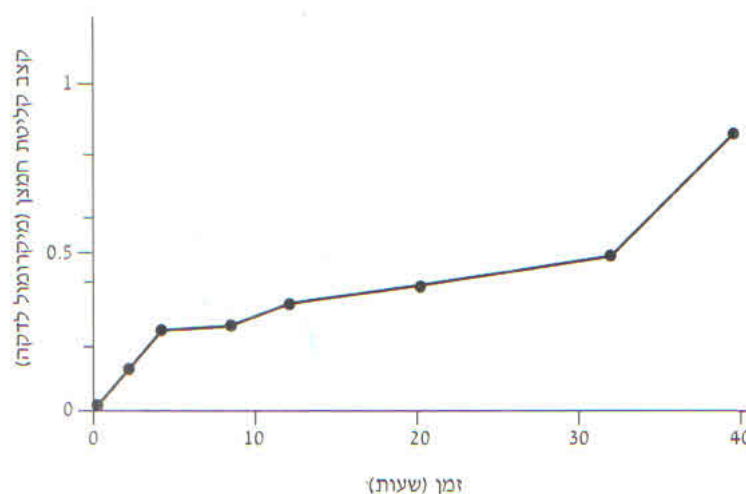


נשימה בזרעים ובנבטים של לוביה

מבוסס על בעיה 1, בחינת בגרות ביולוגיה מעשית, תשע"ט (2019).

מבוא

אחד התהליכים הראשונים המתקיים בזרע לאחר תפיחתו הוא תהליך הנשימה בו נצרכים חמצן וגלוקוז ונוצרים מים ופחמן דו-חמצני. התהליך מרובה שלבים וקיומו מותנה בפעילותם של אנזימים ייחודיים המצויים בזרע. בנשימה מופקת אנרגיה המנוצלת בתהליכי התפתחות וצמיחה של הנבט¹.



איור 8

שינויים בקצב קליטת החמצן בזרעי חסה במשך 40 שעות מרגע הרטבתם.
(הנתונים מתוך Pradet et al, 1968)

מתוך "צומח וצמחים" יחידה 10 עמ' 18, האוניברסיטה הפתוחה תשנ"ג 1992

בקובץ זה נדון בצדדים המעשיים והעיוניים של שני חלקי הניסוי, בתוצאות הניסוי ובשאלות המלוות את הניסוי. עוד בקובץ, רעיונות המבוססים על שיטת המדידה ויכולים להוות נקודת מוצא לתכנון ניסויים במסגרת הביוחקר.

הלבורנט מתבקש להכין את הצידוד והחומרים על פי ההנחיות ברשימת צידוד וחומרים ללבורנט תשע"ט 2019. רשימה זו כוללת גם קישורים לסרטונים המדגימים את השלבים של עבודת ההכנה.

¹ שדה, א., אמיר, ר., מזרע לזרע, תשע"א 2011, האוניברסיטה העברית בירושלים, המרכז להוראת המדעים, עמ' 25 – 40

בחלק א נבדקה השאלה האם מתרחש תהליך נשימה תאית בנבטי לוביה².

התלמידים קיבלו שתי מבחנות שבכל אחת מהן תמיסת מלח טטרזוליום³. למבחנה אחת הם הכניסו נבטי לוביה ולמבחנה השנייה – נבטי לוביה שהורחשו במשך זמן קצר. לאחר כ-45 דקות נבדק צבעם של הנבטים. צבע הנבטים שהושרו בתמיסת טטרזוליום השתנה לוורוד-סגול, ואילו בנבטים מורתחים שהושרו בתמיסה - לא היה שינוי צבע. השינוי בצבע הטטרזוליום נגרם על ידי חומרים שנוצרו בשלב הנשימה התאית האווירנית שהתרחש בתאי הנבטים. חומרים אלה מחזרים את הטטרזוליום חסר הצבע והופכים אותו לתרכובת שצבעה סגול. ניתן להסיק שבנבטים מתקיים תהליך נשימה תאית ואילו בנבטים מורתחים שהאנזימים בתאיהם עברו דנטורציה, לא התקיים תהליך נשימה (שאלות 6א, 6ב). הניסוי הוא איכותי מכיוון שנבדק שינוי הצבע של הזרעים, אך לא בוצעה כל מדידה (שאלות 7א, 7ב).

במחקר יישומי משתמשים ב**טטרזוליום לבדיקת חיוניות של זרעים**. יתרונה של השיטה הוא בקבלת תוצאות תוך זמן קצר ולכן משתמשים בה במיוחד לבדיקת זרעים של מינים הנמצאים בתרדמה או בזרעים שנביטתם איטית וממושכת. לעומת זאת, השימוש בטטרזוליום בניסוי שהתלמידים ביצעו לא נועד לבדוק את החיוניות של זרעי הלוביה, שכן אם הזרעים נבטו הם בוודאי חיוניים. **הערה:** לאחר שהתלמידים ישיבו על שאלות 6 ו-7 חשוב שהלבורנט יאסוף משולחנותיהם את המבחנות שבהן נבטים בתמיסת טטרזוליום ויטפל בתמיסה ובמבחנות על פי **רשימת ציוד וחומרים ללבורנט (פריט 4)**.

בחלק ב נבדק תהליך הנשימה על פי צריכת חמצן במערכות סגורות.

א. מהלך העבודה ושיטת המדידה: הערות והסברים

בבעיה 1 יש ארבע מערכות: מערכת ובה זרעים יבשים של לוביה, מערכת ובה זרעים מותפחים של לוביה, מערכת ובה נבטי לוביה, מערכת ללא זרעים או נבטים (מערכת בקרה)⁴.

1. בתחתית של כל אחת מהמבחנות שבמערכות שהוכנו יש אבקת בסיס הסידן, Ca(OH)_2 , ומעליה פיסת צמר גפן המונעת מגע בין האבקה לבין הזרעים או הנבטים. הצמר גפן אינו פוגע במעבר גזים. פחמן דו-חמצני המצוי באוויר שבמבחנה עוד לפני שהחל הניסוי וזה שנוצר בתהליך הנשימה של הזרעים והנבטים, מגיב עם בסיס הסידן שבתחתית המבחנה, והתוצר שמתקבל

² אפשר להחליף את חלק א בבעיה 1, בחלק א בבעיה 2 או בחלק א בבעיה 3.

³ על פי הוראות הבטיחות לעבודה במעבדה חובה להשתמש בכפפות.

⁴ בבעיה 2 הוכנו 5 מערכות: זרעים יבשים, זרעים מותפחים, נבטים, נבטים מוקפאים ומופשרים ומערכת בקרה.

בבעיה 3 הוכנו 4 מערכות: זרעים מותפחים, נבטים, נבטים מוקפאים ומופשרים ומערכת בקרה.

הוא תרכובת מוצקה. השינוי בנפח שחל במערכת כתוצאה מתגובה זו, הוא זניח.
בהנחה שכל הפחמן הדו־חמצני נקשר לבסיס הסידן, לא תתקיים פוטוסינתזה במערכות הניסוי.
למרות זאת, נכתב בטופס המבחן (עמוד 2) שקליפת הזרע אינה משפיעה על התהליך הנבדק, ולכן אפשר להשתמש בניסוי בנבטים עם קליפה ירוקה או בנבטים ללא קליפה. מטרתה של הערה זו הייתה למנוע מהתלמידים לטעות ולחשוב שהתהליך הנבדק בניסוי הוא פוטוסינתזה. חשוב לציין גם שהוראות ההכנה ללבורנט [\(ללבורנט, פריט 18 והערות לו\)](#) היו להנביט את הזרעים בחושך, כך שהנבטים שהתלמידים קיבלו היו ללא עלים ירוקים.
אם בניסוי יתקיים בעלי הנבטים גם תהליך פוטוסינתזה, ישתנה מאזן הגזים במערכת הניסוי ולא ניתן יהיה למדוד רק את תהליך נשימה.

2. הכנת מערכת ניסוי.

בכל מערכת ניסוי יש פיפטת זכוכית בנפח 1 מ"ל המחוברת בצידה העליון באמצעות צינורית לטקס גמישה אל מחט הנעוצה בפקק גומי הפוקק מבחנה.

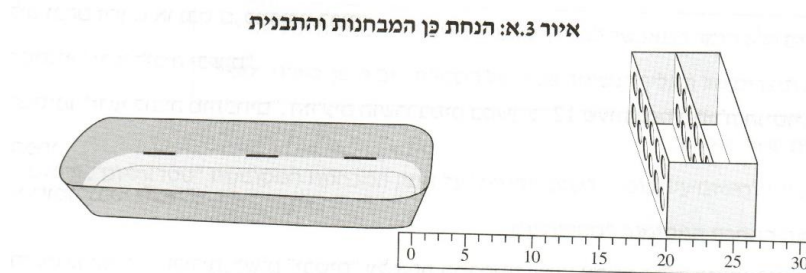


כאמור, בתחתית של כל מבחנה יש אבקת בסיס הסידן, Ca(OH)_2 ומעליה פיסת צמר גפן המונעת מגע בין האבקה לבין הזרעים או הנבטים.
חשוב שכל המבחנות וכל הפיפטות בהן ישתמשו התלמידים תהיינה עשויות זכוכית, כדי שיהיה איטום בין החלקים שבכל אחת ממערכות הניסוי (ראו סעיפים 4 ו-5 בהמשך).
חשוב שכל המבחנות תהיינה באותו נפח, כך שלאחר הכנסת הזרעים או הנבטים נפח האוויר והחמצן שבו, יהיה מספק (ראו התייחסות לגורמים קבועים בניסוי בסעיף 9 בהמשך).
חשוב שכל הפיפטות שיוכנו לתלמידים תהיינה באותו נפח והכיול שלהן יהיה זהה [\(ללבורנט, פריט 1 והערות לו\)](#).

בפיפטות שלהן נפח שונה, המרחק בס"מ שיעשה הנוזל ביחידת זמן לא יהיה בר השוואה.
רצוי לא להשתמש בפיפטות בנפח גדול מ-1 מ"ל מכיוון שבהן ההבדלים בין הערכים שיתקבלו בטיפול אחד יהיו דומים מאוד לאלה שיתקבלו בטיפול אחר.
אם חסר ציוד במעבדה, חשוב שכל המבחנות וכל הפיפטות המיועדות **לקבוצה אחת של תלמידים** תהיינה זהות וכך גם לגבי קבוצה של תלמידים שיבצעו חזרות על ניסוי בביוחקר.
(מומלץ שהתלמידים ירשמו את המידע בדבר גודל המבחנות, גודל הפיפטות בהן השתמשו.)

3. הנחת כן המבחנות והתבנית.

כן המבחנות מונח על צידו (במרחק 20 ס"מ מהתבנית עם המים (סעיף י) ([ללברנט פריט 3](#)
[והערות לו](#)).



4. טבילת הקצה החד של פיפטה בתמיסת פנול אדום (סעיף יא).

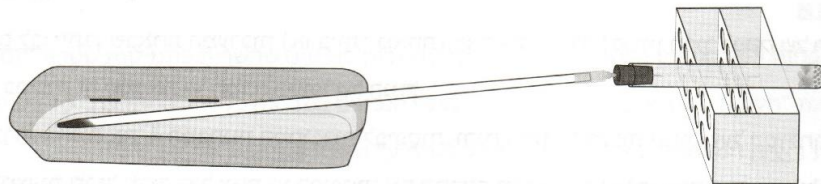
טבילת קצה הפיפטה בנוזל האדום שבבקבוקון והלחיצה על הצינורית הגמישה יגרמו לכך שנפח קטן של אוויר יידחק מהפיפטה אל הבקבוקון. בהרפיה של הצינורית, לחץ האוויר בפיפטה יקטן ונפח קטן של נוזל אדום ישאב אל הפיפטה. חשוב לציין שבניסוי אין חשיבות לכך שפנול אדום הוא אינדיקטור לחומצה בסיס. החומר נבחר לניסוי רק כדי להקל על סימון מיקומו של קו הנוזל בפיפטה, בתחילת הניסוי ובסיומו.



פעולה זו גורמת לכך שתיווצר מערכת סגורה, שבקצה האחד שלה יש טיפה של נוזל אדום ובקצה השני - מבחנה.

5. הנחת מערכת הניסוי וסימון קו על הפיפטה בתחילת הניסוי וקו נוסף – בסימו. המבחנה שבמערכת הניסוי הונחה על כן המבחנות, וקצה הפיפטה עם הנוזל האדום הונח בתוך המים שבתבנית (סעיף יא).

איור 3.ג: הנחת מערכת הניסוי



הודות לכך רק קצה הפיפטה טבול במים, וכך נוח לסמן על הפיפטה את הקו באמצעות עט לסימון על זכוכית מבלי שזה יירטב. המרחק בין מרכיבי המערכת והגובה של המבחנה מבטיחים שלא יהיה קיפול בצינורית הגמישה, מצב שיכול לעכב את תנועת הנוזל האדום בפיפטה. השקעה של הפיפטה במים תגרום לכך שכאשר ינוצל חמצן במערכת והלחץ בה יפחת, לא יכנס לתוכה אוויר אלא מים שידחפו את הנוזל האדום במעלה הפיפטה. **כמות המים שתיכנס לפיפטה נמצאת ביחס ישר לנפח החמצן שנצרך על ידי הזרעים.**

6. אם בזמן ביצוע הניסוי ירטב חלק מהפיפטה שנמצא מעל לפני המים, יש לנגבו בעדינות באמצעות נייר מגבת לפני שמסמנים קו בגובה הנוזל האדום (סעיף יד).
אם במהלך שאיבת הנוזל לפיפטה חדרה בועת אוויר לתוכה, אין צורך להוציא אותה שכן התלמיד מסמן ועוקב אחר גובה הנוזל בפיפטה (סעיף יא) ורושם את התוצאות על פי מיקום הנוזל האדום.

7. במשך 5 דקות של המתנה ללא תזוזה, כל המערכות מתייצבות. שעת סימון המיקום של הנוזל האדום היא שעת תחילת הניסוי (סעיף יד).
10 דקות לאחר מכן, שעת סימון הקו אליו הגיע הנוזל האדום שבפיפטה (סעיף טו) היא שעת סיום הניסוי. מומלץ להתבונן במיקום הנוזל האדום בכל המערכות ואם נראה שההבדל בין התוצאות הוא לא משמעותי כדאי להאריך את משך הניסוי בעוד 5-10 דקות.

8. מערכת הניסוי רגישה מאוד. יש להקפיד שבשעת ביצוע הניסוי, טמפרטורת האוויר בחדר המעבדה תישאר קבועה. אפילו שינוי קטן בטמפרטורה עלול לגרום לשינוי במיקום הנוזל האדום, שינוי שאינו קשור כלל להשפעת המשתנה הבלתי תלוי שאת השפעתו בודקים בניסוי.
לכן, בזמן ביצוע הניסוי חשוב מאוד לא להדליק או לכבות את המזגנים בחדר המעבדה. מומלץ להפעיל את המזגן עוד לפני תחילת ביצוע הניסוי, כך שעד לתחילת הניסוי טמפרטורת האוויר וטמפרטורת המים בתבנית תהיה זהה.

9. השמירה על חלק מהגורמים הקבועים בניסוי כגון, גודל המבחנות והפיפטות וטמפרטורת האוויר בחדר, היא באחריות הלבונט שהכין את הציוד והחומרים לניסוי.

אחד הגורמים הקבועים שהתלמידים אחראים על הכנתו הוא מספר זהה של נבטים, זרעים מותפחים וזרעים יבשים (סעיפים ה-ז). נפח הזרעים היבשים, הזרעים המותפחים והנבטים אינו זהה בעיקר בגלל המים שספחו זרעים נובטים וזרעים מותפחים. לכן, כבר בתחילת הניסוי נפח האוויר כמו גם נפח החמצן בכל אחת ממערכות הניסוי, הוא שונה בצורה משמעותית.

כותבי הבחינה העדיפו, ובצדק, להקל את העומס בשעת המבחן ולוותר על שמירת נפח אוויר קבוע במערכות הניסוי ובמערכת הבקרה. אף על פי שחמצן שבאוויר הוא אחד מהמגיבים בתהליך, ויתור זה לא פגם בקבלת תוצאות צפויות במערכות הניסוי. יש להניח שהסיבה לכך היא שנפח החמצן היה בעודף גם במערכת נבטים.

בהוראה או בביצוע ניסוי ביוחקר אנו ממליצים לדון בנושא וגם לפעול לשם קבלת נפח חמצן **דומה** בכל המערכות. לדוגמה הנחיות לביצוע לאחר סעיף ז:

○ יש להכניס את כל המבחנות (כולל מבחנת הבקרה) לכן מבחנות ולהוסיף לכל אחת מהן כדורים קטנים העשויים זכוכית או חרוזי פלסטיק קטנים עד לגובה של הנבטים במבחנה "נבטים".

בסעיף 5 שבהמשך, ראו התייחסות למסה השונה של הזרעים היבשים, הזרעים המותפחים והנבטים שהוכנסו לכל אחת ממערכות הניסוי.

ב. תוצאות הניסוי: הערות והסברים

1. דרך המדידה מתאימה למדידת המשתנה התלוי בניסוי. ככל שקצב הנשימה של הנבטים מהיר יותר, כך נקלט בהם יותר חמצן מהאוויר שבמבחנה, **נפח הגזים** במבחנה פוחת ו**לחץ הגזים** במערכת יורד. ירידה זו גורמת לכניסת מים אל הקצה הטבול של הפיפטה, להתרחקותו של הנוזל האדום מקצה הפיפטה ותנועתו לכוון הפקק של המבחנה (שאלה 3ב).
2. התלמיד מתבקש למדוד בסרגל את המרחק (בס"מ או במ"מ) שעברה טיפת הנוזל האדום בכל אחת מהמערכות, במשך 10 דקות (סעיף יז). מכיוון שכל הפיפטות שהתלמיד קיבל היו זהות (בגודלן ובכיוול שלהן), מרחק זה מבטא את הנפח. מומלץ שמיקום הנוזל האדום בתחילת הניסוי (הסימון בזמן 0) יהיה בתחום בו יש סימון של סקלה בפיפטה. על פי ההפרש בין הערך שהתלמיד סימן על הפיפטה בתחילת הניסוי לבין הערך שסימן בסופו בכל אחת מהמערכות ניתן **לחשב את נפח החמצן שנקלט (במ"ל)**.
3. במערכת שבה היו **זרעים יבשים** של לוביה התזוזה של הנוזל האדום שבפיפטה הייתה אפסית. היושב בתאי הזרעים גרם לכך שלא התקיימו בהם תהליכים המזורזים על ידי אנזימים וביניהם

גם תהליכי פירוק חומרי תשמורת ותהליך נשימה (שאלה 4א)⁵.
במערכת שבה **זרעים מותפחים** של לוביה הייתה תזוזה מעטה של הנוזל האדום שבפיפטה.
זרעים אלה הושרו במים במשך כ-12 שעות לפני תחילת הניסוי. המים חדרו לתוך תאי הזרעים
והם תפחו. הודות לכך התחילה בהדרגה פעילות אנזימים המזרזים פירוק חומרי תשמורת
ונשימה. תוצרי תהליך הפירוק מנוצלים בתהליך הנשימה.
עמילן הוא חומר התשמורת בזרעי לוביה ובתאי הנבטים פעיל האנזים עמילאז המזרז את פירוקו
לגלוקוז. הגלוקוז, מנוצל בשלב הגליקוליזה ונוצרת חומצה פירובית.
בשלב הנשימה התאית האווירנית מנוצלת חומצה פירובית שבתאים ומנוצל חמצן מהאוויר
שבמבחנה. בשלב זה מופקת מרבית האנרגיה (שאלה 8א)⁶. תוצרי תהליך הנשימה הם
פחמן דו-חמצני ומים.
במערכת שבה **נבטי לוביה** התזוזה של הנוזל האדום בפיפטה הייתה גדולה מזו שהתקבלה
בשני הטיפולים הקודמים.
על פי תוצאות הניסוי קצב הנשימה בזרעים מותפחים היה פחות מזה שנמצא בנבטים וגבוה
מזה שנמצא בזרעים יבשים (שאלה 4א).
האנרגיה המופקת בתהליך הנשימה שבנבטים מנוצלת בכל תהליכי החיים החלים בנבט
המתפתח כגון בניית תאים וחלוקתם, יצירת חלבונים וחומצות גרעין (שאלה 3ג).

4. **מערכת הבקרה** כוללת את מרכיבי הניסוי מלבד נבטים, זרעים מותפחים וזרעים יבשים.
אם תבחרו לבצע את ההמלצה בסעיף 9 לעיל, גם נפח החמצן במערכות הניסוי יהיה דומה
לזה שבמערכת הבקרה.
ברוב הניסויים שהתלמידים מבצעים התוצאה המתקבלת בטיפול בקרה היא ערך 0, ואילו בניסוי
זה אפשר למדוד את הערך שמתקבל בבקרה ובאמצעות פעולת חיבור או חיסור אפשר ל"תקן"
את הערכים הנמדדים במערכות הניסוי.
יתכן שבמבחנת הבקרה הנוזל האדום זז לכיוון המבחנה, כך שבסוף הניסוי מקומו יהיה **גבוה**
ממקום הנוזל האדום בתחילת הניסוי. כנראה ששינוי קל בטמפרטורה או השפעה של גורם אחר
- שאינו קשור למשתנה הבלתי תלוי, הוא זה שגרם לתנועה במבחנת הבקרה.
במקרה זה יש **להפחית את התוצאה** שהתקבלה בבקרה מכל אחת מהתוצאות שהתקבלו
במערכות הניסוי. הערך שיתקבל לאחר הפחת התוצאה במערכת הבקרה, מבטא **רק** את תהליך
הנשימה (שאלה 2 א).
יתכן שבמבחנת הבקרה הנוזל האדום זז לכיוון קצה הפיפטה, כך שבסוף הניסוי מקומו יהיה
נמוך ממקום הנוזל האדום בתחילת הניסוי. כנראה שהגורם לכך היה שינוי קל בטמפרטורה או

⁵ יתכן שחלים בזרע היבש תהליכים פיזיולוגיים אך הם בוודאי מאד איטיים ולא ניתן למדוד אותם בניסוי
⁶ גרוס, ח., עתידה י., **התא - יחידת החיים** (תשס"ע 2001), המרכז להוראת המדעים האוניברסיטה העברית
בירושלים, עמ' 137-143

כל גורם אחר שאינו קשור למשתנה הבלתי תלוי.
במקרה זה יש להוסיף את התוצאה שהתקבלה בבקרה לכל אחת מהתוצאות שהתקבלו
במערכות הניסוי. הערך שיתקבל לאחר הוספת התוצאה במערכת הבקרה, מבטא רק את תהליך
הנשימה.

5. על פי תוצאות הניסוי ניתן לחשב את קצב הנשימה בנבטי לוביה. הקצב יבוטא בנפח הגז שנוצל
(במ"ל) או במרחק שעבר הנוזל האדום (בס"מ או במ"מ) ליחידת זמן (בדקות). חישוב זה חשוב
במיוחד אם רוצים להשוות בין תוצאות של תלמידים בכיתה או בין תוצאות של חזרות על הניסוי
(למשל בחזרות בביוחקר), שכן יתכן שמדובר יהיה שונה במועדים שונים.
כדאי להסב את תשומת לב התלמידים לכך שהמשקל של 25 נבטים שונה מזה של 25 זרעים
מותפחים או מזה של 25 נבטים, ולכן מומלץ לחשב את הקצב וליחסו גם למשקל היבש של כל
קבוצה (נבטים, זרעים מותפחים, זרעים יבשים). כך תתקבל תוצאה של קצב הנשימה שתבוטא
בנפח (מ"ל או ס"מ או מ"מ) / זמן (דקות) / משקל (גרמים).
לדוגמה הנחיות לביצוע לאחר סיום הניסוי:

- לאחר סיום העבודה יש ליבש במשך זמן קצר (רצוי בתנור יבוש ב- 70°C) את כל
הפריטים של כל קבוצה בנפרד, להוציאם מהתנור לפני שיינזקו מהטמפרטורה
הגבוהה, לקרר אותם ולשקול אותם. צפוי שפרק הזמן שיידרש לייבוש הנבטים
והזרעים המותפחים יהיה ארוך מזה שיידרש לייבוש הזרעים היבשים.

ג. דוגמאות לשגיאות נפוצות כפי שנחשפו בתשובות תלמידים בבחינת הבגרות

מקור השגיאות הוא חוסר ידע או קשיים בהבנת נושאי ליבה.

1. בחלק ב של הניסוי (עמ' 3) הוסבר מהם זרעים תפוחים. למרות זאת, תלמידים רבים לא ידעו
להסביר מה גרם להבדל בין התוצאות שהתקבלו בזרעים יבשים לבין אלה שהתקבלו בזרעים
תפוחים (שאלה 4א). נראה שהסיבה היא חוסר ידע שפעילות אנזימטית מתרחשת רק בתנאי
לחות או בסביבה מימית.
2. היו תלמידים, שבתשובתם לשאלה 3 כתבו כי התזוזה של הנוזל בפיפטה נבעה מפליטה של
פחמן דו-חמצני והיו שכתבו כי התזוזה נגרמה מקליטה של פחמן דו-חמצני (חלקם שגו גם בזיהוי
המשתנה הבלתי תלוי בתשובתם לשאלה 3א).
יתכן שמקורה של השגיאה שברוב הניסויים המוכרים לתלמידים נבדקת נשימה על פי פליטת
פחמן דו-חמצני ואילו בניסוי זה נבדק קצב צריכת החמצן שנמדד על פי המרחק שעבר הנוזל
האדום במשך 10 דקות. תלמידים שהשיבו כך גם התעלמו מהמידע שבניסוי על פיו פחמן
דו-חמצני אינו משפיע על נפח הגזים במערכת (לידיעתך 3).

יתכן שהיה גם קושי בהבנה הנובע מכך שהתלמידים לא זיהו את המגיבים: גלוקוז וחמצן.
הגלוקוז היה בתאי הנבטים והחמצן היה באוויר, כך שאף אחד משניהם לא הוכנס למבחנה
באופן ישיר על ידי התלמידים.

3. רוב התלמידים בוחרים נכון גורמים שנשמרו קבועים בניסוי, אך רבים מהם מתקשים להבין
ולהסביר את החשיבות של השמירה של אותם גורמים קבועים (שאלה 5).
אנו ממליצים על קריאת הקובץ "**גורמים קבועים: קל לזהות קשה להסביר...**" בו הושם דגש על
היבטים שונים הנוגעים לחשיבות השמירה על גורמים קבועים בניסוי, כפי שהם באים לידי ביטוי
בבחינות בגרות ובביוחקר.

4. תלמידים רבים התקשו להשיב על שאלות 8א ו-8ב, שאלות בהן נדרש ידע קודם הכלול בליבה
בנושא פוטוסינתזה. בשאלה 8א, נדרשה הבנת החשיבות של חומרי תשמורת שמצויים בזרעים
ובשאלה 8ב – נדרשה הבנה של חשיבות הפוטוסינתזה לקיום צמחים.
תשובות שגויות לדוגמה,
תשובה לשאלה 8א: אנרגיה שמופקת בנשימה משמשת לפוטוסינתזה.
תשובה לשאלה 8ב: נבטים יכולים להמשיך לגדול ולהתפתח בחושך כיוון שהם מקיימים נשימה
תאית.

ד. **המלצות לביצוע ניסויים המבוססים על שיטת המדידה במסגרת ביוחקר**
כסצ'ופיט 1-11 מוצגים רציונות אותם ניתן לבדוק בשיטת המדידה שבניסוי. המורה
יוכל לבחור רציון, לבצע את תלמידיו ניסוי מקדים ואלץ כי התוצאות לדון איתם
לבדי ההיתכנות של פיתוח הרציון הצמודת הביוחקר.
תלכורת: לפני ביצוע ניסוי כלשהו, חובה אל המורה לבדוק את הוראות הבטיחות
הרלוונטיות כפי שפורסמו באתר מפא"ר ולצמוד רק אל פיהן.

אפשר להשתמש במערכת הניסוי ולבדוק קצב נשימה:

1. באורגניזם אחר או באיבר אחר של צמח, כגון ניצנים ("עיניים") של תפוח אדמה שנשמר בחושך,
שורשים של בטטה, בניצנים ופרחים של אותו מין.
2. בנבטים אטילונטיים בגילים שונים לאחר תחילת נביטה.
3. בבעלי חיים קטנים כגון חלזונות, נמלים.
4. בפטריות (שמפינין או במינים אחרים) ולהשוות את הקצב במצבי טריות שונים.
5. ברקמות של פירות שונים או בדרגות הבשלה שונות של אותו פרי.

6. בנבטים ששהו במצבי עקה (סטריס) לפני הניסוי (טיפול מוקדם), לדוגמה השקיה מעטה, השקיה בתמיסות מלח, השקיה בתמיסות דטרגנטים חשיפה לטמפרטורות שונות.
7. בנבטים שהתפתחו בסביבה של גורמים אללופתיים⁷.
8. בנבטים שבזמן הניסוי נחשפים לטמפרטורות שונות.
- חשוב לציין שבמקרה זה בכל טיפול חובה שכל חלקי המערכת יהיו באותה הטמפרטורה. לשם כך יש להשתמש בכלי ארוך (במקום התבנית שבה השתמשו בניסוי) **שבו ניתן להניח פיפטה ומבחנה לכל אורכן** (ולוותר על כן המבחנות שבו השתמשו בבחינה). יש לייחד לכל טיפול כלי נפרד ובו מים בטמפרטורה אחרת.
- חשוב להאריך את משך ההמתנה בין סיום הכנת המערכות לבין תחילת הניסוי, זמן שיאפשר התייצבות המערכות.
- כדי להתגבר על הבעיה של סימון קו התחלתי וקו סופי על גבי הפיפטות הטבולות במים, אפשר לצלם את מיקום קו הנוזל בפיפטה בתחילת הניסוי ובסופו.
9. בעלים ירוקים בחושך. לשם כך אפשר לעטוף את המבחנה ברדיד אלומיניום ולפני הניסוי להשהות בה את העלים במשך 30 דקות לפחות.
- כדאי לשקול האם יש להגדיל את כמות בסיס הסידן שבמבחנה, כדי שגיב עם פחמן דו-חמצני במערכת ועל ידי כך יצמצם עוד יותר את הסיכוי לקיום פוטוסינתזה.
- אפשר לנסות לבדוק גם עלים ירוקים שנחשפו בטיפול מוקדם לתנאים קיצוניים כגון טמפרטורות גבוהות או טמפרטורות נמוכות.
10. בקרקע שהוסף לה תרחיף עמילן, בהשוואה לקצב נשימה בקרקע מעוקרת שהוסף לה עמילן. צפוי שתהליך הנשימה יבוצע על ידי מיקרואורגניזמים מפרקים שבקרקע ולכן יתכן שיתקבלו תוצאות משמעותיות רק לאחר כמה ימים.

הערה:

כדי להשלים את התמונה אפשר לבדוק את קצב הנשימה באותם טיפולים באורגניזמים שנבחרו, גם על פי פליטת פחמן דו-חמצני. בביוחקר, בדיקה של אותו תהליך בשתי שיטות מדידה מאפשרת לבצע פחות טיפולים.

⁷ <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02033587>,
<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1005551912405>