

דג הזוהר באור פלואורסצנטי אדום בעומק הים הכחול

Melissa Grace Meadows*

המחלקה לביולוגיה, אוניברסיטת סנט פרנסיס, לורטו, פנסילבניה, ארצות הברית

סוקרים צעירים

MILL CREEK
ELEMENTARY 
גיל: 11-10

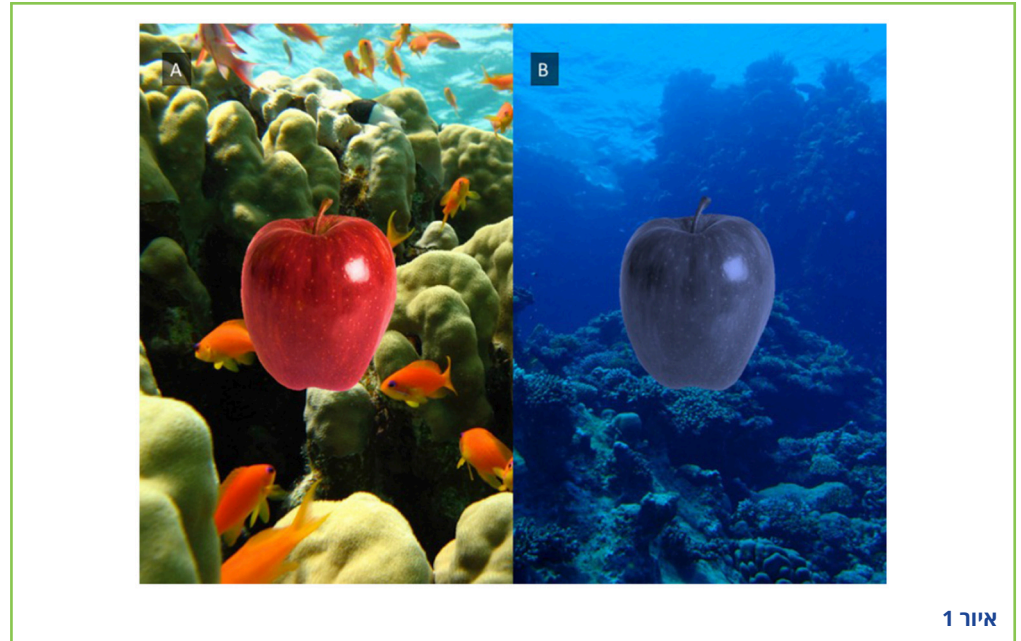
מתחת לפני הים הכול נראה כחול כי המים בולעים את כל האור האדום ולא את האור הכחול. פירושו של דבר, שדגים לא ממש יכולים להיות צבעוניים שם למטה. למרות זאת, יש דגים שנדמה כי הם עושים את הבלתי אפשרי - אף שכל האור הוא כחול, צבעם אדום זוהר! לדגים אלה יש צבעים פלואורסצנטיים מיוחדים הבולעים את האור הכחול, ובמקום זאת מחזירים אור אדום. אבל מדוע? גילינו שלוש סיבות שונות לכך שצבע הדגים פלואורסצנטי אדום. חלק מהם משתמשים בצבעים פלואורסצנטיים אדומים לשם הסוואה, כדי שיוכלו להתגנב אל המזון שלהם. דגים אחרים משתמשים בצבע זה כפנס אדום זוהר, כדי לראות טוב יותר את המזון שלהם. יש דגים שמציגים לראווה את הסנפירים שצבעם פלואורסצנטי אדום לפני בני זוג אפשריים. אני מקווה שאם תגלו כמה יפים דגים אלה, הדבר יעורר אתכם לעזור להגן על הדגים המדהימים האלה ועל האוקיאנוס שבו הם חיים.

מדוע האוקיאנוס כחול?

האם תהיתם אי פעם מדוע מים בכוס הם שקופים, בעוד שמי האוקיאנוס נראים כחולים? האוקיאנוס נראה כחול כי יש בו מים רבים כל כך. האור הלבן מהשמש הוא למעשה תערובת של אור אדום, ירוק וכחול; אתם יכולים לראות זאת בכל פעם שאתם רואים קשת בענן. כשאור

איור 1

(A) חיי הים נראים צבעוניים מאוד קרוב לשטח הפנים. אם תיקחו עימכם תפוח לצלילה, הוא ייראה אדום (כרגיל).
 (B) כאשר אתם צוללים לעומק של כעשרים מטר הכול ייראה כחול, לכם או לדגים שחיים שם, אפילו תפוח אדום. תמונות הרקע צולמו על-ידי ד"ר מליסה מדווס בעומקים של כחצי מטר וכעשרים מטר, ללא שינוי תיקוני צבע. תפוחים הוספו על גבי התמונות האלה כדי להמחיש כיצד אור אדום נבלע על-ידי מים.



איור 1

פיגמנט (Pigment)

מולקולה שבולעת חלק מצבעי האור ומחזירה צבעים אחרים.

השמש עובר דרך מים, החלק האדום של האור נבלע על-ידי מולקולות המים, אבל לא כך החלק הכחול של האור. בליעה זו של האור האדום על-ידי מולקולות המים דומה לאופן שבו מולקולות של **פיגמנט** בחולצה כחולה בולעות אור אדום וירוק, ומחזירות אור כחול שאותו אתם יכולים לראות. כך, במים עמוקים כמו מי האוקיאנוס, בסופו של דבר רק האור הכחול מוחזר מהמים לעיניים שלכם [1].

אבל, איך זה נראה מתחת לפני המים? ובכן, שם קורה בדיוק אותו הדבר. על פני המים, למשל כאשר אתם הולכים לצלול עם **שְנוֹרְקָל** בשוניית אלמוגים טרופית, אתם יכולים לראות צבעים רבים. האור הלבן אינו צריך לחדור דרך מים רבים בפני השטח, כלומר האדום אינו נבלע לחלוטין במים הרדודים. אם תיקחו עימכם תפוח אדום בזמן צלילת שנורקל, הוא עדיין ייראה אדום כמקור מתחת לפני המים, כי הוא עדיין יכול להחזיר אור אדום לעיניים שלכם (איור 1A).

אבל, מה קורה אם אתם צוללים לעומק? ככל שאתם הולכים ומעמיקים, הצבעים מתחילים להיעלם, ככל שהם נבלעים על-ידי כל מולקולות המים המצויות ביניכם ובין השמש. תחילה, אינכם רואים כלל את הצבע האדום, אחר כך נעלמים הכתום והצהוב, ולבסוף, אם תצללו ממש עמוק, אז יעלם גם הירוק. עד שתגיעו לעומק של כעשרים מטר, הכול ייראה כחול. עכשיו התפוח שלכם ייראה כחול-אפור מגעיל (איור 1B)! זהו עדיין תפוח אדום, אבל שם למטה אין אור אדום שיכול להיות מוחזר אל העיניים שלכם. גם דגים אדומים נראים בצבע כחול-אפור... אלא אם כן הדג אינו סתם בצבע אדום רגיל, אלא אדום פלואורסצנטי!

איך ייתכן שדג אדום יהיה אדום בעומק הים הכחול?

דג פלואורסצנטי נשמע כמעט כמו משהו קסום. אין אור אדום בחלק העמוק יותר של השוניית, ומשמעות הדבר היא שרוב הדגים הרגילים יכולים להיראות רק בצבע כחלחל או שחחרח. אבל,

דג פלואורסצנטי אדום נוצץ בצבע אדום בוהק על רקע כל הכחול הכהה. האם מדובר בקסם... או במדע?

פלואורסצנטיות (Fluorescence)

כאשר פיגמנט בולע צבע אחד של האור ואז מחזיר צבע שונה של האור.

ניחשתם נכון – מדע! צבעים פלואורסצנטיים הם מיוחדים מאוד. ייתכן שראיתם **פלואורסצנטיות** לפני כן, אם אי פעם ראיתם כְּרוֹזוֹת הזוהרות באור אולטרה סגול (UV) או צבעים הזוהרים באור UV. צבעים פלואורסצנטיים נראים זוהרים כי הם בולעים צבע אחד של האור ומחזירים צבע אחר. הדבר נובע מהאופן שבו מולקולות הפיגמנט (הצבע) משחררות אנרגיה מהאור שבלעו. כאשר מולקולה של פיגמנט בולעת אנרגיית אור, היא בדרך כלל משחררת לאט את האנרגיה בצורת חום. במקום זאת, מולקולה פלואורסצנטית משחררת חלק מאנרגיית האור שהיא בולעת בצורת אור חדש, שהאנרגיה שלו נמוכה יותר מזו של האור שנבלע. פיגמנטים רגילים פשוט אינם יכולים לעשות זאת – הם יכולים רק להחזיר צבעים של אור שכבר מצויים בסביבתם. לכן, צבעים פלואורסצנטיים נראים מדהים, והם קצת כמו פלא.

זוכרים כיצד הכול נראה כחול בעומק של כעשרים מטר מתחת לפני הים? כמו כרוזות UV חיות, דגים פלואורסצנטיים בולעים את האור הכחול הזה, ואז מחזירים אור אדום. דג החי במים כחולים יותר ועמוקים יותר יראה אפילו אדום פלואורסצנטי זוהר יותר [2]. מאז 2008 גילו ביולוגים ימיים מאות דגי אוקיאנוס פלואורסצנטיים [3, 4]. אבל, עד היום לא ידענו הרבה על הסיבה לכך שדגים אלה הם פלואורסצנטיים. במחקר חדש בחנו את היתרונות שדגים עשויים להפיק מכך שצבעם אדום פלואורסצנטי.

מדוע דגים הם פלואורסצנטיים?

ישנן סיבות רבות לכך שלבעלי חיים יש צבעים מסוימים. היו לנו כמה רעיונות המציעים הסבר אפשרי לכך שעל סוגי דגים מסוימים יש דוגמאות בצבע אדום פלואורסצנטי, כולל שלוש ההשערות הבאות:

1. **השְׁעָרָה 1: הַסוּאָה?** ראשית, ייתכן שדגים משתמשים באור פלואורסצנטי אדום כדי להתמזג עם רקעים אדומים פלואורסצנטיים, כלומר להסוות את עצמם. סוגים מסוימים של אצות, שעליהן יושבים דגים, זוהרות בצבע פלואורסצנטי אדום. כמו חייל הלובש בגדי הסוואה, הנחנו שסביר יותר להניח כי על דגים שאוהבים לשבת ולחכות לטְרָף שלהם (בעלי החיים שהם אוכלים) בלי להיראות, יהיו דוגמאות פלואורסצנטיות בלתי אחידות, הנראות כמו רקע האצות שעליהן הדגים נמצאים.

2. **השְׁעָרָה 2: עיני פנס אדומות?** שנית, ייתכן כי דגים שיש להם עיניים פלואורסצנטיות משתמשים בעיניים שלהם בתור פנסים אדומים, כדי להאיר על הטרף שלהם. לכמה בעלי חיים זעירים המשמשים טרף יש עיניים בוהקות מאוד. פנס אדום בסביבה כחולה יגרום לעיני הטרף לבלוט! הנחנו שסביר יותר להניח כי לדגים הניזונים מטרף זעיר זה שענינו בוהקות יהיו עיניים פלואורסצנטיות, לעומת דגים אחרים שניזונים מטרף אחר.

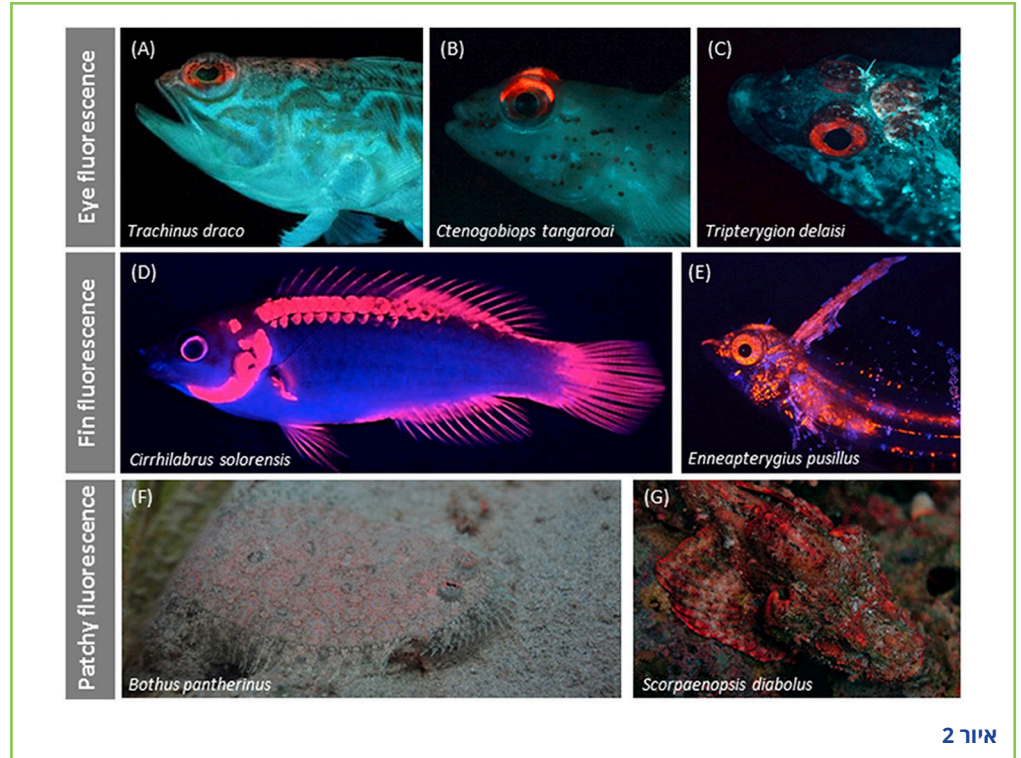
3. **השְׁעָרָה 3: הצגה לראווה?** שלישית, ייתכן כי דגים משתמשים בסנפירים שצבעם פלואורסצנטי אדום בוהק כדי להציג את עצמם לראווה לפני בני זוג אפשריים. דגים רבים עורכים מְפָגֵן של סנפירים צבעוניים, שאותם הם מנופפים כמו דגלים האומרים: "שימו לב אליי!" האם סנפירים שצבעם אדום פלואורסצנטי בוהק הם דרך נהדרת לקבל

הסוואה (Camouflage)

כאשר משהו מתמזג ברקע שלו, דבר המְקַשֵּׁה לראותו.

איור 2

(A-C) אפשר להשתמש בעיניים פלואורסצנטיות אדומות כפנסים אדומים כדי לראות בִּיתָר קלות טרף שעיניו זוהרות; (D, E) אפשר להשתמש בסנפירים פלואורסצנטיים כדי להיות מוצגים לראווה לפני בני זוג אפשריים; (F, G) אפשר להשתמש בדוגמאות בצבע פלואורסצנטי אדום לצורך הסוואה וכדי להתחבא מהטרף על רקע פלואורסצנטי אדום של אצות, של אלמוגים או של ספוגים. התמונות צולמו על-ידי ד"ר ניקו מיכאליס במאמר המקור. כל התמונות כאן צולמו באור כחול כדי שאפשר יהיה לראות את הפלואורסצנטיות. כדי לראות תמונות של דגים פלואורסצנטיים באור פלואורסצנטי ולא-פלואורסצנטי, גשו למאמר שכתבו מדווס ועמיתיה [2].



איור 2

תשומת לב, על רקע הים הכחול? אם כך הדבר, סביר יותר להניח כי למיני דגים שבהם אפשר להבחין בהבדלים בין נקבה (בת) לזכר (בן) יש סנפירים פלואורסצנטיים.

איך חקרנו פלואורסצנטיות בדגים?

כדי לגלות אם דגים משתמשים בפלואורסצנטיות לְשֵׁם הסוואה, כפנסים אדומים או לשם הצגה לראווה, חיפשנו פלואורסצנטיות אדומה ב־665 מינים שונים של דגים. אחר כך, צילמנו בעזרת אור כחול את הדגים הפלואורסצנטיים, בדיוק כאילו היו בעומק הים. כך יכולנו לראות בקלות את הפלואורסצנטיות האדומה, ולומר עבור כל סוג של דג אם יש לו עיניים פלואורסצנטיות, דוגמאות הסוואה פלואורסצנטיות או סנפירים פלואורסצנטיים (איור 2). אדם אחר, שאינו יודע אלה דגים הם פלואורסצנטיים, חיפש בספרים כדי ללמוד יותר על האקולוגיה של דגים אלו. אקולוגיה היא יחסי הגומלין של בעלי חיים עם סביבתם או בינם ובין עצמם. עבור כל דג, בדקנו אם הוא מסוג הדגים הטורפים היושבים ומחכים לטרף או טורפים השוחים בחופשיות, אוכלים טרף זעיר שעיניו זוהרות, או שיש עליהם דוגמאות המאפשרות לבני אדם להבדיל בין הזכרים לנקבות.

מה גילינו?

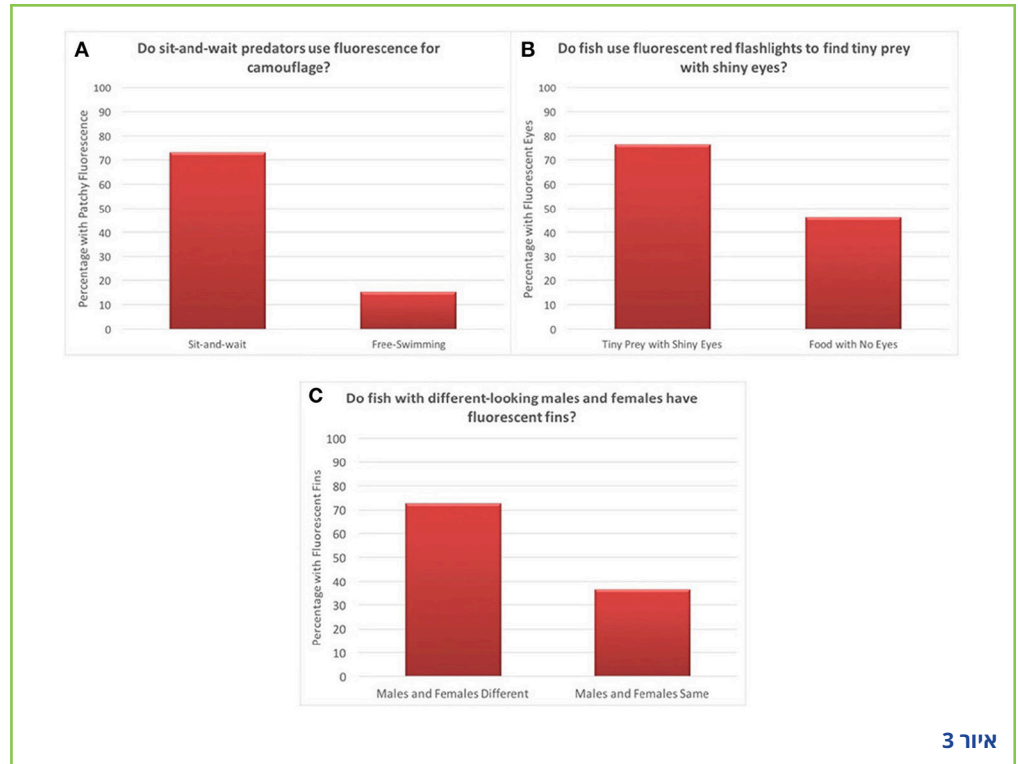
גילינו כי צבעם של 272 מתוך 665 הדגים שחקרנו הוא פלואורסצנטי אדום, כלומר יש הרבה מאוד דגים פלואורסצנטיים שמדענים לא ידעו על קיומם. יש לכך חשיבות, כי משמעות הדבר היא שלמעשה לא מדובר בסוג צבע נדיר של דגים. גילינו כי דגים רבים משתמשים בפלואורסצנטיות כדי להיות אדומים בחלקים העמוקים של האוקיאנוס. ללא שימוש בצבעים

אקולוגיה (Ecology)

אופן יחסי הגומלין של יצור חי עם סביבתו, ובינו ובין יצורים חיים אחרים.

איור 3

תוצאות. (A) האם טורפים שמחכים על הקרקעית משתמשים בפלואורסצנטיות לצורך הסוואה? בגרף מוצג אחוז הדגים שעל גופם דוגמאות פלואורסצנטיות אדומות, והם טורפים ששוחים בחופשיות או טורפים המחכים על הקרקעית. יש יותר טורפים המחכים על הקרקעית שעל גופם דוגמאות פלואורסצנטיות אדומות, מאשר על גופם של טורפים חופשיים, דבר המאשש את ההשערה שדוגמאות פלואורסצנטיות אדומות משמשות להסוואה; (B) האם דגים משתמשים בפנסים פלואורסצנטיים אדומים כדי למצוא טרף זעיר שעניו זוהרות? אחוז הדגים שענייהם פלואורסצנטיות אדומות חסר עיניים או מטרף שעניו זוהרות. יש יותר דגים שענייהם פלואורסצנטיות אדומות הניזונים מטרף זעיר שעניו זוהרות, מאשר בדגים הניזונים מטרף ללא עיניים, דבר המאשש את ההשערה שהם משתמשים בעיניים הפלואורסצנטיות שלהם כדי להאיר את העיניים הזוהרות של הטרף שלהם; (C) האם לדגים שבהם הנקבה והזכר נראים שונה יש סנפירים פלואורסצנטיים? אחוז הדגים שסנפיריהם פלואורסצנטיים שבהם אפשר להבחין בין זכרים לנקבות או שבהם הזכרים והנקבות נראים אותו הדבר. יש יותר דגים שסנפיריהם פלואורסצנטיים שבהם יש הבדלים בין הזכרים לנקבות, מאשר דגים שבהם הזכרים והנקבות נראים אותו דבר, דבר המאשש את ההשערה שהם משתמשים בסנפירים הפלואורסצנטיים שלהם כדי להציג את עצמם לראווה לפני בני זוג אפשריים. את האיור ציירה ד"ר מליסה מדוס, בהתבסס על נתונים ממאמר המקור.



איור 3

פלואורסצנטיים לא יתאפשר להם להיות אדומים בעומק של כעשרים מטר מתחת לפני המים. זהו סוג צבע שהתגלה לאחרונה, וחשוב שמדענים אחרים יבינו אותו אם הם רוצים לדעת על יחסי הגומלין של הדגים עם הסביבה שלהם או בינם ובין עצמם.

השערה 1: הסוואה? רק במעט מסוגי הדגים השוחים במים כדי לתפוס טרף ראינו דוגמאות פלואורסצנטיות היכולות לְשַׁמֵּשׁ להסוואה. לעומת זאת, על יותר מ-70% מהדגים הנמצאים על קרקעית האוקיינוס ומחכים ללכוד טרף תמים יש דוגמאות פלואורסצנטיות של הסוואה, דבר המְאִשֵּׁשׁ את השערה 1 (איור 3A). לעיתים קרובות נראים דגים שעליהם דוגמאות פלואורסצנטיות של הסוואה על דברים פלואורסצנטיים כגון אלמוגים, ספוגים ואצות. כאשר הם נמצאים על רקע פלואורסצנטי, דגים אלה משתמשים בפלואורסצנטיות שלהם כדי להתמזג בסביבתם ולהתחבא מהטרף שלהם. הם פשוט מחכים שהטרף שלהם יתקרב ואז זוללים אותו!

השערה 2: עיני פנס אדומות? בערך ל-75% מהדגים שניזונים מטרף זעיר שעניו זוהרות יש עיניים בצבע פלואורסצנטי אדום, עובדה שמאששת את השערה 2. לִפְחוֹת מ-50% מהדגים הניזונים מטרף שאין לו כלל עיניים יש עיניים בצבע פלואורסצנטי אדום (איור 3B). משמעות הדבר היא שסביר להניח כי עיניים בצבע פלואורסצנטי אדום באמת משמשות כפנסים! דגים פלואורסצנטיים אדומים מאירים את העיניים הזוהרות של הטרף שלהם כדי שיוכלו לראות את העיניים של הטרף שלהם זוהרות בצבע אדום על הרקע הכחול.

דגים ממש מגניבים, הנקראים "דגי פֶּנֶס", עושים פחות או יותר את אותו דבר, אבל לא בעזרת פלואורסצנטיות אלא בעזרת **אורות ביולוגית (ביולומינסצנציה)**. לדגי פנס יש מְעִין שקיות מתחת לעיניהם, שמייצרות אור, תוך שימוש בתגובות כימיות. הדבר פועל בדיוק כמו אצל הגחליליות שאולי תפסתם בחצר ביתכם בקיץ. דגי פנס יכולים להאיר לְשֵׁם תקשורת בלילה.

אורות ביולוגית (Bioluminescence)

כאשר יצור חי מייצר אור מְשֵׁל עצמו בעזרת תגובות כימיות.

השערה 3: הצגה לראווה? בערך ל-85% ממיני הדגים שבהם ישנם הבדלים ברורים בין זכרים לנקבות יש סנפירים בצבע פלואורסצנטי אדום, דבר המאשש את השערה 3. במיני דגים שבהם הנקבות והזכרים נראים אותו הדבר, יש סנפירים פלואורסצנטיים בפחות מ-50% מהדגים (איור 3C). משמעות הדבר היא שסנפירים פלואורסצנטיים אדומים כנראה משמשים בדגים רבים כדי לְסַמֵן אם הם זכרים או נקבות. אפשר יהיה לראות ממש בקלות את הסנפירים הצבעוניים הבוהקים האלה על רקע המים הכחולים בעומק של כעשרים מטר. איזו דרך נהדרת להציג את עצמם לראווה לפני בני זוג אפשריים! אפשר גם להזיז את הסנפירים למעלה ולמטה, וכך הדגים יכולים להחביא את הדגלים האדומים שלהם כאשר טורפים נמצאים בסביבה.

מדוע יש חשיבות לדגים פלואורסצנטיים אדומים?

אני חושבת שזה ממש מגניב שדגים יכולים להיות צבעוניים, אף כי במבט ראשון נראה בלתי אפשרי ליצור את הצבעים. הם יכולים להיות אדומים, אף שכל האור בסביבה שבה הם חיים הוא כחול. עבור ביולוגים ימיים כמוני, זהו דבר מדהים. אני מקווה שקצת יותר ידע על יופיים הרב של דגים אלה ועל הצבע האדום הפלואורסצנטי המדהים הזה יעורר את הילדים, את הוריהם ואת מוריהם לאהוב את האוקיאנוס עוד יותר. אנא הצטרפו אליי ואל ביולוגים ימיים אחרים בעבודתנו, שמטרתה לְשַמֵר את המערכת האקולוגית הזו ואת כל מגוון החיים שבה. נוסף על כך לעולם אין לדעת אלה תגליות יהיו שימושיות למין האנושי, בסופו של דבר. פיגמנטים פלואורסצנטיים ממדוזה משמשים כיום כדי לראות חלקים שונים בתאים; כדי לאבחן מחלות ואפילו כדי ליצור חלק ממסכי הטלוויזיה. יום אחד עשויים הפיגמנטים הפלואורסצנטיים בדגים להיות חשובים ברפואה או בתחומים אחרים.

מאמר המקור

Anthes, N., Theobald, J., Gerlach, T., Meadows, M. G., and Michiels, N. K. 2016. Diversity and ecological correlates of red fluorescence in marine fishes. *Front. Ecol. Evol.* 4:126. doi: 10.3389/fevo.2016.00126

מקורות

1. Jerlov, N. G. 1968. *Optical Oceanography*. New York, NY: Elsevier.
2. Meadows, M. G., Anthes, N., Dangelmayr, S., Alwany, M. A., Gerlach, T., Schulte, G., et al. 2014. Red fluorescence increases with depth in reef fishes, supporting a visual function, not UV protection. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 281:20141211. doi: 10.1098/rspb.2014.1211
3. Michiels, N. L., Anthes, N., Hart, N. S., Herler, J., Meixner, A. J., Schleifenbaum, F., et al. 2008. Red fluorescence in reef fish: a novel signaling mechanism? *BMC Ecol.* 8:16. doi: 10.1186/1472-6785-8-16
4. Sparks, J. S., Schelly, R. C., Smith, W. L., Davis, M. P., Tchernov, D., Pieribone, V. A., et al. 2014. The covert world of fish biofluorescence: a phylogenetically widespread and phenotypically variable phenomenon. *PLoS ONE.* 9:e83259. doi: 10.1371/journal.pone.0083259

פורסם אונליין: 03 במרץ 2020

נערך על ידי: Michele A. Johnson, Trinity University, United States

ציטוט: Meadows MG (2020) דג הזוהר באור פלואורסצנטי אדום בעומק הים הכחול.

Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2018.00059-he

תורגם והותאם:

Meadows MG (2018) Fish Glow Fluorescent Red in the Deep, Blue Sea. Front. Young

Minds 6:59. doi: 10.3389/frym.2018.00059

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © 2018 © Meadows 2020. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרים צעירים**MILL CREEK ELEMENTARY, גיל: 10-11**

אנו נבחרת אפטון! אנו קבוצת תלמידי כיתה ה' (בני 10-11) ממיזורי, ארצות הברית. אנו כיתה יצירתית ופעילה. במיוחד אנו נהנים ממרוצים; מחינוך גופני ומאומנות. הכיתה שלנו פטפטנית וטובה בדברים שונים רבים, כך שעבדנו ממש טוב כצוות בזמן סקירת המאמר. אהבנו לעבוד עם אלי ועם רוני כדי ללמוד על דגים פלואורסצנטיים ועל הסיבה לכך שהאוקיאנוס הוא כחול, ומקווים שגם אתם נהניתם!

הכותב**MELISSA GRACE MEADOWS**

מליסה מדווס מובילה את תוכנית המדע, האקווריום וגן החיות של הביולוגיה הימית באוניברסיטת סנט פרנסיס בלורטו, פנסילבניה. היא עבדה בנושאים שונים בתחום הצבע של בעלי חיים ושל ביולוגיה ימית, מהססגוניות של יונקי הדבש ועד לשימור שוניות האלמוגים, וכמובן פלואורסצנטיות בדגים! היא הייתה בכל רחבי העולם לצורך מחקר וטיולי שדה, כולל: שוניות האלמוגים בפלורידה, סנט לוסיה, גרמניה, הים האדום במצרים, איטליה, צרפת, ניו זילנד ואיי גלפאגוס. היא מדריכת צלילה ואוהבת להיות מתחת לפני המים, ובמיוחד להציג לפני סטודנטים את שוניות האלמוגים. *mmeadows@francis.edu



Hebrew version
provided by

מחיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ע.ר.)
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem

