

28.3.2019

תפוצת חיידקי וולבכיה בפרוקי רגליים - למורה

וולבכיה הוא חיידק המקיים יחסי גומלין מסוג סימביוזה¹ עם פרוקי רגלים וביניהם חרקים ממינים שונים. חיידקי וולבכיה מדביקים את הנקבות, מתרבים בתאי הרבייה שלהן ועוברים באמצעותם לדור הבא של החרקים (ראו שיעור הכנה סעיף א).
החרקים המודבקים מוגנים מהדבקה של וירוסים כדוגמת וירוס ה**זיקה** הנפוץ במרכז אמריקה ובדרומה או וירוס הדאנגי שהיה נפוץ באוסטרליה. במחקרים שבוצעו עד היום נמצא כי במדינות בהן אחוז החרקים המודבקים בוולבכיה הוא גבוה, שיעור התחלואה של בני אדם בקדחת הזיקה הוא נמוך (ראו מקורות מידע עמ' 12-14).
בניסוי התלמידים יפיקו DNA מחמישה חרקים אותם הם אספו בקרבת בית הספר. התלמידים ישוו את ה-DNA של חרקים אלה לשתי קבוצות של חרקים: חרקים שידוע שהודבקו **בוולבכיה (W+)** וחרקים שידוע שלא הודבקו **בוולבכיה (W-)**. על פי השוואות אלה התלמידים יוכלו לקבוע לגבי כל חרק שאספו האם הוא נדבק בוולבכיה ולחשב את אחוז החרקים המודבקים בקרבת בית הספר.

הניסוי מחולק לשלושה חלקים:

חלק א: הכרת שיטה להפקת DNA מתאים.

חלק ב: הגברת ה-DNA שהופק באמצעות שיטת PCR.

¹ ידועים סוגים שונים של יחסי סימביוזה בין חיידקי וולבכיה לבין האורגניזמים המאכסנים אותם, מטפילות ועד הדדיות הכרחית.

חלק ג: זיהוי חרקים שנדבקו בוולבכיה באמצעות אלקטרופורזה בג'ל.

במסמך זה המבוא (עמודים 2-4) ורשימת מקורות מידע (עמ' 12-14) משותפים לכל חלקי הניסוי.

אנו ממליצים לבצע את כל חלקי הניסוי במסגרת עבודת "ביוחקר מולקולרי" שבה יוכלו להשתתף לכל היותר 12 תלמידים מכיתה, שיתחלקו ל-4 קבוצות. ההשתתפות במיזם זה תלויה באישור נושא החקר על ידי המנחה המחוזי. המורה שקיבל אישור להשתתף במיזם ינחה את הלבורנט כיצד להזמין במרכז לפיתוח ולתמיכה במעבדות הביולוגיה בבתי הספר ערכה מתאימה. הערכה כוללת חומרים שעד כה לא סופקו לבתי הספר ופריטי ציוד יקרים שנציג בית הספר יקבל בהשאלה ויהיה חייב להחזירם במועד שיקבע לו.

בשל ייחודו של הנושא, הדפים "[תפוצת חיידקי וולבכיה בפרוקי רגליים – לתלמיד](#)" כוללים תיאור מדויק והסברים של כל שלבי העבודה. הדפים "[תפוצת חיידקי וולבכיה בפרוקי רגליים](#)" בשל ייחודו של הנושא, הדפים "[תפוצת חיידקי וולבכיה בפרוקי רגליים – לתלמיד](#)" כוללים תיאור מדויק והסברים של כל שלבי העבודה. הדפים "[תפוצת חיידקי וולבכיה בפרוקי רגליים – לתלמיד](#)" כוללים הסבר מפורט ומדויק כיצד ומתי יהיה עליו להכין מהחומרים שקיבל את כל שידרש לתלמידים לביצוע הניסוי. בקובץ זה, הקובץ למורה, יש הסברים בנוגע למהלך העבודה בכל החלקים של הניסוי וכן פריטי מידע ודגשים שראוי לתת עליהם את הדעת.

מבוא

הכרת שיטה להפקת DNA מחרקים ובדיקת תפוצת חיידקי וולבכיה בפרוקי רגליים הנמצאים בקרבת בית הספר	תמצית מידע על הניסוי:
בחטיבה העליונה (כיתות יא, יב)	מתאים לתלמידים:

• יחסי גומלין בין אורגניזמים, תהליכים אבולוציוניים • מבנה תא אאוקריוטי ותא פרוקריוטי • מבנה DNA, שכפול DNA • היכרות עם כלים ושיטות עבודה בביולוגיה מולקולרית: הגברה ב-PCR והרצת DNA באלקטרופורזה בג'ל	ידע קודם נדרש:
• 2 שיעורי הכנה • שיעור לביצוע הפקת ה-DNA מ-7 חרקים • שיעור להכנת מבחנות ה-PCR להגברה • שיעור להטענת הדגימות בג'ל	הזמן הנדרש:
• ניסוח שאלות חקר אפשריות הקשורות לפרויקט הוולבכיה • ניסוח השערות • הסבר חשיבותם של טיפולי בקרה • הסקת מסקנות, מגבלות ההסקה	אסטרטגיות חשיבה מסדר גבוה:

• חיתוך הגונדות בחרקים הגדולים מ-2 מ"מ • שימוש במיקרופיטור • הטענת הדגימות בג'ל	מיומנויות טכניות נדרשות
---	---

נהלי בטיחות

- בעת ביצוע הניסוי חובה על תלמידים, על הלבורנטים ועל המורים להשתמש בכפפות, בחלוק ובמשקפי מגן.
- בעת עבודה עם ציוד חשמלי יש לנקוט משנה זהירות ולהקפיד שסביבת העבודה תהיה יבשה.
- לפני תחילת העבודה ובסיומה יש להקפיד על רחיצת ידיים וחיטוי השולחנות באתנול 70%.
- חשוב לקרוא את כללי הבטיחות וההנחיות [בחוזרי הבטיחות](#) המתפרסמים באתר מפמ"ר ביולוגיה ולעבוד על פי ההנחיות שהתפרסמו בהם ("חוזר מנכ"ל החדש והמעודכן לבטיחות במעבדה מרץ 2015", "הנחיות לשמירה על בטיחות בעבודה במעבדה לביולוגיה", "עבודה במעבדה במיקרוביולוגיה", "הנחיות הבטיחות לעבודה במעבדה 2018").

שיעורי הכנה לפני ביצוע הניסוי

בשיעורי ההכנה מומלץ לעסוק בנושאים חשובים להצלחת הניסוי אך אינם מוכרים לתלמידים.

א. הכרת מבנה גופם של חרקים וזיהויים².

איסוף החרקים צריך להתבצע בקרבת בית הספר. אפשר לאסוף חרקים בעזרת רשתות או מלכודות פרומונים. לאחר לקידת חיידק יש לתעד את פרטיו: למספר את החרק, לרשום את תאריך האיסוף והיכן נאסף, לצלם ולהגדיר את החרק. להגדרת החרק ניתן להיעזר [באתר הטבע הישראלי / חרקים](#) או [בעמותת האנטומולוגיה](#) או במדריך החרקים ופרוקי רגליים אחרים בישראל מאת פ. אמיתי (הוצאת כתר 1987). חשוב שהתלמידים ידעו לזהות את הגונדות של החרקים כדי שיוכלו לטפל כראוי בחרקים שגודלם גדול מ-2 מ"מ.

ב. טיפול בחרקים לאחר שנאספו.

התלמידים ישמרו את החרקים שאספו בכלי קטן עם מכסה או מבחנה עם פקק (ראו פריט 10 עמ' 5 בקובץ "[תפוצת חיידקי וולבכיה בפרוקי רגליים – ללבורנט](#)"). בחרקים שגדולים מ-2 מ"מ חייבים להפריד את הגונדות מגוף החרק ולהכניס רק אותן לכלי. עד למועד הפקת ה-DNA יש לשמור את הכלי בהקפאה או להוסיף לכלי אתנול 95% ולהשרות בו את החרק או את הגונדות.

² או פרוקי רגליים אחרים.

חשוב להדריך את התלמידים כיצד להפריד את הגונדות תוך שימוש בבינוקלור, בסקלפל ובמלקטת.

יש להקפיד ולמלא אחר הוראות הבטיחות לעבודה עם סקלפל:

- בעת השימוש בסקלפל יש להחזיק את החרק עם פינצטה ולא עם היד.
- אין להשתמש בלהב של סקלפל שימוש חוזר.
- בתום השימוש רצוי לזרוק את הלהב לפח פסולת חדה או לכסות אותו בנייר עבה ולהשליכו לפח אשפה רגיל.

ג. היכרות עם פרוויקט הוולבכיה וחשיבותו.

מטרת פרוויקט הוולבכיה היא לצמצם או למנוע הדבקה של פרוקי רגליים בנגיפים הגורמים למחלות בבני אדם. ידוע כי פרוקי רגליים שמודבקים בוולבכיה אינם הופכים לנשאים של נגיפים הגורמים למחלות בבני אדם³. אחד המנגנונים המפחיתים נשאות של נגיפים בחרקים מודבקים בוולבכיה הוא תחרות בין הוולבכיה לנגיף על חומצות שומן וכולסטרול. בתחרות זו לוולבכיה יש יתרון וכך מחסור בחומרי ההזנה מונע מהנגיף להתרבות בחרקים⁴. בפרויקט הוולבכיה לוקחים חלק בתי ספר, אוניברסיטאות, מכוני מחקר, וגופים ממשלתיים ברחבי העולם.

³ ונטורה ל., [הדברה גנטית נגד יתושים והקשר הישראלי](#)

⁴ [A Wolbachia Symbiont in Aedes aegypti Limits Infection with Dengue, Chikungunya, and Plasmodium.cell. Volume 139, Issue 7, 24 December 2009, Pages 1268-1278](#)

ד. הכרת שיטות עבודה עם PCR ואלקטרופורזה בג'ל.

חשוב שהתלמידים ילמדו לעבוד עם מיקרופיפטורים⁵ ויכירו את דרך העבודה עם PCR ואלקטרופורזה בג'ל⁶.

ה. הבנת עקרונות השיטה להפקת DNA.

חשוב שהתלמידים ידעו שהחומרים בהם יכתשו את החרקים פוגעים במרכיבי התאים של החרקים ושל החיידקים, אך אינם פוגעים במולקולות DNA.

חלק א: הכרת שיטה להפקת DNA מתאים.

בחלק זה התלמידים יפיקו DNA גנומי מתאים של חרקים ויפרידו אותו משאר מרכיבי התאים. בחרקים שהודבקו בוולבכיה, נמצא DNA של החיידקים ו-DNA של החרקים. הפרדת ה-DNA תתאפשר הודות להרס הדרגתי של התאים המלווה בפגיעה בקרומיהם ובפירוק החלבונים שבהם.

בניסוי התלמידים יפיקו DNA מ-7 חרקים: מ-5 חרקים שהם אספו, מחרק (דרוזופילה) שקיבלו והוא בוודאות **לא הודבק** בוולבכיה (מסומן "W-") ומחרק שקבלו והוא בוודאות **הודבק** בוולבכיה (מסומן "W+").

⁵ ראו "תרגול מיומנויות עבודה במיקרופיפטור – לתלמיד"

⁶ ראו "זיהוי גן לעמידות באמצעות PCR ואלקטרופורזה בג'ל – לתלמיד"

מידע אודות תהליך הפקת DNA

התלמידים קבלו מבחנת אפנדורף ובה תמיסת בופר טריס (Tris-Cl) המכילה EDTA וגם ריכוז גבוה של המלח NaCl. לתמיסה זו התלמידים יוסיפו את האנזים פרוטאינאז K (סעיף ב).
התלמידים יכניסו את התמיסה לכל אחת ממבחנות אפנדורף המסומנות W+, W-, DNA1-DNA5 ויכתשו את החרקים (או את חלקם) במשך 2 דקות לפחות. פעולה זו תגרום לפגיעה במבנה הכיטין⁷ ותאפשר חשיפה של קרומי התאים של החרקים לחומרים שבתמיסת הבופר ולאנזים פרוטאינאז K.

• פגיעה בקרומי תאים של חרקים ושל וולבכיה

וולבכיה היא חיידק גרם שלילי שמולקולות של ליפופוליסכרידים הן חלק ממרכיבי קרום התא שלו. בופר טריס⁸ נקשר אל הליפופוליסכרידים וכתוצאה מכך המבנה היציב של הקרומים מתערער ונפגעת שלמות תאי החיידקים, מבלי שמבנה ה-DNA נפגע. גם EDTA שבבופר מערער את יציבות הקרומים, הודות לכך שהוא קושר אליו את היונים החיוביים שבקרומים (כגון יוני סידן ויוני מגנזיום⁹).

⁷ לחרקים יש שלד חיצוני ונוקשה העשוי כיטין.

⁸ מסייע גם לשמירה על pH פחות או יותר קבוע

⁹ יונים דו ערכיים המצויים בקרומי תאים ומקנים להם יציבות

• פגיעה במבנה החלבונים

בתמיסת הבופר יש ריכוז גבוה מאד של NaCl הגורם להקטנת המסיסות של החלבונים ולשינוי במבנה המרחבי שלהם. הודות לכך החלבונים שוקעים במבחנה.

• פירוק החלבונים

כתוצאה מפגיעה בשלמות התאים ה-DNA של החרקים שהיה מוגן בתוך הגרעין נחשף לחלבונים שונים. הוספת האנזים **פרוטאינאז K** מזרזת פירוק של נוקלאזות¹⁰ ובכך נמנע פירוק ה-DNA שנחשף. פרוטאינאז K גורם גם לדנטורציה של החלבונים ולפירוקם לפפטידים קצרים ולחומצות אמיניות. פרוטאינאז K פועל טוב מאד בדרגת ה-pH של תמיסת הבופר והעלאת הטמפרטורה ל- 50°C - 60°C אף מגבירה את פעילותו.

מידע אודות מהלך העבודה בחלק א:

- יש להנחות את התלמידים לספוג היטב את האתנול מהחרקים בעזרת מגבונים מסוג kimwipes. בחרקים שהוקפאו פעולה זו מיותרת (ראו שיעור הכנה לפני הניסוי).
- חשוב מאד שבכל שלבי ההפקה של ה-DNA מבחנות האפנדורף צריכות להיות בתוך כוסיות קטנות שבהן קרח כתוש (כמפורט בדפי העבודה לתלמידים סעיפים י', יא).
- בתום ביצוע חלק א ניתן לאחסן כל דגימה של DNA במבחנת אפנדורף פקוקה. את המבחנה יש לשמור עד ליום המחרת במקרר או עד לביצוע תהליך ההגברה ב-PCR בתא הקפאה של המקרר בטמפ' של -20°C .

¹⁰ נוקלאזות – אנזימים המזרזים פירוק DNA

הערה: הפקת DNA בדרך המתוארת בדפי העבודה לתלמיד פשוטה מאוד אך ה-DNA שיתקבל אינו מספיק נקי לצורך פעולות נוספות בביולוגיה מולקולרית כגון ריצוף DNA .
בניסויים בהם מפיקים DNA לריצוף, יש להשתמש בפרוטוקול הפקת DNA בעזרת קולונות.

הצעה לנושאים ושאלות לדיון:

1. מה היא מטרת ההפקה של ה-DNA שבצעתם?
2. הסבירו כיצד הפרדתם בין החלבונים לבין ה-DNA?
3. הסבירו את העקרונות עליהם מבוססת השיטה להפרדת DNA משאר חלקי התא.
4. אלו מהחומרים המצויים בתא יכולים להפריע לתהליך הפקת ה-DNA?

חלק ב: הגברת ה-DNA שהופק באמצעות שיטת PCR¹¹.

בחלק ב התלמידים ישתמשו ב-DNA שהפיקו בחלק א. הם יגבירו קטעי DNA ספציפיים מ-5 החרקים שאספו, מדרוזפילה W+ ומדרוזפילה W- . בנוסף, הם יגבירו DNA שהופק עבורם מחרק שהודבק בוולבכיה (DNA6).
השיטה להגברת ה-DNA באמצעות מכשיר PCR מבוססת על הצמדות של תחלים (פריימרים) לקטע DNA הייחודי לחרק ולקטע אחר - ייחודי לחיידק הוולבכיה. קטעים אלה

¹¹ מומלץ לקרוא על שיטת PCR בקובץ "[זיהוי גן לעמידות באמצעות PCR ואלקטרופורזה בג'ל - למורה](#)".

ישוּכפלו מספר רב של פעמים.

אחד מקטעי ה-DNA שהתלמידים יגבירו בחלק זה של הניסוי מקודד לחלבון ציטוכרום אוקסידאז¹² (CO1). **קטע זה הוא חלק מגן הנמצא במיטוכונדריה וייחודי ליצורים אאוקריוטים, וביניהם חרקים.** אורכו של הקטע הוא 708 bp (זוגות בסיסים). קטע אחר של DNA שהתלמידים יגבירו מקודד לתת היחידה הקטנה במבנה ה-RNA הריבוזומלי (16 S rRNA). ראוי לציין כי הגן 16S הוא ברובו גן שמור אולם בקטע שהוגבר יש מוטציה **ייחודית לחיידק הוולבכיה.** אורכו של קטע DNA זה הוא 436 bp.

מידע אודות מהלך הניסוי:

- התלמידים יגבירו 7 קטעי DNA וכן את קטע DNA6 שקיבלו בחלק זה של הניסוי. DNA זה התקבל בערכה מהמרכז לפיתוח ותמיכה בר אילן.
- **יש להקפיד כי במשך כל שלבי הניסוי התלמידים ישמרו בכלי עם קרח** את כל מבחנות אפנדורף: מבחנות עם ה-DNA, תחלים MIX P-, אנזים MIX TAQ, בופר ומים.
- להזכירכם, בחלק א של הניסוי התלמידים כתשו את החרקים בתמיסת בופר שהכילה גם ריכוז גבוה מאד של NaCl הגורם להקטנת המסיסות של חלבונים ולשינוי במבנה המרחבי שלהם. הודות לכך החלבונים שקעו במבחנות. לפיכך יש להנחות את התלמידים (סעיפים ה-ח, בדפים לתלמיד עמוד 8) להעביר באמצעות מיקרופיפטור **את הנוזל מהחלק העליון שבמבחנות האפנדורף המסומנות W+, W-, DNA5-DNA1**, אל מבחנות ה-PCR. פעולה זו תגרום לכך שיעברו למבחנות PCR כמה שפחות חומרים ששקעו בתחתית המבחנות - וכמה שיותר מולקולות DNA.

¹² חלבון המתפקד בתהליך הנשימה התאית

- ה-DNA שבמבחנה DNA6 הופק בשיטה שונה מזו שבה הפיקו התלמידים בחלק א. לכן אין צורך להקפיד ולהעביר רק נוזל עליון ממבחנה זו למבחנת PCR6.
- חשוב להזכיר לתלמידים לנגב בזירות את המבחנות ולרשום עליהן שוב את הסימונים שאינם ברורים.
- בתום שלב א (הכנת מבחנות הניסוי), יש לוודא שהתלמידים הכניסו למבחנות ה-PCR את הנפחים הדרושים על פי טבלה 2 (עמוד 8 דפים תלמיד).
- בתום תהליך ההגברה במכשיר ה-PCR ניתן לאחסן עד ליום המחרת את מבחנות ה-PCR במקרר או לשמור בתא ההקפאה של -20°C עד לביצוע שלב ההטענה בג'ל.

הצעות לנושאים ושאלות לדיון

1. הסבירו מהי החשיבות של טכנולוגיית ה-PCR בתחום הרפואה? תנו דוגמה.
2. א. ציינו מהם הגנים אותם בחרנו להגביר באמצעות ה-PCR.
ב. מדוע נבחרו דווקא שני הגנים האלו?
3. א. מהו מקור האנזימים המשמשים בתהליך ההגברה?
ב. מה ייחודם של אנזימים אלה?
4. א. הסבירו מדוע חשוב היה להוסיף למכשיר PCR תערובת של תחלים (פריימרים)?
ב. האם התחלים שנבחרו הם ייחודיים לקטעי DNA אותם רוצים להגביר? נמקו קביעתכם.

5. א. מדוע התבקשתם להשתמש בניסוי במים נטולי נוקלאזות ולא במים מזוקקים?
ב. מהו לדעתכם מקור הנוקלאזות שבמים?

חלק ג: זיהוי חרקים שנדבקו בוולבכיה באמצעות אלקטרופורזה בג'ל¹³

בחלק א של הניסוי התלמידים הפיקו DNA מחרקים ובחלק ב הגבירו את ה-DNA במכשיר ה-PCR. בחלק ג התלמידים ישתמשו במכשיר אלקטרופורזה בג'ל וישוו בין מספר זוגות הבסיסים של קטעי ה-DNA לבין קטע ה-DNA של חרק שידוע כי הוא הודבק בוולבכיה (+W). על פי התוצאות שיקבלו יוכלו לקבוע בכמה מהחרקים שהם אספו יש גם DNA של וולבכיה.

מידע אודות מהלך הניסוי:

- כדי שניתן יהיה לזהות את ה-DNA בג'ל נדרשת כמות רבה של DNA וחומר שצובע אותו ששמו SMART GLOW. בזמן הכנת הג'ל הלבורנט הוסיף את חומר הצבע והחומר נקשר בין שני גדילי ה-DNA.
- כמפורט בסעיפים א – יב (בדפים לתלמיד עמודים 12-15), התלמידים מתבקשים להכניס את תבנית הג'ל למיכל האלקטרופורזה ולמזוג את הבופר TAE. **חובה שלבורנט או מורה יליו את התלמידים בזמן ביצוע שלבים אלו.**
- התלמידים יטעינו DNA Ladder 10μL בבארית 1 (סעיף ג) ואת דגימות ה-DNA שהוגברו בבאריות 2-9, בהתאם לטבלה 2 (עמוד 15 דפים לתלמיד). מומלץ להפנות את תשומת ליבם של התלמידים לחוסר ההתאמה בין מספר הבארית לבין מספרה של דגימת ה-DNA.

¹³ מומלץ לקרוא על שיטת אלקטרופורזה בג'ל בקובץ "[זיהוי גן לעמידות באמצעות PCR ואלקטרופורזה בג'ל - למורה](#)".

- על פי הוראות הבטיחות יש להדליק את נורת הצפייה העשויה לד רק כאשר המכסה הכתום של המכשיר מונח במסגרת הייעודית לו. ניתן לקרב את מצלמת הטלפון הנייד לחור שבמכסה ולצלם את קטעי ה-DNA בגל. הפסים הנראים בתמונה המצולמת בולטים יותר מאשר הפסים הנראים על פני הגל עצמו.
- את תוצאות הניסוי התלמידים יתעדו בדף איסוף הנתונים (עמוד 16 דפים תלמיד) וצילומים בטלפון הנייד.

תוצאות ודין

בתום שלב ההגברה ב-PCR התלמידים יטעינו את דגימות ה-DNA בגל וישתמשו במכשיר האלקטרופורזה כדי להשוות את הפסים שהתקבלו בגל ל-DNA Ladder. השוואה זו תסייע לאמוד את אורכם של קטעי ה-DNA שהופקו מהחלקים.

בחרק **שלא הודבק** בוולבכיה ("W-") צפוי שיתקבל בגל **רק** פס של DNA באורך 708 bp כאורכו של המקטע המיטוכונדריאלי CO1 המאפיין חרקים. חרק זה משמש כ**בקרה שלילית**. חשיבותה של בקרה זו בכך שבאמצעותה אפשר יהיה לוודא שכל הריאגנטים שהשתמשו בהם לא היו מזוהמים בקטעי DNA של וולבכיה.

בחרק **שהודבק** בוולבכיה ("W+") צפוי שיתקבלו בגל שני פסים של DNA, האחד אורכו 708 bp כאורכו של המקטע המיטוכונדריאלי CO1 והשני אורכו 463 bp כאורכו של המקטע 16S. חרק זה משמש כ**בקרה חיובית**. חשיבותה של בקרה זו בכך שבאמצעותה אפשר לוודא כי כל החומרים ומהלך העבודה תקינים: תחלים מתאימים לרצף ה-DNA בגן

16S ריבוזומלי של החיידק ותחלים אחרים מתאימים לגן CO1 בחרק, כל מרכיבי ה-MIX TAQ תקינים וכי תכנית ההגברה ב-PCR תקינה אף היא.

ב-DNA6 צפוי שיתקבלו בגל שני פסים של DNA, האחד אורכו 708 bp כאורכו של המקטע המיטוכונדריאלי CO1 והשני אורכו 463 bp כאורכו של המקטע 16S. DNA6 משמש

כבדתי למהלך הניסוי. חשיבותה של בקרה זו היא לוודא שתהליך הפקת ה-DNA מהחקרנים שנאספו (חלק א) היה תקין.

סיכום הניסוי

מומלץ לדון עם התלמידים על תוצאות הניסוי ועל דרך עיבודן תוך התייחסות גם למושגים האלה: חזרות, ריבוי פריטים, גודל המדגם, חישוב ממוצע. חשוב גם לדון באופן ביקורתי בניסוי ובתוצאותיו: להתייחס לבקורות בניסוי ולחשיבותן, למהימנות ולתוקף ולמגבלות ההסקה. כדאי להשוות את התוצאות שקיבלו התלמידים בקבוצות שונות בכיתה, את התוצאות שקיבלו תלמידים מבתי ספר אחרים בארץ ובעולם או עם תוצאות של חוקרים.

הצעות לנושאים ושאלות לדיון

1. באיזה סוג חרקים שכיחות ההדבקה בוולבכיה הייתה הגבוהה ביותר?
2. א. הסבירו מהי החשיבות של עבודת החקר שעשיתם לבריאות האדם?
ב. תנו דוגמה לאבחון של מחלת לישמנייה המבוסס על שיטות שהכרתם בניסוי.
3. מדענים מנסים לקבוע את זהותו של נגיף שפעת התוקף תאים ממערכת הנשימה של אדם.
הציעו שיטה באמצעותה תוכלו לקבוע:
 - האם הרקמות מודבקות בנגיף?
 - האם זהו נגיף ידוע או שמדובר בנגיף שהתגלה לראשונה?

המלצות למקורות מידע ראו בעמודים 11 - 13

המלצות למקורות מידע

שנת פרסום	הערות	מקור מידע	סוג המידע
2014	מאמר הסוקר את יחסי הגומלין בין פרוקי רגלים וחיידי וולבכיה והשימוש שיכול לעשות האדם ביחסי גומלין אלו כדי לצמצם את התחלואה הנגרמת מטפילים שונים.	Wolbachia endosymbionts and human disease control Barton E.Slatko Ashley, N.Luck Stephen, L.Dobson, Jeremy M.Foster Molecular & Biochemical Parasitology 195 ,88–955	מאמר מחקר
2011	מאמר הסוקר את הקשר בין יתושים הנושאים גורמי מחלה המודבקים בחיידקי וולבכיה לבין צמצום התחלואה במחלות אלו.	Wolbachia and the biological control of mosquito-borne disease Iñaki.Iturbe-Ormaetxe, Thomas Walker, Scott L O' Neill EMBO reports (2011) 12, 508-518	מאמר מחקר

שנת פרסום	הערות	מקור מידע	סוג המידע
2009	מאמר הסוקר את הקשר בין נוכחות וולבכיה ביתוש Aedes aegypti למידת ההידבקות של היתוש בטפילים אחרים כגון וירוס הדנגי ופלסמודיום. ניצול של חומצות שומן וכולסטרול על ידי חיידקי וולבכיה מקשה על התרבות טפילים ביתושים.	A Wolbachia Symbiont in Aedes aegypti Limits Infection with Dengue, Chikungunya, and Plasmodium.cell. Volume 139, Issue 7, 24 December 2009, Pages 1268-1278	מאמר מחקר
2009	המאמר מתאר תהליכים קו-אבולוציונים שונים בין חיידקי וולבכיה מזן מסוים לבין חרקים בהם הם מתרבים.	Wolbachia - מאנדוסימביוזה הדדית להתהוות מינים חדשים בר-ניר, ד., "גליליאו" גיליון 127, עמ' 92-96	מאמר פופולרי
2016	המאמר מציג את המניפולציות שמבצעים חיידקי וולבכיה ברבייה של פרוקי רגליים.	לויטן, נ., החיידק נגד הזכרים . מדע במבט על, אתר דוידסון	מאמר פופולרי
2017	המאמר מציג יחסי גומלין מורכבים מסוג צוותאות שמקיימים חיידקי וולבכיה עם הפונדקאים שלהם.	שפירא, ו., לחיות על חשבון אחרים . מבט במבט על, אתר דוידסון	מאמר פופולרי

2018	המאמר מתאר את השימוש שנעשה בחיידקי וולבכיה כדי לצמצם את התפשטות מחלת הדנגי.	בשט, א., קדחת דנגי: חיידקים נגד הנגיפים חדשות מדע, אתר דוידסון	מאמר פופולרי
שנת פרסום	הערות	מקור מידע	סוג המידע
2016	המאמר מציג את השימוש שנעשה בחיידקי וולבכיה כדי להילחם כנגד היתושים המפיצים את וירוס הזיקה בברזיל.	אשחר, י., חיידקים נגד יתושים מפיצי נגיפים חדשות מדע, אתר דוידסון	קטע מידע פופולרי
2015	המאמר מתאר את ההתגייסות של קהילה באוסטרליה שהצליחה לגרום לצמצום הפצת מחלת הדנגי. הסרטון מציג הדמיה של המניפולציות שמבצע חיידקי וולבכיה ברבייה של יתושים.	ונטורה, ל., הדברה גנטית נגד יתושים והקשר הישראלי אתר ynet	מאמר פופולרי וסרטון



Faculty of Social Sciences
The Pinchas Churgin
School of Education

הפקולטה למדעי החברה
בית הספר לחינוך
ע"ש פרופ' פ. חורגין

משרד החינוך, המזכירות הפדגוגית
הפיקוח על הוראת הביולוגיה
המרכז לפיתוח ותמיכה במעבדות
הביולוגיה בבתי הספר

