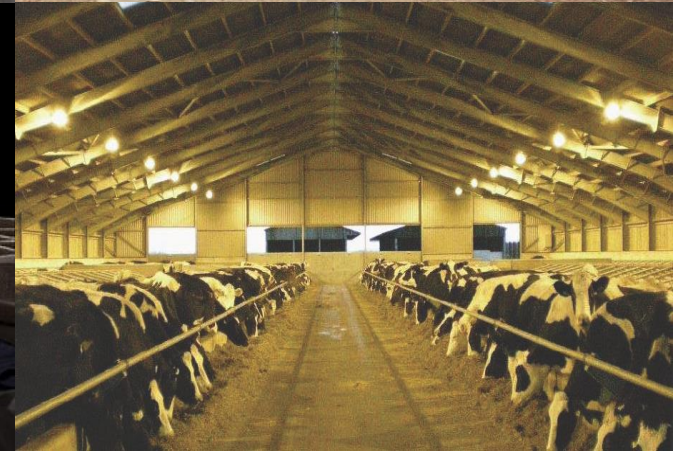
- נורות להט (ליבון)
- נורות פריקה (פלורוסנט, ניאון, קסנון...)
- נורות מוליכות למחצה מסוג דיודות (LED)

• נורות הפלורוסנט וה LED פולטות כמות גדולה יותר של אור כחול (אורך גל קצר) יחסית ללהט.

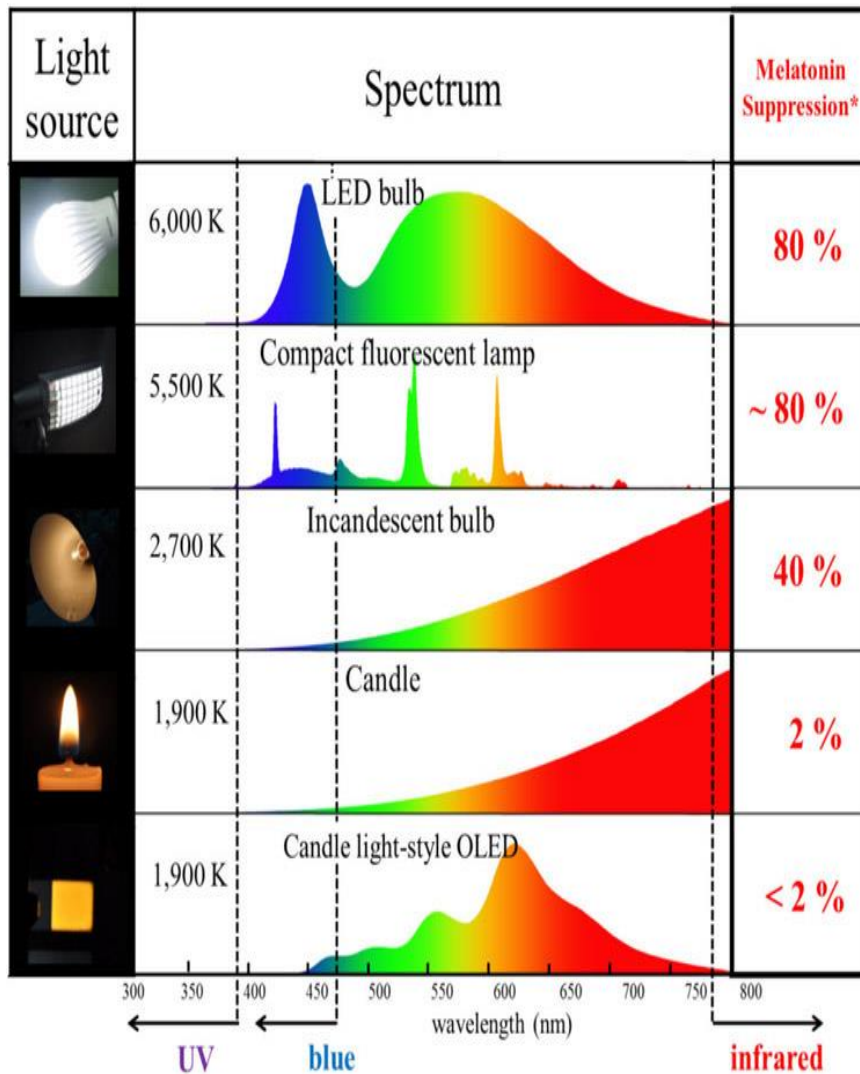
צבע	אורך גל (nm)
סגול	390-455
כחול	455-492
ירוק	492-577
צהוב	577-597
כתום	597-622
אדום	622-780

זיהום אור:

באופן כללי, זיהום אור הוא סך ההשפעות השליליות של תאורה מלאכותית על האדם והסביבה.



חשיפה מוגברת לאור קצר גל

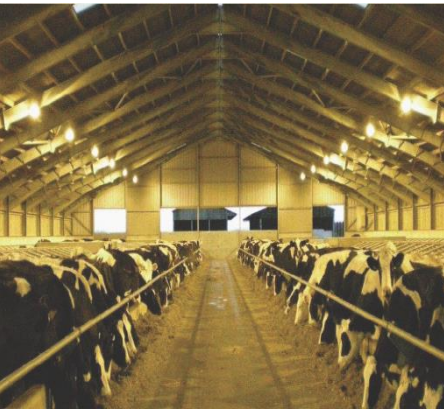


השפעות בריאותיות של תאורה מלאכותית בלילה - זיהום אור



- ארגון הרופאים האמריקאי (AMA) קיבל החלטה ביוני 2012 שאור בלילה הוא **גורם מזנה** לבני אדם וזאת מאחר והוא פוגע בייצור המלטונין ומשבש ריתמוסים ביולוגיים.
- מחקרים רבים בנושא תאורה מלאכותית בלילה בשנים האחרונות מצביעים על כך שלאור מלאכותי בלילה יש השפעה על בריאותינו:
 1. לפגיעה במשך השינה ובאיכות השינה (Cajochen et al., 1998).
 2. פוגע בחילוף החומרים הבסיסי בגוף וגורם לעלייה ברמת הורמוני הסטרס ומנגד מוריד את רמתם של הורמונים כגון: מלטונין, הורמון הגדילה, אינסולין ועוד (Weeb, 1995).
 3. גורמת להשמנת יתר, מעלה את הסיכון לסכרת מסוג 2 ואף מגבירה את הטולרנטיות לאינסולין בקרב סכרתיים (Canpolat et al., 2001).
 4. פגיעה במערכת החיסון המתבטאת בהחלשות התגובה של המערכת החיסונית (Carta et al., 2018).
 5. מעלה את הסיכון לסרטן השד וסרטן הערמונית (Schwimmer et al., 2014).

השפעות פוטופריודה על בקר וצאן



- טווח אורכי הגל של בקר: 415 – 620 ננומטר. עצימות התאורה לילית שהשפיעה על מדדים פיזיולוגיים בבקר הוא מ 40 לוקס ומעלה והמינימום הוא 5 לוקס (Phillips and Lomas, 2001).

מחקרים רבים בנושא אורך היום ושינוי באורך היום:

- נמצא שמשטר יום ארוך (8D / 16L) גרם לעליה בצריכת מזון ובתנובת חלב של פרות מניבות לעומת משטר יום קצר (Dahl et al., 2000).



- עגלות ועגלים שנחשפו למשטר יום ארוך הראו ביצועי גדילה וצריכת מזון גבוהים יותר מיום קצר (Peters et al., 1980).

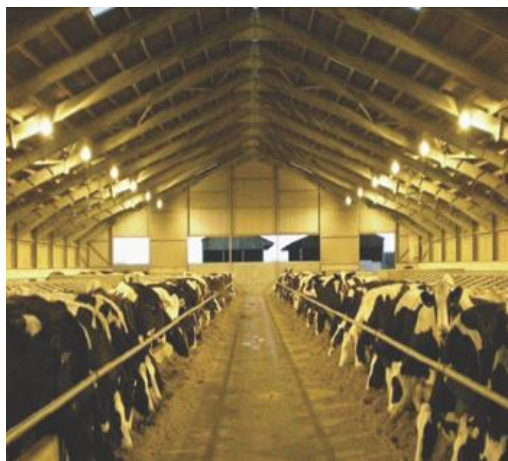
- עזים מניבות שנחשפו למשטר יום ארוך הניבו 0.5 ק"ג יותר חלב מעזים שנחשפו למשטר טבעי בתקופת הסתיו (16D / 8L) (Flores et al., 2001).

- טלאים בפיתום שנחשפו למשטר יום ארוך גדלו יותר מטלאים שנחשפו למשטר יום קצר (Slyter et al., 1997).

- הרוב הגדול של מחקרים שעוסקים בפוטופריודה במעלי גירה עוסקים בהבדלים בין יום ארוך לקצר אך לא בהשפעת תאורה מלאכותית בלילה, בדגש על תאורה מלאכותית מודרנית (LED, Compact Fluorescent).



שימוש בתאורה מלאכותית מודרנית בחיות משק



השפעת תאורה מלאכותית בלילה על יעלות ניצולת מזון ותגובת חלב ורכיביו של עיזים גבוהות תגובה

*א. אשר, ח. ליבוביץ, א. שבתאי, מ. כהן-צינדר, י. דגן



בע"ח וממשק

בע"ח:

- מספר בע"ח: 24 עיזים חולבות

- גזע זנן ואלפיני

- תחלובה: 2.44

- ימים בתחלובה: 25 יום

- משקל גוף: 62.5 ק"ג

- תנובת חלב יומית ממוצעת: 3.41

ק"ג/יום

- שעות חליבה: 6:00, 18:00

- הזנה: בליל + כפתיות

- שיכון: סככות, גודל 4 * 5.



מבנה הניסוי

קבוצה מרכזית – 70 עזים,
תנאי חושך בלילה

קבוצת חושך
12 עזים

קבוצת אור
12 עזים

תנאי חושך לכל העזים: שבוע 1-4 (30 יום)

תקופת מדידה בתנאי חושך

מניפולציית תאורה: הארת קבוצת ניסוי
(שבוע 9)

תקופת מדידה מניפולציית אור

מדידת ביצועים, יעילות
וקצב לב לקבוצה מוארת
וחשוכה (שבוע 9 – 16)

בע"ח וממשק



נתוני תאורה :

קבוצת אור (N=12):

סוג תאורה: CF

אורך גל: 498 nm

עוצמה: Lux 220

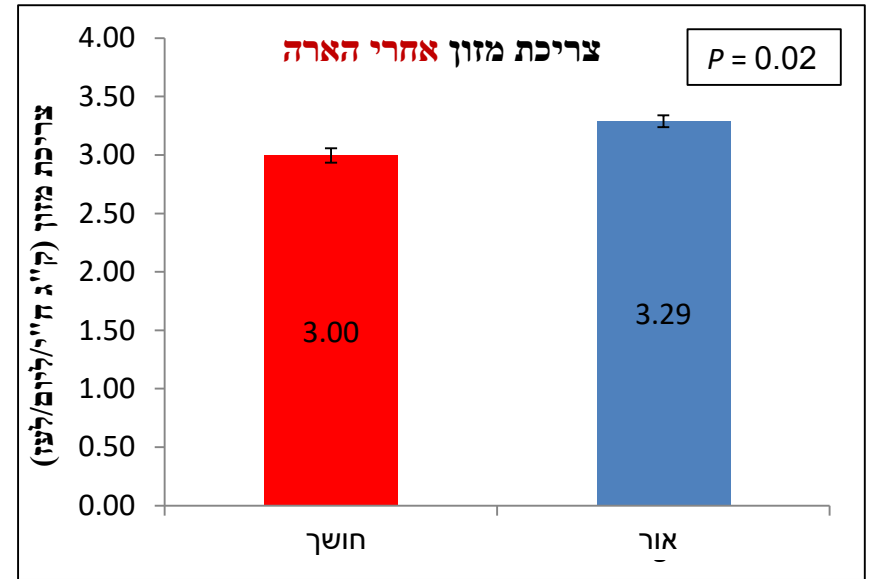
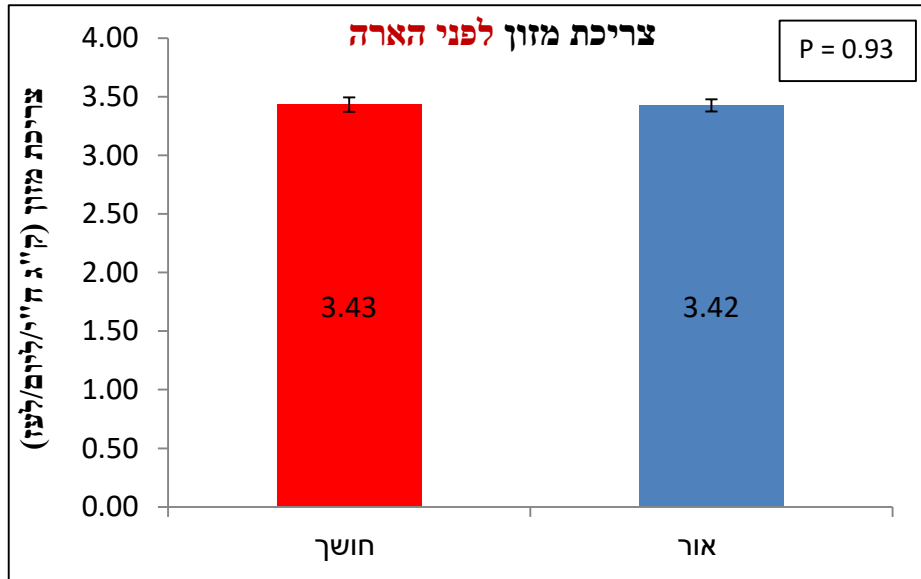
קבוצת חושך (N=12):

סוג תאורה: טבעית

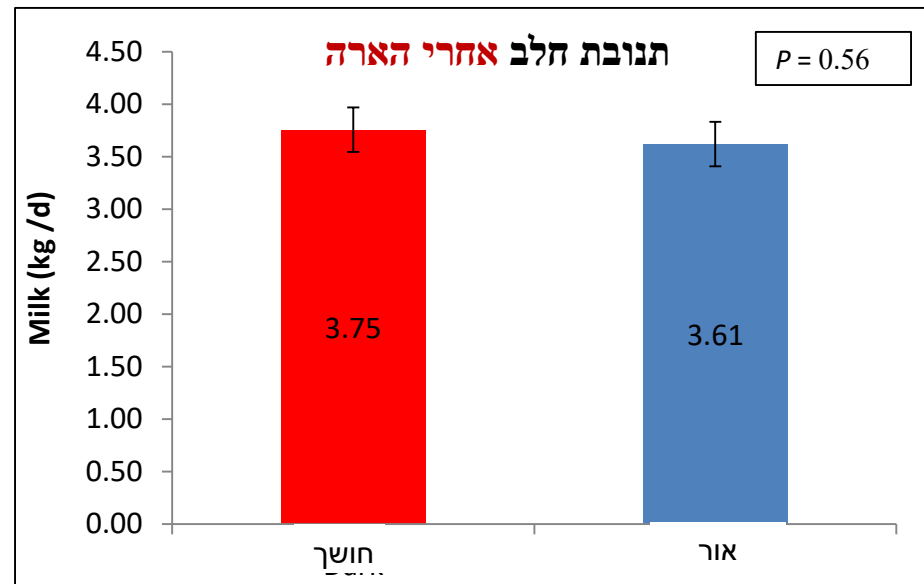
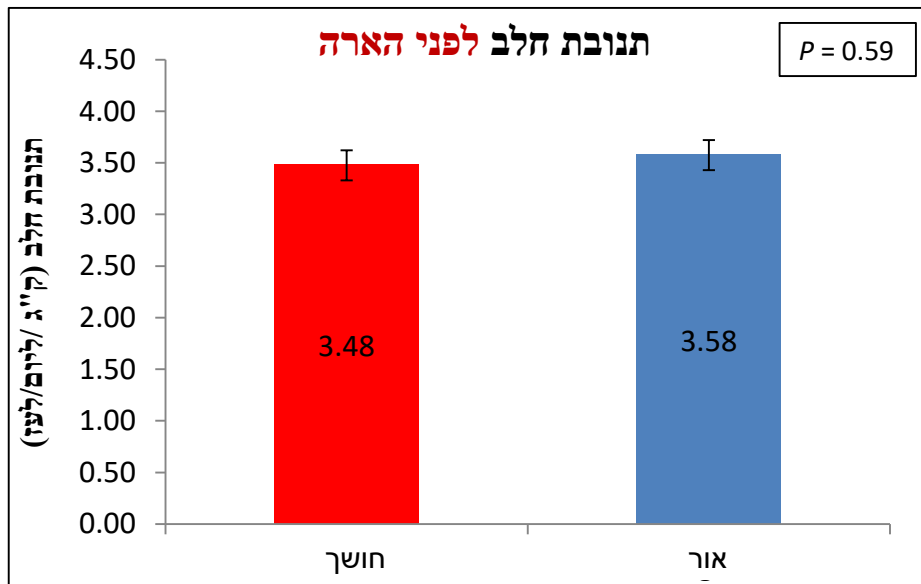
אורך גל: 680 nm

עוצמה: Lux 0.01

צריכת מזון

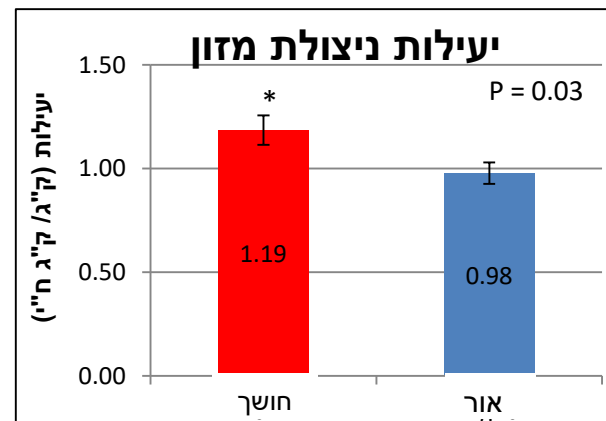
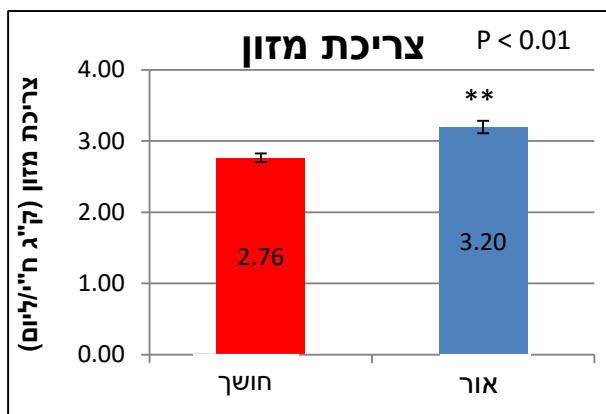
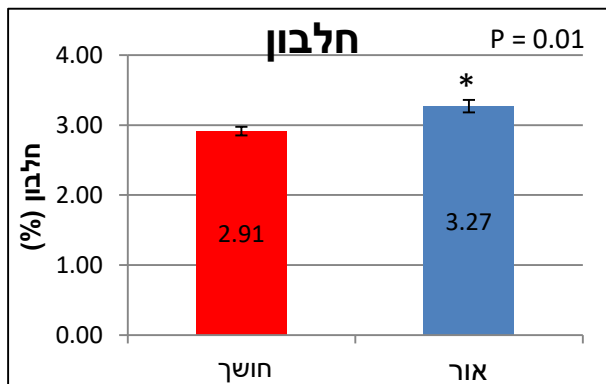


תנובת חלב



מרכיבי החלב, ביצועים, יעילות

לפני הדלקת אור



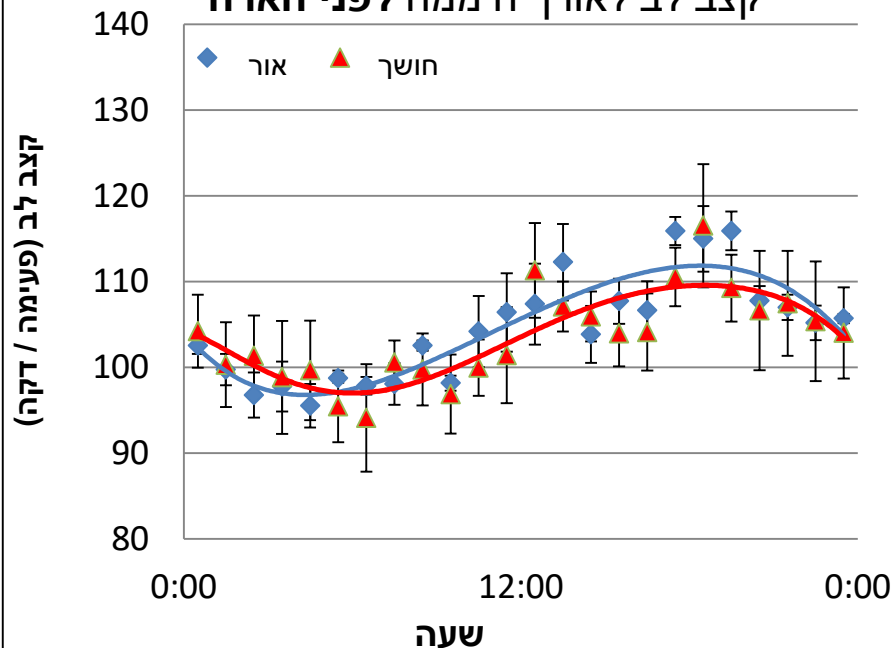
מובהקות	ש.ת	חושך	אור	מדד
0.91	0.22	3.61	3.58	תנובת חלב (ק"ג / יום)
0.49	0.10	2.75	2.85	צריכת מזון (ק"ג ח"י / יום)
0.74	2.89	61.1	62.0	משקל גוף (ק"ג)
0.63	0.10	1.34	1.27	יעילות צריכת מזון (ק"ג / ק"ג ח"י)
0.53	0.30	4.17	4.38	שומן (%)
0.12	0.07	3.41	3.59	חלבון (%)
0.34	0.09	4.85	4.76	לקטוז (%)
0.52	541	1,845	1,693	סת"ס (תאים *1000 / מ"ל)
0.94	0.25	3.00	3.01	אנרגיה בחלב (מק"ל / יום)
0.82	0.12	1.13	1.08	יעילות צריכת מזון (מק"ל / ק"ג ח"י)

אחרי הדלקת אור

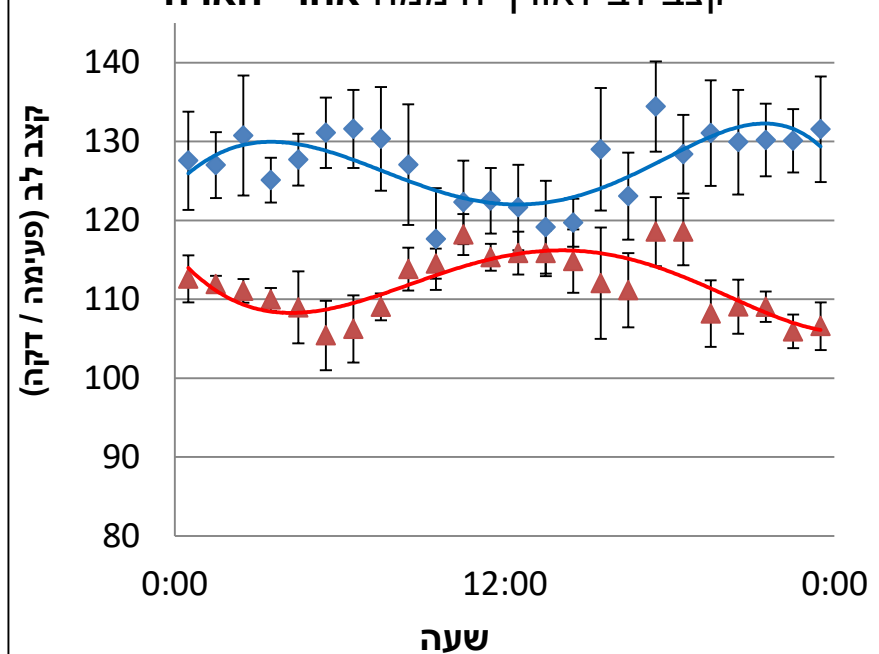
מובהקות	ש.ת	חושך	אור	מדד
0.63	0.21	3.26	3.13	תנובת חלב (ק"ג / יום)
0.00	0.07	2.76	3.20	צריכת מזון (ק"ג ח"י / יום)
0.85	3.05	65.2	64.3	משקל גוף (ק"ג)
0.03	0.06	1.19	0.98	יעילות צריכת מזון (ק"ג / ק"ג ח"י)
0.66	0.24	3.98	4.14	שומן (%)
0.01	0.08	2.91	3.27	חלבון (%)
0.24	0.07	4.58	4.71	לקטוז (%)
0.76	469	1,847	1,532	סת"ס (תאים *1000 / מ"ל)
0.76	0.14	2.24	2.31	אנרגיה בחלב (מק"ל / יום)
0.23	0.04	0.81	0.72	יעילות צריכת מזון (מק"ל / ק"ג ח"י)

קצב לב

קצב לב לאורך היממה לפני הארה

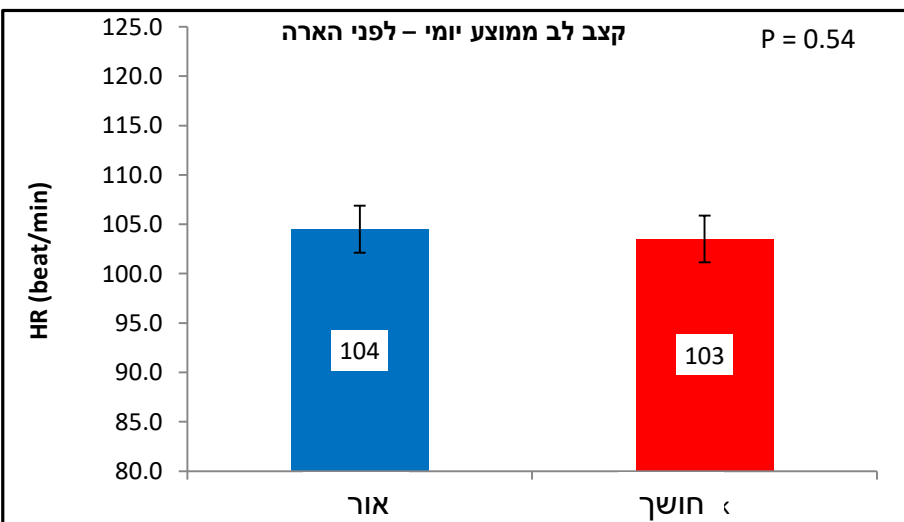


קצב לב לאורך היממה אחרי הארה



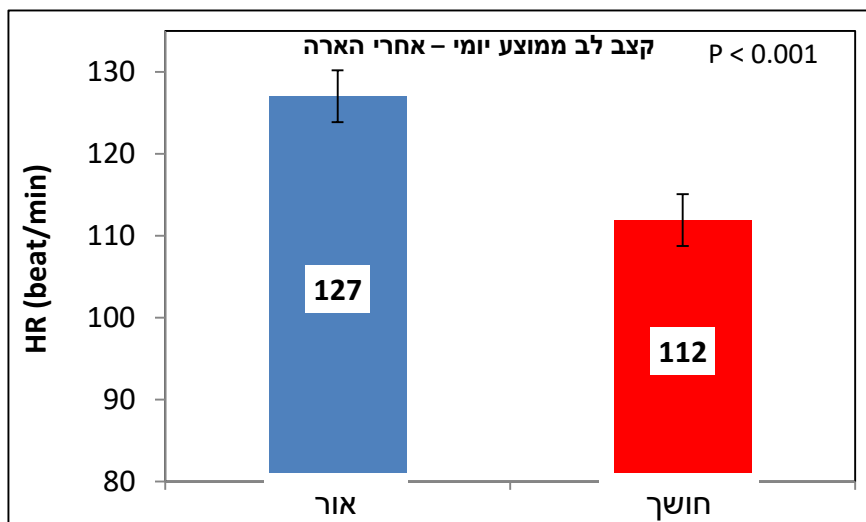
קצב לב ממוצע יומי - לפני הארה

$P = 0.54$



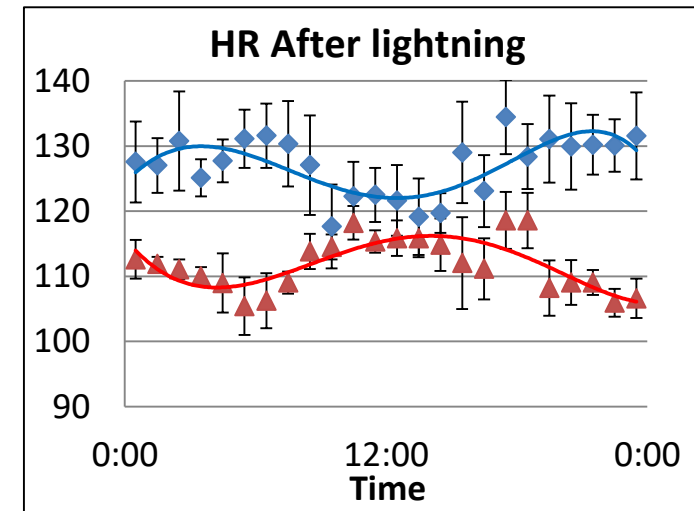
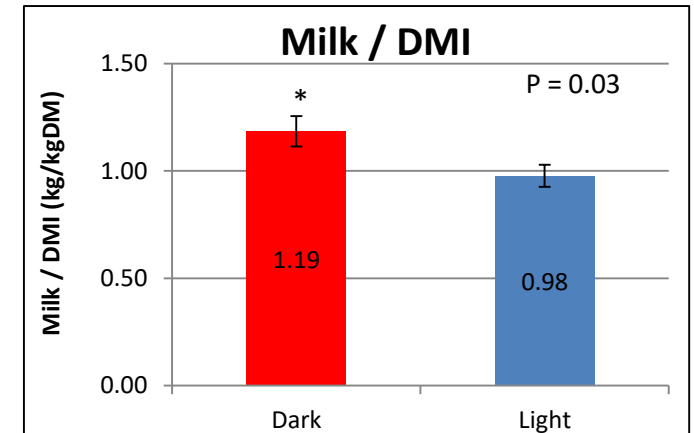
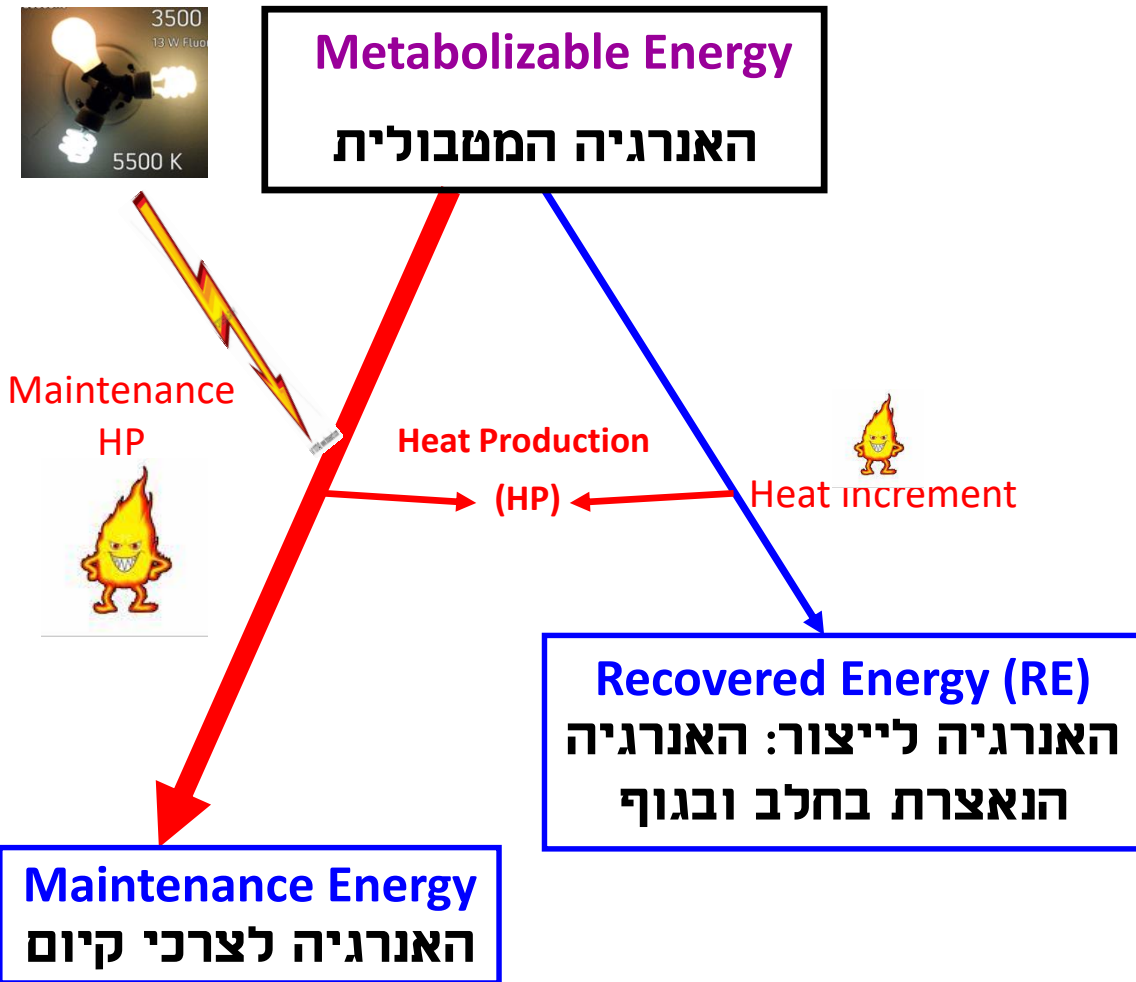
קצב לב ממוצע יומי - אחרי הארה

$P < 0.001$



מסלולים ביולוגיים להסבר התופעה

מסלולי זרימת האנרגיה



ניסוי 2018 - מעבר מפלורסנט ל LED - בע"ח וממשק



נתוני תאורה :

קבוצת אור:

סוג תאורה: LED

אורך גל: 460nm

עוצמה: Lux 220



קבוצת חושך:

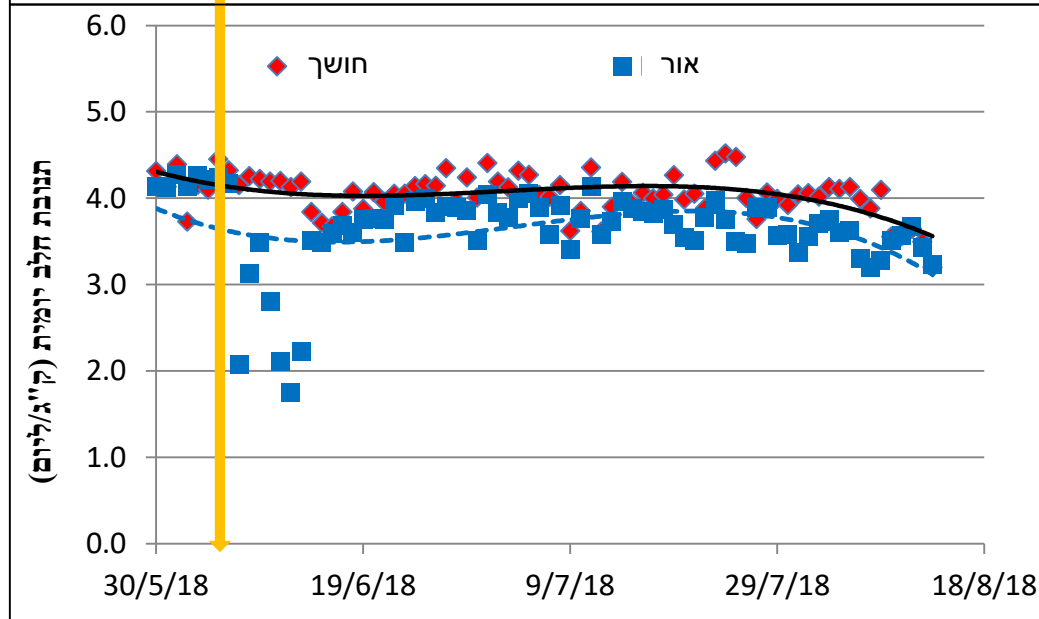
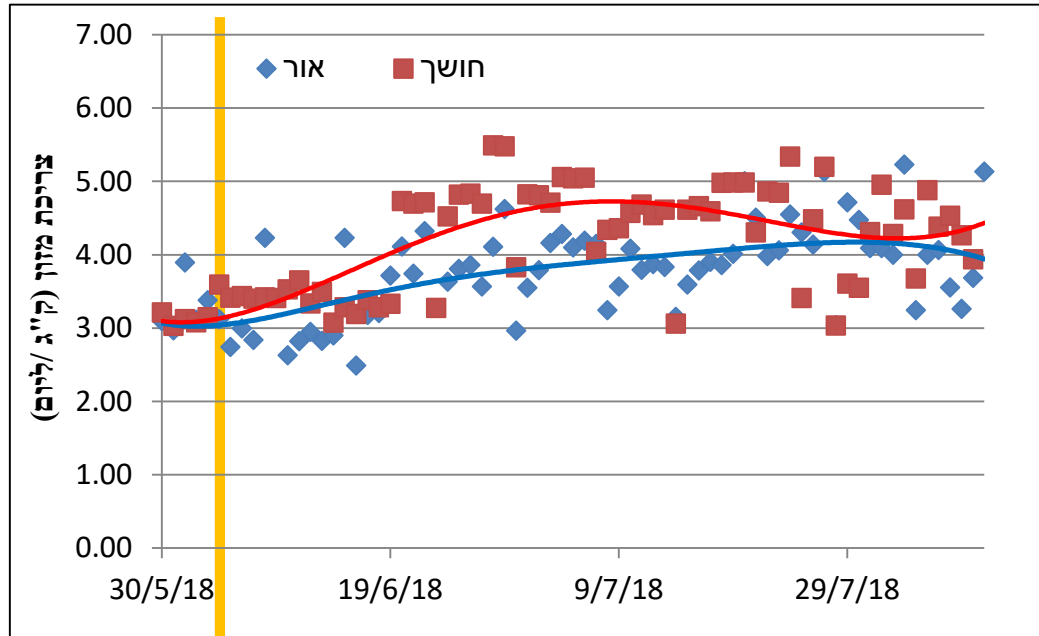
סוג תאורה: טבעית

אורך גל: 680nm

עוצמה: Lux 0.01

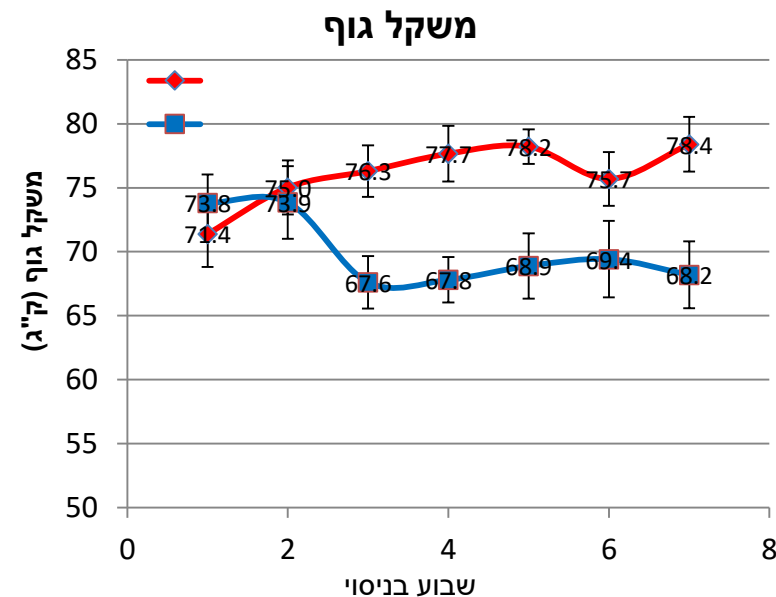


צריכת מזון, תנובת חלב, משקל גוף

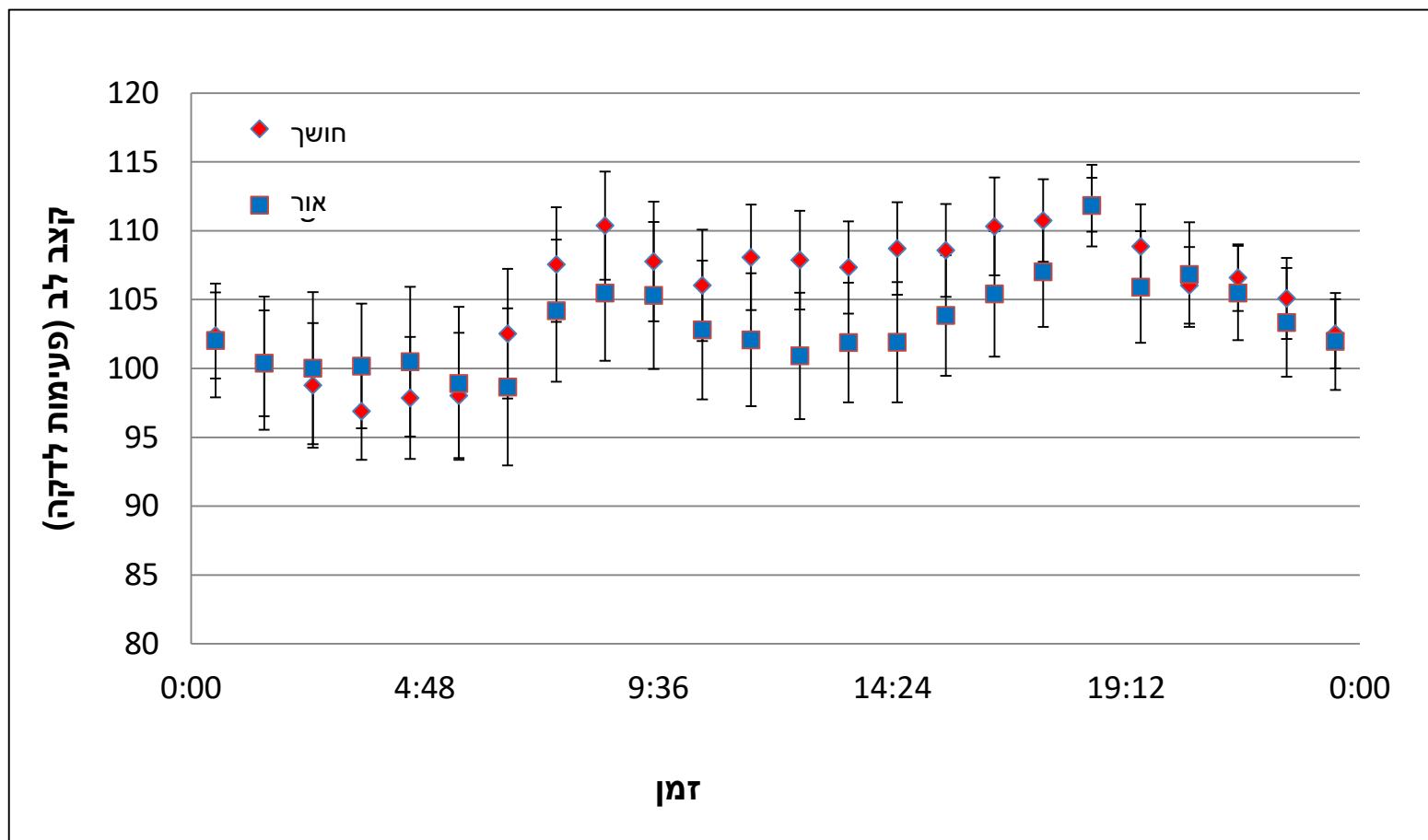


צריכת מזון (אחרי הארה)	
4.40	חושך
3.79	אור
0.61	הפרש (חושך-אור)

תנובת חלב (אחרי הארה)	
4.03	חושך
3.60	אור
0.43	הפרש (חושך-אור)
P < 0.01	מובהקות

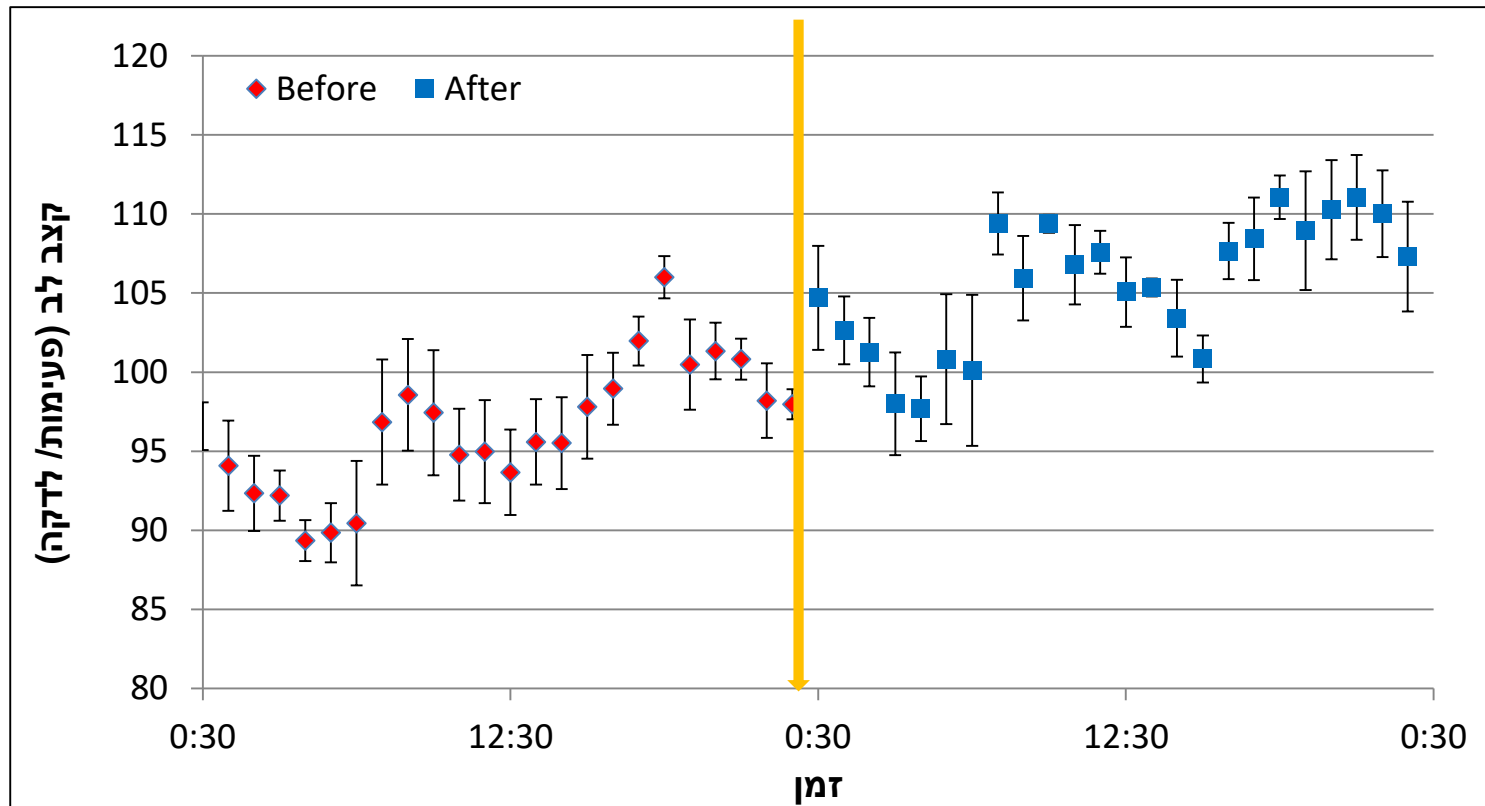


קצב לב קבוצת אור והחושך – לפני הדלקת אור



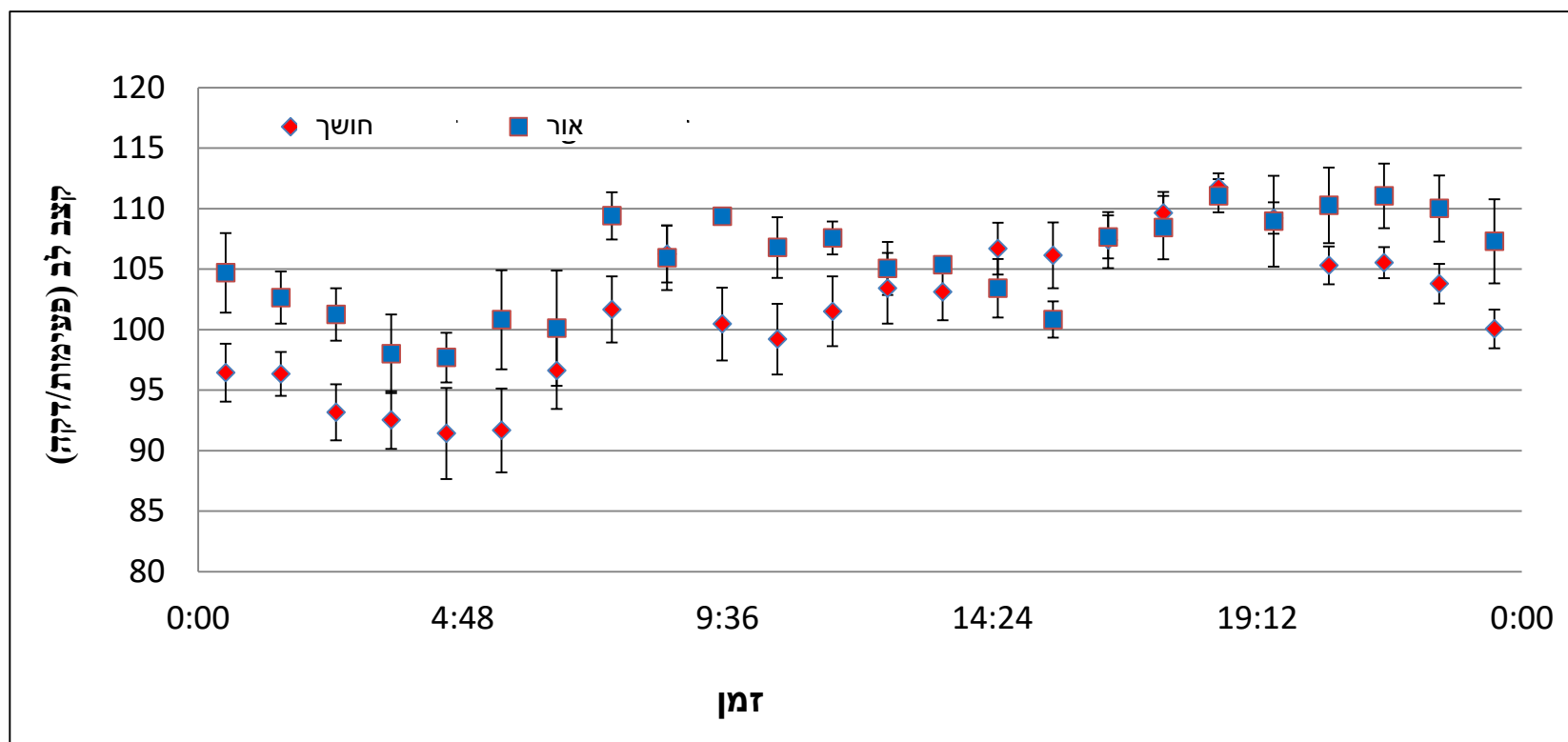
לפני הארה אין הבדל מובהק בקצב הלב בין קבוצת החושך לקבוצת האור ($P = 0.28$).

קצב לב – קבוצת אור לפני ואחרי ההארה



בקבוצת האור ממוצע קצב הלב היומי (HR, beat/min) של העזים בקבוצת האור אחרי ההארה היה גבוה באופן מובהק לעומת קצב לב של העזים (מקבוצת האור) לפני ההארה (96.6 ± 2.52 , 105.6 ± 2.61 , $P < 0.01$, בהתאמה). קצב הלב לאחר ההארה למעשה גבוה משמעותית בשעות הלילה ובשעות הצהריים.

קצב לב קבוצות אור וחושך – אחרי הדלקת אור



אחרי הארה קצב הלב של קבוצת האור גבוה מקצב הלב של קבוצת החושך
($P = 0.07$, 105.6 ± 2.61 , 102.7 ± 2.33).
ההבדלים הם בעיקר בשעות הלילה.

השפעת תאורה מלאכותית בלילה על יעילות ניצולת מזון ותגובת חלב ורכיביו של פרות חלב גבוהות תגובה

*א. אשר, א. ברוש, א. שבתאי, מ. כהן-צינדר, ע. מועלם



נתוני תאורה



קבוצת אור לבן:

סוג תאורה: LED

אורך גל: 462 nm

עוצמה: Lux 200



קבוצת אור אדום:

סוג תאורה: LED

אורך גל: 670 nm

עוצמה: Lux 200



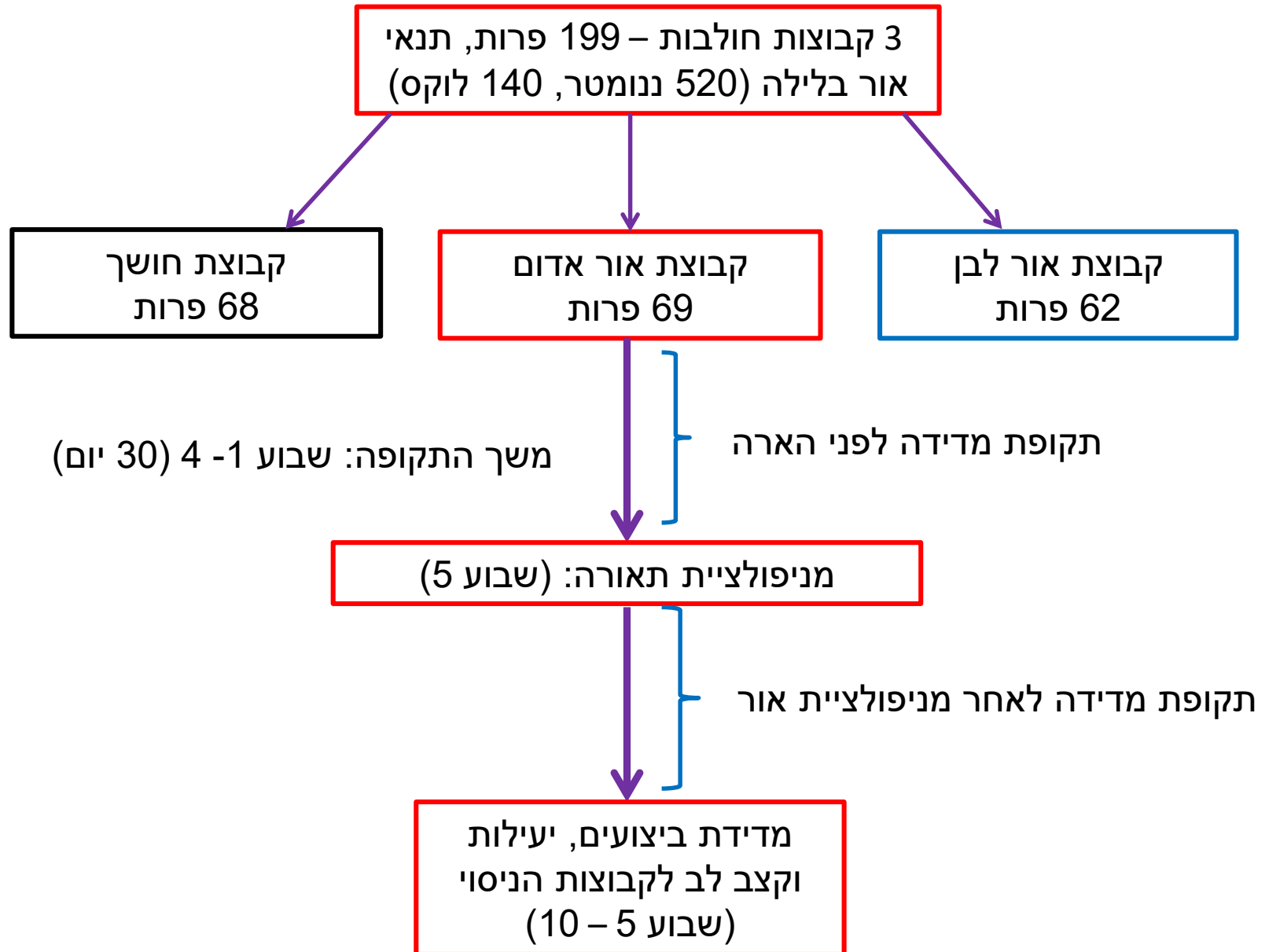
קבוצת חושך:

סוג תאורה: טבעית

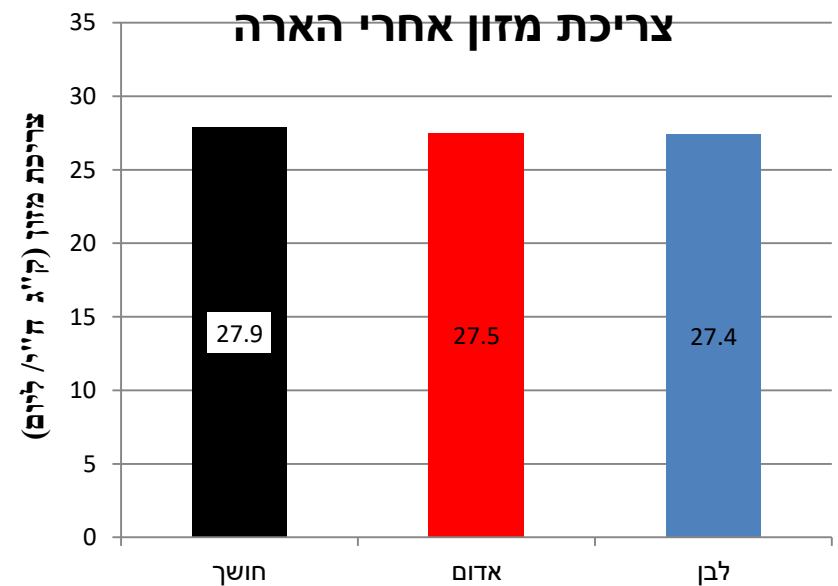
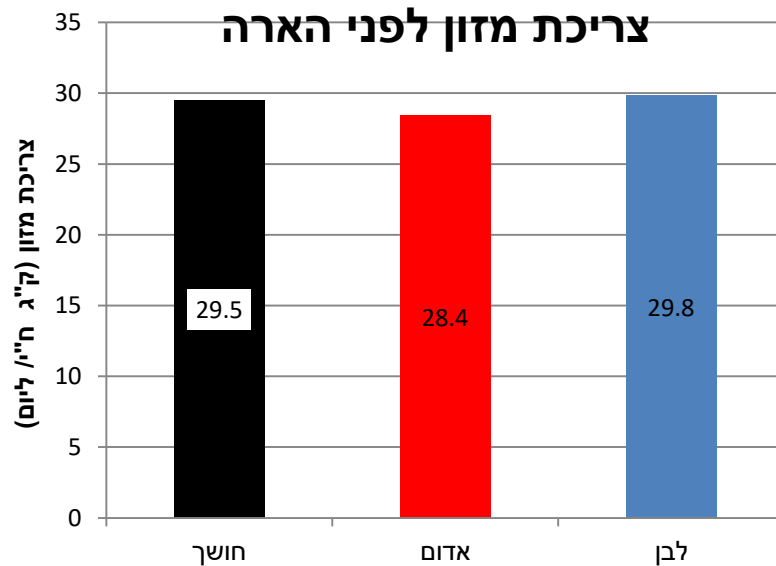
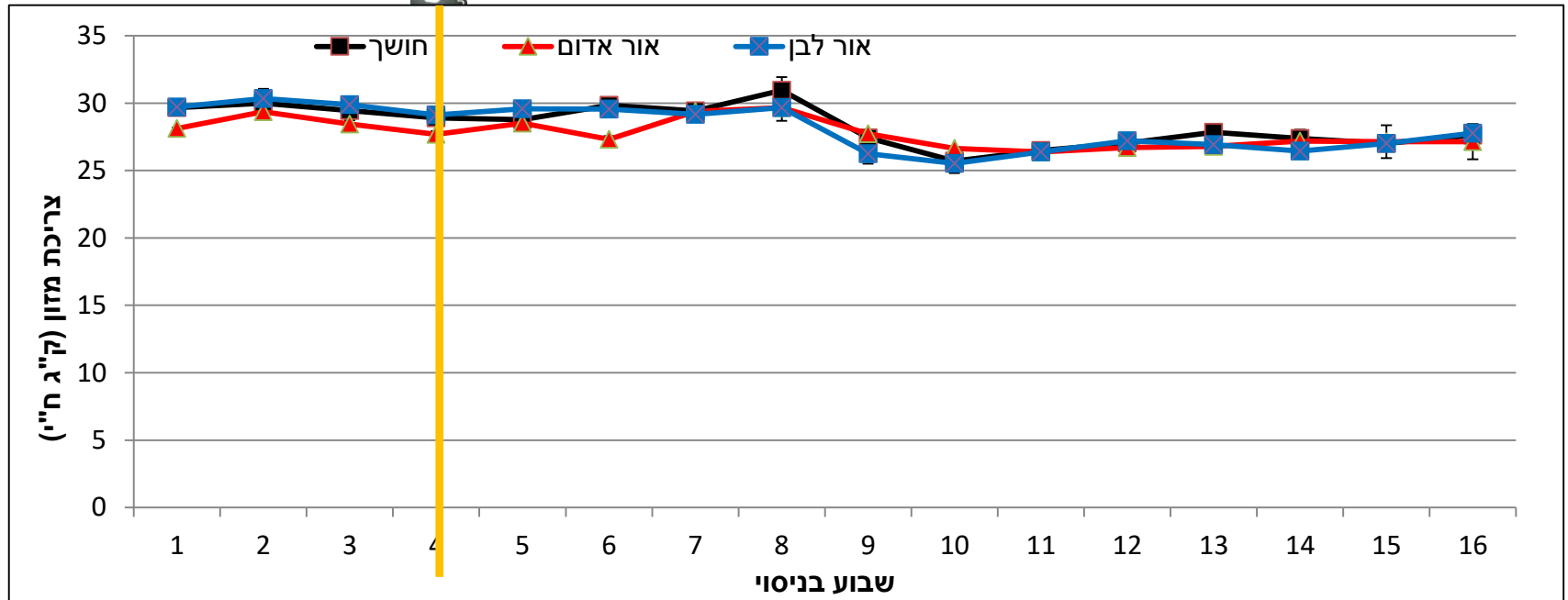
אורך גל: 680 nm

עוצמה: Lux 2.01

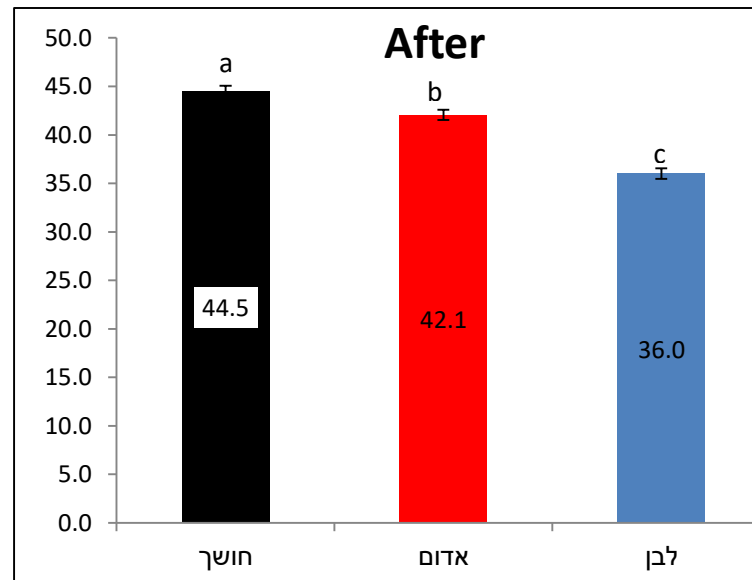
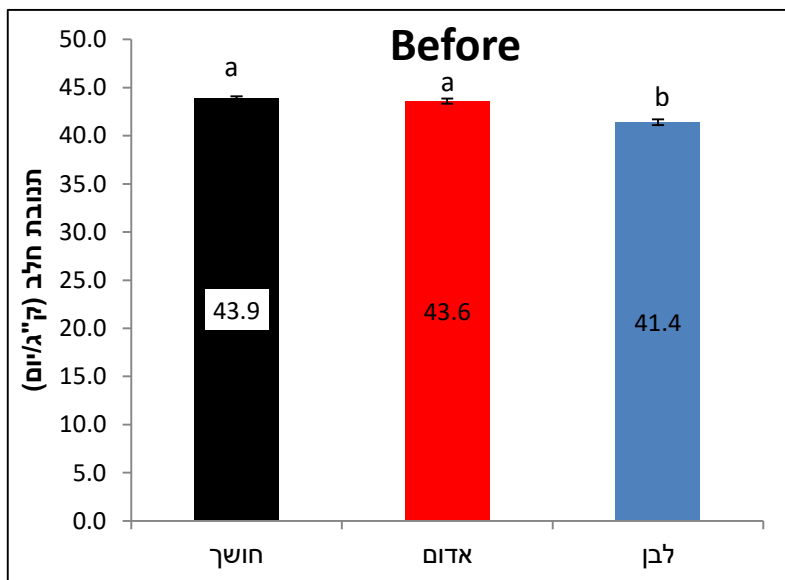
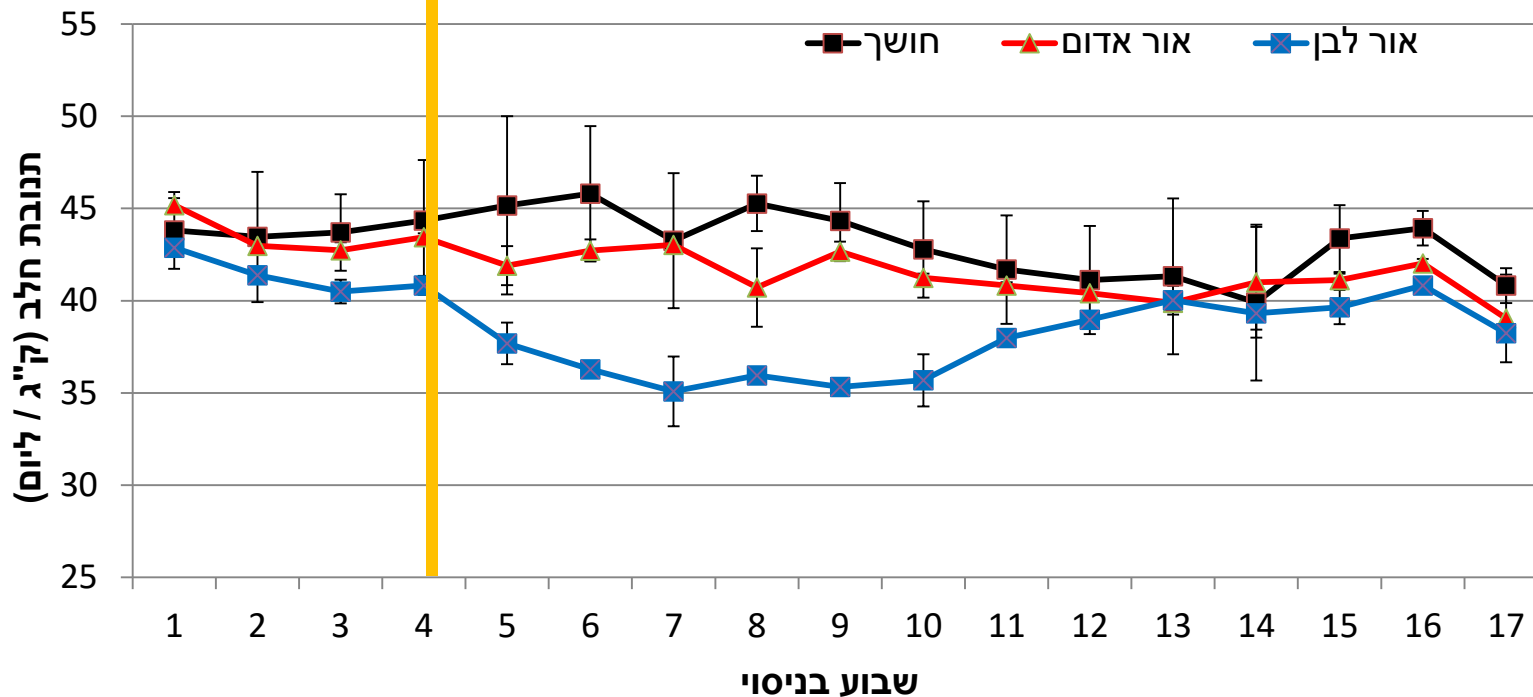
מבנה הניסוי



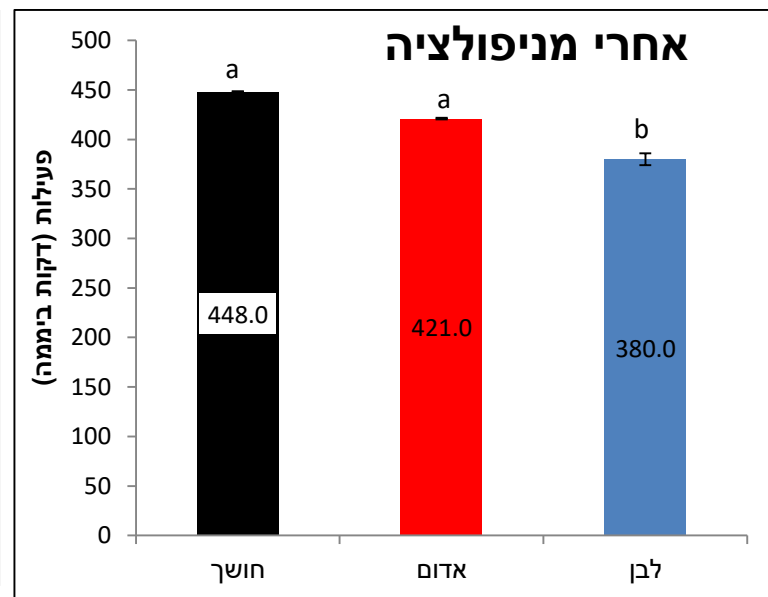
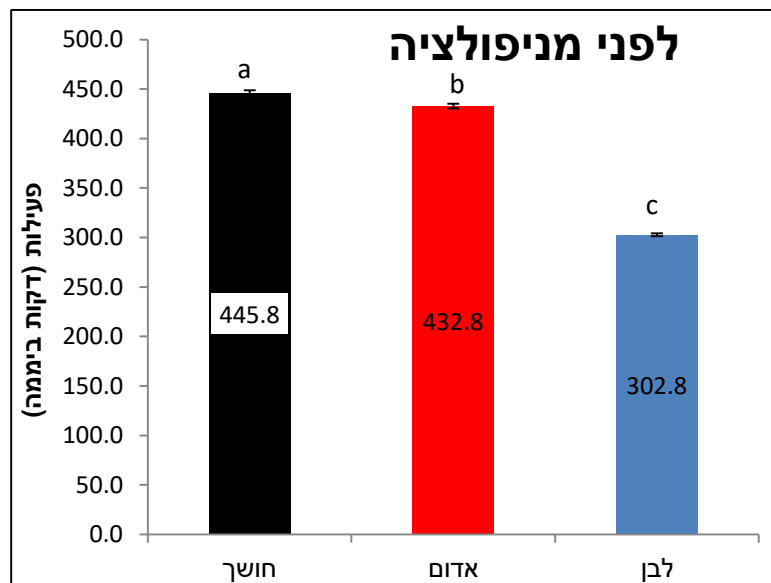
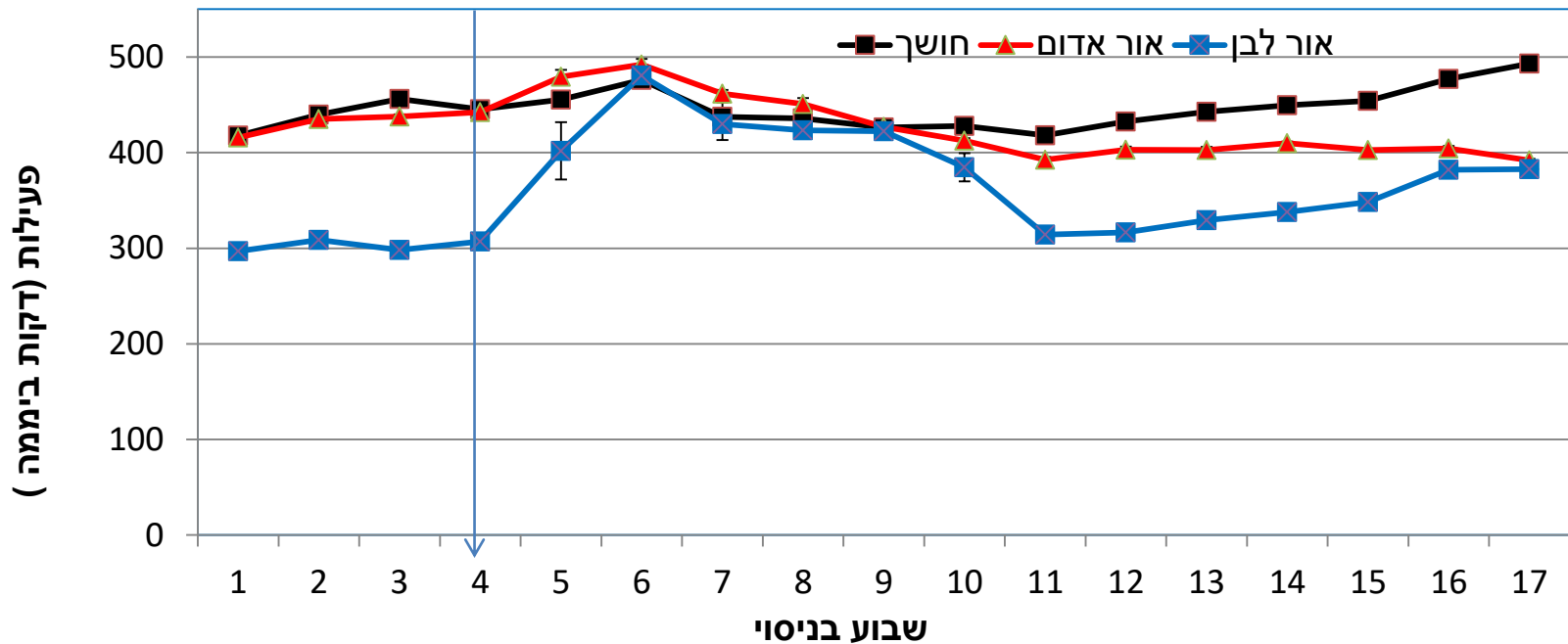
צריכת מזון



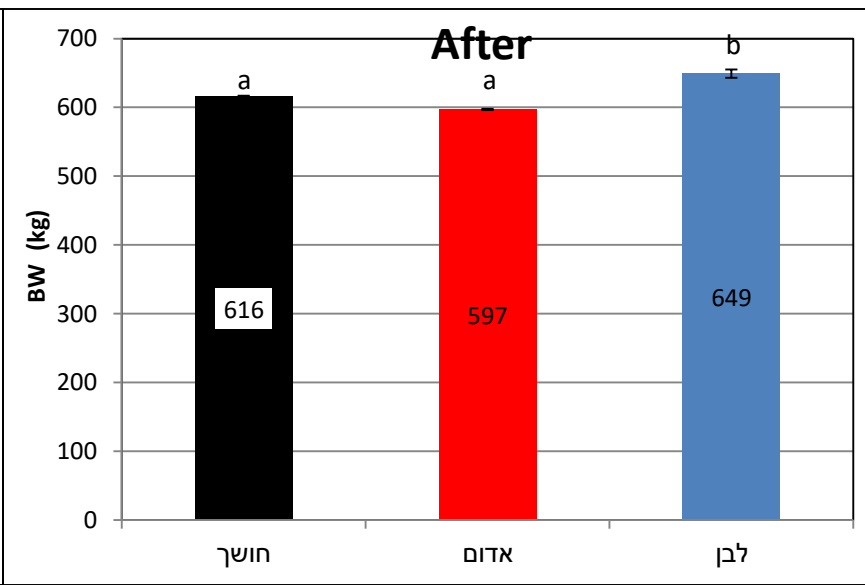
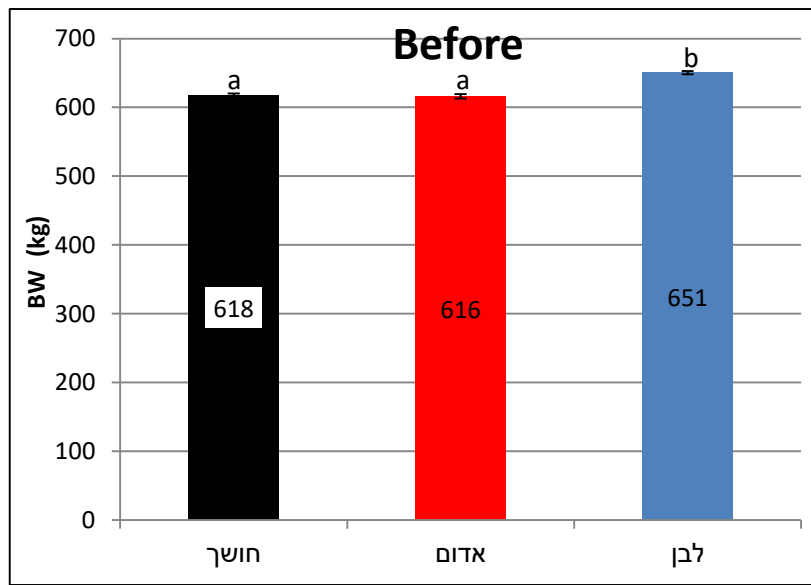
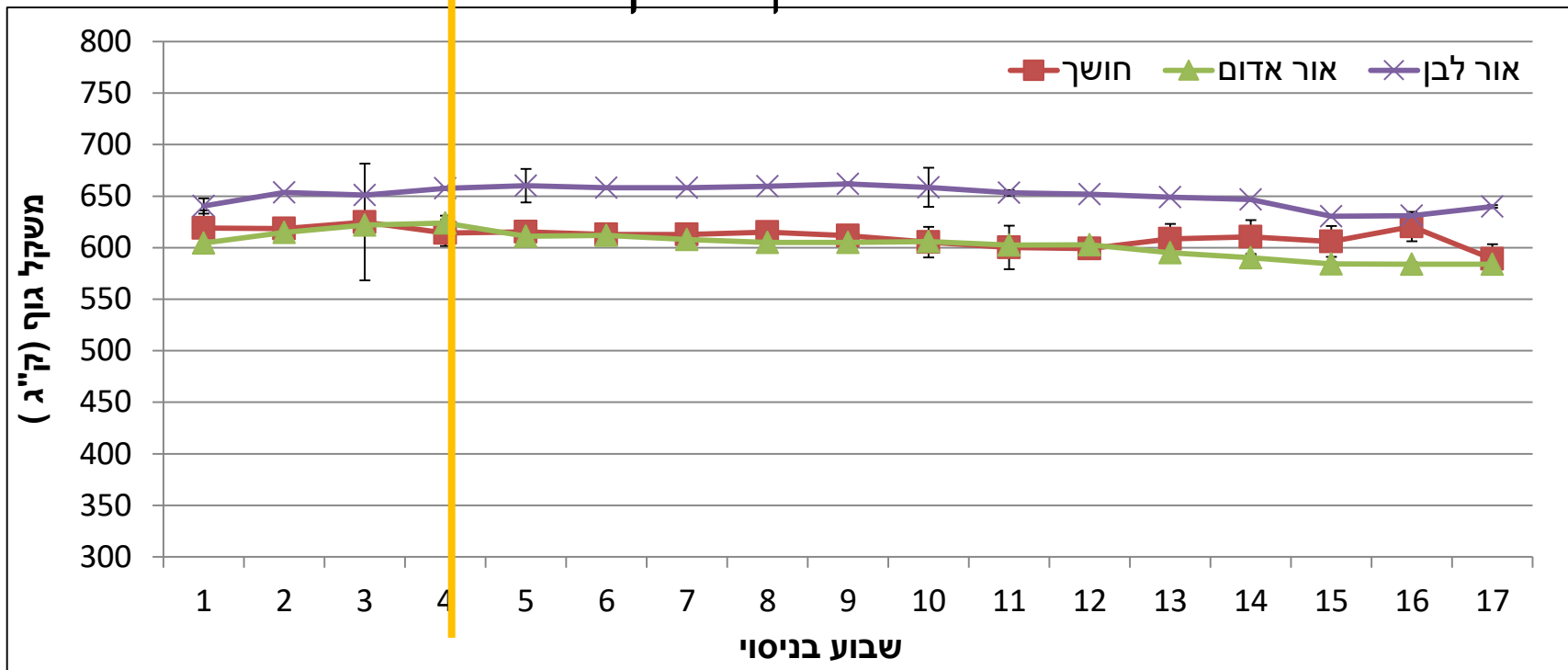
תנובת חלב



פעילות



משקל גוף



מרכיבי החלב ויעילות ניצולת מזון

טבלה 2. הרכב חלב ויעילות ניצולת מזון של פרות לפני מניפולציית התאורה.

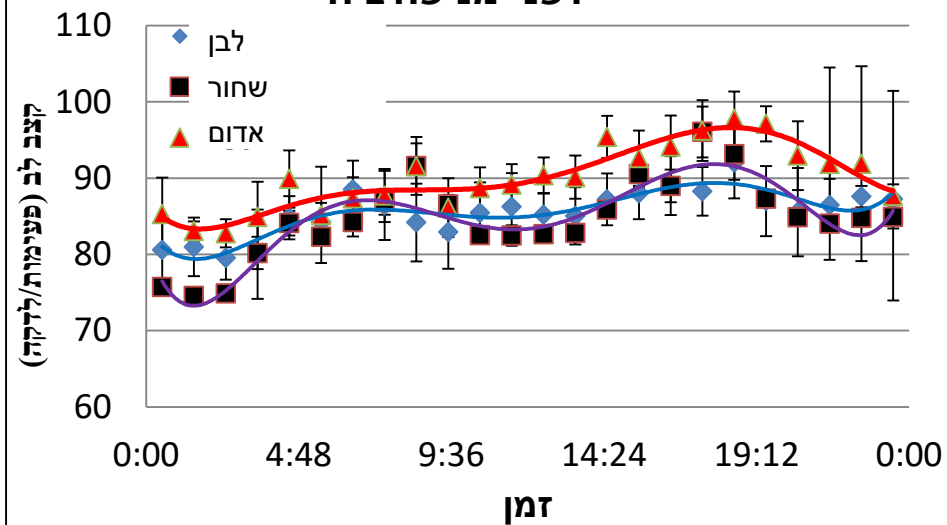
פרמטר	חושך	אדום	לבן	SEM	P value
מרכיבי חלב					
שומן, %	3.98	4.14	3.98	0.10	0.25
חלבון, %	3.45	3.49	3.37	0.06	0.17
לקטוז, %	4.94 ^a	5.00 ^b	4.84 ^c	0.03	0.00
סת"ס (תאים*1000 / מ"ל)	187.3	157.1	205.7	55.4	0.74
אנרגיה בחלב, מק"ל ליום	33.3 ^a	33.7 ^a	30.8 ^b	0.32	0.00
יעילות ניצולת מזון					
תנובת חלב/ צריכת ח"י	1.42	1.53	1.41	0.04	0.20
האנרגיה בחלב/ צריכת ח"י	1.12 ^a	1.18 ^a	1.04 ^b	0.02	0.00

טבלה 3. הרכב חלב ויעילות ניצולת מזון של פרות אחרי מניפולציית התאורה.

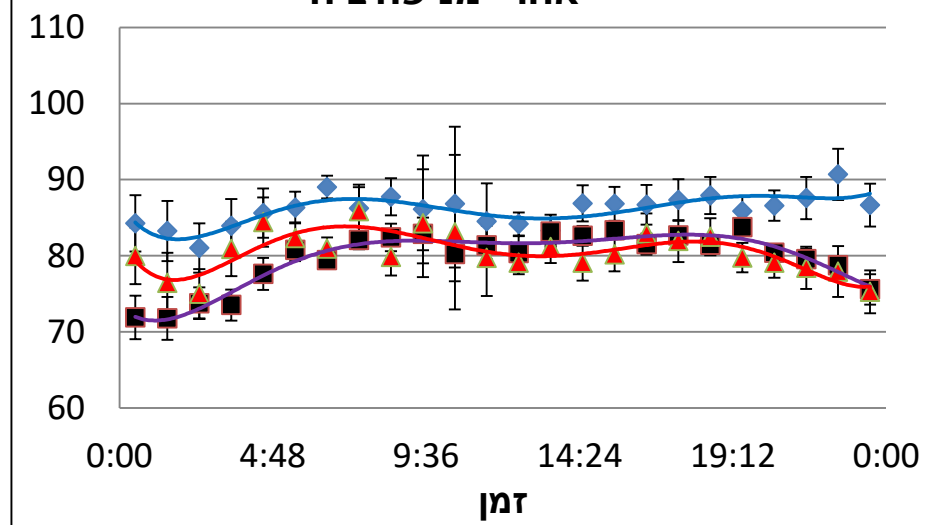
פרמטר	חושך	אדום	לבן	SEM	P value
מרכיבי חלב					
שומן, %	4.49 ^a	4.13 ^{ab}	3.88 ^b	0.12	0.00
חלבון, %	3.31 ^a	3.53 ^b	3.45 ^b	0.05	0.01
לקטוז, %	5.01	5.03	4.94	0.04	0.24
סת"ס (תאים*1000 / מ"ל)	181.5 ^a	209.3 ^{ab}	389.4 ^b	61.5	0.06
אנרגיה בחלב, מק"ל ליום	34.08 ^a	31.96 ^b	28.12 ^c	0.39	0.00
יעילות ניצולת מזון					
תנובת חלב/ צריכת ח"י	1.53 ^a	1.49 ^{ab}	1.45 ^b	0.02	0.05
האנרגיה בחלב/ צריכת ח"י	1.23 ^a	1.17 ^b	1.03 ^c	0.02	0.00

קצב לב

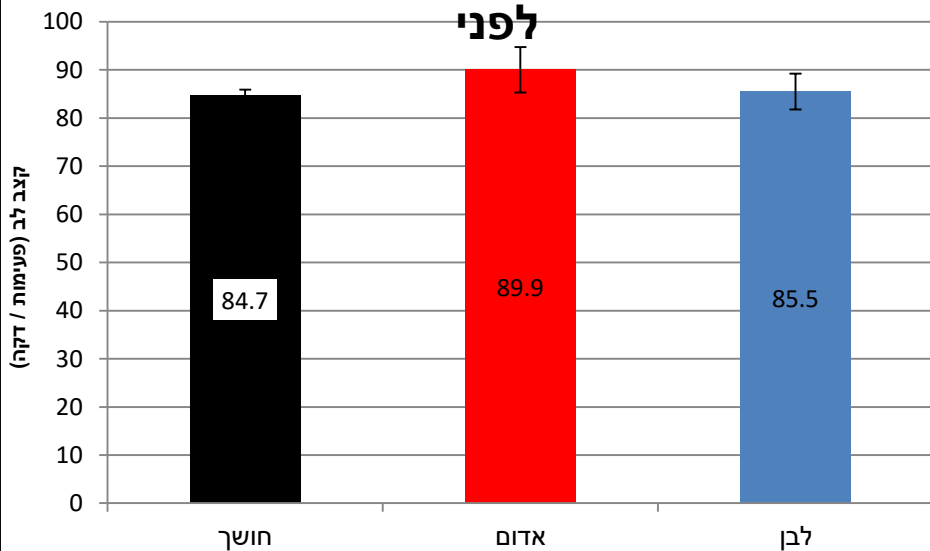
לפני מניפולציה



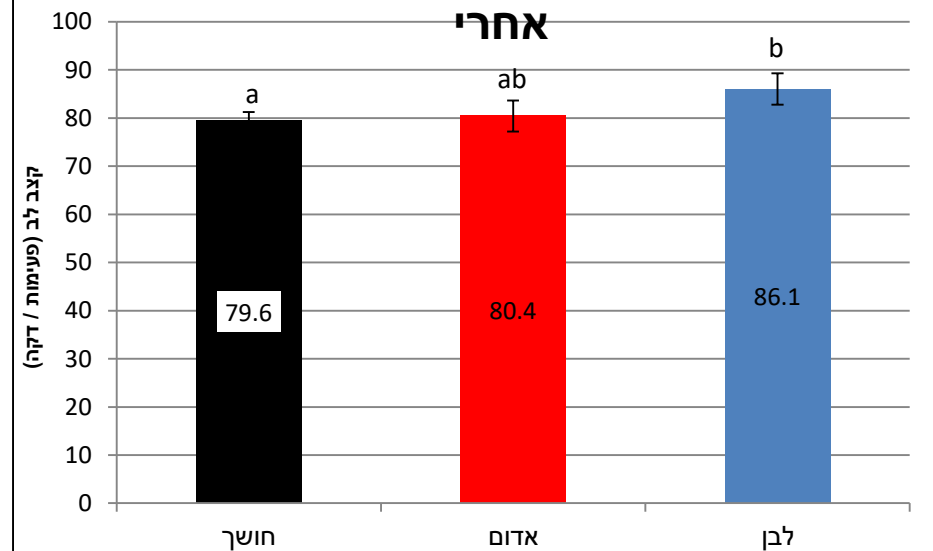
אחרי מניפולציה



לפני



אחרי



מסלולים ביולוגים להסבר התופעה



Metabolizable Energy

האנרגיה המטבולית

Maintenance
HP



Heat Production

(HP)

Heat increment



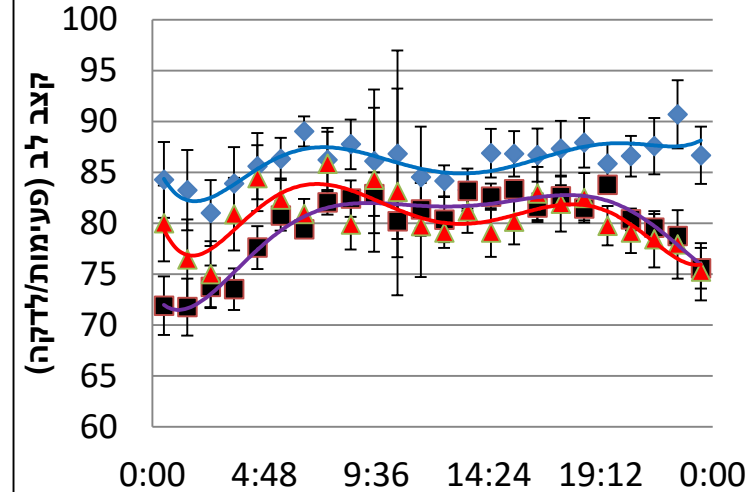
Recovered Energy (RE)

**האנרגיה הנאצרת
בחלב ובגוף**

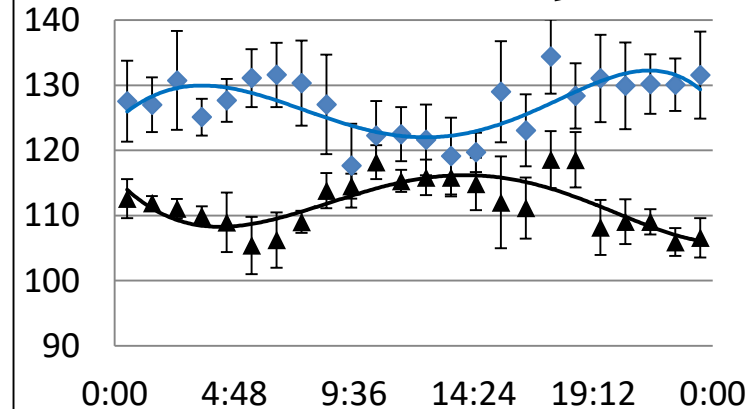
Maintenance Energy

האנרגיה לצרכי קיום

פרות אחרי מניפולציה



עזים אחרי מניפולציה



לסיכום

- אור מלאכותי קצר גל בלילה פוגע בביצועים וביעילות ייצור החלב בבקר ועיזים.
- האור מלאכותי השפיע באופן שונה על בע"ח (פרות ועיזים) אך המשותף לשני הניסויים הוא המנגנון ששובש, קריא, האור המלאכותי גרם לעליה בהתמרת האנרגיה לקיום ולא לייצור.
- בכל הניסויים נמצא שאור מלאכותי בלילה שיבש את המחזוריות היממתית הפנימית (קצב הלב) של בע"ח שנבדקו, כלומר שימוש באור המלאכותי עונה להגדרה של זיהום אור ופוגע ברווחת חיות המשק שנבדקו.
- יש למצוא פתרונות מעשיים לניהול משטרי תאורה ביונקיה, ברפת ובדיר.
- יש להעלות את רמת המודעות לזיהום אור גם בקרב החקלאים ובכלל בקרב האוכלוסייה כולה, כי כולנו מושפעים מכך.



תודות לשותפים

- תודה רבה לשותפינו בניסוי העזים: יובל וירון דגן



- תודה רבה לשותפינו בניסוי ברפת יגור: מר אלן פדרסון וצוות הרפת



**** המחקרים מומנו על ידי קרן המחקרים של מועצת החלב**

תודה על ההקשבה



Health Effects of Light Pollution

Melatonin deficiency can result in health problems, including:

1. sleep disorders (Cajochen et al., 1998).
2. anxiety (Weeb, 1995)
3. depression (Cho et al., 2015)
4. diabetes (Canpolat et al., 2001)
5. cancer (Schwimmer et al., 2014)
6. cardiovascular disease (Smolensky et al., 2014)
7. immunological disorders (Carta et al., 2018).
8. Obesity/Night Eating Syndrome (Gitto et al.,

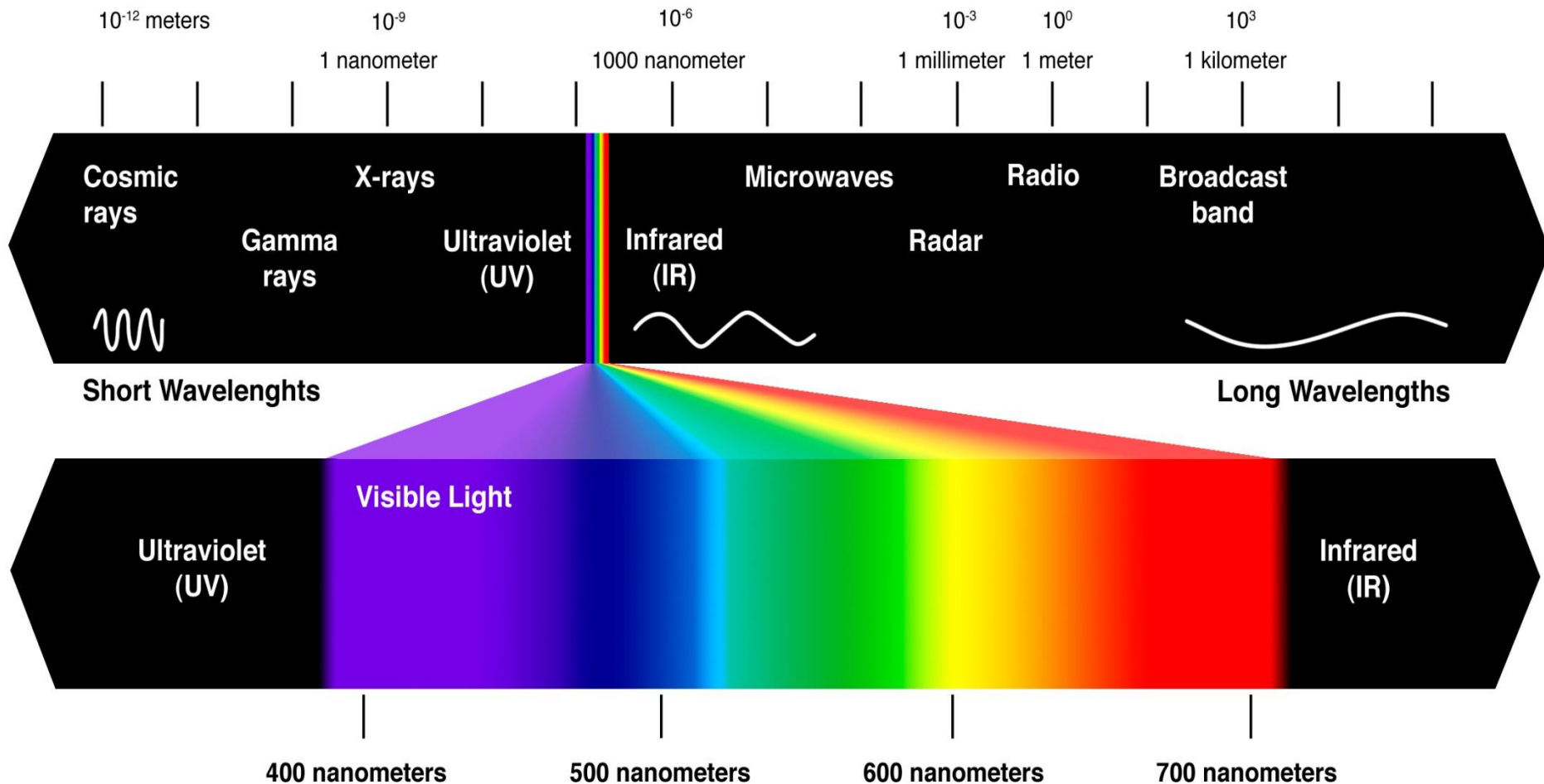


סיכום תוצאות – אור ועזים

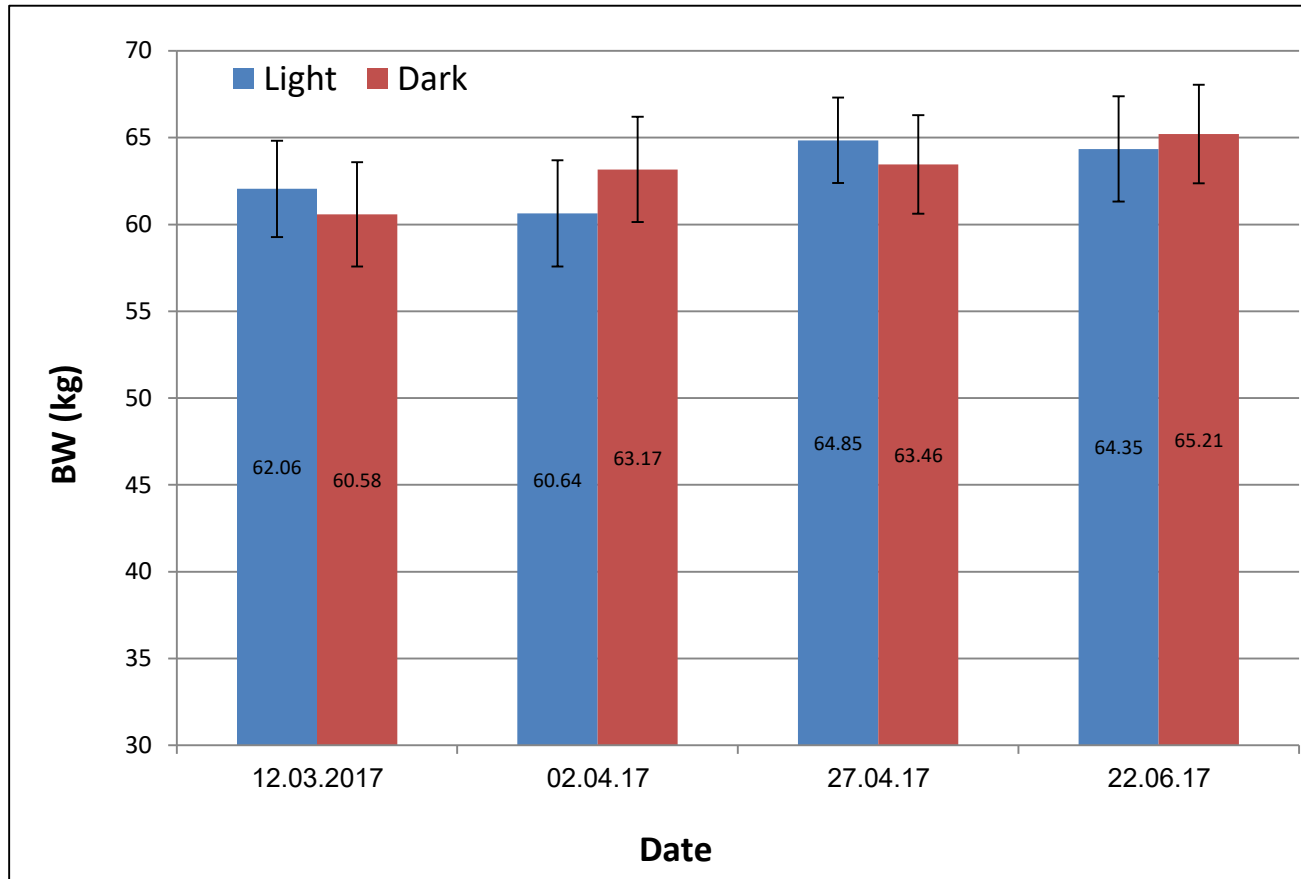
- **צריכת מזון:** קבוצת האור צרכה יותר מזון מהחושך לאחר ההארה
- **תנובת חלב:** לא היה הבדל בין הקבוצות לפני ואחרי הארה
- **משקל גוף:** לא היה הבדל בין הקבוצות לפני ואחרי הארה
- **מרכיבי חלב:** שומן גבוה יותר בקבוצת החושך
- איכות חלב: כמות תאים סומטיים נמוכה בקבוצת החושך
- **יעילות ייצור:** גבוה יותר בחושך אחרי הארה.
- **קצב לב:** גבוה יותר באור אחרי הארה.



הספקטרום הנראה



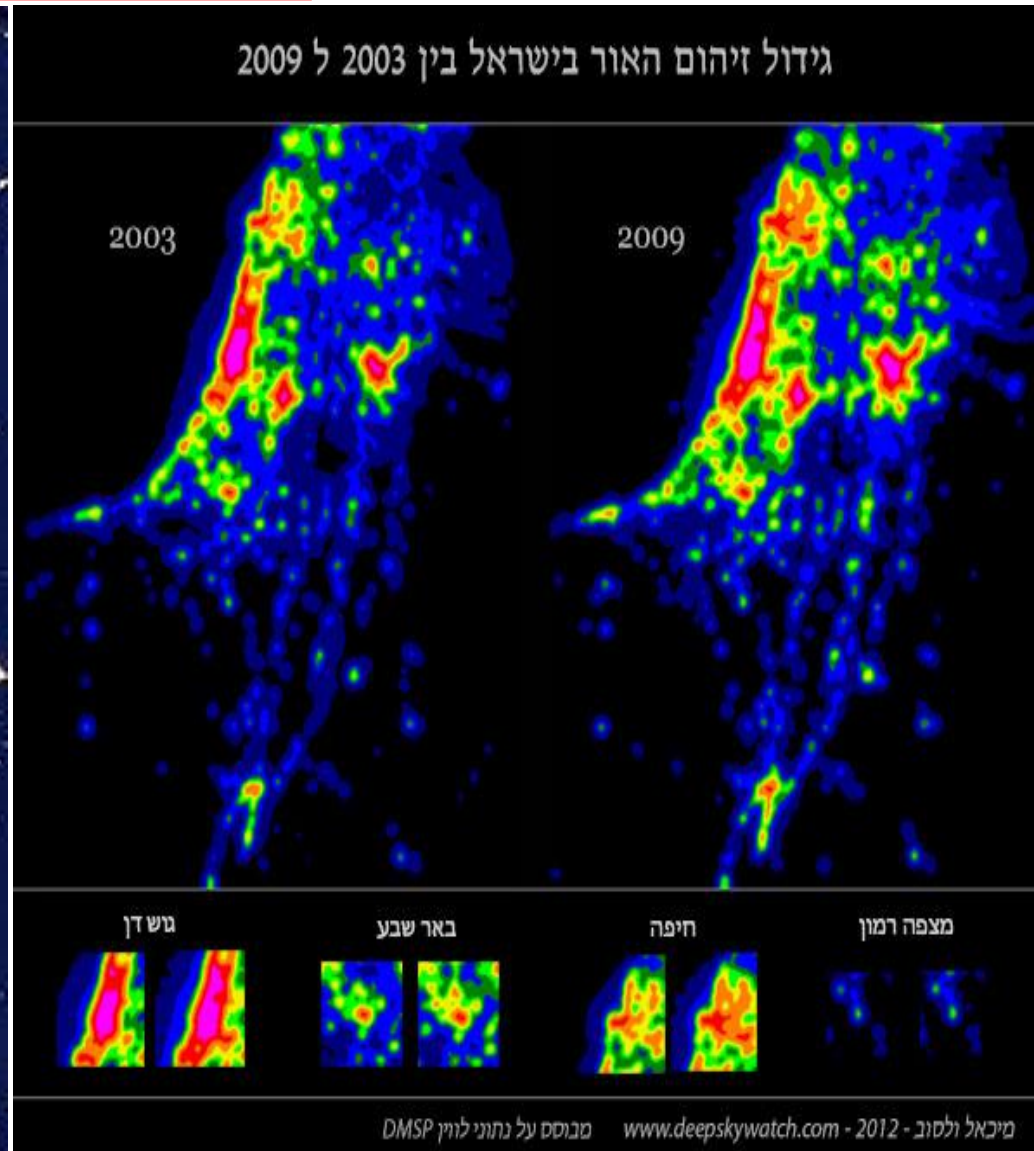
משקל גור



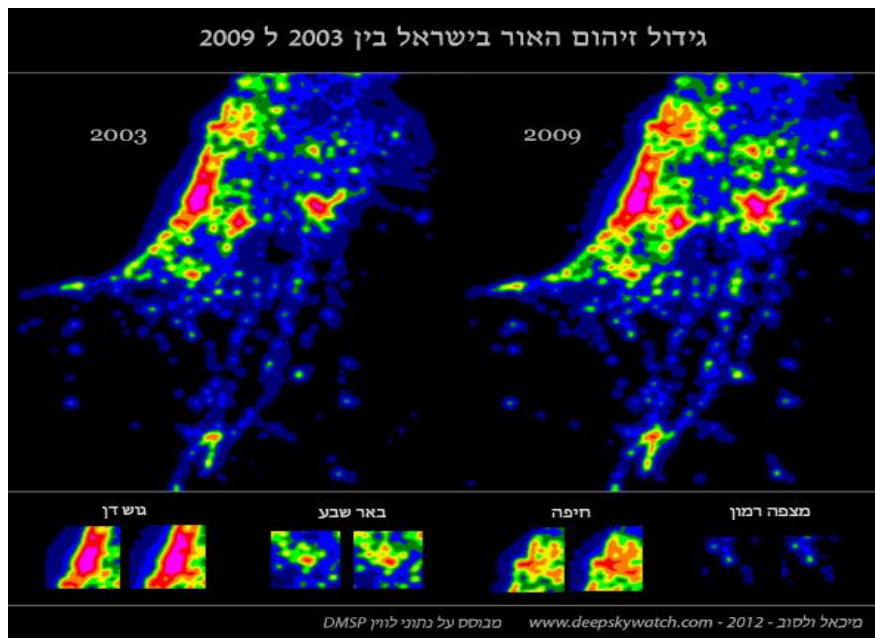
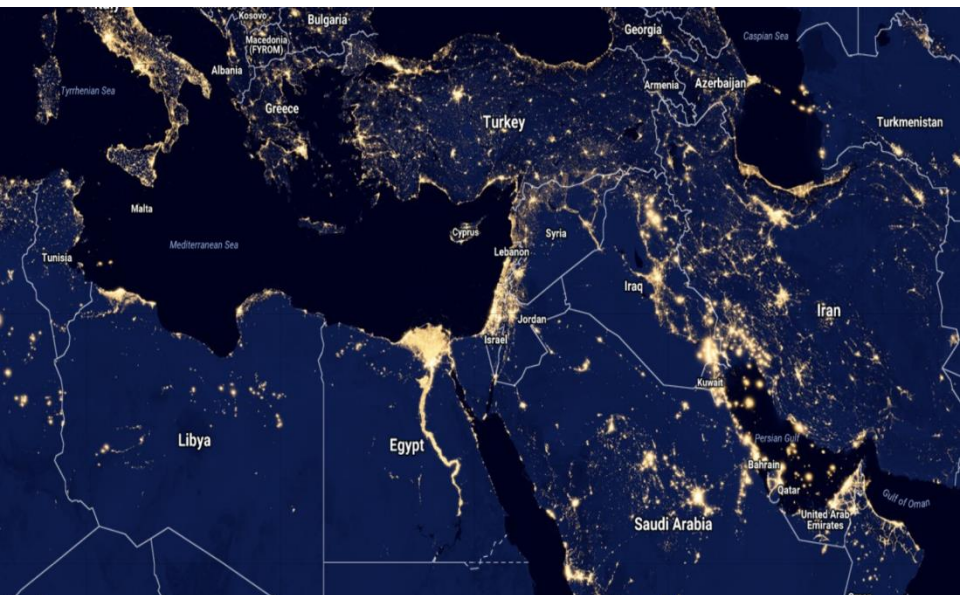
זיהום אור

זיהום אור: באופן כללי, זיהום אור הוא סך ההשפעות השליליות של תאורה מלאכותית על האדם והסביבה.

זיהום אור סביבתי



זיהום אור סביבתי



סיכום תוצאות לפרות

- **צריכת מזון:** לא היה הבדל בין הקבוצות לפני ואחרי הארה.

- **תנובת חלב:** ירידה מובהקת בתנובת החלב בקבוצת האור הלבן לאחר מניפולציית התאורה

- **פעילות:** עליה מובהקת בפעילות בקבוצת האור הלבן לאחר מניפולציית התאורה.

- **משקל גוף:** לא היה הבדל בין הקבוצות לפני ואחרי הארה

- **מרכיבי חלב:** עליה בחלבון וירידה בשומן בקבוצת האור הלבן ולהיפך בקבוצת החושך (עליה בשומן וירידה בחלבון). אין שינוי מובהק בקבוצת האור האדום.

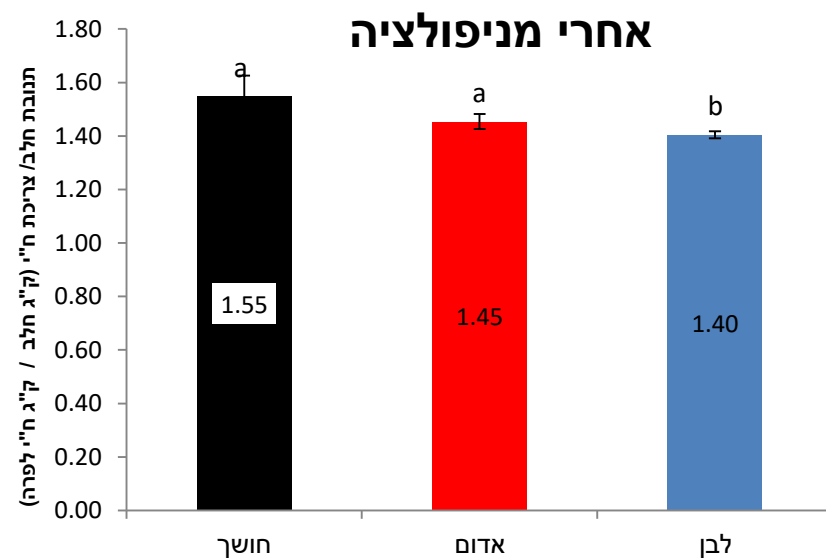
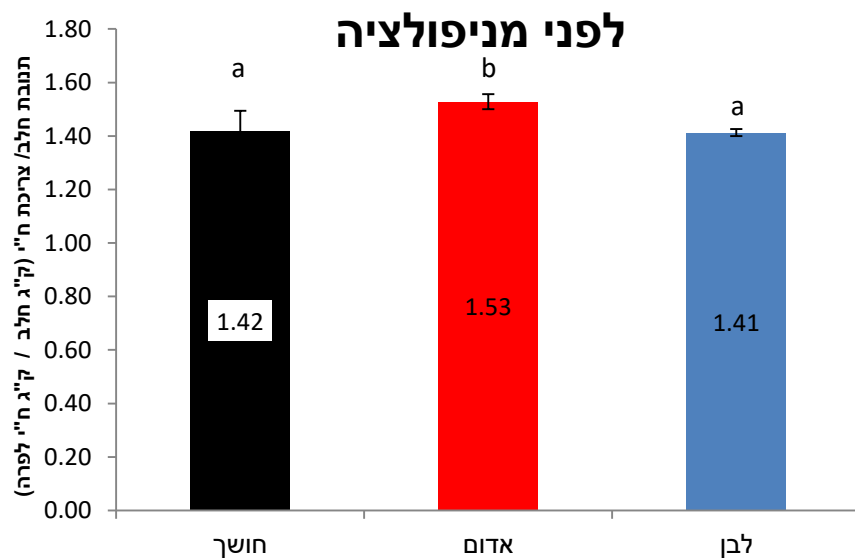
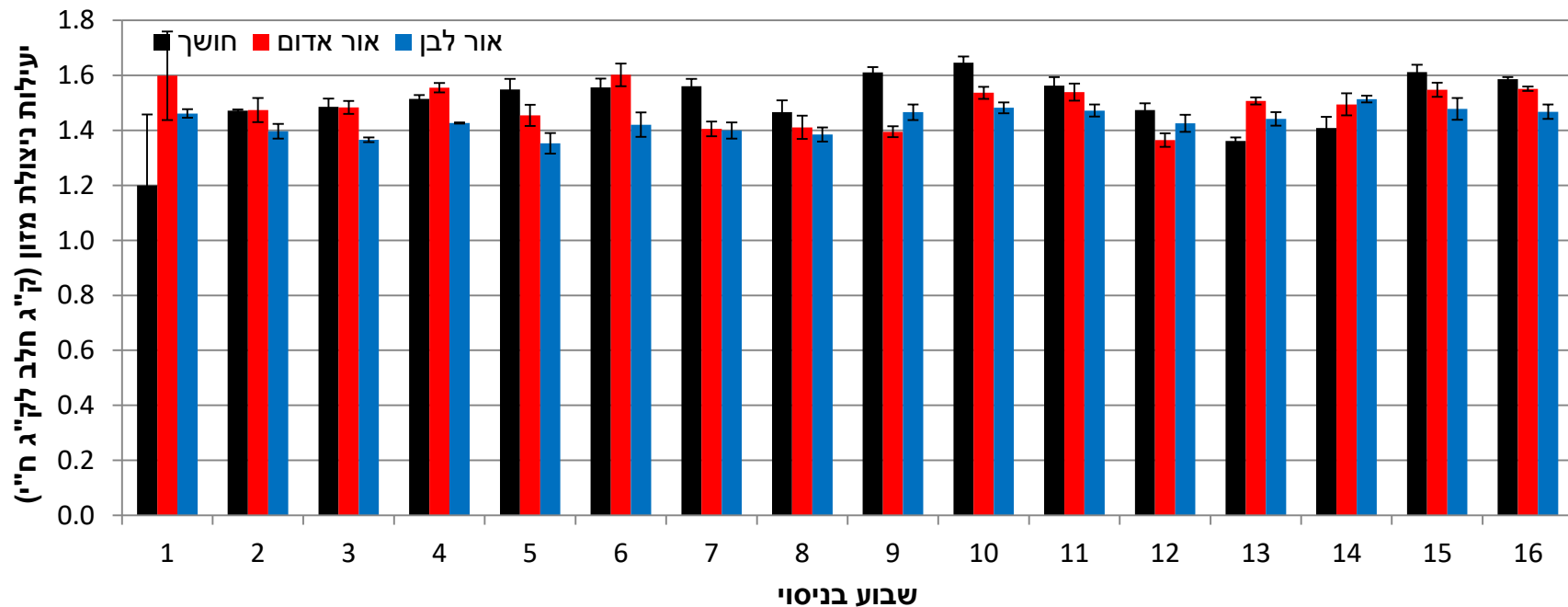
- **איכות החלב:** עליה משמעותית בסת"ס בקבוצת האור לאחר ההארה

- **יעילות ניצולת מזון:** עלייה ביעילות לקבוצת החושך לעומת קבוצות האור הלבן והאדום.

- **קצב לב:** ממוצע קצב לב יומי גבוה יותר בקבוצת האור הלבן לעומת החושך אחרי הארה. קצב הלב בשעות הלילה גבוה יותר בקבוצת אור לבן לעומת קבוצות אור אדום וחושך.

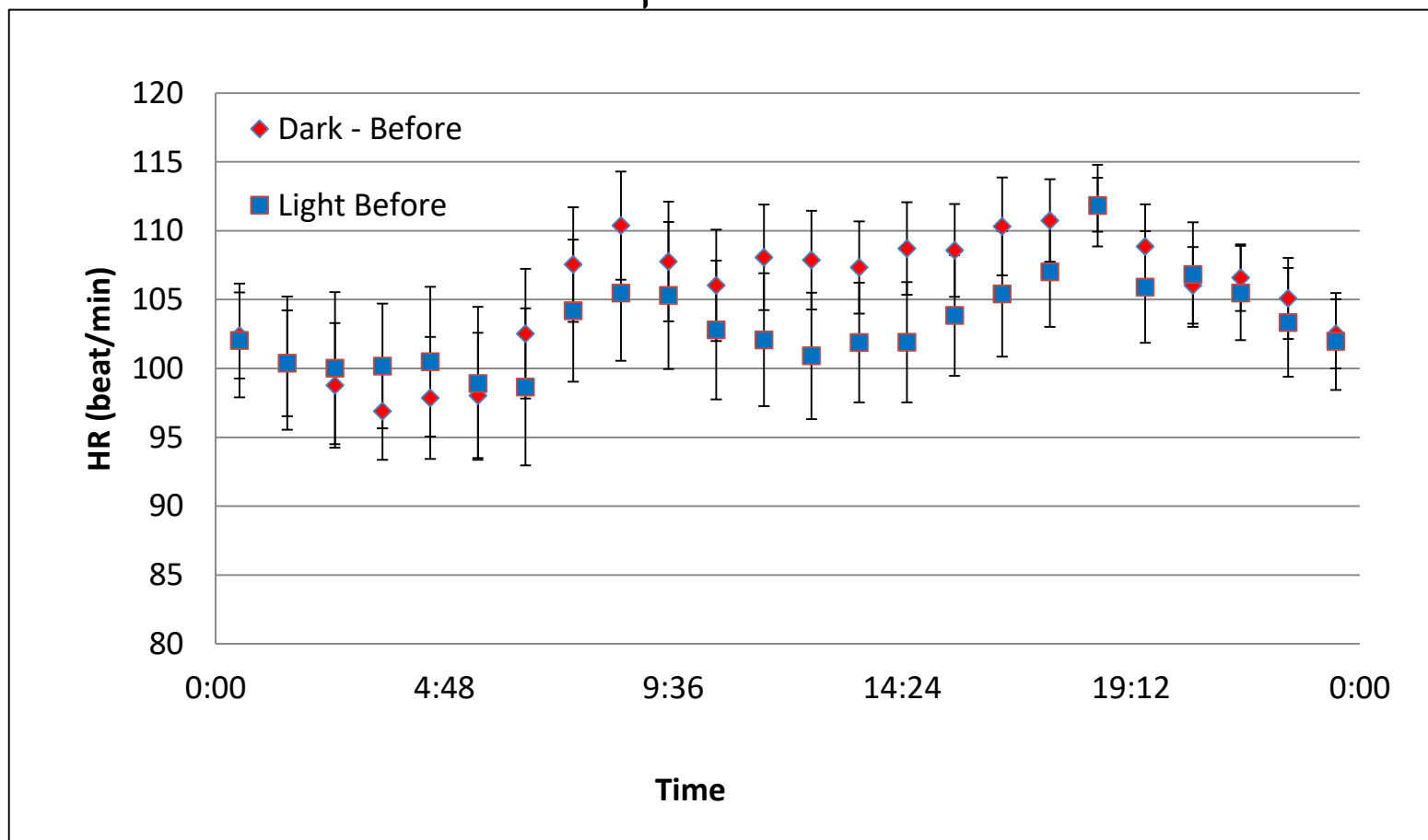


יעילות ניצולת מזון (תנובת חלב/צריכת ח"י)



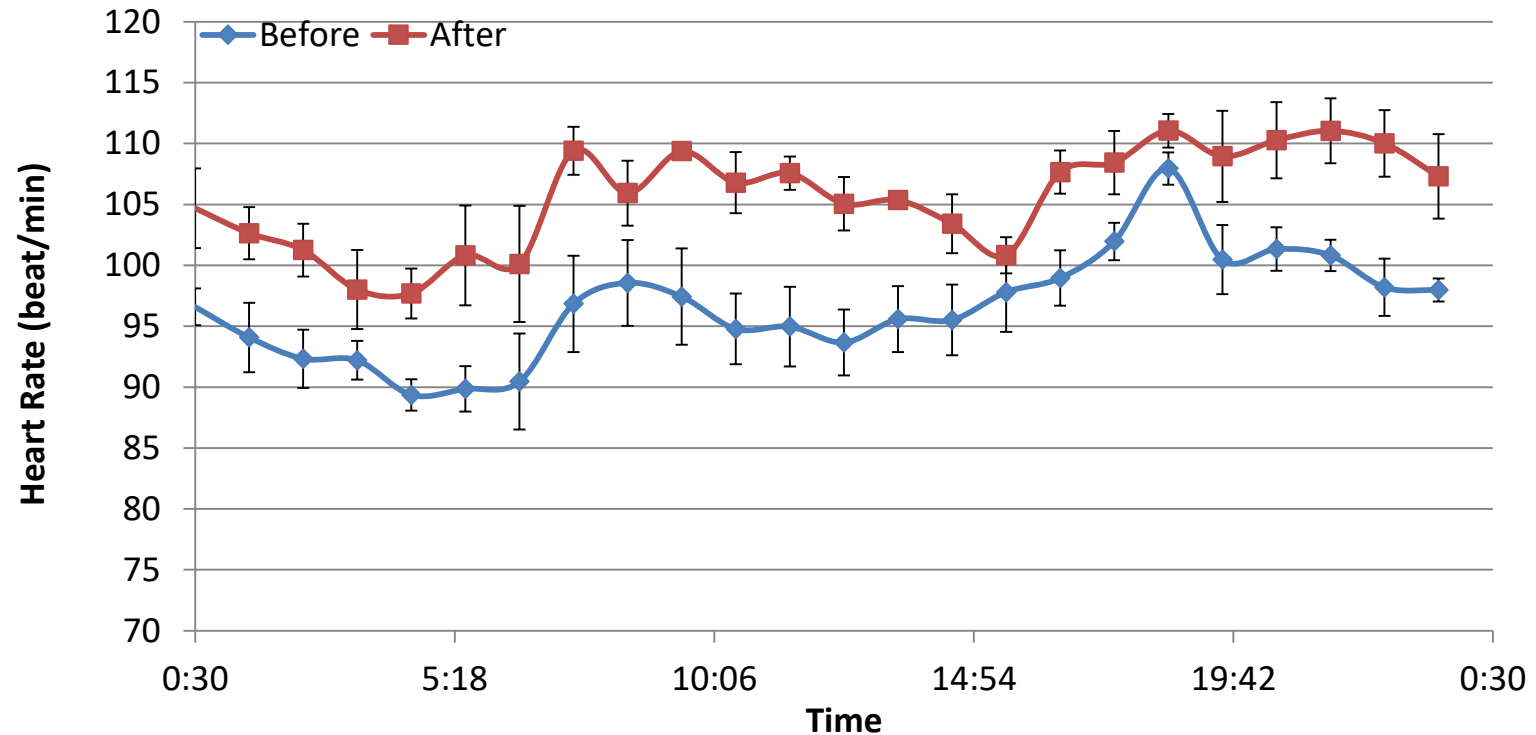
קצב לב קבוצת אור בהשוואה לקבוצת החושך

– לפני הדלקת אור



לפני הארה אין הבדל מובהק בקצב הלב בין קבוצת החושך לקבוצת האור ($P = 0.28$).

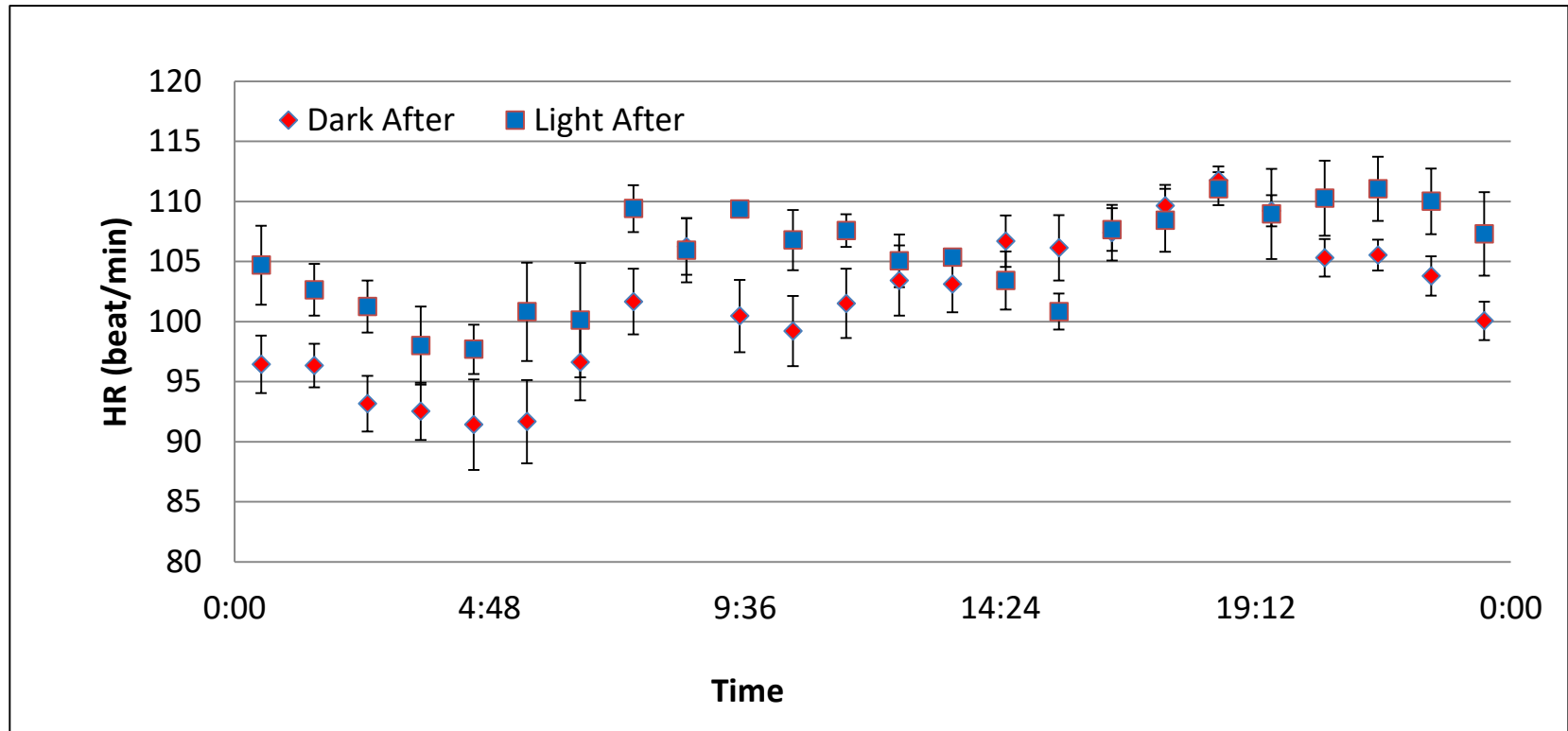
קצב לב קבוצת אור - לפני ואחרי הארה



בקבוצת האור ממוצע קצב הלב היומי (HR, beat/min) של העזים בקבוצת האור לפני ההארה (קצב הלב המוצג הוא ממוצע של שלושה ימים לפני הארה וממוצע של שלושה ימים אחרי ההארה) היה נמוך באופן מובהק לעומת קצב לב של העזים (מקבוצת האור) אחרי ההארה (96.6 ± 2.52 , 105.6 ± 2.61 , $P < 0.01$, בהתאמה). קצב הלב לאחר ההארה למעשה גבוה משמעותית בשעות הלילה ובשעות הצהריים. אור דולק מ 19:00 עד 07:00.

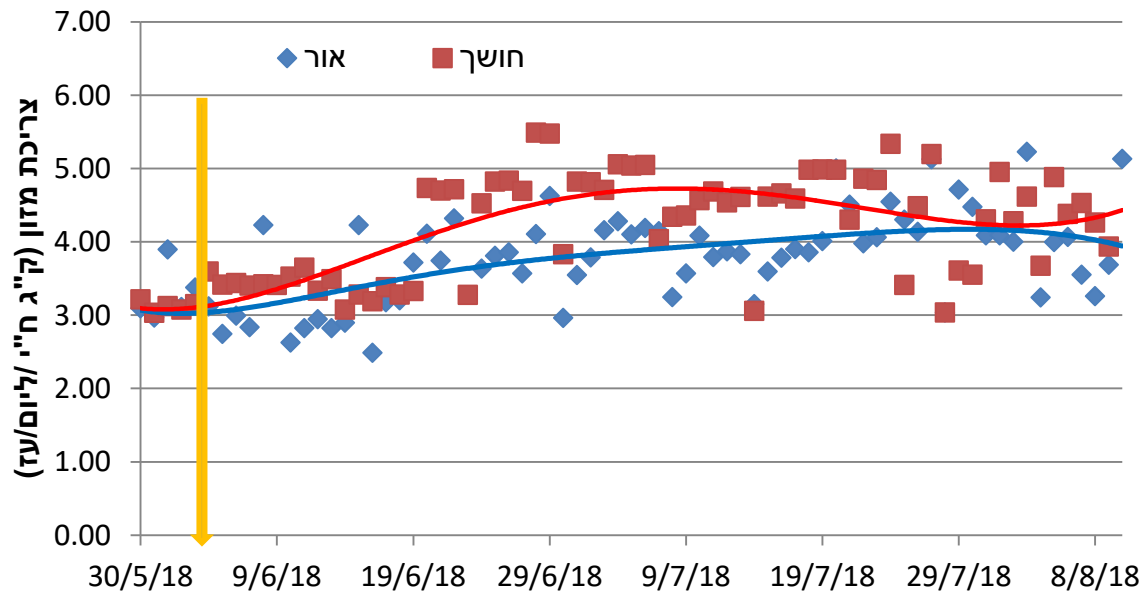
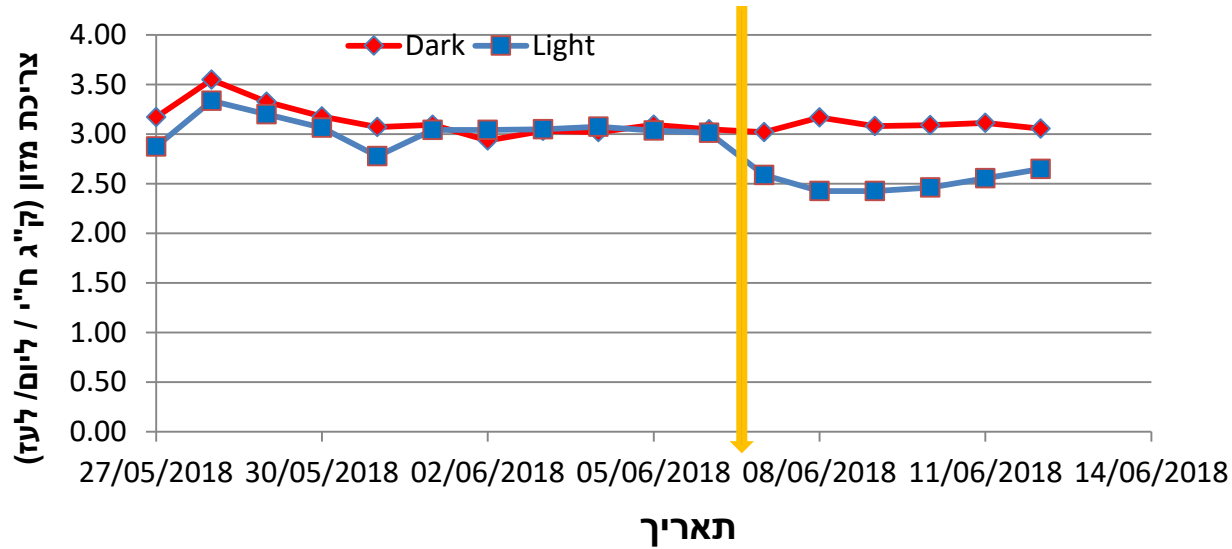
קצב לב קבוצת אור בהשוואה לקבוצת החושך

– אחרי הדלקת אור



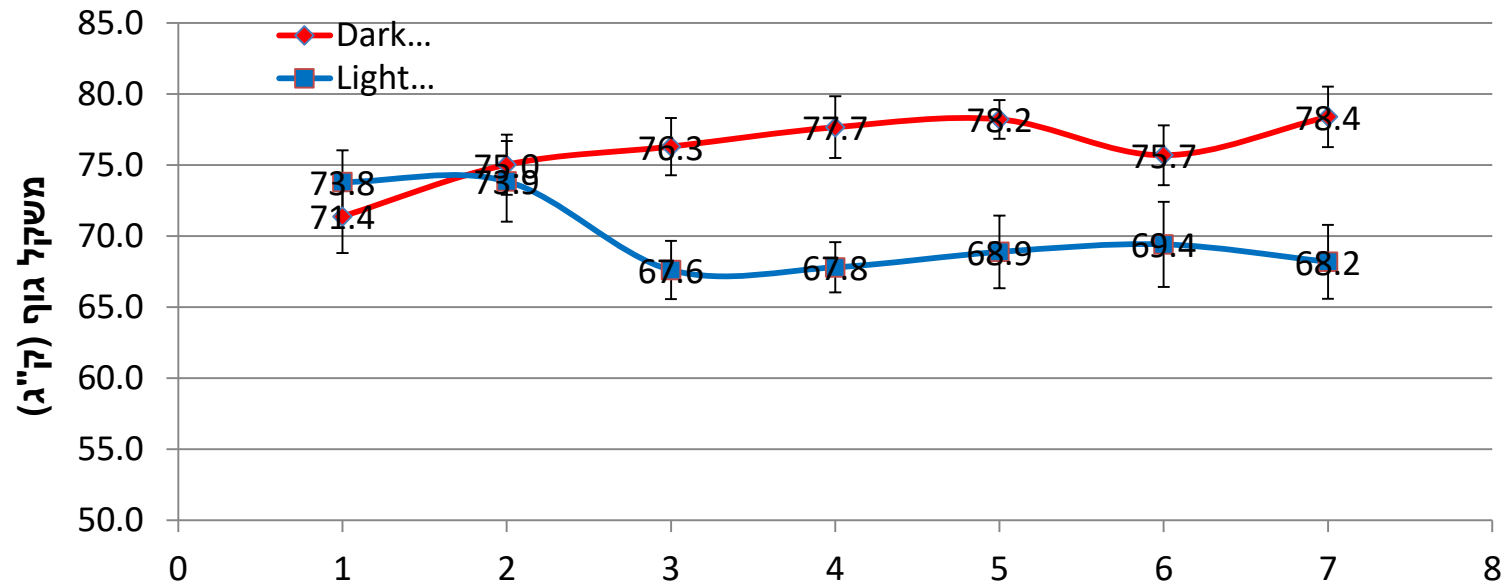
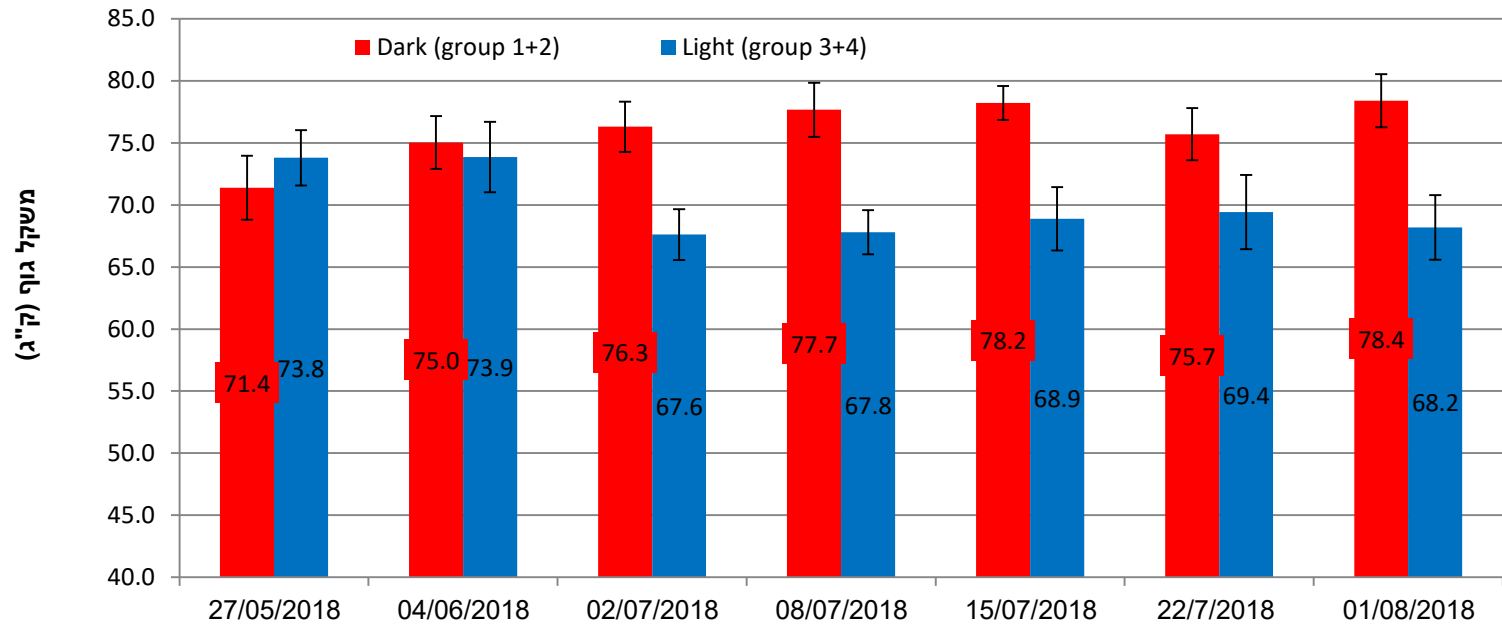
אחרי הארה קצב הלב של קבוצת האור גבוה מקצב הלב של קבוצת החושך
($P = 0.07$, 105.6 ± 2.61 , 102.7 ± 2.33). ההבדלים הם בעיקר בשעות הלילה.

צריכת מזון



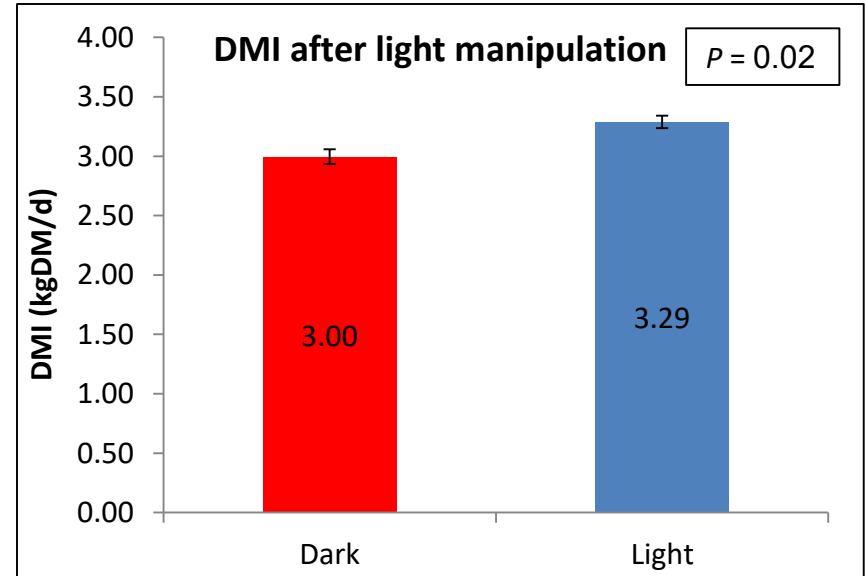
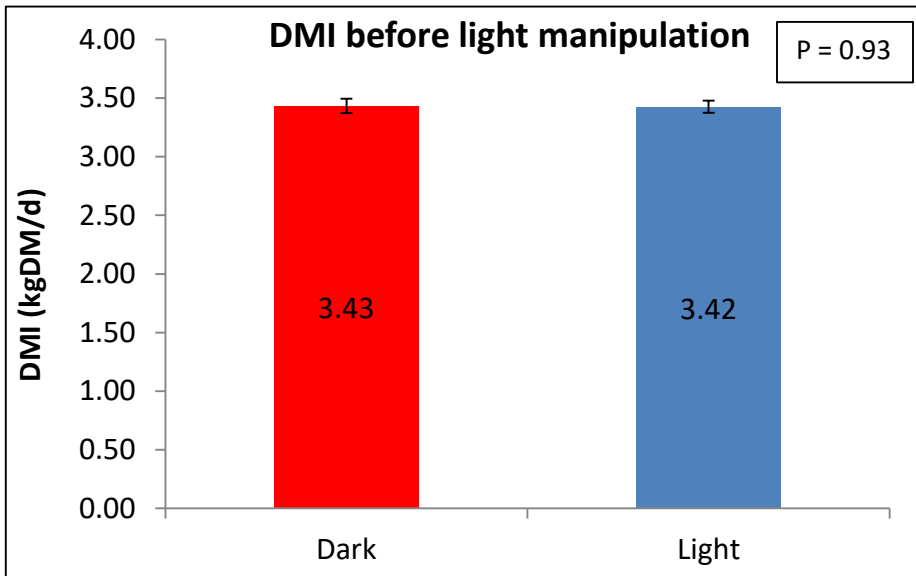
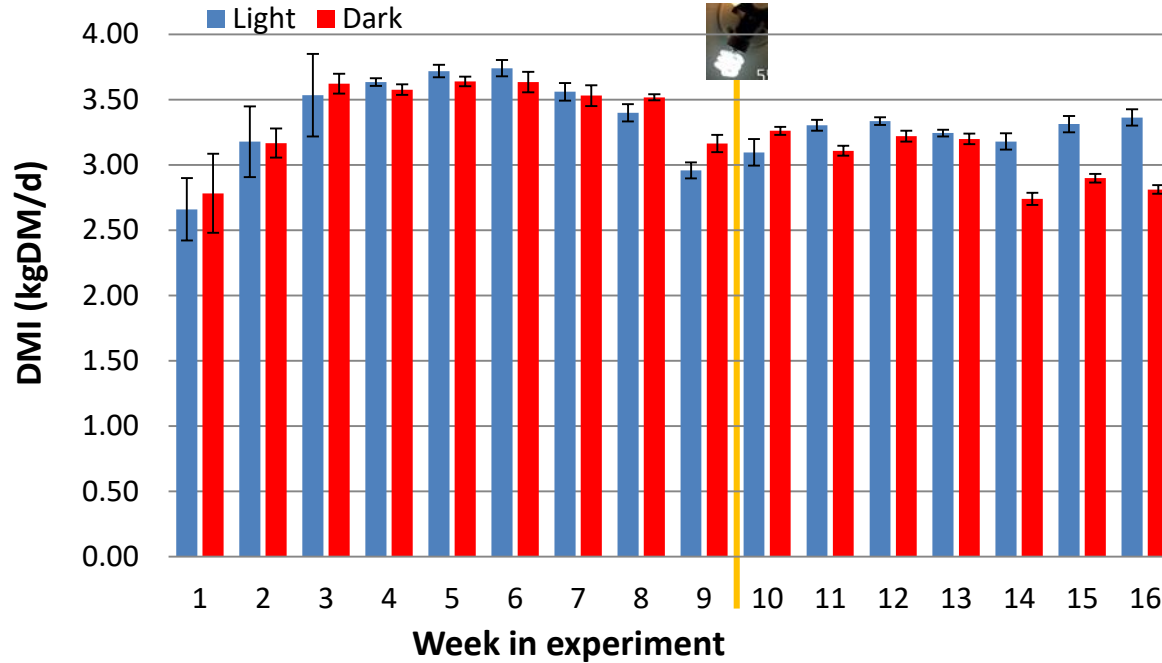
חושך	אור	שבוע
3.09	3.15	1
3.36	3.20	2
3.39	3.06	3
3.70	3.52	4
4.62	3.88	5
4.82	3.92	6
4.51	3.84	7
4.50	3.73	8
4.60	3.79	9
4.13	3.76	10
4.33	3.86	11
3.22	3.18	צריכת מזון לפני
4.40	3.79	צריכת מזון אחרי
0.05		הפרש (חושך – אור) לפני
0.61		הפרש (חושך – אור) אחרי
P = 0.25		Ttest before
P < 0.01		Ttest After

משקל גוף

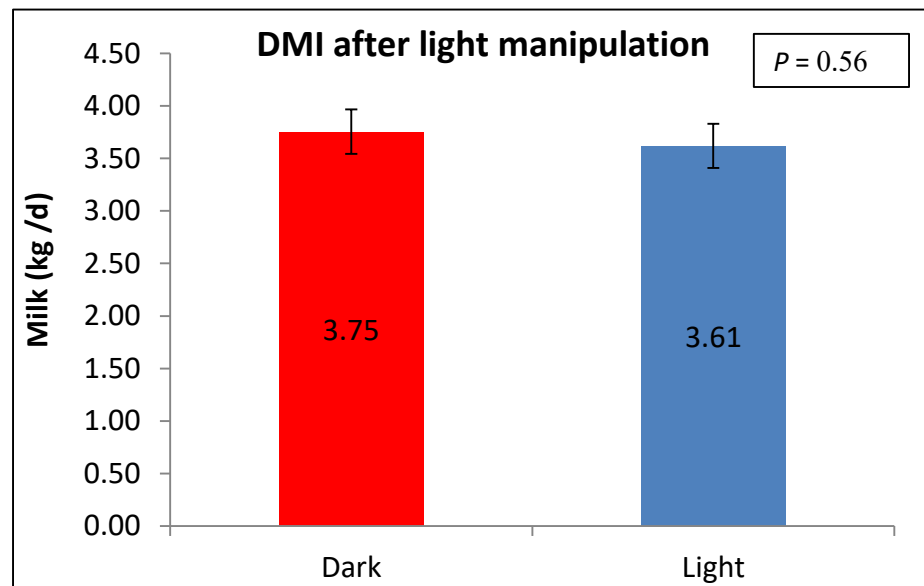
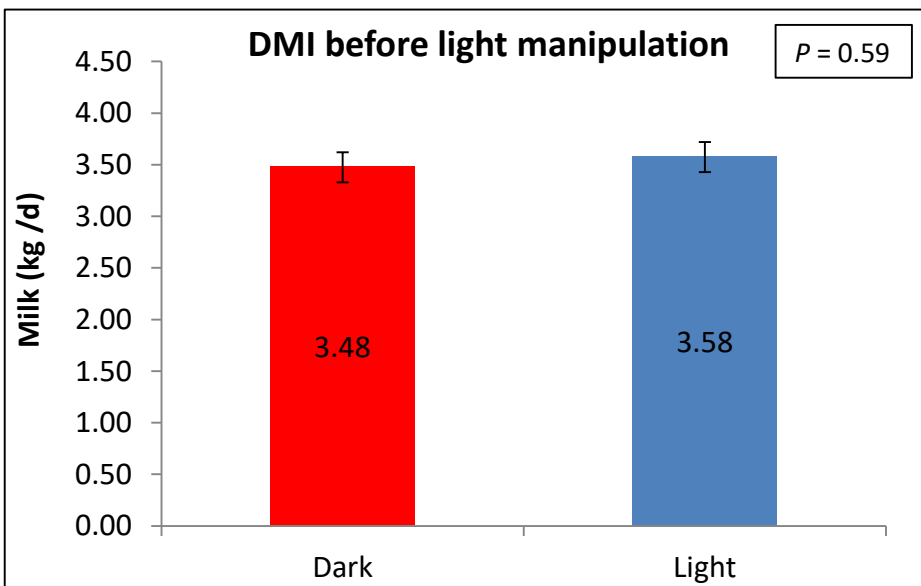
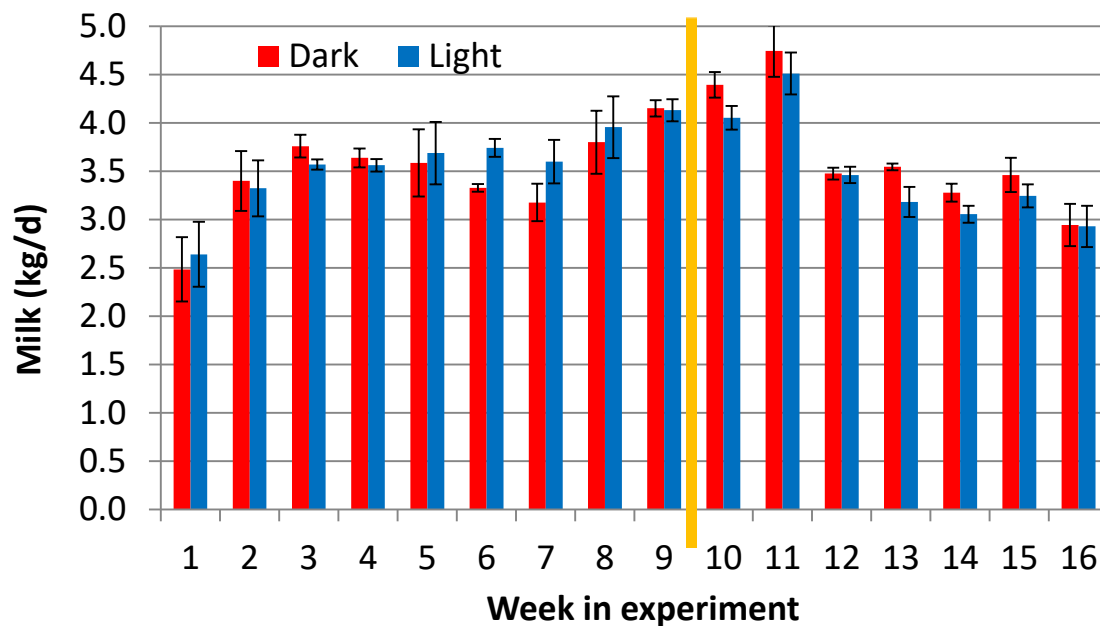


צריכת מזון

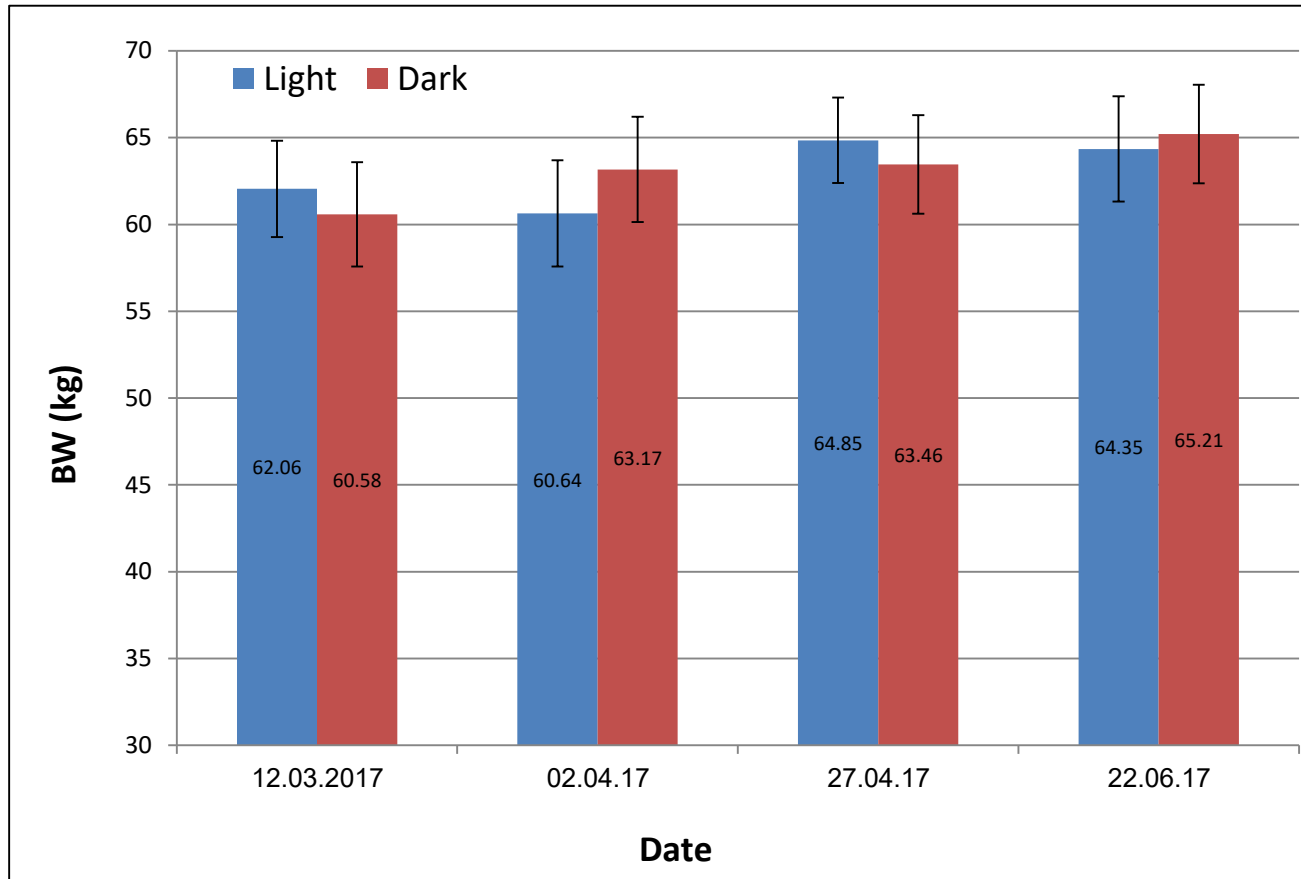
ממוצע מזון שבועי (ק"ג/יום/עז)



תנובת חלב

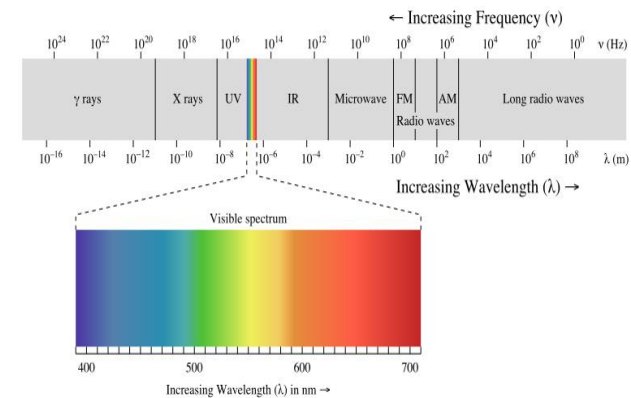
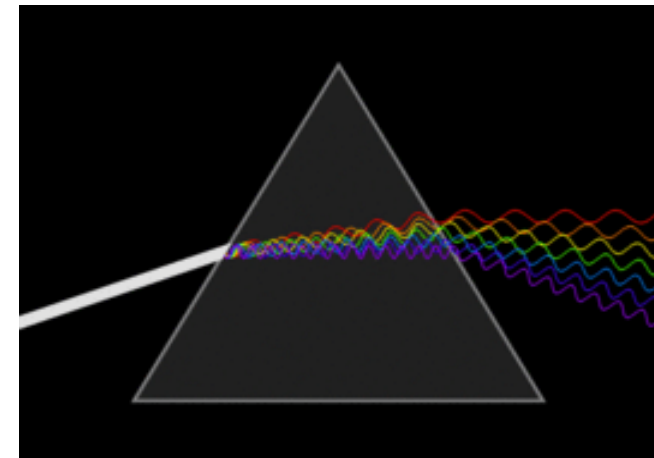


משקל גוף



Light

- Light is electromagnetic radiation within a certain portion of the electromagnetic spectrum.
- The primary properties of visible light are intensity, direction, frequency or wavelength spectrum, and polarization.
- The visible spectrum is the portion of the electromagnetic spectrum that is visible to the human eye. Electromagnetic radiation in this range of wavelengths is called visible light or simply light. A typical human eye will respond to wavelengths from about 400 to 700 nanometers.
- Circadian photo entrainment is the process by which the brain's internal clock becomes synchronized with the daily external cycle of light and dark.
- In contrast to their counterparts that mediate image-forming vision, retinal ganglion cells are intrinsically sensitive to light, independent of synaptic input from rod and cone photoreceptors.



Middle East Light Pollution Map

