

מעט מן האור דוחה הרבה מן החושך (חובת הלבבות של רבנו בחיי אבן פקודה)

מעמקי הים הם מערכת אקולוגית מיוחדת במינה והתנאים בה אינם מתאימים להיווצרות מערכת אקולוגית מגוונת. כאשר מי הים צלולים, אור השמש מגיע עד 10 מטרים מתחת לפני הים, כך שלשכבות העמוקות חודר רק חלק מהאור. בעומק של 150 מטרים כמעט ואין אור ובעומק של 600 מטרים החשיכה היא מוחלטת. בנוסף לתנאי ההארה, ככל שהשכבה עמוקה יותר, לחץ המים גבוה יותר, ואילו ריכוז החמצן והטמפרטורה נמוכים יותר¹.

1. מערכת אקולוגית במעמקי הים מאופיינת באוכלוסיות בעלות מספר פרטים קטן. שניים מהגורמים המשפיעים על גודלן המצומצם של האוכלוסיות הם: כמות האור החודרת וריכוז החמצן. הסבירו את הקשר שבין כל אחד מהגורמים הנ"ל לגודלן של האוכלוסיות באמצעות מודלים אפשריים של "סיבה ותוצאה".

יצורים רבים החיים במעמקי הים זוהרים באור כחול או ירוק של ספקטרום האור. תופעה זו מכונה "הארה ביולוגית" (ביולומינסנציה) והיא תוצר של תהליך אנזימטי, לרוב צורך אנרגיה (ATP), המתבצע בתאים מסוימים ביצורים אלה. בתהליך זה התרכובת לוציפרין מפורקת בנוכחות חמצן על ידי האנזים לוציפראז.

אורגניזמים עם יכולות הארה ביולוגית קיימים גם בבתי גידול יבשתיים. הידועות שבהם הן הגחליליות, משפחה של חיפושיות ליליות קטנות שמינים מסוימים מביניהן מייצרים אור באיבר המצוי בקצה בטן.



תמונה של גחלילית שצולמה בקרית טבעון

מתוך: ויקיפדיה, ערך גחלילית
<https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%92%D7%97%D7%9C%D7%99%D7%9C%D7%99%D7%95%D7%AA>

2. מה מאפיין את התגובה הכימית המתקיימת ביצורים שלהם יכולת לבצע הארה ביולוגית?

- פירוק של תרכובת כימית באמצעות אנרגיית האור.
- יצירה של תרכובת כימית באמצעות אנרגיית האור.
- המרת אנרגיה כימית לאנרגיית אור.
- המרת אנרגיית אור לאנרגיה כימית.

3. הסבירו מדוע פגיעה בתהליכי הנשימה התאית עלולה לפגוע ביכולת ההארה הביולוגית של היצור.

אי:

- פגיעה בתהליך הנשימה התאית המתקיים במיטוכונדריה יכול להשפיע על יכולת ההארה הביולוגית של היצור כי:
- בתהליך הנשימה התאית **משתחרר** חמצן לתאים הדרוש לתגובה האנזימטית של הלוציפראז.
 - בתהליך הנשימה התאית **נצרכת** אנרגיה כימית זמינה (ATP) הדרושה לתהליך האנזימטי של הלוציפראז.
 - בתהליך הנשימה התאית **נוצרת** אנרגיה כימית זמינה (ATP) הדרושה לתהליך האנזימטי של הלוציפראז.
 - בתהליך הנשימה התאית נוצרת התרכובת לוצפרין שהיא המצע (סובסטרט) של הלוציפראז.

¹ לקוח מתוך: "כל אחד הוא אור קטן, וכולנו אור איתן"

"פיתיון זוהר"
הקצה ראשו של דג החכאי, מצל פיו, קיים סנפיר טה מאורק שנקצוהו איבר מיוחד המאכזס בחיידקים מאירים. מנהג זה מסייע למשיכת דגים קטנים לכיוו של החכאי.

"מסך עשן"
השרימפס מפריש את הרכיבים המאירים לאיטם ומייצר האמצעותם עשן כחול המצוור את הטורף שלו ומאפשר את הימלטותו מהטריפה.

"תאורה נגדית"
הדג מייצר בצדו האחורי אור פולואי הדומה לאור הספיפה שמצליח, וכך מסמס את הצללית שלו או אף מצליח אותה בפני יצורים אחרים שצנייהם פונות כלפי מציפה.

"חלק נפרד מהאוף"
תולצת זו משחררת "פצצה" זוהרת אל היט. "פצצה" זו מושכת את הטורף והוא רודף אחריה, מצוד שהתולצת נמלטה.

"מערכת אזעקה"
המדונה פולטת אור לספיפה כאשר היא נתקפת צ"י הסרטן. דיונן המצוי בספיפה נמשך לאור, תוקף את הסרטן ומצניק למדונה אפשרות לפרוח.

התועלת הפונקציונלית של תופעה ההארה הביולוגית נחקרה רבות על ידי מדענים.

במרוצת השנים העלו המדענים מספר סברות אפשריות לשימושים הפונקציונליים של התופעה אצל היצור הנושא אותה, ובהן:

- הגנה: הסוואה, הימלטות והימנעות מטריפה.
- הגנה: הרתעת טורפים באמצעות תצוגה בולטת המעידה על רעילותו של היצור.
- השגת טרף: הסוואה, סיוע בחיפוש אחר טרף, משיכתו ולכידתו.
- תקשורת תוך מינית למטרות רבייה.

קראו את התופעות המוצגות משמאל וענו על שתי שאלות 4-6:

4. א. ציינו עבור כל תופעה שמשמאל את השימוש הפונקציונלי האפשרי של ההארה הביולוגית לאותו היצור. (שימו לב, שניים מבין השימושים הפונקציונליים של תופעת ההארה הביולוגית המצוינים לעיל אינם מתבטאים בתופעות המאורות). השלימו את הפרטים החסרים בטבלה הבאה:

מעובד ומתורגם מתוך:
<https://kids.frontiersin.org/articles/10.3389/frym.2020.00069>

התופעה	הסברה האפשרית לשימוש הפונקציונלי של ההארה הביולוגית
"פיתיון זוהר"	
"תאורה נגדית"	
"מסך עשן"	
"חלק נפרד מהאוף"	
"מערכת אזעקה"	

ב. ציינו את השימושים הפונקציונליים שאינם מתבטאים בתופעות שלעיל.

5. איזו התאמה מתבטאת בכל התופעות שלעיל?

- התאמה התנהגותית ו/או מבנית (מורפולוגית) לגורמים ביוטיים.
- התאמה התנהגותית ו/או פיסיוולוגית-ביוכימית לגורמים אביוטיים.
- התאמה פיסיוולוגית-ביוכימית ו/או התאמה מבנית (מורפולוגית) לגורמים ביוטיים.
- התאמה פיסיוולוגית-ביוכימית ו/או התאמה מורפולוגית לגורמים אביוטיים.

6. מה הם יחסי הגומלין בין הדינון למדוזה בתופעה המכונה "מערכת אזעקה":

- א. טפילות
- ב. טריפה.
- ג. הדדיות
- ד. תחרות

קראו את קטע המידע הבא וענו על שאלות 7-8 שלאחריו:

בעלי חיים מתקשרים בינם לבין עצמם במגוון דרכי תקשורת לצורך מציאת בני זוג, כגון:

- תקשורת קולית- מתקיימת באמצעות קולות וצלילים הנקלטים בחוש השמיעה.
- תקשורת כימית- מתקיימת באמצעות מסרים כימיים (תרכובות כימיות המופרשות לאוויר) שנקלטים בחוש הריח.
- תקשורת חזותית- מתקיימת בעזרת חוש הראייה, וכוללת את הצבע ואת הצורה של איברים שונים של יצורים ואת התנהגותם של היצורים.



עובד מתוך:

<https://www.greenhumour.com/2018/03/fireflies-and-light-pollution.html>

7. א. קבעו באמצעות איור הקומיקס משמאל את דרך התקשורת למטרות רבייה המתקיימת בין שני הזוויגים, נקבות וזכרי הגחליליות.

בחרו את התשובה הנכונה:

דרך התקשורת היא: קולית / כימית / חזותית.

א. ציינו יתרון אחד וחיסרון אחד לדרך התקשורת שקבעתם בסעיף א'.

יתרון: _____
חיסרון: _____

ג. הביאו דוגמא לבעלי חיים אחרים שאצלם מתקיימת דרך תקשורת זו למטרות רבייה.



8. לכל מין של גחלילית אות ייחודי לו. עוצמת האור, משך ההארה ותדירות האיתות אופייניים למין הגחלילית (ראה האיור משמאל). מהי החשיבות של אות ייחודי לכל מין של גחליליות?

מחקרים שבוצעו לאחרונה מעידים על ירידה מתמשכת בגודל של אוכלוסיות הגחליליות, בעיקר מהאזורים העירוניים, בישראל ובעולם. הסיבות האפשריות לתופעה הזו הן ככל הנראה הרס מתמשך של בתי גידול וקטיעה שלהם, שימוש מאסיבי בדשנים ובחומרי הדברה והצטברותם של אלה בסביבה, וכן זיהום אור² הנגרם בשל הארה מלאכותית של מערכות אקולוגיות בשעות החשכה.

קראו את מערך החקר הבא, וענו על שאלות 9-12.

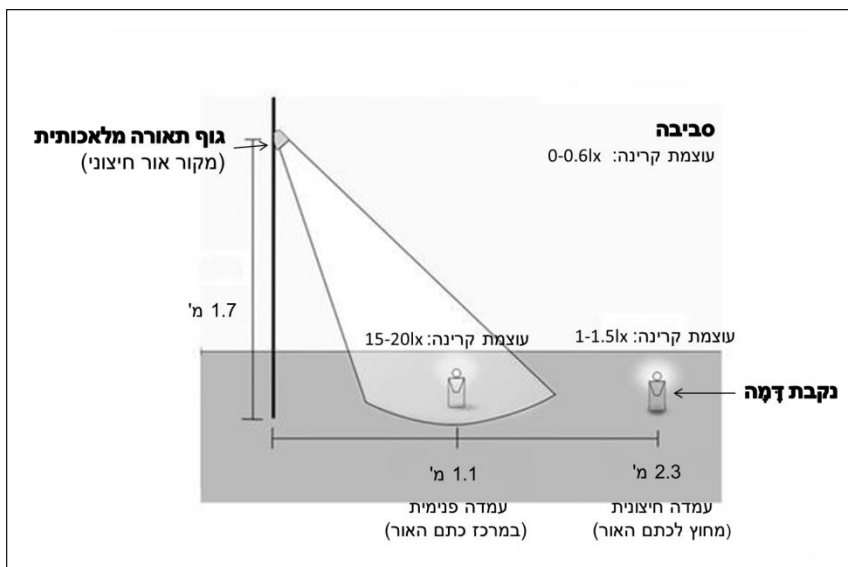
חוקרים בקשו לבחון את ההשפעה של החשיפה לתאורה מלאכותית על יכולת המשיכה המינית באוכלוסיית הגחליליות ממין *Lampyrus noctiluca*. לשם כך הם בצעו הניסוי³ הבא:

בשישה אזורים בדיקה שאינם מוצלים ע"י צמחיה, שם זהו בשנים האחרונות גחליליות זוהרות, החוקרים התקינו גוף תאורה מלאכותית (תאורת LED) בגובה של 1.7 מ'. שתי נקבות דגמה הועמדו בשני מרחקים שונים ממקור האור, האחת-במרחק של 1.1 מטרים ממנו, במרכז כתם האור על פני הקרקע, (עוצמת הארה לה היא נחשפה היתה דומה לזו האופיינית לתאורת חוץ נפוצה), והשנייה- במרחק של 2.3 מטרים ממקור האור, מחוץ לכתם האור (עוצמת הארה לה היא נחשפה היתה גבוהה במעט מעוצמת הארת הרקע הטבעית בלילות קיץ שבאזור הנחקר), ראה איור מס' 3. נקבות הדגמה הכילו מכלי פלסטיק ששימשו מלכודות ללכידת זכרים, והן הקרינו אור בצבע הדומה לזה שמוקרן על ידי נקבות הגחלילית בטבע, וב- 3 עוצמות ההארה שונות; נמוכה, בינונית וגבוהה (ההבדלים בעוצמות הארה של הנקבות בין הבדיקות השונות שיקפו שונות בעוצמת ההארה של נקבות הגחליליות בטבע). עוצמת ההארה של שתי הנקבות היתה זהה בכל בדיקה.

² זיהום אור = סך ההשפעות השליליות של תאורה מלאכותית מתוך: "זיהום אור וצמצומו", סיכום ותובנות של ועדת מומחים 2017

³ Elgert, C., Hopkins, J., Kaitala, A., Candolin, U., **Reproduction under light pollution: maladaptive response to spatial variation in artificial light in a glow-worm**, 15 July 2020,

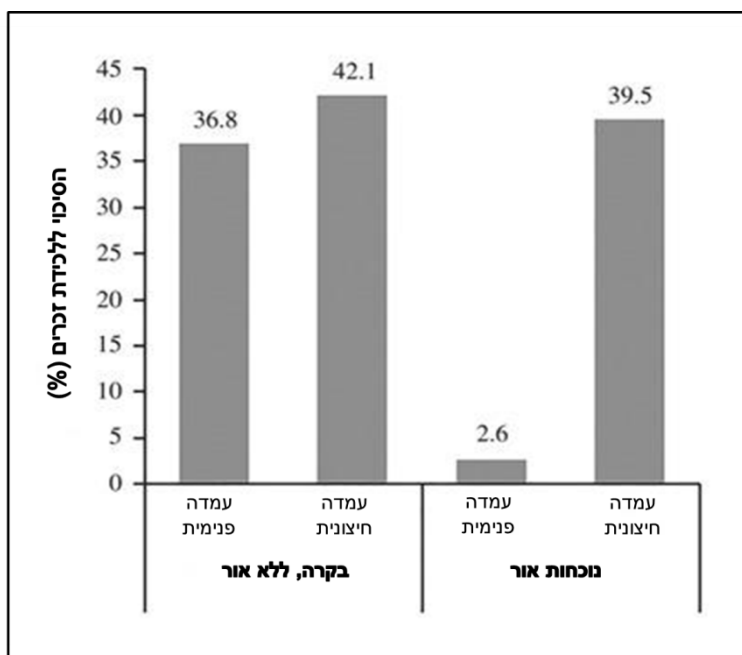
<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2020.0806>



איור מס' 3: תיאור סכמתי של אזור בדיקה

החוקרים התחילו את הניסוי עם רדת החשכה באמצעות הפעלת גופי התאורה המלאכותית ואלה שהותקנו בנקבות הדמה, תוך השארת גופי תאורה מלאכותיים לא מופעלים ששימשו לבקרה בניסוי. הם בדקו את נוכחותם של זכרים במלכודת נקבות הדמה כעבור 3-4 שעות.

החוקרים חזרו על הניסוי מספר פעמים במועדים שונים וסיכמו את תוצאותיו בגרף שלפניכם.



9. נסחו על פי תיאור מערך החקר את שאלת החקר שנבחנה.

10. נסחו מסקנה אחת שניתן להסיק מתוצאות המחקר.

11. שאלה למחשבה: החוקרים בחרו שלא לאמוד את מספר הזכרים הלכודים במלכודת נקבות הדֶמָה אלא את נוכחותם. האם לדעתכם צדקו בהחלטתם זו? הסבירו טענתכם.



12. היעזרו בתוצאות הניסוי שתואר לעיל ובסדרת איורי הקומיקס שמשמאל והסבירו את ההשפעה השלילית של זיהום האור על גודל אוכלוסיות הגחליליות.

או,

- היעזרו בתוצאות הניסוי שתואר לעיל ובסדרת איורי הקומיקס שמשמאל וקבעו איזה מהמשפטים הבאים יכול לשמש הסבר לירידה בגודל אוכלוסיות הגחליליות בהשפעת זיהום האור:
- זיהום אור גורם לחוסר יכולת התמצאות במרחב של שני הזוויגים.
 - זיהום אור גורם לשיבוש בתקשורת החזותית של שני הזוויגים.
 - זיהום אור יוצר מחסום פיזי בין שני הזוויגים.
 - זיהום אור גורם לשיבוש בתקשורת הכימית של שני הזוויגים.

נזקיו של זיהום האור אינה מוגבלת לאוכלוסיית הגחליליות. הוכח במחקרים רבים כי זיהום האור תורם להרחבת האיום על המגוון הביולוגי. הסיבה לכך היא שזיהום אור משפיע על תהליכים רבים בעולם החי והצומח ועל התנהגותם של יצורים, כגון: איתור אויבים טבעיים, חיפוש אחר מזון ומשאבים חיוניים, חלוקת זמני פעילות במרחב בין מינים שונים, יחסי גומלין בין יצורים, ניווט והתמצאות במרחב, רבייה, יצרנות ועוד⁴.

13. בטבלה שלפניכם רשומים כמה מהתהליכים שצוינו לעיל. בחרו באחד מהם והביאו דוגמא להשפעה שלילית של זיהום אור עליו. היעזרו במרשתת לשם כך.

⁴ מתוך:

"זיהום אור וצמצומו", סיכום ותובנות של ועדת מומחים 2017
"מדריך למתכנן שמירה על חשכת הלילה בשטחים הפתוחים, מניעת ומעורר זיהום אור בתכנון תשתיות"

השלימו הפרטים החסרים בטבלה הבאה:

דוגמא	התהליך בעולם החי והצומח
1. הארה מלאכותית מפריעה לחרקים שמאביקים בלילה לזהות את תחילת הדימומים, מה שעלול לגרום להם להגיע אל הפרחים בשעה מאוחרת מדי, לאחר סגירתם של עלי הכותרת. 2. חרקים ליליים מסוימים נרתעים מלעוף באזורים מוארים, שבהם הם חשופים לטורפים, ומתקשים לפיכך למצוא מזון. 3. זהירות רקיע עלולה לפגום בדפוס ההתנהגות התקשורתית של זאב הערבות בלילות מולד ירח ההכרחית להפחתת הסגות גבול וכניסה לטריטוריה של להקה אחרת, או להתארגנות של להקה לצורכי ציד של טרף גדול יותר בתנאי חשכה.	חיפוש אחר מזון ומשאבים חיוניים
1. עשים הנמשכים למקור אור מבילים פחות זמן בהאבקה של פרחים. 2. עשים שנמשכים אל מקור אור ניצודים ביתר קלות על ידי טורפים האורבים להם ליד מקור האור. 3. זיהום אור מפריע לטורפים לראות את צבעי האזהרה שעל כנפיהם של פרפרים כמו ההליקניוס, והם נטרפים ביתר קלות.	יחסי גומלין בין יצורים
1. צבי הים שזה עתה בקעו מהביצה מתקשים למצוא את דרכם לים. 2. חיפושיות הזבל, שלרוב דוחפות את כדור הצואה שלהן בקו ישר, מתחילות ללכת במעגלים כשהן נחשפות לזיהום אור משמעותי.	ניווט והתמצאות במרחב
1. ברמות ההארה מוגברות, נקבת צפרדע מהמין Physalaemus pustulosus נוטה להיות בררנית פחות בבחירת זכר להזדווגות, ככל הנראה כדי למזער סיכויי טריפה מוגברים, תחת הארה, במהלך ההזדווגות. 2. חרקי מים מסדרת הבריומאים (Mayflies) שחיים יום אחד בלבד, מטילים את ביציהם במקורות מים, שהאור המוחזר מהם הוא מקוטב (גלי אור שמוחזרים כולם באותו מישור). בהארה מלאכותית, האספלט	רבייה

הופך למקור של אור מקוטב, והבריומאים מטילים את ביציהם עליו במקום במים. כך, כל הביצים מתות, ואוכלוסייה שלמה עלולה להיות מחוסלת בתוך 24 שעות. 3. ביצי דגי שושנון כתום מזויף (<i>Amphiprion ocellaris</i>) בוקעות תמיד בלילה, כדי לשפר את סיכויי הדגינונים לחמוק מטורפים. ביצים שנחשפו לאור במשך 24 שעות לא בקעו.	
	יצרנות

14. הציעו שתי דרכים אפשריות לצמצום בעיית זיהום האור בישראל.
