

מידע חשוב

הורים יקרים,

ערכת ניסוי זו נועדה לשימוש על ידי ילדים מעל גיל 10 בלבד המתעניינים בלמידה אודות תחום הגנטיקה בדרך מהנה. ערכה זו אינה רק מהנה, היא יכולה גם לספק מבוא לעולם מרתק של תחום הביולוגיה.

זה טבעי להעלות שאלות בכל הנוגע לבטיחות ערכה המכילה חומרים כימיים. השימוש הלא נכון בחומרים כימיים יכול לגרום לפגיעה ולנזק לבריאות.

הציוד הניסויי הכלול בערכה זו עומד בתקני הבטיחות של ארה"ב ואירופה, אשר מציינים את דרישות הבטיחות עבור ערכות לעריכת ניסויים כימיים. תקנים אלה מטילים מחויבויות על היצרן, כגון איסור השימוש בחומרים מסוכנים במיוחד. התקנים מציינים גם כי על אנשים מבוגרים לסייע לילדיהם במתן ייעוץ וסיוע בהתעסקות בתחביב החדש שלהם. אנו מפנים מידע זה אליכם, כך שתוכלו להבין מה הדבר מצריך וכולל.

עיינו במדריך הוראות זה ושימו לב במיוחד לדברים הבאים:

- חוקים בסיסיים לעריכת ניסויים בצורה בטוחה.
- מידע אודות חומרים מסוכנים.

(עטיפה קדמית פנימית), כמו גם

- עזרה ראשונה במקרה של תאונות

(עטיפה אחורית חיצונית).

חלק גדול מהסיכונים המוזכרים במקומות אלה אינם יכולים לקרות אפילו עם ערכת ניסויים זו, אולם כללנו את כל קווי ההנחיה הבטיחותיים המתקשרים לערכות לעריכת ניסויים כימיים לשם אספקת מידע שלם. עיינו גם במידע הבטיחותי המלווה את הניסויים. בחרו בקפידה את הניסויים שנראים בטוחים ומתאימים לילדכם. טרם תחילת עריכת הניסויים, דונו בהמלצות הבטיחותיות עם ילדכם.

מכיוון שיכולותיהם של ילדים משתנים מאוד מהאחד לשני, גם בקרב אותן קבוצות גיל, מבוגרים אחראים חייבים להפעיל שיקול דעת לגבי הניסויים המתאימים ובטוחים עבורם. ההוראות אמורות לאפשר למשגיחים להעריך כל ניסוי שהוא על מנת לקבוע את מידת ההתאמה שלו עבור ילד מסוים. על המבוגר האחראי המשגיח לדון באזהרות ובמידע הבטיחותי עם הילד או עם הילדים טרם תחילת עריכת הניסויים. התייחסות מיוחדת יש לתת להתעסקות הבטוחה בחומצות, בחומרים אלקליים ובנוזלים מתלקחים. קראו ונהגו על פי הוראות אלה, חוקי הבטיחות והמידע אודות עזרה ראשונה, ושמרו אותן אצלכם לעיון בעתיד. ערכו רק את אותם ניסויים הרשומים בתוך ההוראות.

לא דרושה מעבדה מיוחדת לעריכת ניסויים פשוטים אלה. השטח הסובב את הניסוי צריך להישאר נקי ונטול מכשולים וממוקם הרחק ממקום אחסנת מזון. על השטח להיות מאוורר ומואר היטב וקרוב למקור אספקת מים. יש לספק שולחן יציב עם משטח עמיד בחום.

בעת עריכת הניסויים, ילדכם צריך ללבוש בגדים שיכולים להתלכלך (או חלוק ישן). לאחר השלמת הניסויים, הוא או היא חייבים לנקות את שטח העבודה ולשטוף ביסודיות את הידיים שלו או שלה.

אנא היזהרו שלא לאפשר לחומרים הכימיים להגיע לידיהם של ילדים קטנים.

אנו מאחלים לכם ולילדכם זמן מהנה ומעניין בעריכת ניסויים אלה!

ציוד

מה כלול בערכת הניסוי:



דבקים נוספים שתזדקקו להם:

אלכוהול מפוגל (כוהל מפוגל), מלח שולחן, נוזל לשטיפת כלים, כפית, 2 מיכלי יוגורט, סרגל, עטי טוש, סכין, מספריים, סמן קבוע, ניילון נצמד, בלנדר ידני, עגבנייה, צנצנת ג'לי, מיקרוגל

רשימת בדיקה: מצאו – בדקו – סמנו

מספר פריט	כמות	תיאור	מספר	✓
772093	1	בקבוק זכוכית חום ריק עם מכסה	1	O
772100	2	צינורית בדיקה עם מעצור	2	O
086228	1	משפך	3	O
772092	10	גיליון נייר סינון	4	O
232134	1	טפטפת	5	O
065099	1	ספל מדידה	6	O
020042	1	שיפוד מעץ	7	O
705818	12	שבבי פלסטיק בצבע לבן ואדום	8	O
705897	1	גיליון עבודה בירושה	9	O
705820	1	כרזת תא	10	O
705819	1	פאזל כרומוזומים וכרטיסי טביעות אצבע גנטיות	11	O
705817	1	מודל DNA	12	O
702184	2	צלחת פטרי	13	O
705815	1	LB agar	14	O
070177	1	פוחת מכסים	15	O
000239	1	כף מעץ	16	O
161415	1	סרט קידוד אדום	17	O

כל החומרים שאינם כלולים בערכה מסומנים בכתוב אלכסוני בתוך המסגרות "תזדקקו ל".

- לפני שאתם עושים כל דבר אחר, אנא בדקו שכל החלקים הכלולים ברשימה נמצאים בערכה וזאת על מנת לוודא ששום דבר לא חסר.
- במידה וחסרים חלקים, אנא צרו קשר עם מרכז שירות הלקוחות של Thames & Kosmos.

תוכן עניינים

בידוד חומר גנטי עמודים 5 עד 11

מצאו את ה-DNA בתוך העגבנייה



קידוד מבנה ה-DNA
עמודים 26 עד 35

תפצחו את הקוד של
הסליל הכפול



עדות ה-DNA פותרת את
הפשע עמודים 36 עד 40

למדו כיצד מדענים בתחום הפלילי עושים
שימוש ב-DNA של טביעות אצבע

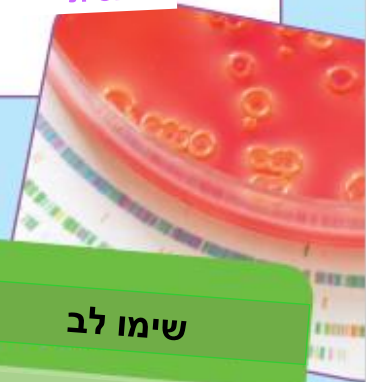
תורשה: מאפייני מחקר
עמודים 12 עד 18

למדו כיצד מאפיינים
מועברים מהורים
לילדים



גילו של תחום ההנדסה הגנטית
עמודים 41 עד 46

תגדלו מושבת חיידקים על
מנת ללמוד על ההנדסה
הגנטית



תאים וכרומוזומים עמודים 19 עד
25

תגלו ביכן ממקום
ה-DNA בגוף
שלנו



תשובות עמוד
47

שימו לב

תמצאו מידע נוסף בעמודים 6,
11, 12, 19, 22, 25, 30, 33, 37, 38, 40,
42 וגם 46

מידע חשוב

חוקים בסיסיים לעריכת ניסויים בצורה בטוחה

כל הניסויים המתוארים במדריך הוראות זה ניתנים לביצוע ללא כל בכנה, כל זמן שאתם נוהגים בהתאם להמלצות ולהנחיות. אנא קראו את ההודעות שלהלן בקפידה.

1. קראו הוראות אלו טרם השימוש, נהגו לפיהן ושמרו אותן לעין בעתיד. שימו לב במיוחד למפרטים הטכניים של הכמויות ולרצף של השלבים הנפרדים. ערכו ניסויים המתוארים במדריך הוראות זה בלבד.
2. הרחקו ילדים קטנים וחיות מחמד מאזור עריכת הניסוי.
3. בזמן עבודה, הלבשו בגדי הגנה מתאימים, כגון חלוק ישר וכפפות חלקות.
4. אחסנו ערכות ניסוי הרחק מהישג ידם של ילדים קטנים.
5. נקו את כל הציוד לאחר השימוש.
6. וודאו כי כל המיכלים סגורים עד הסוף ומאוחסנים היטב לאחר השימוש. סגרו בקפידה את הבקבוקונים המכילים חומרים כימיים ואת בקבוק כהל מפוגל לאחר השימוש והחזירו אותם למקומם בתוך הערכה.
7. רחצו ידיים לאחר עריכת הניסויים. חומרים כימיים הבאים בטעות במגע עם העור שלכם יש לשטוף באופן מיידי במי ברז זורמים.
8. אין לעשות שימוש בציוד כלשהו אשר לא סופק יחד עם הערכה, או שאינכם מתבקשים במיוחד להשיג לעריכת ניסוי מסוים.
9. אין לאכול, לשתות או לעשן בשטח הניסוי. אין לעשות שימוש בכלי אוכל, שתייה או כלי מטבח אחרים לעריכת הניסויים שלכם. אין לעשות שימוש במיכלים או בציוד בהם אתם עושים שימוש בעבודתכם לאחר מכן במטבח.
10. אין לאפשר לחומרים כימיים לבוא במגע עם העיניים והפה.
11. במידה ומצרכי אוכל מצוינים בהוראות השימוש: אין להחזיר מצרכי מזון לתוך המיכל המקורי שלהם. השליכו אותם לזבל מיד.
12. שימו לב גם למידע המצוין על גבי תוויות החומרים הכימיים, המידע אודות חומרים מסוכנים במעטפת הקדמית הפנימית ולהודעות הבטיחות המלוות כל ניסוי.
13. עליכם לדאוג שאדם מבוגר יסייע לכם בזמן עבודה עם בלנדר ועם כיריים חמים או מיקרוגל.

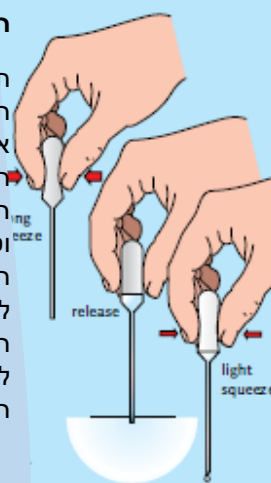
פתיחת הבקבוקון המכיל

חומר כימי: ברגע שאתם פותחים את הבקבוקון, חלקים של החומר עשויים להידבק למכסה וליפול על היד שלכם או על משטח העבודה. באפשרותכם למנוע זאת באמצעות הקשה על הבקבוקון מספר פעמים כנגד משטח העבודה טרם פתיחתו.



השימוש בטפטפת פיפטה:

תעשו שימוש בטפטפת הפיפטה להוספת נוזלים טיפה אחר טיפה. לחצו על החלק העליון של הטפטפת בעזרת האגודל והאצבע המורה שלכם וטבלו את קצה הטפטפת לתוך הנוזל. ברגע שאתם משחררים לחץ, הנוזל יעלה את הטפטפת. בשלב זה, בעזרת לחץ קל, תוכלו להוסיף את הנוזל טיפה אחר טיפה.



The polystyrene foam cap does not yield DNA. It is plastic and inorganic. Only living organisms like plants, animals, bacteria, and viruses contain DNA.

זכוכית מגדלת אדומה זו מופיעה במדריך זה שוב ושוב. היא מציינת בפניכם היכן באפשרותכם לבדוק את התשובה שלכם לשאלה באמצעות הנחת סרט הקידוד האדום מעל תיבת התשובה.



בידוד של חומר גנטי

פרק זה מתחיל עם פשע! קראו את הסיפור אודות שוד הבנק בעמוד הבא. איזו עדות השאירו למשטרה? כיצד יכולים מדענים בתחום הפלילי לעשות שימוש בעדות על מנת להביא את העבריינים לדין? וכיצד כל זה מתקשר ל-DNA בכלל?

"ידיים למעלה!" צועק Hank Schubert בזמן שהחבר שלו Rudy Kramer מחזיק בשני הבנקאים ובעובדים האחרים בשבי בחלק האחורי של החדר. במשך חודשים, שני השודדים חיפוש כיצד להכין תוכנית שמטרתה לשדוד את חסכונות הבנק. היום הזה סוף כל סוף הגיע. עם צמיגים חורקים, הם יצאו בשעה 11:53 בדיוק, הרכיבו על הפנים שלהם מסיכות, טורקים את דלתות המכונית ונכנסים בריצה לתוך הבנק. "תגידו לי מה אתם רוצים", אומר מנהל הסניף Frank Milton בצורה רגועה, בזמן שהוא מוביל את שני השודדים לכיוון הכספת. תוך פחות משתי דקות, השודדים הכניסו 310,483 דולר ו-72 סנט לתוך השק שלהם והחלו לרוץ לכיוון הרכב, אותו משאיר השותף שלהם Martin Adler במצב חם ומכן לנסוע עם מנוע פועל. הבעיה היחידה היא שבלהט הרגע Schubert נכנס לתוך דלת זכוכית וחותר את היד שלו. הדבר החשוב ביותר הוא לברוח, הוא חושב לעצמו. ותוך רגע קצר הרכב מאיץ ועוזב את הדירה.

"אין עקבות של הפושעים..." רשום בכותרת של העיתון בבוקר למחרת. "המשטרה בחשיכה..." עשר דקות לאחר השוד, הממונה על החקירה Walter Reddy נמצא בזירת הפשע, מראיין עדים – אולם הוא לא מצליח להוציא מהם הרבה מידע. "אחד מהעדים היה בגובה של 6 רגל, השני היה נמוך יותר", מספר אחד מהבנקאים. "לבחור היותר גבוה היה ריח של סיגריות ומבטא דרומי", מוסיף מנהל הסניף. "מידע דל למדי", התייפח Reddy. אין טביעות אצבע, כמובן, כיוון ששני השודדים היו חכמים מספיק על מנת להרכיב כפפות. אולם Rob Green, הגבר מהמחלקה לזיהוי פלילי, מסתכל סביב בצורה קפדנית יותר. הוא לפחות מצליח למצוא מספר טיפות של דם ליד הדלתות הקדמיות ועל הרצפה, אותן הוא מקרצף בזהירות ומכניס לתוך מבחנה. ובחזית סניף הבנק נמצאו מספר בדלי סיגריות. "הנהג עישן", הציע אחד מעובדי הבנק. "לא מידע מבריק במיוחד", אומר Green. השותפים שלו מבקשים ממנו לחפש ולאסוף שאריות קטנות של שיער או בגדים בתוך הכספת. יתכן ובשלב מאוחר יותר יוכלו לעשות בהן שימוש על מנת לספק עדות ברורה מספיק על מנת להשיג ווידי מהפושעים. בהנחה כמובן שהמשטרה יכולה לתפוס אותם.

בתוך ערכה זו, תוכלו לראות כיצד זה עובד. תבודדו חומר גנטי, החומר שלמעשה מכיל את "התוכנית" עבור האורגניזם החי. תלמדו כיצד חוקרים קידדו תוכנית זו ופרקו אותה לפרטים הקטנים ביותר. כמו כן תחקרו מה יש לכם במשותף מבחינה גנטית עם הוריהם והם הסבים שלכם (ומה, מצד שני הופך אתכם לייחודיים), ולבסוף תוכלו לסייע בהבאת שלושת שודדי הבנק לדין. במרכז כל זה נמצאת אותה מולקולה שעשתה יותר מכל אחד אחר במהלך מאות השנים האחרונות על מנת לשנות את ההבנה שלנו לגבי החיים: DNA.

האם אי פעם תהיתם מדוע אתם משיגים רק עגבניות מצמחי עגבניות, ותפוחי אדמה מצמחי תפוחי אדמה? לארנבות יש גורי ארנבות ולבני אדם יש תינוקות אנושיים. האם אי פעם תהיתם מדוע לעגבניות אין גורי ארנבות? הדבר קשור לקוד תכנות ענק הנמצא בתוך יצורים חיים. תחום המדע עקב אחר קוד זה מזה יותר מ-150 שנה. כיום סוף כל סוף ברור היכן הוא ממוקם. ניתן אפילו לבודד את החומר המכיל תוכנית זו. בואו נעיף מבט.

בידוד החומר הגנטי

תזדקקו לדברים הבאים

- בקבוקון חום עם מכסה
- כף מעץ
- כוהל מפוגל
- מלח שולחן
- סבון כלים
- כף
- סכין
- עגבנייה
- מקפיא
- בלנדר או בלנדר ידני
- שני מיכלי יוגורט
- ריקים גדולים (מיכל יוגורט אחד צריך להיות גדול מספיק כך שהבלנדר הידני ייכנס לתוכו).

Experiments
1 through 4
are meant to
be done in
sequence.

כך תערכו את הניסוי

1. ערב לפני שאתם עורכים את הניסוי שלכם, מלאו את הבקבוקון החום באלכוהול מפוגל והכניסו אותו לתוך המקפיא כך שיהי מספיק קר לפני עריכת הניסוי.
2. כעת תקפואו את החומר הגנטי מהתאים. חתכו חצי עגבנייה לחתיכות מאוד קטנות והכניסו אותן לתוך מיכל היוגורט הגדול.
3. למיכל היוגורט השני, הוסיפו 50 מ"ל של סבון כלים (כמות כפולה מספל המדידה) וכפית של מלח.
4. ערבבו היטב בעזרת הכף ומזגו את התכולה מעל העגבניות החתוכות דק.
5. כעת מעכו הכול בזהירות בעזרת הבלנדר. היזהרו שלא לרסס את התכולה בכל המקום! כמות גדולה של קצף תיווצר בשל הסבון. הקצף יפריע לכם בדרך, לכן יש להוציא אותו בעזרת כף.



אתם זקוקים לאדם מבוגר שיסייע לכם בעת השימוש בבלנדר!



הודעת בטיחות: עבור כוהל מפוגל, עיינו בסעיף של "מידע אודות חומרים מסוכנים" שבעטיפה הקדמית הפנימית.

ניסוי מספר 2

הכנות נוספות לבידוד ה-DNA

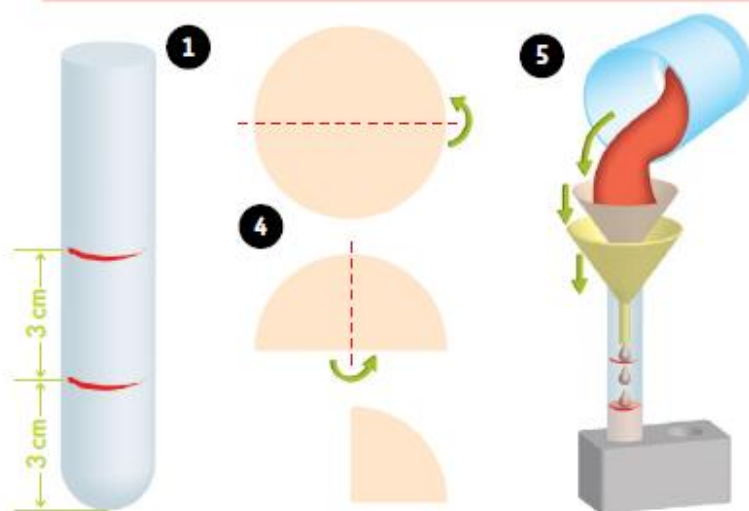
תזדקקו לדברים הבאים

- בלילת עגבניות-סבון
- מניסוי מספר 1 מבחנה
- מחזיק מבחנה ממגש
- ערכת הקלקר
- משפך
- נייר סינון
- סרגל
- טוש לסימון קבוע

חוקרים לעיתים קרובות עושים שימוש במסנן על מנת להשיג תמיסה ברורה מתמיסה עכורה. לביצוע הניסוי הבא, נזדקק לכמות מסוימת של נוזל.

כך תערכו את הניסוי

1. השתמשו בסרגל למדידת שלושה סנטימטרים מתחתית המבחנה, וסמנו את המרחק הזה באמצעות ציוד של קו בעזרת הטוש לסימון קבוע. לאחר מכן, סמנו קו נוסף במרחק של שלושה סנטימטרים מעליו. דבר זה יסייע לנו לסנן את כמות הנוזל הנכונה.
2. כעת, תזדקקו למחזיק עבור המבחנה. הפרידו בזהירות את הבלוק עם שני החורים בתוכו ממגש חלקי הקלקר שבתוך הערכה שלכם.
3. מקמו מבחנה אחת בתוך אחד החורים והניחו את המשפך בתוך המבחנה.
4. קפלו את נייר הסינון כמוצג באיור לעיל והכניסו אותו לתוך המשפך. במידה ונגמר לכם נייר הסינון עבור ניסויים שאמורים להיערך בשלב מאוחר יותר, באפשרותכם לחתוך נייר סינון רגיל לקפה כך שייכנס לתוך המשפך.
5. מזגו בהדרגה את מחית מרק העגבניות (מניסוי מספר 1) במנות קטנות על המסנן. ייקח קצת זמן עד לירידת הנוזל הצלול, טיפה אחר טיפה, לתוך המבחנה.
6. המשיכו להוסיף את המחית עד שהנוזל שבמבחנה מגיע לסימון הראשון. התהליך יכול להימשך עד עשר דקות. היו סבלניים.



טיפ

בנושא הסבלנות: כל המדענים חייבים להיות סבלניים. ישנם ניסויים גדולים יותר הנמשכים שבועות או חודשים ולפעמים הניסוי יוצא לא מוצלח ועליהם לחזור עליו פעם נוספת

ניסוי מספר 3

ה- DNA מתגלה ונראה לעין

תזדקקו לדברים הבאים

- אלכוהול מפוגל קר
- בתוך בקבוקון חום
- מתוך ניסוי מספר 1.
- טפטפת
- תסנין נקי של סבון
- עגבניות מניסוי מספר 2
- מעצור מבחנה

ניסוי זה הינו אמבט קר לסינון, לו קוראים החוקרים בשם תמיסה נקייה המתקבלת בעקבות סינון.

כך תערכו את הניסוי

1. הוציאו את האלכוהול המפוגל מהמקפיא, קחו כמות קטנה לתוך הטפטפת ובזהירות תנו לאלכוהול הקר לזרום במורד הדופן של המבחנה הנטויה.
2. חזרו על שלב זה עד שגובה הנוזל מגיע לסימון השני. בדו"ח אמיתי של מעבדה, היה כתוב: הוסיפו כמות שווה של אלכוהול מפוגל לתסנין.

3. תראו כי האלכוהול המפוגל יצר שכבה מעל נוזל העגבניות המסונן, כיוון שהאלכוהול קל יותר מהמים. יתכן שתוכלו אפילו לראות מספר עננים או פתיתים במקום שבו שני סוגי הנוזלים נפגשים. אנחנו רוצים עוד מאלה.

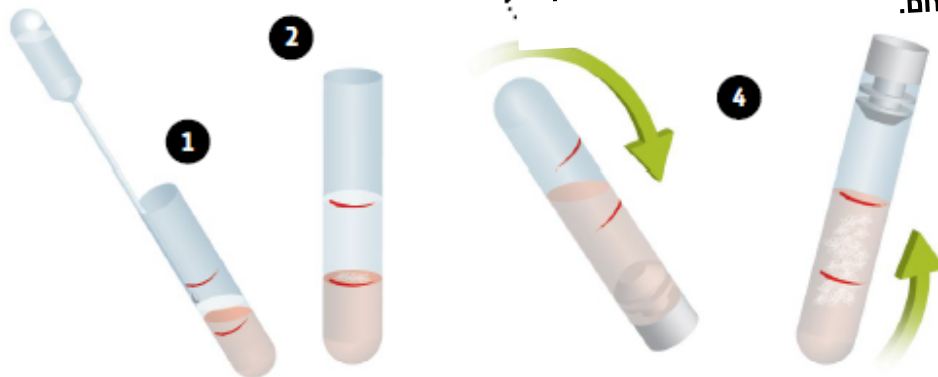
4. סגרו את המבחנה בעזרת המעצור שלה וסובבו אותה מספר פעמים, לאט ובעדינות, בצורה הפוכה ואז שוב בצד הנכון. המשיכו בכך עד שהכוהל ונוזל העגבניות מעורבבים.

האם אתם רואים משהו בתוך המבחנה?

ניסוי מספר 3

אם הכול עבר כמתוכנן, אתם אמורים לראות מספר תבריגים חיוורים. במידה ואינכם רואים דבר, החזירו את המבחנה לתוך המקפיא. לאחר מספר שעות, תראו חוטים דקים לבנים ופתיתים בתוך המבחנה: זה לא יותר מאשר החומר הגנטי הבדוי, או DNA במילת קיצור. בודדתם את הקוד הגורם לכך שהעגבניות נוצרות מעגבניות!

בתוך תמיסת העגבניות המימית, החומר הגנטי מומס בעדינות ובכך מתחלק באופן שווה ובלתי נראה לנו. אולם ברגע שהחומר מוקף באלכוהול קר, הוא הופך לכדור ונפרד מהנוזל. הדבר דומה לדרך שבה חלב חמוץ מתקרש ברגע שאתם מוזגים אותו לתוך קפה חם.



ניסוי מספר 4

הוצאת החומר הגנטי

תזדקקו לדברים הבאים

- שיפוע מעץ
- מבחנה של DNA
- מבודד מניסוי מספר 3



כך תערכו את הניסוי

1. השתמשו בשיפוד מעץ על מנת לדוג את ה-DNA מהתמיסה. הוא אינו מזיק. הוא מגיע מעגבנייה בלתי מזיקה, אחרי הכול.
2. הסתכלו מקרוב, אולם אל תאכלו את זה – זכרו, עדיין ישנן שאריות של סבון כלים ואלכוהול מפוגל עליו.



DNA של
עגבנייה בתוך
מבחנה

מה קורה?

בכל פעם שאתם אוכלים סלט עגבניות, אתם אוכלים גם כמות קטנה של DNA של עגבנייה. ק"ג אחד של מזון מכיל בין 0.1 גרם ל-1 גרם של DNA.

לבודד עוד DNA

תזדקקו לדברים הבאים

- חצי בצל
- חצי קיווי
- חתיכת קצף קלקר (מגש אריזה מהערכה)
- קחו מלפפון חמוץ

כך תערכו את הניסוי

האם אתם מצליחים למצוא הבדלים בכמות ה-DNA בכל אחת מהדגימות המצויות משמאל? אחד הניסויים אמור לא להניב חומר גנטי בכלל. מדוע לא?



ניסוי מספר 5

השתמשו בסרט הקידוד האדום על מנת לחשוף את התשובה לשאלה שנשאלה בניסוי מספר 5.



מה כמות ה-DNA במגוון מצרכי מזון?

טבלה זו מציגה את כמות ה-DNA בקרב חמישה סוגי מזון, בגרמים לכל קילוגרם במשקל יבש (משמע גרמים לכל קילוגרם של מזון מיובש)

המזון	גרמים של DNA
כבד של עגל	17.3
פורל מעושן	1.0
ברוקולי	5.0
תפוחי אדמה	2.6
חיטה	0.7



מי גילה את ה-DNA?



כיום, זה בא לנו בקלות: באפשרותנו לעשות שימוש פשוט במקפיא לקירור תמיסות ניסוי חשובות, כגון האלכוהול המפוגל. האדם שגילה את החומר הגנטי, מצד שני, היה צריך לקום בשעה חמש בבוקר לעריכת הניסויים שלו, וזאת על מנת לנצל את טמפרטורות הבוקר הקרות. חוקר שוויצרי זה **Johann Friedrich Miescher** (1844-1895) היה האדם הראשון שבודד את החומר הגנטי. אולם לשם כך, הוא עשה שימוש במקורות שהיו הרבה פחות מעוררי תאבון מהעגבניות. Miescher לקח תאי דם לבנים שהושגו ממוגלה בתחבושות המשומשות של מטופלים. מתוך זה, הוא הצליח לבודד חומר לבן סיבי, כמו זה שאתם בודדתם, בשנת 1869. Miescher קרא לזה בשם **חומצת גרעין** (מאותו מקור לטיני של המילה **גרעין** – חוקרים אהבו לעשות שימוש במילים בעלות שורשים יווניים או לטיניים, כיוון שהיה פשוט וקל להסכים עליהן ברמה הבינלאומית). אולם Miescher לא היה בטוח מה היה הדבר שהוא בודד. רק לאחר שחזר על הניסוי עם תאי הזרע של סלמון (שהיה דג שכיח בנהר הריין באותה תקופה, והשיג תאים גדולים במיוחד, מה שהפך את הניסוי איתם לעניין פשוט וקל יותר) יכול היה, בשנת 1871, לפרסם את הממצאים שלו. מילת הקיצור השכיחה ביותר לשימוש כיום, DNA, המציינת "חומצה דאוקסיריבונוקלאית".

תורשה: חקירת מאפיינים

כיצד עזרה האפונה להסביר את התורשה



Gregor Mendel (1822-1884) נקרא לעתים קרובות בשם אבי הגנטיקה בשל פריצות הדרך שעשב במחקר בתחום התורשה, או התורשה הביולוגית. משנת 1856 והלאה, Mendel גידל אפונה בגינת המנזר, שם הוא התגורר ועבד. הוא הביע עניין רב בעובדה שלצמחים אלה יכולים להיות מאפיינים מגוונים כאלה. הוא שם לב לכך שישנם צמחי אפונה עם פרחים לבנים או אדומים, וכאלה עם אפונה צהובה או ירוקה. אולם Mendel לא עצר שם, רק בהבחנה. הוא החל לבצע הכלאות בין סוגי אפונה שונים באופן שיטתי. לדוגמא, הוא ניסה כל הזמן לשלב את האבקה של צמחים עם פרחים אדומים יחד עם הביצית (תאי ביצית) של צמחים עם פרחים לבנים.

לאחר מכן, Mendel לקח על עצמו משימה אדירה: הוא חקר את המאפיינים של הרבה יותר מ-10,000 צמחי צאצאים – בין אם היו להם פרחים אדומים, לבנים או אולי אפילו כחולים. בהדרגה, Mendel היה מסוגל להראות שההנחיות עבור מאפיינים כגון צבע של פרח עוברים בתורשה מתאי הביצית והזרע (אשר, בתוך צמח, נחשבים לזרעי אבקה) של צמלי האם והאב. הוא הראה שלפעמים הן המאפיינים מצמח האם והן אלו מצמח האב הופיעו בתוך הצמחים הצאצאים. אולם לפעמים, רק אחד מתוך שני המאפיינים באו לידי ביטוי.

בסופו של דבר הוא היה מסוגל לסכם את הכול בשלושה חוקי תורשה. הייתה זו תחילתה של הגנטיקה המודרנית, גם אם מילים כגון גן וגנטיקה לא היו מוכרות לו כלל. הוא זיהה כי אורגניזמים חיים כגון צמחים ובלי חיים נושאים תוכניות אינדיבידואליות רבות עבור מאפיינים כגון צבע הפרח והעבירו אותם לצאצאים שלהם. בסופו של דבר הוא הבין שכל צמח אפונה כולל שני עותקים של אותה תוכנית עבור כל מאפיין בודד, כגון צבע הפרח.



לזהות שייכות (זיקה)

תזדקקו לדברים הבאים

- פנקס כמו זה שלמטה
- עט או עיפרון

אנחנו יודעים שהחוטאים שבודדתם בניסוי האחרון הם חומר גנטי. אולם על מנת לגלות זאת, חוקרים רבים שהחלו את עבודתם לפני הרבה יותר מ-100 שנים לחשוב בקפדנות ולבצע ניסוי אחד אחרי השני. היה זה כמו פאזל גדול לו תרם חוקר אחד חלק אחד וחוקר אחר הוסיף את החלק הבא, במהלך תקופה של עשורים רבים.

במרכז כל המחקר הזה היה המסתורין בכל הנוגע לדרך שבה תורשה עובדת. לא היה קשה לקבוע שהתורשה קיימת. האם מישהו אי פעם אמר לכם, "וואו, את העתק מוחלט של אבא שלך?" או, "האם לסבתא שלך היו אותן עיניים כמו שלך יש?"

כך תערכו את הניסוי

1. חשבו על דרכים בהן אתם דומים לאחרים שלכם, להורים שלכם או לסבים שלכם.
2. כתבו את קווי הדמיון ביניכם בפנקס שלהלן.

מה קורה?

בני אדם הבחינו לפני זמן רב שהם דומים לאבותיהם הקדמונים. ללא ספק ובאופן ברור, כל דור מעביר סוג מסוים של תוכנית לדור הבא, מה שגורם לאנשים להיראות כמו הדור שלפניהם. לחוקרים רבים היו רעיונות מסקרנים ומעניינים בכל הנוגע לאיך הדבר הזה עובד. אנשים ידעו בשלב מוקדם שאינדיבידואלים חדשים נוצרים בעקבות הזדווגות. העובדות הבסיסיות הן כדלהלן: על מנת לייצר תינוק, תא ביצית אחד מהאם צריך להתמזג עם תא זרע אחד מהאב. אולם מזה זמן רב לא היה ברור בכלל כיצד בן אנוש חדש ייווצר מזה. בסוף המאה ה-17, מספר חוקרים פיתחו את הרעיון לפיו קיימים עותקים מזעריים של האב הנמצאים בתוך תאי הזרע, שלאחר מכן גדלו וצמחו לבני אדם מפותחים לחלוטין. אנשים שתמכו בתיאוריה זו של "תא זרע" כונו בשם animalculists. דעה שונה למדי הייתה ל-ovists – שחשבו שהצאצאים המזעריים למעשה ישובו בתוך תא הביצים. שטויות במיץ עגבניות! אולם על מנת להסביר את הדברים בצורה נכונה וטובה, חוקר גדול היה צריך לעשות צעד גדול נוסף.

מנדל וחוקי התורשה

תזדקקו לדברים הבאים

- שבבי פלסטיק
צבעוניים

Gregor Mendel היה אדם רב כישרונות באופן קיצוני. הוא אסף דבורים, עבד בתור גן ומורה, העסיק את עצמו במחקר ופילוסופיה והחל משנת 1868, עמד בראש המנזר האוגוסטיני שבעיר Brunn (המוכרת כיום בשם Brno, שברפובליקה הצ'כית). כעת בואו נסתכל על מה שגילה Gregor Mendel וכיצד גילה זאת.

כך תערכו את הניסוי

1. אסימון אדום מייצג את התוכנית עבור פרחים אדומים, ואסימון לבן מייצג את התוכנית עבור פרחים לבנים. בכל צמח, יהיה תמיד שילוב בין שתי תוכניות, המסומלות באמצעות שני אסימונים.
2. למדנו שלכל צמח יש שני עותקים של כל תוכנית. מקמו את כל השילובים האפשריים של צמדי האסימונים בארבעת התיבות לעיל.

את הפתרון תמצאו בעמוד 47.

3. חשבו על צבע הפרח שיכול להיות לצמח בכל אחד מהמקרים. יהיה זה ברור בשני המקרים בהם שתי תוכניות האסימונים מייצגים את אותו צבע.
4. מקרה מעניין במיוחד הוא כאשר שתי תוכניות שונות משולבות לתוך הצמחים ההוריים. Mendel חשב על שתי דרכים אפשריות שפרחיהם של צמחים צאצאים אלה יכולים להראות.



אדום



לבן

מה קורה?

להלן האפשרויות:

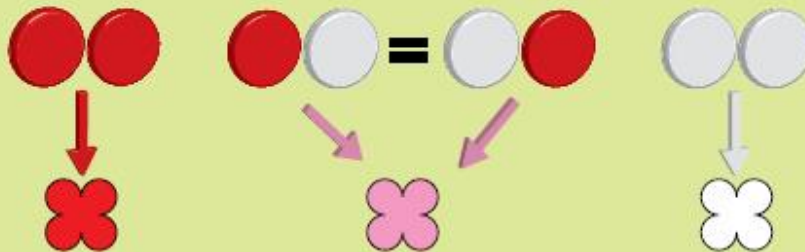
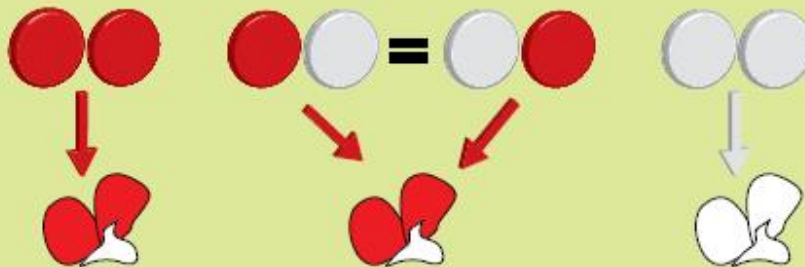
- (א) במידה והתוכניות משלימות האחת את השנייה באופן שווה, תוכנית אחת עבור פרחים אדומים ועוד תוכנית אחת עבור פרחים לבניים יוצרות פרחים ורודים. זה מה שקורה, למשל, עם הפרח של השעה ארבע, *Mirabilis jalapa*. לאחד הצמחים האלה עם תערובת של תוכניות אדומות ולבנות אכן יש פרחים ורודים.
- (ב) אולם יכול להיות גם שתוכנית אחת שולטת על האחרת: לדוגמא, על מנת שהתוכנית האדומה תגבור על התוכנית הלבנה, כך שהצמח הצאצא יכיל פרחים אדומים בלבד גם אם קיימות שתי התוכניות. כך בדיוק התנהגה האפונה של Mendel



אפונה



פרח השעה ארבע

פרח השעה ארבע (*Mirabilis jalapa*)אפונה (*Pisum sativum*)

ניסוי מספר 8

כיצד מאפיינים (תכונות) מועברים הלאה

תזדקקו לדברים הבאים

- שבבי פלסטיק צבעוניים

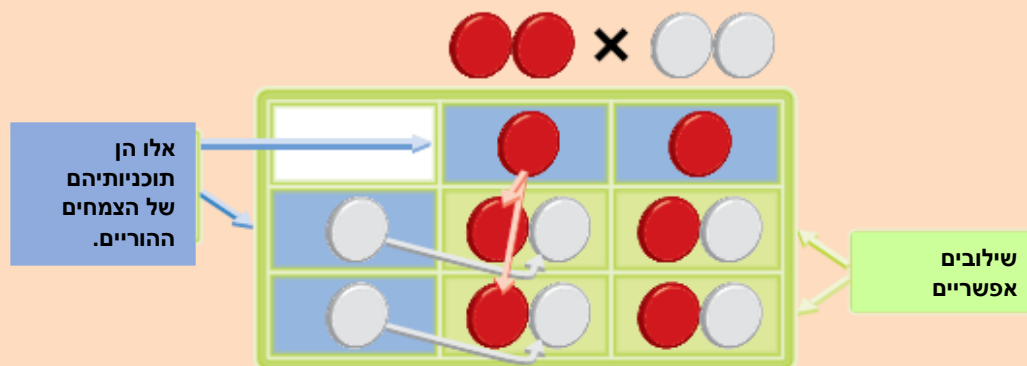
הדרך שבה המאפיינים הופצו עדיין לא הייתה ברורה עבור Mendel. אולם בנושא זה, היו לו עוד מספר רעיונות. אחרי כל הניסויים שערך, היה לו ברור כשמש שכל שותף מעביר הלאה עותק אחד של כל תכנית לצאצא ולא את כל העותקים. הדבר הגיוני, כיוון שאחרת מספר התכונות היה כפול עם כל דור.

למרבה המזל, הדברים הרבה יותר מסודרים מזה: רק אחת מתוך שתי התכונות האפשריות עוברת מההורים לילדים – כך שלכל אחד מהצאצאים יש בסופו של דבר שוב שני עותקים מבחינת ההיגיון.

כעת באפשרותנו להסביר אלו ארבעה שילובים של תכונות יכולים לעלות מתוך שני צמחי אפונה שונים ברגע שהן חוצות אותם.

כך תערכו את הניסוי

- עבור תרגיל הכלאת צמח האפונה הראשון, לאפונה אחת צריכות להיות שתי תכונות לאדום, ולאפונה השנייה צריכות להיות שתי תכונות ללבן. על ידי מיקום השבבים הצבעוניים באיור הרשת שלהלן, באפשרותכם לגלות בקלות את כל השילובים האפשריים.
- בכל מקרה, תוכנית אחת מהורה אחד מוצלב בתוכנית אחת מהורה אחר. כיוון שאנחנו עוסקים כאן באפונה, כל הצאצאים אדומים, כיוון שהתוכנית עבור הצבע האדום תמיד שולטת. אין כל זכר לצבע הלבן שנראה – לכל הפחות, לא מבחוץ, בעקבות הסתכלות על צבע הפרח.



ה- X מציין כי צמח האפונה 1 (אדום-אדום) מצטלב עם צמח אפונה 2 (לבן-לבן). מההצלבה הזו, אנחנו מקבלים ארבעה צאצאים אפשריים של צמח האפונה, כולם עם פרחים אדומים.

ניסוי מספר 8

3. אלו שילובים עולים בקרב הצאצא מתוך צמחים אדומים אלה? הניחו את אסימוני הפלסטיק על הרשת מצד ימין.

את הפתרון תמצאו בעמוד 47.





מה קורה?

פריצת הדרך של Mendel:

כמו קדם, באופן פתאומי, צמחים עם פרחים אדומים ייצרו צאצא עם פרחים לבנים. Mendel השתמש בסוג זה של ניסוי על מנת לחשוף את העובדה שהיו קיימות תוכניות נסתרות עם חיים סודיים משל עצמן, הפועלות מאחורי הסצנות במטרה לשלוט במאפיינים של יצורים חיים. יתכן ותאמרו, "צמחי אפונה משעממים! לא היה אכפת לי מצבע הפרחים שלהם!"

אוקי, אבל זה יכול לעבוד גם כך: מה הייתם חושבים אם באופן פתאומי ילד עם שיער אדום היה מופיע במשפחה שבה להורים ולסבים היה רק שיער חום? תגלית חדשה זו הייתה מסבירה את זה: למאפיינים שבמצב אחר היו נשארים נסתרים, אשר דוכאו על ידי עותקים של תכנית דומיננטית, הייתה לפתע ההזדמנות להתבטא כאשר צמד שלהם נמצאים יחד באותו אורגניזם.

במדע כמו באמנות, ההכרה לעתים קרובות מגיעה בשלב מאוחר

התובנה פורצת הדרך של Mendel בקושי הובחנה על ידי בני זמנו, והועברה לאבדון במשך יותר מ-30 שנה. לא לפני שנת 1900 חוקרים אחרים חשפו את עבודתו ואמרו: וואו, הבחור הזה גילה את בסיס התורשה! במידה ואתם רוצים לקרוא עוד על Mendel ועל עבודתו, היכנסו לאינטרנט בכתובת: www.mendel-museum.com

חידה מאתגרת:



נניח שלכל אחד מארבעת הסבים/סבתות שלכם יש שתי תוכניות להעביר הלאה. כל אחד מהם מעביר את שתי התוכניות להורים שלכם, וכל אחד מהם מעביר אותן לך. אם זה היה עובד כך, כמה תוכניות היו לך?

תשובה:



הורה עם עיניים חומות, ילד עם עיניים כחולות

תזדקקו לדברים הבאים

- שבבי פלסטיק
- צבעוניים
- דף עבודה על תורשה
- טוש אדום

זה לא כזה פשוט וקל, אבל נניח שצבע העיניים האנושית נשלט על ידי תוכנית אחת וכי לכל אחד מאיתנו יש שני עותקים של התוכנית. כיצד יכולים להיות ילדים עם עיניים כחולות בתוך משפחה שכוללת רק

אנשים עם עיניים חומות?

כך תערכו את הניסוי

השבבים הלבנים מייצגים את התוכנית עבור העיניים הכחולות, והשבבים האדומים מייצגים את התוכנית עבור העיניים החומות. התוכנית עבור העיניים החומות גוברת על התוכנית עבור העיניים הכחולות בקרב בני אדם. אם אפילו תוכנית אחד עבור עיניים חומות קיימת, התוצאה תהיה עיניים חומות.

1. אספו את כל שילובי התוכניות האפשריים לצבע עיניים שיכולים להתקיים עם כל ההורים האפשריים. חשבו על השילובים שעשויים להתקיים.
2. בדף העבודה על תורשה, תמצאו את כל השילובים האפשריים מצוינים בתוך שש תיבות כחולות גדולות. מקמו שילוב אחד של אסימונים אחרי השני ברשת הממוקמת בקצה העליון של הדף. אתם יודעים איך לעשות זאת מניסוי 8.
3. בעקבות כל שילוב, הזינו את התוצאה לתוך התיבה הכחולה המתאימה. לשם כך, פשוט צבעו את האסימונים הלבנים בעזרת הטוש האדום. אתם כבר יודעים שהתוכנית עבור העיניים החומות גוברת על התוכנית עבור העיניים הכחולות. כעת הזינו את מספר הילדים להם יהיו עיניים כחולות ואת מספר הילדים להם יהיו עיניים חומות לתוך התיבות הקטנות שבצד ימין של הדף.

את הפתרון תמצאו בעמוד 47.

מה קורה?

רק אם שני ההורים נושאים לכל הפחות עותק נסתר אחד עבור עיניים כחולות יכול המאפיין להופיע אצל הצאצא. ברגע שרק להורה אחד יד שני עותקים של התוכנית עבור עיניים חומות, בעל/אישה עם עיניים כחולות לא יכול לעשות דבר על מנת להעביר את המאפיין הלאה לילדים. (אבל אולי כן לנכדים). התורשה בפועל של צבע העיניים בקרב בני אדם נהגת בקושי על פי דפוס זה. במציאות, תוכניות נוספות מעורבות.

תוכנית בודדת לא מספיקה על מנת לפתח ולשלוט ביצור חי. יותר נכון דרושות אלפי תוכניות. חוקרים עדיין לא יודעים בדיוק את המספר המדויק. עבור בני אדם, אחת מההערכות האחרונות שנתקבלו היא 20,000 עד 25,000 תוכניות נפרדות. לכל אחד מאיתנו יש שני עותקים של כל תוכנית, מה שמביא לידי מספר כפול מזה לכל הסט. מחצית מהתוכניות מגיעות מהאימא, המחצית השנייה מגיעה מהאבא.

תוכניות רבות מועברות הלאה באופן עצמאי לצאצאים. המשמעות של זה היא כי ניתן לשלב "עיניים כחולות" עם "רגליים גדולות", או "עיניים כחולות" עם "רגליים קטנות" או "עיניים כחולות" וגם "רגליים גדולות" עם "אוזניים גדולות". קיים מספר עצום של שילובים אפשריים.

תאים וכרומוזומים

היכן נמצאות אותן אלפי תוכניות השולטות בגוף שלנו והופכות אותנו למי שאנחנו? על מנת לענות על שאלה זו, נצא להרפתקה קצרה למקומות הפנימיים שלנו. הגוף שלכם עשוי מכמות של כ- 100 טריליון תאים – זה אומר 100,000,000,000,000 תאים. זהו מספר בלתי נתפס כמעט. אם הייתם מניחים את כולם בקו ישר, הם היו נמתחים לאורך של 4 מיליון קילומטרים, ונכרכים 100 פעמים סביב העולם. איך גילינו את כל זה? ובכן, מאלו עוד סיבות יש לנו 30 ביליון תאי מוח? זבוב לא צריך לדאוג לגבי עניין מהסוג הזה, כיוון שיש לו בסביבות 100,000 תאים במקרה הטוב.

כמו כל בעלי החיים והצמחים, בני אדם מגיעים מתא בודד שנוצר בעקבות התמזגות של תא ביצית ותא זרע. תא הביצית נחשב למעשה לתא האנושי הגדול ביותר, ובגודל של 1/10 מילימטר הוא בקושי נראה לעין בלתי מזוינת. אם מפרים אותו עם תא זרע, הוא מתחלק לשני תאים, ולאחר מכן אותם שני תאים מתחלקים שוב ואותם תאים מתחלקים שוב ושוב – העובר צומח ברחם של האם, התינוק גדל, אתם גדלים.... עד שאתם מגיעים בערך לגיל 18. ואפילו בנקודת זמן זו, תאים רבים בגוף ממשיכים להתחלק, כיוון שחלקם תמיד נכחדים ויש למצוא להם תחליף.

תא עור בתנוך האוזן שלכם חי במשך חודש ימים, תא עור על הבטן שלכם חי קצת יותר משבועיים, עם זאת תאים אחרים, כגון אלה שעל הישבן שלכם, חיים ארבעה ימים בלבד.

בכל שנייה, כמות של כ- 50 מיליון תאים מתים בתוך הגוף שלנו ועל הגוף שלנו, ובמידה והם ממוקמים בחלק החיצוני של העור שלנו, הם פשוט נופלים, ואנחנו משאירים מאחורינו סוג של שריד תאי המראה היכן הלכנו והיכן היינו. וכאשר אתם משפשפים את הברך שלכם, אתם עשויים לאבד כמה מיליוני תאים בנפילה אחת דרך כמה טיפות של דם. גם תאים אלו יוחלפו מיד בתאי דם אחרים, המתחלקים ומתחלקים ושוב מתחלקים...

חידה מאתגרת:

בניסוי מספר 9, איזה צאצא היה מפתיע את ההורים?

תשובה:



בתוך התא

תזדקקו לדברים הבאים

- פוסטר של תא

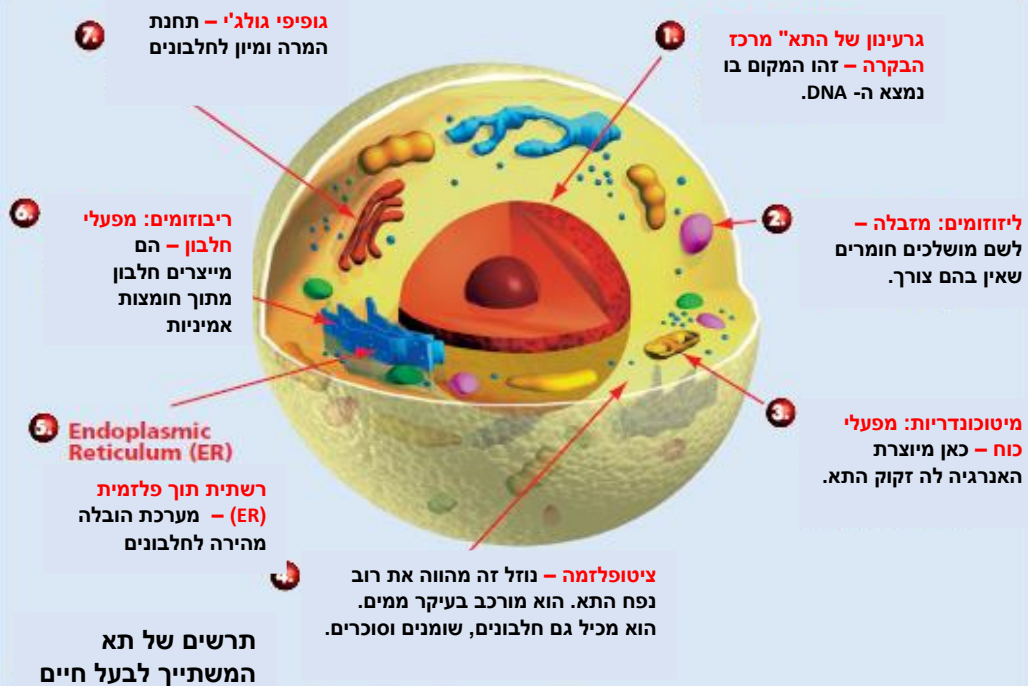
כך תערכו את הניסוי

1. הביטו על הפוסטר של התא הכלול בערכה שלכם. אתם רואים את החלק הפנימי של התא.

מה קורה?

זהו תא של בעל חיים. תאים אנושיים נראים בעיקרון כמו תא זה גם כן. כל התאים בנויים בצורה דומה, למרות שישנם כ-220 סוגים שונים של תאים ורקמות בתוך הגוף שלנו.

כאשר תא מתחלק, הוא מתחבר במרכז ומחלק את מרבית הרכיבים האינדיבידואלים שלו באופן שווה בין שני תאי הבת שלו. (באופן ברור, לתאים אין מגדר, אולם התאים היוצאים מתוך חלוקת תא נקראים תאי בת). בשלב מאוחר יותר הוא עשוי לעשות זאת שוב ושוב.



DOLLY

כיצד בני אדם הערימו על כללי התורשה

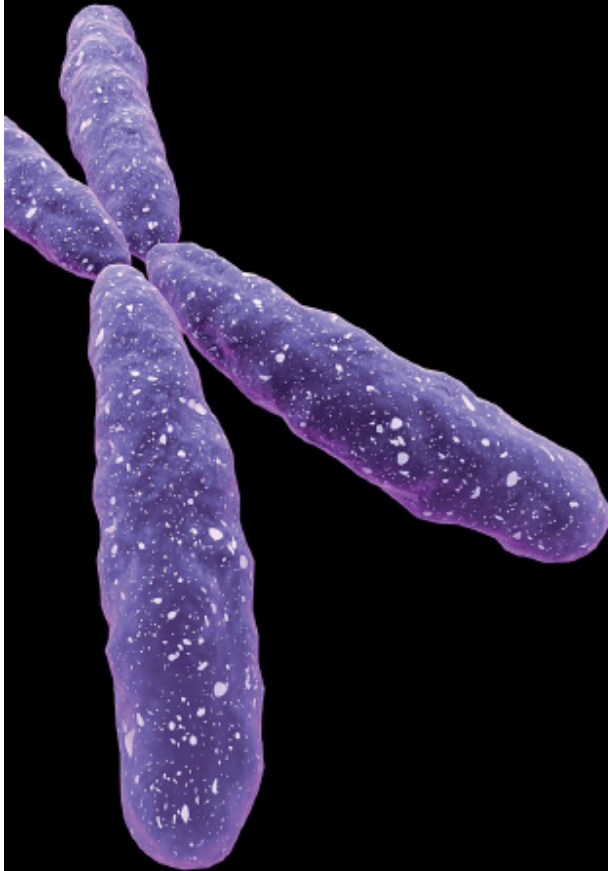
דולי הייתה כבשה סקוטית שנולדה בתאריך ה-5 ביולי, 1996. אחרי פחות משנה, ככל שהעולם למד יותר דברים עליה, היא גרמה למהומה בכל העולם. עם כבשה מפורסמת זו, חוקרים יכלו בפעם הראשונה לשבט, או להעתיק יונק. בטבע, הדבר אינו כל כך בלתי רגיל ויוצא דופן. חיתוכי צמחים, לדוגמא, נחשבים לשיבוטים, והצמחים זהים מבחינה גנטית. לבני אדם מזה זמן רב הייתה את היכולת לשבט צפרדעים. אולם עם יונקים, שיבוטים נחשבים לאירוע נדיר: תאומים זהים הינם זהים מבחינה גנטית, והם באמת נראים כל כך דומים שקשה להבחין ביניהם. תאומים נולדים כאשר תא הביצית מתחלק לשני עוברים נפרדים בעקבות הפריה. אולם הרעיון של יצירת העתק גנטי של יונק – כגון פרה, כלב, כבשה, עז, חתול או אפילו בן אדם – נשאר בעולם המדע הבדיוני עד שדולי הגיעה. זהו הטריק בו החוקרים השתמשו: הם הוציאו את גרעינון התא מתא רגיל של גוף בעל החיים. באותו הזמן, הם לוקחים את גרעינון התא מתא הביצית של בעלי חיים נוסף ומזריקים את הגרעינון הראשון לתוכו. לאחר מכן, הם עוברים על תא הביצית שתחשוב שהיא עברה הפריה, והוא מתחיל להתחלק. לאחר מכן החוקרים מעבירים את העובר המלאכותי לתוך הרחם של בעל חיים אחר, כשבמקרה האידיאלי ממליטה בעל חיים שלם לעולם.

תהליך השיבוט נערך מאז על כלבים, חתולים, עכברים, סוסים וחולדות. אולם שיעור ההצלחה מאוד נמוך. רק מספר קטן של עוברים שורדים, ומספר די גדול מתוך אלה שכן שורדים נולדים עם מומים – מחיר גבוה שצריך לשלם עבור מימוש של רעיון.

אף אחד מעולם לא הצליח לשבט בן אדם, וקיימים נושאים מוסריים ואתיים רבים המעורבים בהתעסקות מהסוג הזה.



כרומוזומים

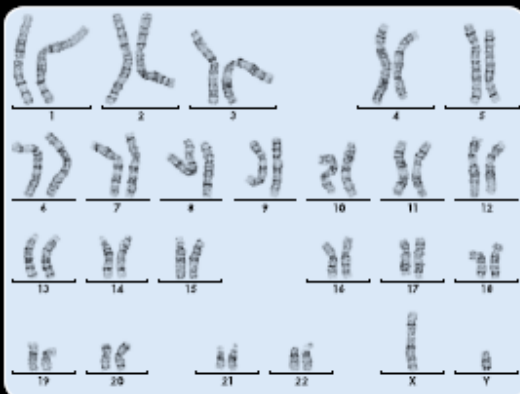


Mendel ללא ספק השיג הרבה דברים, אולם אפילו אחרי התגליות שלו, לא היה ברור היכן בגוף נמצאות התוכניות שעברו בירושה עבור המאפיינים שלנו.

לאחר שנת 1850 בערך, חוקרים שנהגו לעבוד עם מיקרוסקופים החלו להבחין בצורות ספירליות מוזרות באזורים מיוחדים של התא להן הם קראו בשם גרעינון התא. בסביבות שנת 1880, חלק מהחוקרים החלו לחשוד בכך שיתכן ולצורות אלה יש חשיבות מיוחדת. האנטומיסט Wilhelm Roux (אדם שעסק בתחום האנטומיה) (1850-1924) אף טען בשנת 1883 ששם לב לכך שחוטים מוזרים נכחו תמיד בזוגות, וכי הם התחלקו באופן שווה ומדויק בין תאי הבת עם כל חלוקה של תא. אבחנתו הייתה נכונה. כיום אנו קוראים לצורות "דמויות נקניק" שבתוך גרעינון התא בשם "כרומוזומים". אלו הם חוטים ארוכים המכילים חומר תורשתי, המתגלגלים עם פיתולים רבים וארוזים באמצעות התא. ישנה סיבה אחת פשוטה לכך: אם היו מותחים אותו, היה לוקח יותר מדי זמן על מנת לעטוף את החומר התורשתי (כמו זה שבודדתם מהעגבניות בפרק הראשון) לתוך תא בודד. DNA אנושי היה באורך 2 מטרים שלמים אם היו מותחים אותו – אורך הרבה יותר עבור תא עם אורך ממוצע של 4000 מ"מ, או פשוט 0.000040 מטרים!

כך החוט מקופל ונכרך עד שהוא מתאים. הכרומוזומים שאתם רואים כאן בתמונות הינם באורך של 4000 מילימטרים. מכאן שהם נכנסים בקלות לתוך התא.

כמו כן זה עתה ראינו כיצד יש לנו תמיד שתי תוכניות לכל מאפיין שהוא. נוסף על כך, ישנו מקרה מדהים נוסף של סימטריה: לכל תא בגוף יש תמיד בדיוק את אותו מספר כרומוזומים. קעת נחליט על מספר זה.



קריוגרמה - דיאגרמה של מערך הכרומוזומים בתא של זכר.

ניסוי מספר 11

בדיקת כרומוזומים

תזדקקו לדברים הבאים

- דף כרומוזומים (סט A)
- שקית פלסטיק
- מספריים

האם אתם יכולים לראות באם ישנם כרומוזומים מסוימים המתאימים יחד?

4. ארגנו את הכרומוזומים בצמדים תואמים לגודלם.



5. על מנת לבדוק אם מצאתם את הצמדים הנכונים, סובבו את הכרטיסים לצד השני. לפי הצבע והמספרים תוכלו לדעת אם התאמתם ביניהם כראוי.

6. משהו לא נשמע הגיוני. ישנם 22 צמדים של כרומוזומים, אולם נשארו שני כרומוזומים אינדיבידואליים שנותרו. בשל צורתם האופיינית, הם נקראים בשם כרומוזומי X ו-Y. הם קובעים באם האדם הוא בן או בת. לבנים יש כרומוזום X אחד וכרומוזום Y אחד, בעוד שלבנות יש שני כרומוזומי X. אז כעת תוכלו לדעת אם פאזל הכרומוזומים שלכם נועד לבן או לבת!

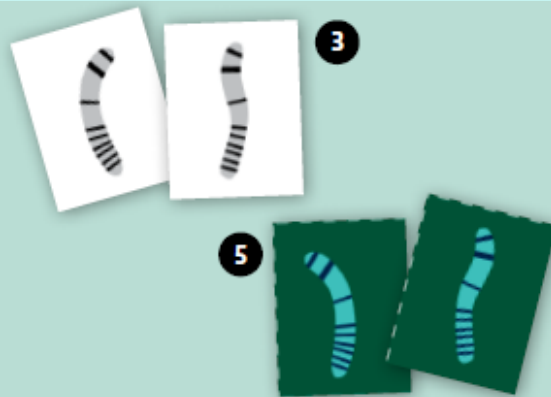
7. באפשרותכם לשמור את חלקי הכרומוזומים בתוך שקית פלסטיק קטנה הכלולה עם הערכה. תנו לחברים שלכם לעשות את הפאזל גם כן!

כך תערכו את הניסוי

1. גרזו את הכרומוזומים האינדיבידואליים מסט כרומוזומים A. כעת קיבלתם סט מוגדל של כרומוזומים מתא אנושי בודד, מודל גדול מתוכו חוקרים בוחנים באופן שגרתי דגימות דם קטנות תחת המיקרוסקופ. כעת הפכו את כל הכרומוזומים האינדיבידואליים לצד שני כך שהשכבתם אותם בצבע שחור ולבן לפניכם.
- כמה כרומוזומים ישנם?



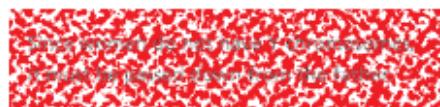
3. חשבו על איך הייתם מארגנים את הכרומוזומים. על פי חוקי Gregor Mendel, כל התוכניות עבור מאפיינים מוכפלות בכל תא.



חידה מאתגרת:

האם כרומוזום Y של בן מגיע מאימא שלו או מאבא שלו?

תשובה:



כרומוזום אחד נוסף

תזדקקו לדברים הבאים

- דף כרומוזומים (סט B)
- שקית פלסטיק
- מספרים

כך תערכו את הניסוי

כעת נסתכל על סט נוסף של כרומוזומים.

1. גזרו את סט הכרומוזומים B ומיינו אותם שוב כך שתהיה התאמה ביניהם.

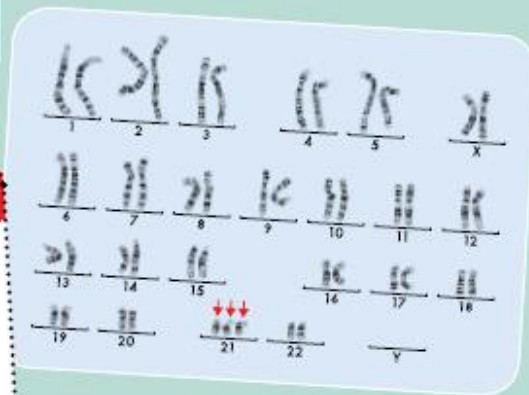
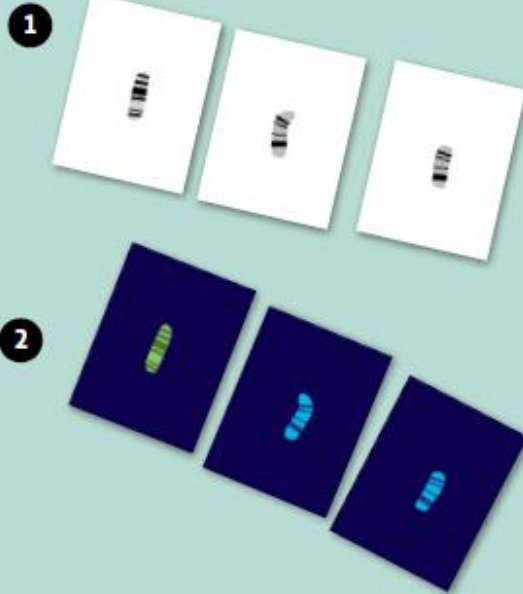
האם זה בן או בת?



2. כאן, פעם נוספת, תוכלו לבדוק האם מיינתם את הכרומוזומים בצורה נכונה באמצעות הפיכת הקלפים לצידם השני.

מה קורה?

לסט זה של כרומוזומים יש לא שניים, אלא שלושה עותקים של כרומוזום 21. זהו סימן למחלה תורשתית בשם תסמונת דאון. אחד מתוך כ-700 ילדים נולד באופן טבעי עם תסמונת דאון.



עם תסמונת דאון, כרומוזום 21 מופיע שלוש פעמים.



ההיסטוריה של תסמונת דאון

ל- 350,000 אנשים בארה"ב יש תסמונת דאון. זוהי אחת מהחריגויות הכרומוזומליות השכיחות ביותר, והיא פוגעת באנשים שבאים מרקעים שונים, גזע, גילאים ומגדרים שונים.

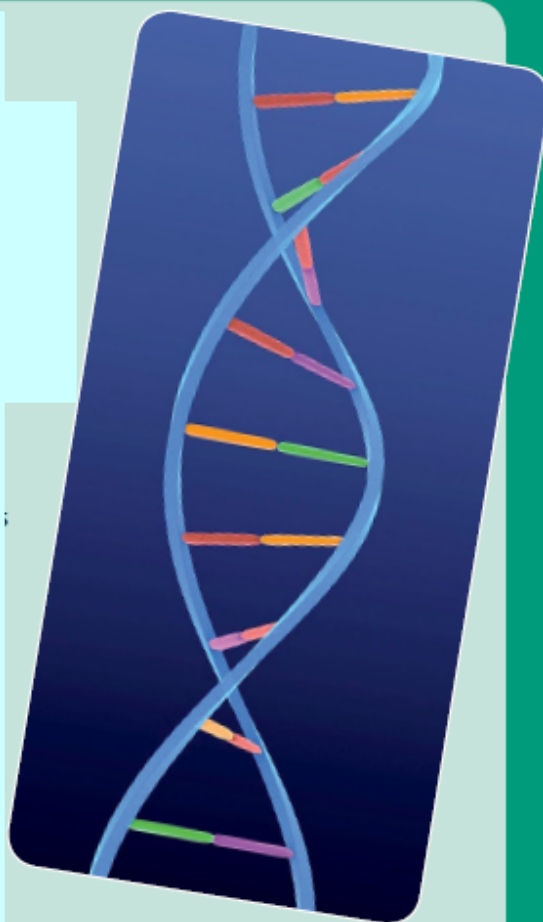
למרות שהמצב זוהה בקרב אנשים בשלב מוקדם הרבה יותר, תסמונת דאון זוהתה לראשונה כתופעה ייחודית במאה ה-19 על ידי רופא אנגלי בשם John Langdon Down, על שמו נקראת התסמונת. באמצע המאה ה-20, רופא צרפתי בשם Jerome Lejeune גילה שלכל המטופלים עם התסמונת יש 47 כרומוזומים במקום 46 כרומוזומים במצב רגיל. בשלב מאוחר יותר, התגלה שנוכחותו של כרומוזום 21 שלישי היא זו שגורמת לתסמונת דאון. כיום, אנשים שחיים עם תסמונת דאון הינם חברים פעילים ותורמים לקהילות שלנו. בכל שנה, יותר ויותר אנשים עם תסמונת דאון מסיימים את לימודי התיכון והמכללה שלהם, מוצאים עבודות וחיים בצורה עצמאית.

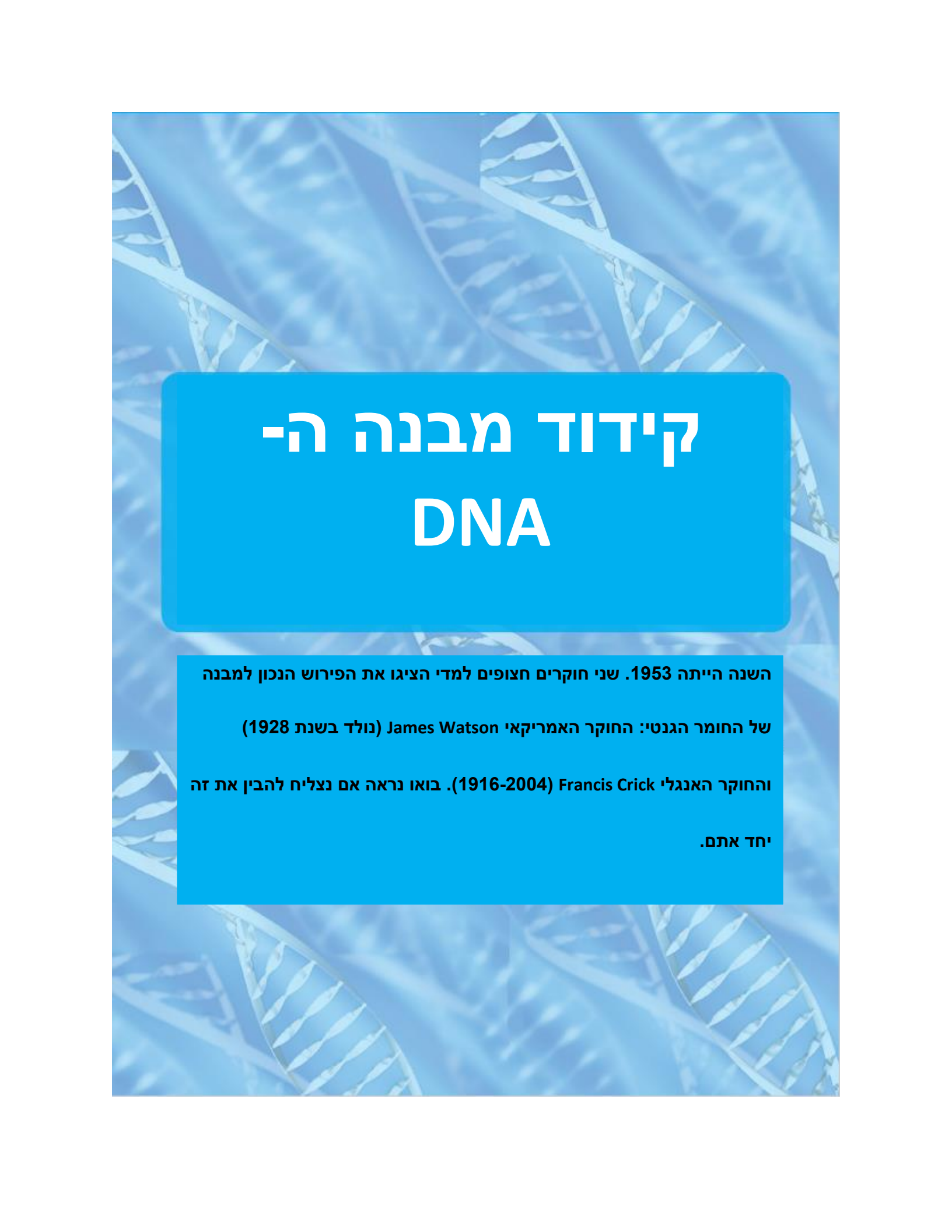
מודל ה-DNA:

אנשים רבים עבדו על מודל זה, אולם רק שלושה זכו לפרס נובל

עד לשנת 1953, היה כבר ברור שה-DNA בכרומוזומים היה צריך להיות החומר התורשתי, ולכן הוא הכיל את התוכנית שעיצבה את צורת הגוף שלנו עד לרמת התאים המזעריים ביותר, ואלה אשר הגדירו את צבע השיער שלנו ואף במידה מסוימת את הנטייה שלנו להפוך לכוכב פופ או לתולעת ספרים.

אולם למדנים עדיין היו מבולבלים מהמשימה של מציאת חלקי הרכיבים של החוטים ויותר מהכול, מהפאזל המציין כיצד התוכנית לחיים מאוחסנת בתוכם. DNA היא מילת הקיצור למילה מסובכת למדי, **deoxyribonucleic acid** (חומצה דאוקסיריבונוקלאית). כימאים קוראים למבנה מהסוג הזה בשם **מולקולה**. מולקולות קטנות הרבה יותר מתאים – אלו הם לבני הבנייה הכימיים של התאים, אולם גם של דברים כגון סוכר, מלח, מגפי גומי או מגש הקלקר שבערכת ניסוי זו.





קידוד מבנה ה- DNA

השנה הייתה 1953. שני חוקרים חצופים למדי הציגו את הפירוש הנכון למבנה

של החומר הגנטי: החוקר האמריקאי James Watson (נולד בשנת 1928)

והחוקר האנגלי Francis Crick (1916-2004). בואו נראה אם נצליח להבין את זה

יחד אתם.

בניית עמוד השדרה של ה-DNA

תזדקקו לדברים הבאים

- חלקי מודל ה-DNA

דגמים נחשבים לכלים יעילים המסייעים בהצגת גרסה סכמתית מוגדלת במידה רבה מאוד של המציאות. הדגם שמופיע לכם כאן מייצג מולקולת DNA מוגדלת באופן דרמטי, כיוון שחוט DNA בפועל ברוחב של שני מיליונית של מילימטר.

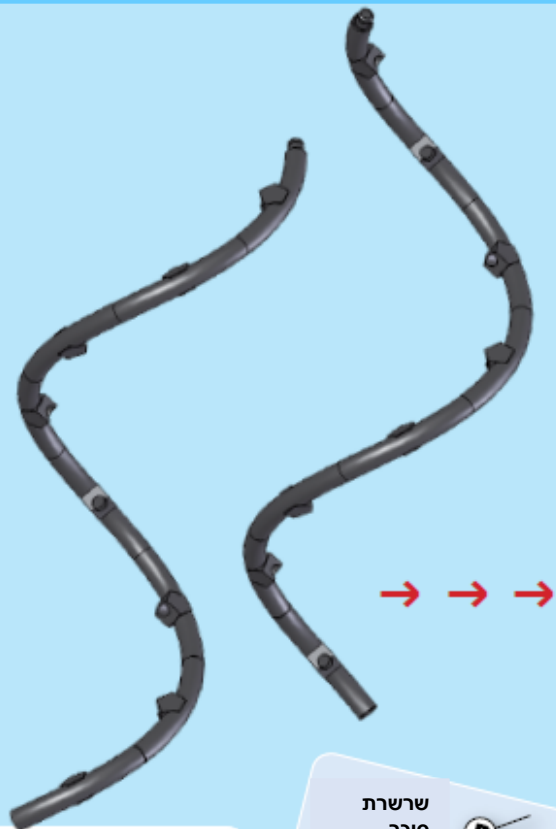
לפני שהתגלה מבנה ה-DNA, חוקרים כבר ידעו מהן אבני היסוד האינדיבידואליות של ה-DNA. אבני היסוד השחורות עם המחומשים היו צריכות לייצר מסגרת עבודה עבור החוט האחיד והארוך, כל זה היה מאוד ברור. החלקים בעלי חמש פינות מייצגים חומרים כימיים להם קוראים החוקרים בשם סוכרים. הם מתקשרים לסוכר שיש לכם במטבח שלכם: מבלבל אבל נכון! סוכרים מזעריים הם אבני היסוד עבור גבישי סוכר לבן בהם אנו עושים שימוש כשאנחנו אופים. במקרה הזה, מדובר באבן יסוד מאוד ספציפית של סוכר. החלקים השחורים הארוכים והמעוקמים מייצגים משהו שנקרא בשם חומצה זרחתית.

שני מרכיבים נפרדים אלה יוצרים סוג של מסגרת עבודה בסיסית שבה חומצה זרחתית וסוכר מתחלפים. עכשיו תורכם.

3. הרכיבו את המרכיבים השחורים על מנת לייצר שני חוטים באורך זהה. בחלקים עם חמש פינות של הדגם, תראו חור. חור זה מספק מקום לחיבור של אבני יסוד נוספים, כפי שתראו בקרוב.

כך תערכו את הניסוי

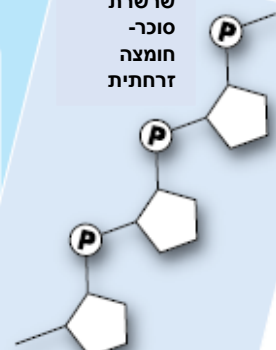
1. הניחו את כל החלקים על שולחן.
2. עמדת ההתחלה שלכם היא פחות או יותר אותה עמדה לזו של חוקרים רבים בתחילת שנות 1950. גם הם ערכו ניסויים עם דמים כמו זה במטרה להבין כיצד החלקים מתאימים יחד ויוצרים את מבנה ה-DNA.



חומצה זרחתית

סוכר

שרשרת
סוכר-
חומצה
זרחתית



השלמת מודל ה-DNA

תזדקקו לדברים הבאים

- חלקי מודל ה-DNA

בדיוק לבסיס שנמצא מולו. המשמעות לכך היא שהבסיס האדום חייב להתאים לבסיס הירוק, והבסיס הכחול חייב להתאים לבסיס הצהוב.

3. כעת חברו את כל המרכיבים הצבעוניים יחד. התוצאה תראה כמו גרם מדרגות ספירלי.

מודל דומה לזה נבנה בצורה ידנית על ידי James Watson מקרטון ודבק בתאריך ה-21 בפברואר, 1953. הוא מצא דרך שבה בסיסי האדינין (A, בצבע אדום כאן) ותימין (T, ירוק) כמו גם גואנין (G, כחול) וציטוזין (C, צהוב) עשויים להתחבר באמצע באמצעות מה שנקרא בשם גשרי מימן. כלומר, T ו-A מחוברים באמצעות שני גשרי מימן ו-G ו-C באמצעות שלושה גשרי מימן. הצמדים A עם G או C עם T לא יעבדו. תוכלו לראות זאת גם במודל שלכם.

הטריק האחרון היה לזהות שצמדי בסיסים אלה ניתנים לעיצוב בדרך האופטימלית רק אם המבנה השלם תוכנן שלא בצורה של סולם רגיל, אלא יותר צורה שמסתובבת על צירה כמו בורג. לזה קוראים בשם סליל כפול. אתם יכולים לראות במודל שהבסיסים מתאימים יחד רק אם מסגרת הסוכר-זרחן מסובבת כמו חוט טלפון.

בשנת 1953, היה ברור שקיימים ארבע אבני יסוד נוספים – החלקים הצבעוניים שבמודל שלנו – מסודרות כך ששניים מתוכן היו תמיד קיימות בכמויות זהות לחלוטין, ושתי האחרות גם כן היו קיימות תמיד בכמויות שוות. בערכה שלכם, החלקים הירוקים והאדומים הולכים יחד, כפי שהולכים יחד החלקים הצהובים והכחולים. מבחינה כימית, הם מוכרים בשם בסיסים.

אנשים ידעו כבר גם כי החוט לא היה ישר, אלא שהוא הסתובב סביב הציר של עצמו – משהו כמו כשאתם מחזיקים חוט בקצה אחד ומסובבים את הקצה השני סביב וסביב. פעולה זו מייצרת מבנה של סליל – בדיוק כמו גרם מדרגות.

Watson and Crick הבינו זאת בעזרת צילומי DNA שמדענים אחרים, כולל Maurice Wilkins (1916-) וגם Rosalind Franklin (1920-1958) צילמו בעזרת קרינת רנטגן. אולם השאר עדיין לא היו מעורבים. כיצד למען השם יכול היה כל זה להתאים יחד לתוך מולקולה אחת?

כך תערכו את הניסוי

1. האם אתם מצליחים להבין כיצד להרכיב את המרכיבים הצבעוניים לחוטי עמוד השדרה השחורים כך שהמרכיבים התואמים מנוגדים תמיד בדיוק האחד לשני?
2. חברו את חלקי הבסיס הצבעוניים על פני שני חוטים שחורים של סוכר – חומצה זרחתית כך שכל בסיס צבעוני מתאים



ארבעת בסיסי ה-DNA –
הצמידות תמיד זהה

ניסוי מספר 14

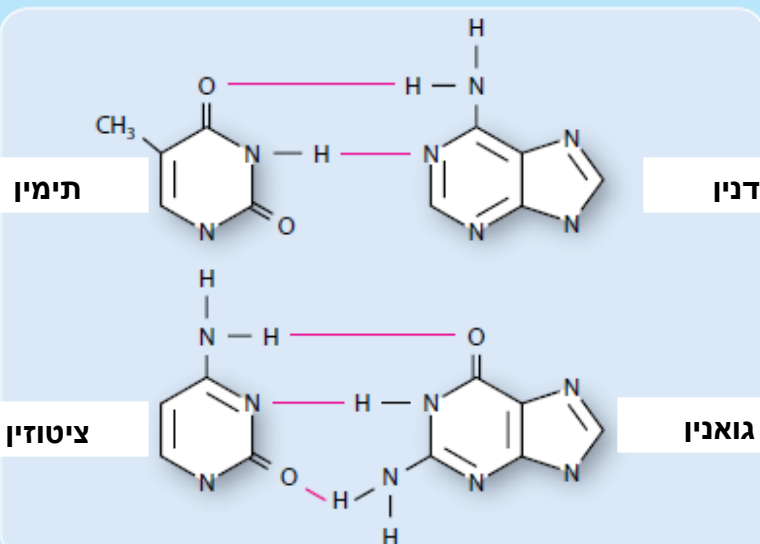
מודל זה הינו ללא ספק המודל המוכר ביותר של המאה ה-20. Watson and Crick פרסמו אותו בכתב העת המדעי הבריטי "Nature" בתאריך ה-24 באפריל, 1953. במאמר שלהם, הם הוסיפו גם משפט מורכב אחד באמת: "שמנו לב לכך שהצימוד הספציפי ששיערנו מרמז באופן מדי על מנגנון העתקה אפשרי של חומר גנטי."

אה? לא הבנתם את זה? אין בנו ציפייה שתבינו את זה ישר בהתחלה. זה מה שהם ניסוי להגיד: מולקולה זו מסוגלת להעביר מידע!

עם התגלית שלהם לגבי מבנה החומר הגנטי, הם מצאו דרך שבה מולקולה אחת יכולה למעשה לקודד מידע ובכך להכיל תוכניות גנטיות.



מודל ה-DNA השלם



צמדי הבסיס והחיבורים שלהם: הקווים האדומים מציינים את גשרי המימן



פרס נובל אינו תמיד הוגן

הכבוד הגדול ביותר עבור חוקר הוא **פרס נובל**, המוענק בכל שנה בשטוקהולם בעבור הישגים בתחומי מחקר כגון פיזיקה, כימיה ורפואה. בשנת 1962, זכו James Watson & Francis Crick בפרס נובל, ביחד עם האיש מניו זילנד Maurice Wilkins, בעבור תגלית מבנה ה-DNA. בתגלית זו, ביצעה Rosalind Franklin עבודת בסיס חשובה בכך שלדוגמא, הסבירה בפני Watson and Crick שהבסיסים שוכבים בתוך המולקולה ולא בחלק החיצוני שלה, כפי שהם תיארו זאת שלא כראוי במודל המקדים. בשלב מאוחר יותר, קולגות רבות האשימו את שניהם בכך שלא דאגו להכיר בתרומותיה החשובות בצורה מספיק מכובדת וטובה. אולם Franklin לא זכתה בפרס הנובל, היות שהיא כבר הלכה לעולמה והפרס אינו מוענק לאחר שאדם מת. Mendel לא קיבלת את הפרס גם כיוון שפרס נובל היה קיים רק מאז 1901.



WATSON מקבל את ה-DNA שלו

בתאריך ה-31 במאי, 2007, James Watson קיבל את ה-DNA האישי שלו: תקליטור DVD המכיל את רצף הבסיסים המלא בתוך הגנים. מדענים עושים שימוש במונח הגחמני "רצף DBA אינדיבידואלי". מצד אחד, המבנה הבסיסי של ה-DNA זהה אצל כל בני האדם. אולם ההערכה היא שקיימים הבדלים בערך בכל אלפית מיקום ברצף הארוך של הבסיסים. כל אינדיבידואל שונה – לכל אחד מאיתנו יש DNA ייחודי משלו. בסתיו של שנת 1990, **פרויקט גנום האדם** הוקם, כשהמטרה הייתה לפענח את גנום האדם במלואו, לזהות את רצף צמדי הבסיסים ב-DNA האנושי לרמה של הכרומוזומים האינדיבידואלים שלהם. דבר זה יהווה בסיס לחקור ולהבין טוב יותר את המחלות התורשתיות. רופאים רבים וחברות תרופות רבות מאמינות בכך שיום אחד ניתן יהיה קודם לפענח את ה-DNA של המטופלים ולאחר מכן לטפל במחלה שלהם בצורה יעילה הרבה יותר על סמך הבנה מדויקת של מאפייניהם הגנטיים. דבר זה מעלה גם שאלות מוסריות ואתיות מעניינות.



העברת קוד ה- DNA

תזדקקו לדברים הבאים

- מודל ה- DNA מניסוי מספר 14

כיום, הרצף המדויק של הבסיסים ב- DNA שלנו ניתן לקידוד במעבדה. אם כל הבסיסים כתובים בסדר הנכון, הדבר מביא לידי שרשרת ארוכה ענקית: A, T, C או G חוזרים על עצמם כ-3 ביליון פעמים אחד אחרי השני. אם אתם לוקחים כל כרומוזום פעם אחת בלבד ורושמים את הרצף של כל הבסיסים, נתך מזערי של זה עשוי להראות כך:

...ATTTCGGTTAAGGGCTATTATGGGGTTT...

במבט ראשון, זה נראה כמו ג'יריש – כאילו שמישהו כותב שטויות במקלדת של מחשב תוך שימוש בארבע אותיות בלבד.

התגלית של Watson and Crick בשנת 1953 הסבירה כיצד ניתן להעביר חוט שטוית לכאורה זה של בסיסים הלאה לצאצא אחד לאחר. ודבר זה קורה באופן אוטומטי לחלוטין, כל זמן שהטבע עושה שימוש בטריק אחד בלבד ושומר אספקה גדולה מספיק של בסיסים בהישג יד.

כך תערכו את הניסוי

1. חשבו על איך שהטבע יכול לוודא שכל תא של בת מקבל את אותו חומר גנטי זהה ברגע שהתא מתחלק. האם אתם יכולים לחשוב על דרך בה ניתן להעתיק את הקוד הגנטי?

הנה רעיון אחד: על הטבע לפתוח את מולקולת ה- DNA כמו שפותחים רוכסן, לחשוף את הבסיסים באמצע. לאחר מכן, אבני היסוד הבסיסיים התואמים יכולות להתחבר לבסיסים החשופים.

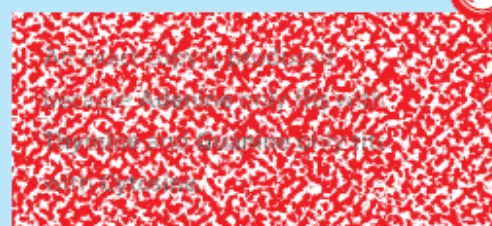
2. בואו ננסה זאת. ראשית, נפריד את הבסיסים במודל ה- DNA. השאירו חוט אחד שלם וחלקו את החוט האחר לאבני יסוד הנקראות בשם **נוקליאוטידים**. אלו הן אבני יסוד אינדיבידואלים המורכבות משלוש מולקולות, חומצה זרחנית, סוכר ובסיס. נוקליאוטידים אלה זמינים לתא בכמויות גדולות.

שכפול של DNA על פי עקרון הרוכסן



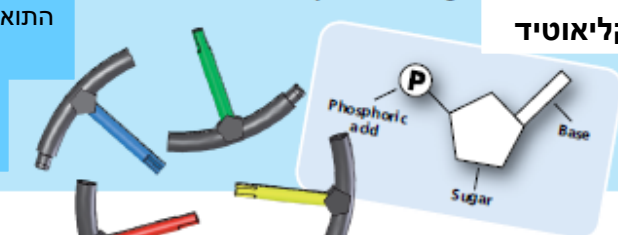
3. כעת חשבו על איך להבטיח שעותק מדויק של החוט הכפול המקורי מופק. השלימו את ה- DNA.

אם כן, כיצד מעתיקים את ה- DNA ומעבירים אותו לתא של הבת?



התא עושה שימוש בטריק זה על מנת לייצר עותק של סט הכרומוזומים שלו לפני כל חלוקת תא. ואז, הסטים המועתקים באופן זה מתחלקים בין תאי הבת. ה- DNA אכן מסוגל להעביר משהו הלאה.

נוקליאוטיד



חלוקה נכונה של כרומוזומים DNA

תזדקקו לדברים הבאים

- התרשים שלהלן

כך תערכו את הניסוי

עדיין קיימת בעיה קטנטנה: מה קורה למספר הכרומוזומים כאשר תאי הביצית והזרע מתמזגים? בתיאוריה, הדור הבא יקבל סט כפול של כרומוזומים. המשמעות לכך היא שלבת של הדור הזה יהיה סט פי ארבע גדול יותר של כרומוזומים, ולילד שלה יהיה סט פי 8 מהמספר המקורי. כמובן שהדבר לא כך במציאות. הטבע המציא טריק הגיוני שיתמודד עם כך. התרשים שלהלן מראה כיצד זה עובד.



פיצוח של הקוד הגנטי

התוכניות השולטות באורגניזמים החיים והתוכניות שאותם אורגניזמים מעבירים הלאה לצאצאים שלהם, מורכבות מרצף מאוד ספציפי של בסיסית על ה-DNA. בשפה הטכנית של החוקרים, תוכניות אלה, או רצפים של בסיסים, נקראים בשם גנים. כיום, הדרך שבה הגן שולט בדברים מובנת ברובה. מכונה ראוותנית במיוחד הנמצאת בתוך התאים מתרגמת את הקוד הגנטי לרצף של אבני יסוד של חלבון אינדיבידואל. ביחד עם ה-DNA, שומן וסוכר, חלבונים יוצרים קבוצה חשובה של חומרים בתוך הגוף. חלבונים רבים משמשים כמאיצים – הם מבטיחים, למשל, שהדברים שאתם אוכלים בכל יום מתפרקים ומתעכלים במהירות. רק בדרך זו תוכל האנרגיה לה אתם זקוקים על מנת לצאת מהמיטה מוקדם בבוקר, לנסוע לבית הספר באופניים או לשחק כדורגל אחרי הלימודים, להשתחרר ביעילות. ללא חלבונים בעיכול, פרוסת לחם הייתה מתיישבת בבטן כל היום מבלי שיקרה לה משהו. ואנשים רבים לא היו יוצאים מהמיטה בבוקר בכלל.

חלבונים מורכבים מאבני יסוד אינדיבידואלים, הנקראים בשם חומצות אמיניות. הטבע מציע בחירה כוללת של 20 חומצות אמיניות לייצור חלבונים. חלבון מוכר היטב למשל, הוא חלבון האינסולין. זהו הורמון חיוני שכל אדם בריא מייצר בכיס המרה. אנחנו זקוקים לאינסולין על מנת שנוכל לעכל את הסוכר שבתוך מוצרי המזון. אנשים שסובלים ממחלת הסוכרת צריכים להזריק לעצמם הורמון בשלבים המתקדמים של המחלה. והנה שאלה: אם ה-DNA אומר לגוף כיצד לייצר אינסולין, כיצד היו מקודדים זאת? כיצד עשויה התוכנית עבור האינסולין להיראות? מהי התוכנית, מדריך ההוראות להרכבת החלבון?

התשובה לכך הייתה ידועה מאז שנת 1961: שלושה בסיסים ברצף הגן יוצרים תמיד יחידת קידוד, וכל יחידת קידוד מייצרת חומצה אמינית מסוימת.

הטבלה שלהלן מציגה בפניכם כיצד מציינים במילת קיצור את מגוון החומצות האמיניות. "A" מציינת את החומצה האמינית בשם אלקלין, לדוגמא.

... ATT TTT CCG GTT AAG ...



כמה "מילים" יכול ה-DNA לייצר?

תזדקקו לדברים הבאים

- נייר
- עפרונות צבעוניים (אדום, ירוק, כחול, צהוב)

החומר הגנטי יוצר יחידות קידוד הנקראות בשם קודונים. אלו הם כמו מילים נפרדות בתוך שפה. בתור אנלוגיה מסוימת, ניקח את הקוד החשוב ביותר מכולם: השפה שלנו. כידוע לכם, השפה האנגלית כוללת אלפבית המורכב מ... **a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z** 26 אותיות. על מנת להבין משהו, או להגיד משהו שנשמע הגיוני, אנחנו יוצרים מילים. דוגמאות פשוטות לכך הן "מה?" או "מצוין!" או "אדם!" הן לא תמיד מדויקות לחלוטין, אולם הן מדויקות מספיק לשם תקשורת בסיסית. היא הופכת לברורה יותר כשאנחנו אורזים מספר מילים יחד ויוצרים משפטים. דוגמה פשוטה לכך: "לא קולט את זה!" או בצורה אלגנטית יותר: "לא ממש הבנתי את זה." בחירת המשפטים הינה בלתי נגמרת. בסך הכול, השפה האנגלית כוללת משהו כמו יותר מ-500,000 מילים. האדם הממוצע שלכם יכול להסתדר היטב עם כ-75,000 מילים.

כעת נחזור ל-DNA. בסיסים עם כמו אותיות, קודונים הם כמו מילים וגנים הם כמו משפטים. השאלה כעת היא: כמה "מילות" DNA שונות, או קודונים, ניתן לייצר בעזרת ארבעת האותיות? האותיות הן מילות הקיצור של ארבעת הבסיסים A, T, G, C. בשנת 1961, הוחלט שכל "מילה" ב-DNA מורכבת בדיוק משלוש "אותיות" – לא יותר ולא פחות. כלומר, כל קודון מורכב בדיוק משלושה בסיסים ברצף.

Amino Acid	Abbr.	Letter symbol
Alanine	Ala	A
Arginine	Arg	R
Asparagine	Asn	N
Aspartic acid	Asp	D
Cysteine	Cys	C
Glutamine	Gln	Q
Glutamic acid	Glu	E
Glycine	Gly	G
Histidine	His	H
Isoleucine	Ile	I
Leucine	Leu	L
Lysine	Lys	K
Methionine	Met	M
Phenylalanine	Phe	F
Proline	Pro	P
Serine	Ser	S
Threonine	Thr	T
Tryptophane	Trp	W
Tyrosine	Tyr	Y
Valine	Val	V

נניח גם שבאפשרותנו לייצר את אותו מספר מילים כמספר השילובים האפשריים השונים של ארבע האותיות. נוסף על כך, כל האותיות יכולות לחזור על עצמן מספר פעמים. כך ששתי מילים יכולות להיות:

AAA and TTT

שתי מילים אחרות יכולות להיות:

ATG and CGA

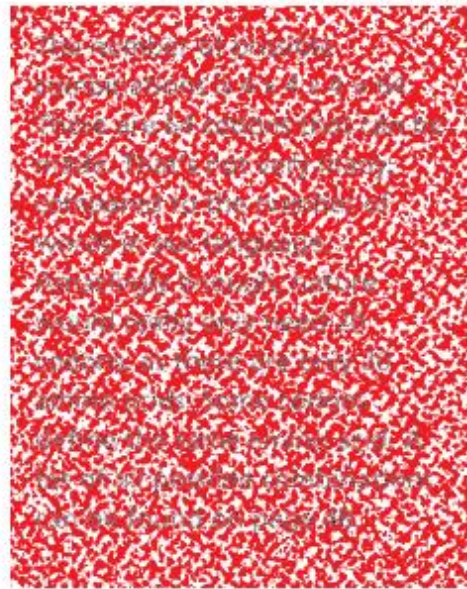
ועכשיו תורכם...

כך תערכו את הניסוי

1. רשמו לפניכם את כל השילובים האפשריים של 4 הבסיסים.

2. נסו לחשוב על אסטרטגיה לערבוב האותיות כמה שפחות ולהבטיח שלא תשכחו שום שילוב של אותיות. זה עובד הכי טוב אם אתם עושים שימוש בצבע שונה עבור כל בסיס (במילים אחרות, עבור כל אות). את הפתרון תמצאו בעמוד 47).

תשובה:



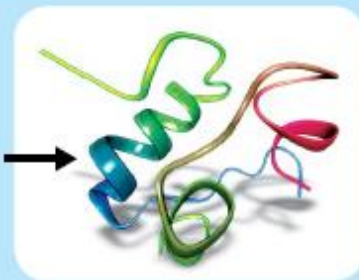
חידה מאתגרת:

כמה קודונים ניתן לייצר באמצעות הקוד הגנטי?

רמז: זוהי משימה של הכפלה. כמה אותיות יכולות להיות במיקום הראשון (בתחילת) של מילה, ועם כמה אותיות יכולה כל אחת מהן להשתלב? ואותו הדבר במיקום השלישי?



כל קודון מציין חומצה אמינית



מה קורה?

הטבע חסכן. סדרה של קודים תלת בסיסיים פשוטים מספיקים לתכנון כל החיים. ה-DNA האנושי כולל אולי 20,000 עד 25,000 גנים. על מנת לדבוק באנלוגיה השפתית: לספר על ה-DNA יש פחות מ-25,000 משפטים. משפטי ה-DNA, כמו אלה של השפה, באורכים שונים, בהתאם לאורכם של החלבונים המקודדים. אולם הסיפור בספר על ה-DNA בסופו של דבר קצר באופן מפתיע.

אך כמו בעולם השירה והספרות, לפעמים לא כמות המילים היא שחשובה, אלא המשמעות שמאחוריהן. עם ה-DNA, המשמעות הזו היא הקוד לחיים עצמו.





עדות ה-DNA פותרת את תעלומת הפשע

וכעת, המסקנה לסיפור של שודדי הבנק ועדות ה-DNA
שהשאירו מאחור...

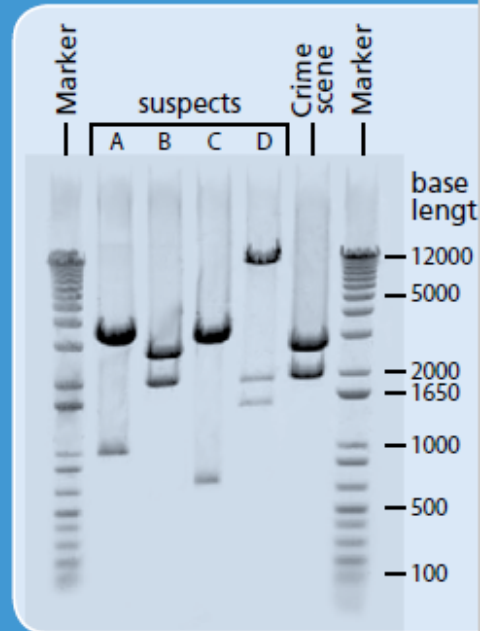


שודדי הבנק הסתלקו בבטחה, החליפו את מכונית המילוט שלהם פעמיים ומסתתרים אצל דודה Molly. Molly מנהלת מלונית קטנה על בסיס לינה וארוחת בוקר בכפר, שם שוכרים שלושתם חדר. זה לא מתאים ל- Molly והיא חושדת שמהו מתרחש. "למה אתם נשארים פה כל כך הרבה זמן?" היא שואלת אותם כמעט בכל יום. אולם Schubert נוהם. "מה זה משנה לך? אנחנו נשלם עבור החדר, את יודעת את זה."

אחרי שבועיים, שלושתם מסכימים להתחלק בכסף ולברוח. Schubert רוצה לצאת לחופשה בברזיל, בעוד ש- Kramer and Adler רוצים לנסוע לניו יורק. כמובן שהם עוזבים בלי לשלם. Molly מאוד כועסת. היא יודעת לחשב שתיים ועוד שתיים. מאיפה הם השיגו את הכסף שלהם? והאם לא הופיע משהו בעיתון לפני שבועיים שעסק בשוד של בנק? Molly משלינה עליהם למשטרה. "אחד מהם רוצה לנסוע לברזיל", היא אומרת, "והאחרים לברלין".

Schubert נתפס יומיים לאחר מכן בזמן שעשה צ'ק אין בשדה התעופה, והאחרים נתפסים בשלב מעט יותר מאוחר במלון זול בניו יורק. אולם למשטרה יש בעיה אחת קטנה. "היי, מה קורה?" היא ההערה הממורמרת המגיעה משלושתם ברגע המעצר. "אנחנו אזרחים תמימים." ולמעשה, כיצד אמורה המשטרה להוכיח ששלושתם הם העבריינים בפועל? לפי הפרצופים שלהם? בלתי אפשרי – העדים לא מצליחים לזהות אותם, בגלל המסכות. לפי גוון הקול שלהם, כפי שאחד העדים הציע במסדר הזיהוי? לא מספיק. טביעות אצבע בזירת הפשע? אין כאלה. תוך 24 שעות, על המשטרה לשחרר את שלושתם ממעצר, אם אין בדיה הוכחה.

זהו הרגע עבור מישהו שאם לא כך היה נוהג לבלות את רוב הזמן שלו בעבודה שקטה במעבדת מחקר. Robert Green הביא עימו את הדגימות שלו – את טיפות הדם, את בדלי הסיגריות, כמו גם מספר חתיכות של מוך ושערות – מזירת הפשע אל המעבדה של המשטרה, שם הוא בודד את ה-DNA מהם ואחסן אותו בתוך המקפיא. הוא מצא כמויות מזעריות של DNA, 10-10 עשיריות ביליון גרם בכל מקרה. כעת הגיעה השעה שלו. Green לא צריך רק סבלנות. הוא צריך גם רוק.



תמונה זו מציגה את הדפוס המשלב בפועל מתוך מעבדה לזיהוי פלילי – טביעת אצבע גנטית.

מכל אחד מהחשודים, הוא לוקח מטוש עם מספר תאים מהחלק הפנימי של הלחי השמאלית שלהם. הוא השיג צו בית משפט על מנת לבצע זאת מראש.

"כעת בואו נעזוב על טביעת האצבע", הוא אומר, ושלושתם מצחקקים לעצמם בהשתטות. איזה סוג של טביעת אצבע? האם הוא משוגע? "תירגעו. אני מתכוון לטביעת האצבע הגנטית", אומר Green. לאחר מכן הוא מבודד את ה-DNA מהתאים בשלוש דגימות, מבקש לערוך להם עוד מספר נהלי מעבדה, ולאחר מספר שעות מקבל תמונות גדולות לפניו – כל אחת מהן עם דפוס ברור של פסים שחורים.

"להלן הפרופיל המדויק של שניים מכם אנשים", מודיע Green בנימת ניצחון. "תסתכלו בעצמכם: אלו שתי תבניות שטרם הוסברו שנתקבלו מתוך הדגימות שנאספו בזירת הפשע. ולהלן התבניות עבור כל אחד מעובדי הבנק שהיו בחדר בשעת השוד...". לאחר מכן Green מציג בפניהם עוד תמונות, "הנה שתי תבניות מהיום, טריות מתוך הדגימות שזה עתה לקחתי מכם. דרך אגב: את התבניות האלה ניתן למצוא בקרב לכל היותר אדם אחד מתוך 200,000 בני אדם. אם זה לא מספיק בשבילכם, אני יכול לספק לכם תבניות אשר יזהו כל אחד מכם כאשם עם סבירות של 99.99999 אחוזים."

ניתוח DNA במעבדה לזיהוי פלילי



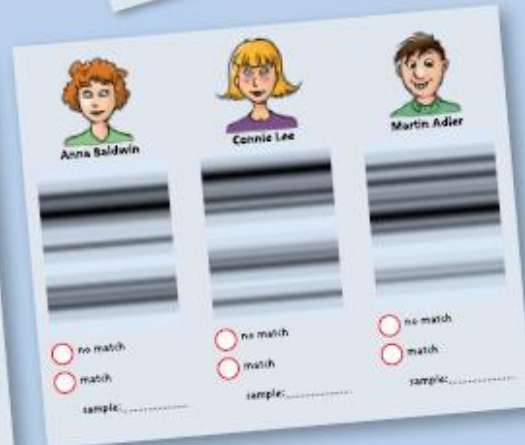
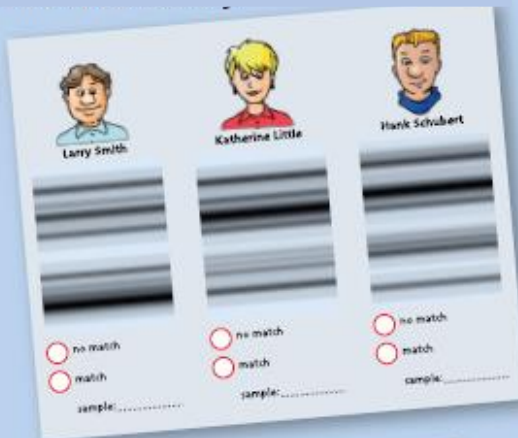
הפרופיל הפלילי

תזדקקו לדברים הבאים

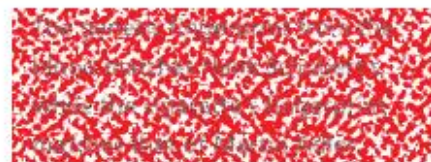
- גיליון של טביעות אצבע
גנטיות

כך תערכו את הניסוי

ד"ר Green הדפיס את התוצאות שלו כאן.
באפשרותכם לראות סט של טביעות אצבע
כנטיות. נסו להבין לאלו שני אנשים נמצאו
התאמות של טביעות אצבע גנטיות שנלקחו
מסיגריה ומעקבות של דם, ולאילו אנשים
לכאורה אין שום קשר לשוד.



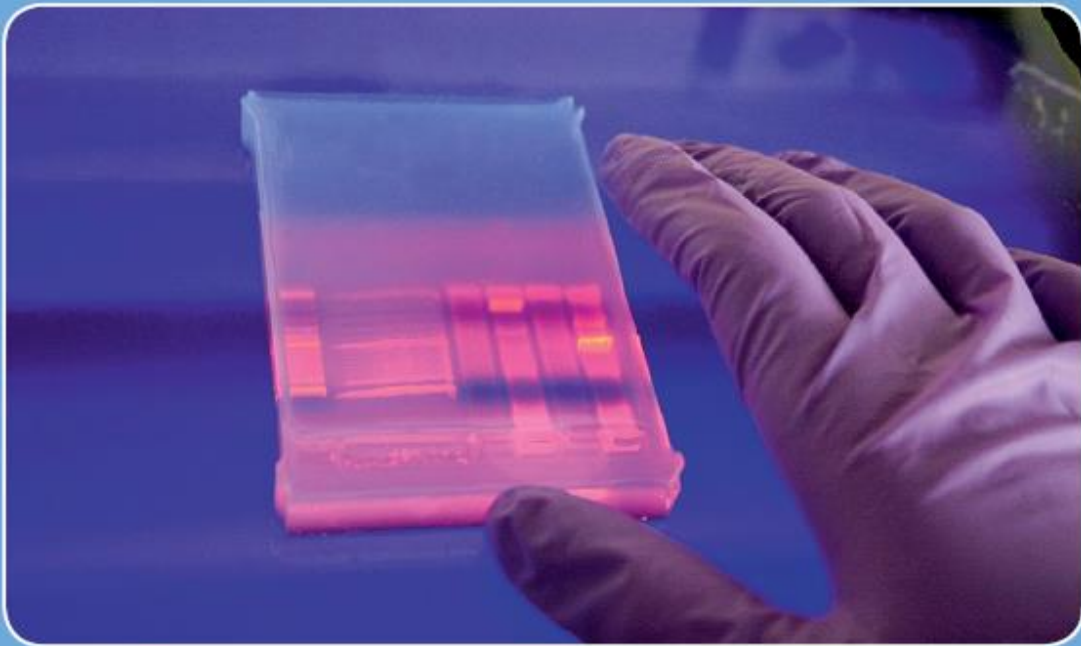
הדגימה של Schubert מהבוקר מתאימה
בדיוק לתבנית שהתקבלה מדגימת הדם.
התוצאות של Adler תואמות לדגימה
שנלקחה מבדל הסיגריה. "אולם Rudy גם
היה שם!" היא הערתו הכעושה של Hank
Schubert. "תודה, אנשים," זורק פקח
Reddy, "תוכלו לספק לי את ההצהרה הזו
בדיוק לשם הרישום הרשמי בחדר שליד".

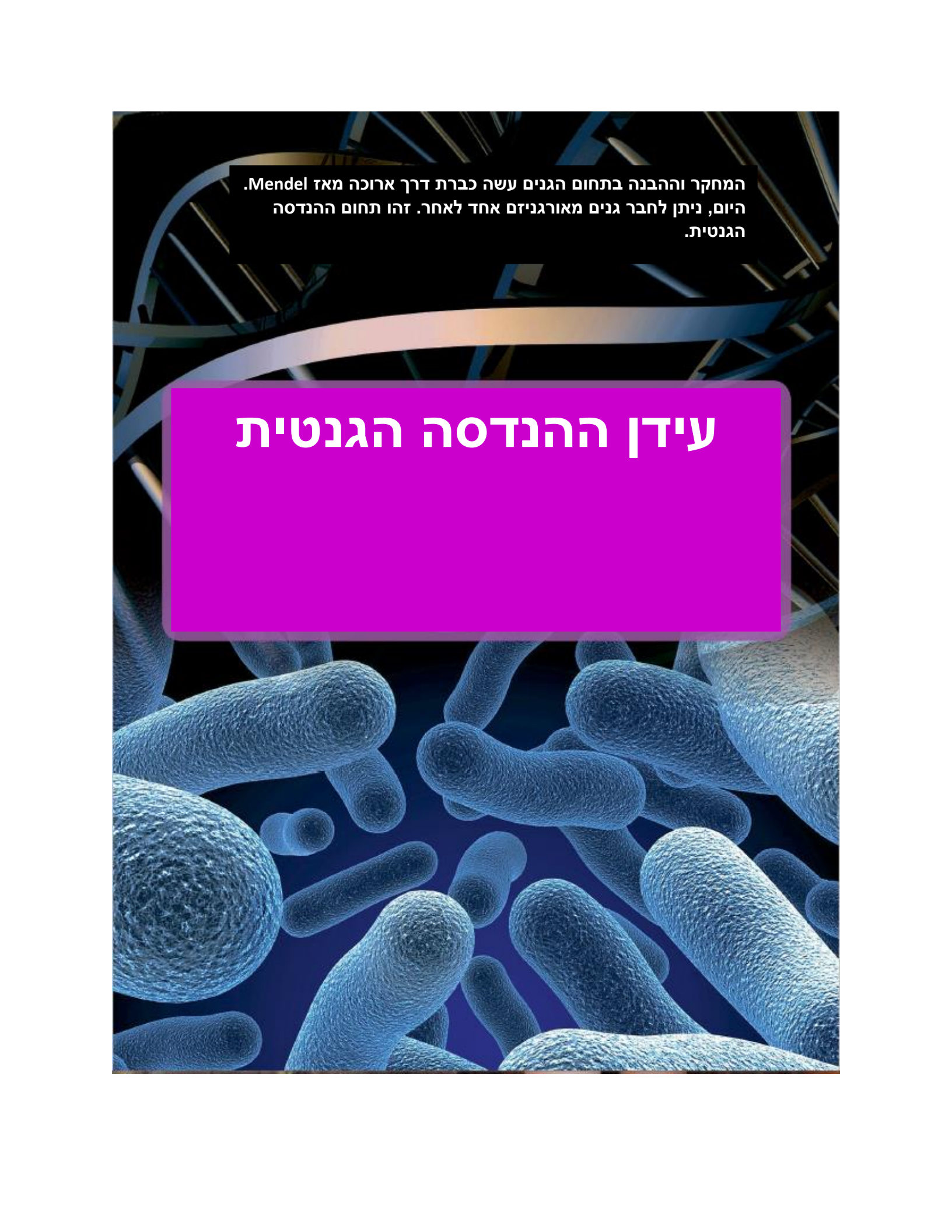




טביעת האצבע הגנטית...

... פותחה בשנת 1985 על ידי חוקרים בריטיים. היא עושה שימוש בכמות של עד 97.5% מה-DNA שלנו שאינו מכיל גנים. זה מבטיח שבדיקות אלה אינן מסגירות דבר שקשור למאפיינים גנטיים של הנבדק. יותר נכון, זה הופך את התבניות לנראות לעין שהן ייחודיות יחסית לאדם שנחקר. במידה וטביעות האצבע מתוך מדגם, כגון ה-DNA מדגימת הדם או מבדל סיגריה מתוך זירת הפשע, תואמות לתבנית של חשוד, או אז הסבירות היא בדרך כלל מעל 1 ל-200,000 שהדגימות מזירת הפשע מגיעות גם מהחשוד. אולם אם אין התאמה בין התבניות, או אז ניתן להסיר את החשד מהנאשם. טביעת אצבע גנטית לבד אינה מספיקה להרשעה, אולם אותם אנשים המעורבים לעתים קרובות יציעו להתוודות ברגע שהם מתעמתים עם הנתונים. במקרה של פשעים חמורים, אם קיימת סכנה לכך שעבריו יבצע שוב פשע לאחר השחרור, או אז ניתן לאחסן טביעת אצבע גנטית זו על ידי הממשל בתוך בסיס נתוני ה-DNA המרכזי. בארה"ב, בסיס נתונים זה נקרא בשם מערכת משולבת למדד DNA. לעת עתה, היא כוללת ומאחסנת יותר מ-6 מיליון פרופילים, לרבות נתונים מאנשים ופיסות עדות שנמצאו בזירות פשע. השוואה כנגד סטים אלה של נתונים מאפשרת יותר ויותר לפתור פשעים גם שנים לאחר שהתרחשו. כיום, טביעות אצבע גנטיות משמשות גם על מנת להבהיר האם יש קשר בין שני אנשים – לדוגמא, אם שני גברים מתווכחים לגבי מי מהם הוא האבא של הילד, באפשרותם לבצע בדיקת DNA על מנת לראות אם היא מתאימה לזו של הילד.





המחקר וההבנה בתחום הגנים עשה כברת דרך ארוכה מאז Mendel.
היום, ניתן לחבר גנים מאורגניזם אחד לאחר. זהו תחום ההנדסה
הגנטית.

עידן ההנדסה הגנטית

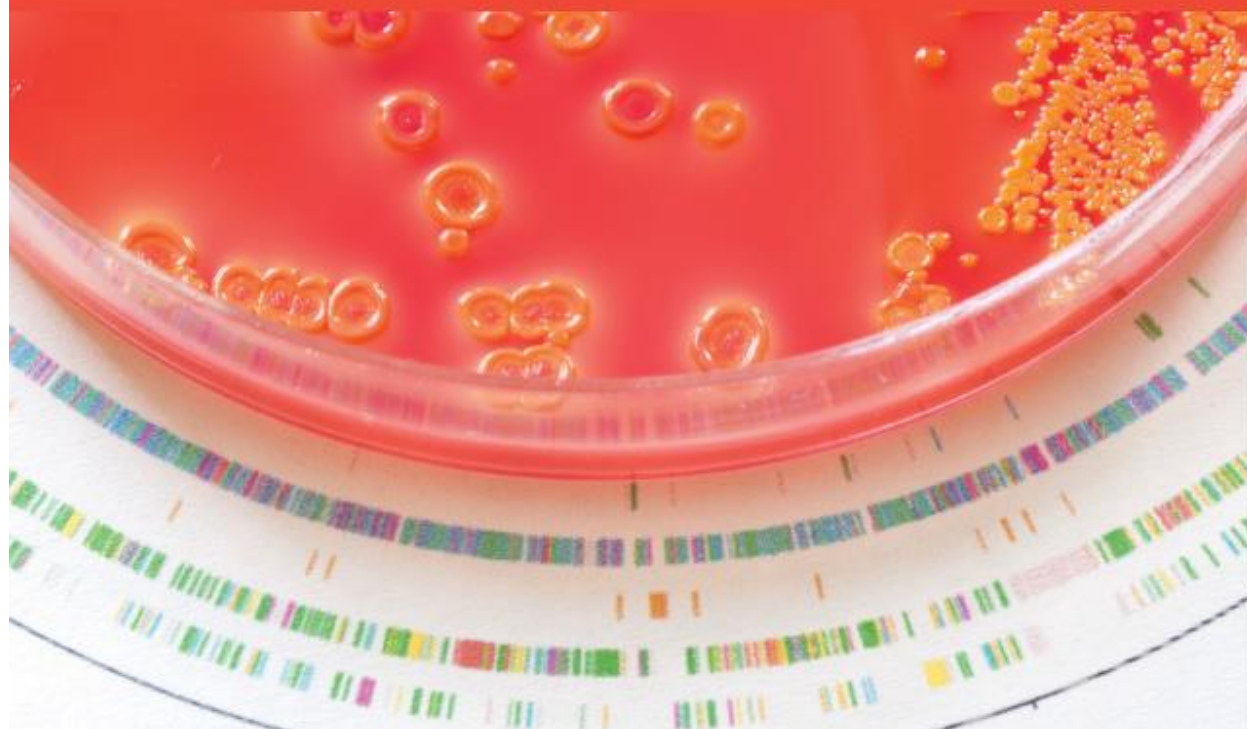
חיידקים

בעולם ייצור התרופות, חיידקים שעברו שינוי גנטי כבר לא בלתי ניתנים על הדעת. במשך עשרות שנים, תרופת האינסולין לה זקוקים חולי סכרת הושגה מבעלי חיים. אולם בתחילת שנות ה-80, סוג של אינסולין שיצא לשוק הופק מחיידקים - שבדרך כלל אינם מייצרים את החומר הזה בכלל. מהנדסים גנטיים חיברו את גן האינסולין האנושי לחיידקים לא מזיקים, שלאחר מכן ייצר את החומר בכמויות גדולות ובדרגה גבוהה של טוהר.

חיידקים הם יצורים מדהימים. הם מורכבים מתא בודד אחד בלבד. הם זעירים ומתרבים באמצעות חלוקה בלבד. אולם במקום הזה הם משיגים המון. אם כל תא מתחלק פעם בשעה, אז מיוצרים 16,777,216 חיידקים ביום אחד בלבד. לא פלא שהחיידקים נמצאים כמעט בכל מקום. אנחנו אפילו מלאים בחיידקים. משהו כמו 100,000,000,000,000 חיידקים חיים על ובתוך כל אחד מאיתנו. זה אומר 100 טריליון חיידקים. 100 ביליון חיידקים חיים בתוך הפה. טריליון חיידקים חיים על העור. אולם מספר החיידקים הגדול ביותר חיים במעי שלנו. החיידקים במעי מהווים 99% מכל החיידקים השוכנים בתוכנו ועלינו. כיצד ניתן להוכיח את קיומם של החיידקים, כאשר אינכם יכולים אפילו לראות אותם בגלל שהם כל כך מזעריים?

זה פשוט למדי: תספקו להם בסיס טוב לגדול בו, ועד מהרה כמות כל כך גדולה של חיידקים ייווצרו עד כי תהיה באפשרותכם לראות אותם בפועל בשל המסה שלהם.

כעת בואו נאסוף חיידקים מהסביבה שלכם ונהפוך אותם לנראים לעין.



הכנסת האמצעי (הסביבה) לגידול החיידקים

תזדקקו לדברים הבאים

- 2 צלחות פטרי (שמרו אותן סגורות עד לשימוש!)
- אמצעי לגידול LB-agar
- פותח מכסים
- כף מעץ
- ספל מדידה
- צנצנת ריבה ריקה
- סיר בישול קטן ישן (או תנור מיקרוגל)

6. החזירו מיד את המכסה למקום. אנחנו לא רוצים ללכוד עדיין חיידקים, לפני שהניסוי בכלל החל.

7. המתינו לכל הפחות חצי שעה עד שהאמצעי התקרר והתקשה.

כך תערכו את הניסוי

1. עליכם לבצע את הניסוי הזה תחת השגחה של אדם מבוגר! תמדדו 50 מ"ל של מים בעזרת ספל המדידה והוסיפו את הכמות הזו לסיר הבישול.
2. מזגו את כל אמצעי הגידול פנימה ובחשו בעזרת כף העץ. הרתיחו את התכולה בזהירות, והמשיכו לבחוש מעט, עד שכל האבקה מומסת. זה עובד אפילו טוב יותר עם מיקרוגל. קחו צנצנת ריבה שטופה היטב, הוסיפו את כל המרכיבים לתוך הצנצנת הזו כמוסבר לעיל והרתיחו את התכולה בתוך המיקרוגל. השאירו את הצנצנת בתוך המיקרוגל במשך דקה לפני שאתם מוציאים אותה ממנו. התכולה עלולה להיות עדיין חמה ולגלוש מהסיר.
3. כעת נמלא את צלחות הפטרי. קחו את שתי צלחות הפטרי יחד עם המכסים שלהן בתוך מקום שקט שבו הם יוכלו להישאר פרק זמן מה לאחר מכן.
4. הוציאו בזהירות את הסיר מהכירים או את הצנצנת מהמיקרוגל.
5. הוציאו את המכסה של כל צלחת פטרי ומזגו כמות מספיק גדולה של אמצעי נזול לכיסוי התחתית, אולם עדיין השאירו שני מילימטרים מתחת לקצה.

מה קורה?

זאת הסיבה לכך שהאמצעי לגידול חיידקים מתקשה: אמצעי הגידול מכיל agar, אותו משיגים מאצות ונחשב לסוג של ג'לטין, שהוא המרכיב שהופך את הפודינג וניל או את קינוחי הג'לטין למתנועעים אך מוצקים. כאשר ה- agar החם הינו נוזל, ניתן למזוג אותו לתוך תבניות, שם הוא מתקרר ומתקשה.



תזדקקו לדברים הבאים

- צלחות אגר מניסוי מספר 19
- טוש לא מחיק
- ניילון נצמד
- נייר
- עט

כך תערכו את הניסוי

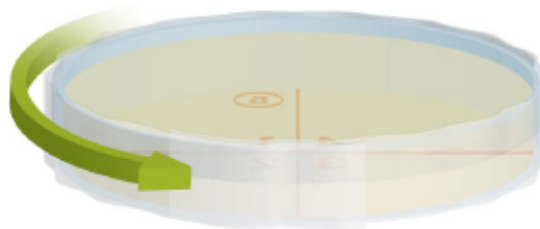
1. על מנת לדעת בשלב מאוחר יותר איזה סוג חיידקים יש לנו באלו חלקים של הצלחות, עלינו לחלק כל צלחת לרבעים. עשו זאת באמצעות ציור של צלב בחלק החיצוני של תחתית הצלחת. רשמו מספר בכל רבע של הצלחת, מאחד עד ארבע. לבסוף, תנו לצלחת אחת את האות A ולצלחת השנייה את האות B.
2. כעת נכניס דגימת חיידקים לתוך כל רבע. חשבו על איפה ניתן למצוא חיידקים ומאיפה לקחת דגימה. להלן מספר רעיונות:
 - תחטטו בין השיניים שלכם בעזרת קיסם שיניים ולאחר מכן נגבו בזהירות את קיסם השיניים על האגר שבצלחת.
 - הקישו את האגר בעזרת פינה של מטלית מטבח בה אתם עושים שימוש לשטיפת כלים.
 - לחצו קלות עם קצה האצבע שלכם על פני משטח האגר. לבטח תוכלו להעלות בדעתכם עוד רעיונות. הדבר החשוב הוא להוציא את המכסה לפרק זמן קצר בלבד, כך שמספר קטן ככל הניתן של חיידקים יכנסו פנימה. גם האוויר מלא בחיידקים.
3. לאחר שסיימתם, אטמו את שתי הצלחות בעזרת רצועה של ניילון נצמד סביב קצה הצלחת.

4. הניחו את הצלחות במקום שקט בתנאים של טמפרטורת חדר.

5. ציירו טבלה שבה תוכלו לכתוב מה אתם שמים בכל שטח. הטוב ביותר הוא ליצור לוח זמנים שבועי לתוכו תוכלו להיכנס בכל 24 שעות על מנת לציין מה אתם רואים. ציינו גם איך נראים החיידקים וכמה חיידקים התפתחו.

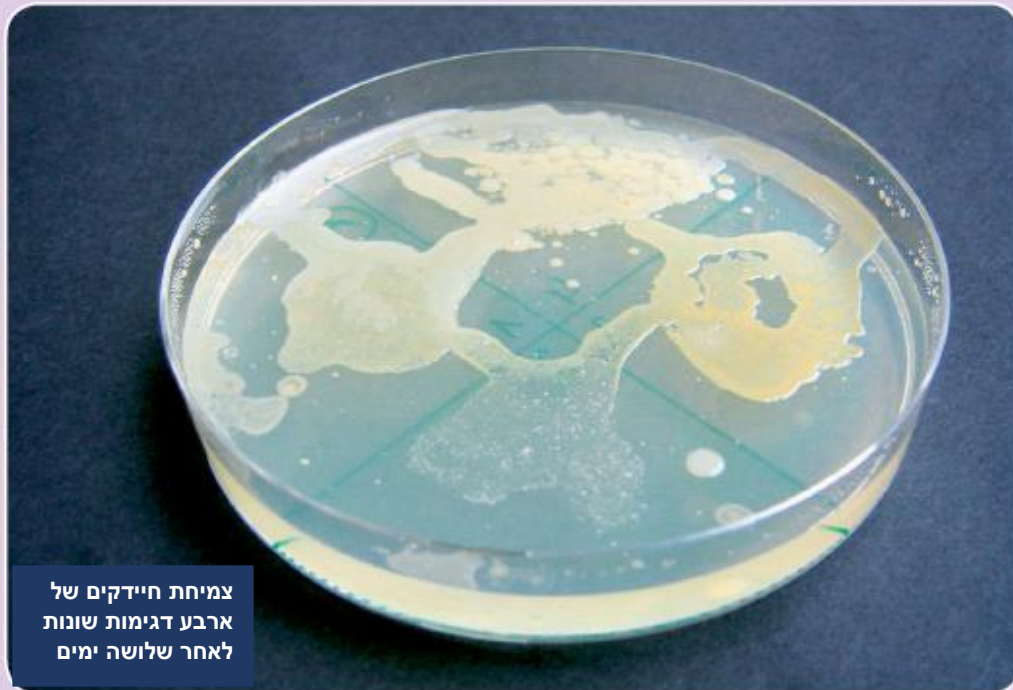


וודאו להשאיר את הצלחות סגורות!



מה קורה?

כמו קסם, פה ושם על הצלחות תראו בעיקר מושבות עגולות בצבע צהבהב צומחות, שכל הנראה יתפשטו עוד יותר עם כל יום שעובר. גם במקומות בהם יתכן ושמעתם רק מספר קטן של חיידקים, הם יתרבו כל כך מהר עד כי הם יהפכו לנראים לעין. אחרי שבוע ימים לכל היותר, הצלחות ככל הנראה יתמלאו בצמיחה חיידקית, ויהיה זה הזמן לזרוק אותן לפח. אל תפתחו אותן. לאחר שסיימתם, באפשרותכם להסיק את המסקנות שלכם: מאלו דגימות יכולתם לגדל את מספר החיידקים הגדול ביותר במהירות הגבוהה ביותר? כישורי הרבייה המהירים כבזק, להם הייתם עדים זה עתה, הם שהופכים את החיידקים למעניינים כל כך עבור תחום ההנדסה הגנטית. היום, תרופות רבות מיוצרות מחיידקים, כמו גם מרכיבים רבים למזונות. מהנדסים גנטיים מכניסים גן מבוקש לתוך סוג אחד של חיידקים, שבאופן אוטומטי מתרבה בתרבות מתאימה, ותוך פרק זמן קצר טריליונים של חיידקים מייצרים את החומר המבוקש, אותו ניתן להוציא מהאמצעי פעם נוספת ולטוהר. כמעט 4% מכל התרופות שקיימות בשוק מיוצרות באמצעות הנדסה גנטית. בעתיד, זה יהיה ככל הנראה הרבה יותר מזה.



צמיחת חיידקים של
ארבע דגימות שונות
לאחר שלושה ימים

הנדסה גנטית עם מזון...

מאז שנת 1996, צמחי מזון שעברו שינוי גנטי זכו לכניסה לתוך מרכולים. ברחבי העולם, מפתחים יותר ויותר צמחים שהחוקרים הופכים אותם לעמידים בפני טפילים או חומרי הדברה באמצעות הנדסה גנטית. לדוגמא, ישנם צמחי תירס שמגדלים עם עמידות גנטית מפני טפילי חרקים. במקרה כמו זה, לצמחים יש גנים שמקורם מהחיידקים.

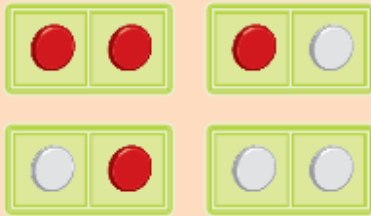
השימוש בהנדסה גנטית במוצרי מזון הוא עניין של מחלוקת רצינית ברחבי העולם. אנשים רבים פשוט לא מעוניינים להחליף גנים בדרך זו בין זנים שונים. מדענים חוקרים הן את יישומי ההנדסה הגנטית למגוון תחומים כמו גם את הסיכונים האפשריים של טכנולוגיה זו. במדינות מסוימות, את מצרכי המזון שעברו שינוי ברמה הגנטית יש לזהות באופן ספציפי על התוויות שלהם, אולם הדבר עדיין לא כך בארה"ב.

... ורפואה

מאז שנת 1990, נערכו ניסויים רציפים במטרה לפתח סוגי טיפולים המספקים עותק שלם של גן מסוים לבני אדם הסובלים ממחלה כתוצאה ממחסור באותו הגן. הרעיון המשכנע הוא להתייחס למחלות גנטיות במקור שלהן. עד כה ההצלחות היו נדירות. היה אפשרי לסייע למטופלים רק במספק מקרים מאוד מסוימים, וגם אז רק באופן זמני.

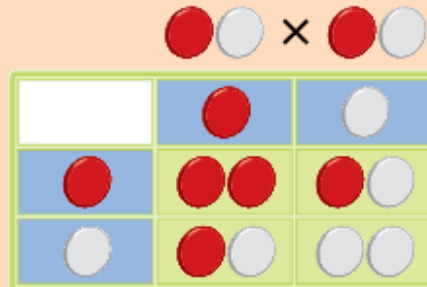


ניסוי מספר 7 (עמוד 14):



ישנם שלושה שילובים אפשריים, כיוון שאדום/לבן ולבן/אדום זהים.

ניסוי מספר 8 (עמוד 16):



מהורים עם צבע אדום/לבן ולבן/אדום, כל השילובים האפשריים יביאו לידי: אדום/אדום, אדום/לבן, לבן/אדום, לבן/לבן. אולם רק לילד עם השילוב של לבן/לבן יהיו פרחים לבנים.

ניסוי מספר 9 (עמוד 18):

1.			☒ Brown eyes
			☐ Blue eyes
2.			☐ Brown eyes
			☒ Blue eyes
3.			☒ Brown eyes
			☐ Blue eyes
4.			☒ Brown eyes
			☐ Blue eyes
5.			☒ Brown eyes
			☐ Blue eyes
6.			☒ Brown eyes
			☐ Blue eyes

ניסוי מספר 17 (עמוד 34):

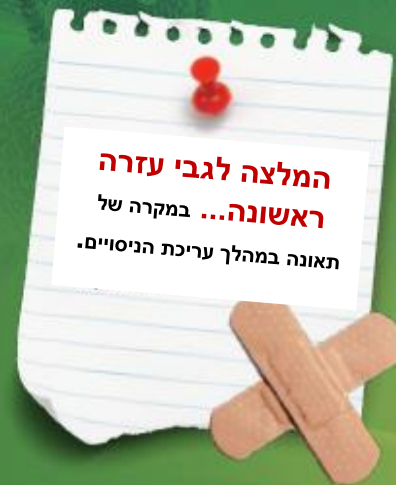
AAA	TAA	GAA	CAA
AAT	TAT	GAT	CAT
AAG	TAG	GAG	CAG
AAC	TAC	GAC	CAC
ATA	TTA	GTA	CTA
ATT	TTT	GTT	CTT
ATG	TTG	GTG	CTG
ATC	TTC	GTC	CTC
AGA	TGA	GGA	CGA
AGT	TGT	GGT	CGT
AGG	TGG	GGG	CGG
AGC	TGC	GGC	CGC
ACA	TCA	GCA	CCA
ACT	TCT	GCT	CCT
ACG	TCG	GCG	CCG
ACC	TCC	GCC	CCC

מידע המתקשר לעזרה ראשונה

חשוב לדעת: במקרה של פגיעה, גשו תמיד לחפש עזרה רפואית.

בעת עריכת ניסויים עם חומרים כימיים:

- במקרה של מגע בעיניים: שטפו את העין בכמות גדולה של מים, תוך החזקת העין פתוחה במידת הצורך. שטפו מהאף כלפי חוץ. גשו לקבלת ייעוץ רפואי באופן מיידי.
 - במקרה של בליעה: שטפו את הפה במים ושתו קצת מי שתייה. אין לעודד הקאה. גשו לקבלת ייעוץ רפואי באופן מיידי.
 - במקרה של שאיפה: העבירו את האדם לאוויר פתוח, לדוגמא, לתוך חדר אחר עם חלונות פתוחים או בחוץ.
 - במקרה של מגע עם העור ובמקרה של כוויות: שטפו את האזור שנפגע בכמות גדולה של מים במשך חמש דקות. כסו כוויות בתחבושת. לעולם אין למרוח שמן, אבקה או קמח על הפצע. אין לפוצץ שלפוחיות. עבור כוויות גדולות יותר, גשו לקבל סיוע רפואי באופן מיידי.
 - במקרה של חתכים: אין לגעת או לשטוף במים. אין למרוח משחה, אבקה או דברים דומים אחרים. חבשו את הפתע בתחבושת עזרה ראשונה יבשה ונטולת חיידקים. גופים זרים כגון שבבי זכוכית יוצאו מהפצע על ידי רופא. גשו לקבל ייעוץ מרופא במידה ואתם מרגישים כאב חד או דופק באזור.
 - במקרה של ספק, גשו לקבל ייעוץ רפואי ללא עיכוב. עבור תאונות בהן מעורבים חומרים כימיים, קחו אתכם תמיד את המיכל של החומר הכימי אל הרופא במטרה להעביר אליו את שמו של החומר הכימי המדובר.
- במקרה חירום, צרו קשר עם מד"א



101

רשמו את מספר הטלפון של בית החולים המקומי שלכם או של מרכז הרעלים כאן:

גנטיקה ו-DNA

אזהרה. אינו מתאים לשימוש על ידי ילדים מתחת לגיל 10. לשימוש תחת השגחת אדם מבוגר בלבד. קראו את ההוראות טרם השימוש, התנהלו על פיהן ושמרו אותן אצלכם לעיון בעתיד. אין לאפשר לחומרים כימיים לבוא במגע עם חלק גוף כלשהו, במיוחד לא עם הפה ועם העיניים. הרחיקו ילדים קטנים ובעלי חיים מאזור הניסויים. הרחיקו את ערכת הניסוי מהישג ידם של ילדים מתחת לגיל 10.

אזהרה – ערכת מדע חינוכית. ערכה זו כוללת חומרים כימיים ו/או חלקים שעשויים לגרום נזק אם נעשה בהם שימוש לא נכון. קראו את ההתראות המצויות על גבי המיכלים ובמדריך בקפידה. לא לשימוש על ידי ילדים אלא אם כן הם נמצאים תחת השגחה.

מידע אודות חומרים מסוכנים

שימו לב למידע שלהלן המתקשר לסיכונים ולבטיחות בכל הקשור לחומרים הכימיים הכלולים בערכת כימיה זו. הסקירה שלהלן מציגה גם את סמל הסכנה עבור חומרים כימיים בהם תעשו שימוש ומזהה את הסכנות המלוות בכך.

אלכוהול מפוגל (מוכר גם בשם כוהל מפוגל, אתנול כמרכיב עיקרי, כהל אתילי).

נוזל ואדים מתלקחים במידה גבוהה.

הרחיקו מחום/גזים/להבת אש פתוחה/משטחים חמים.

בקשה מההורים: הרחיקו אלכוהול מפוגל מהישג יד. מלאו את בקבוקון הזכוכית החום בעצמכם ושפכו רק את הכמות שתידרש לעריכת מספר ניסויים.

נעלו את כל החומרים הכימיים במקום סגור. אין לאפשר לשום חומר כימי להגיע להישג ידם של ילדים. הדבר תקף מעל לכל לילדים קטנים, אולם גם לילדים בוגרים יותר – שלא כמו אותם גורמים העורכים את הניסויים – לא קיבלו הדרכה מתאימה מצד מבוגרים בכל הנוגע לאמצעי בטיחות נכונים.

במקרה של בליעה: גשו מיד לחפש ייעוץ רפואי או סיוע רפואי וקחו את האריזה או את המדבקה של החומר הכימי שנבלע לעיון.

שמרו את חומרי האריזה ואת ההוראות כיוון שהן מכילות מידע חשוב.

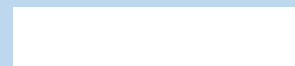
אנו שומרים לעצמינו את הזכות לבצע שינויים טכניים.

אזהרה. ערכה זו מכילה קצוות או נקודות חדות פונקציונליות. היזהרו שלא להיפצע!

שימו לב: עליכם לקרוא את המידע החשוב אודות העזרה הראשונה במקרה של תאונות. המידע מצוין על גבי הכיסוי האחורי החיצוני, אודות הטיפול בחומרים מסוכנים המופיע בעמוד זה ומידע נוסף המצוין בעמודים 1-4.

מרכזים לבקרת רעלים (ארה"ב)

במקרה חירום, ניתן להשיג את מרכז בקרת הרעלים הקרוב ביותר למקום מגוריכם באמצעות חיוג למספר:





האיכות והבטיחות של Kosmos

יותר ממאה שנים של מומחיות בפרסום ערכות לניסויים מדעיים עומדות מאחורי כל מוצר הנושא על עצמו את שם Kosmos. ערכות הניסוי של Kosmos תוכננו על ידי צוות מנוסה של מומחים ונבדקו בזהירות יתרה במהלך שלבי הפיתוח והייצור. בכל הנוגע לבטיחות המוצר, ערכות ניסוי אלה תואמות לתקני הבטיחות באירופה ובארצות הברית, כמו גם לקווי ההנחיה הבטיחותיים הקנייניים המשופרים שלנו. בעקבות עבודה יחד עם השותפים שלנו בייצור ויחד עם מעבדות לבדיקת בטיחות המוצרים, באפשרותנו לשלוט בכל שלבי הייצור. בעוד שרוב המוצרים שלנו מיוצרים בגרמניה, כל המוצרים שלנו, ללא קשר למקור שלהם, מיוצרים בהתאם לאותם תקני איכות קפדניים.

מהדורה ראשונה 2011

© 2011 Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG, Pfizerstrasse 5 – 7, 70184 Stuttgart, Germany.

עבודה זו, לרבות על החלקים שלה, מוגנת באמצעות זכויות יוצרים. כל שימוש מחוץ לגבולות הספציפיים של חוק זכויות היוצרים, ללא הסכמה מצד המפרסם, אסור ויביא לידי ענישה על פי חוק. הדבר חל במיוחד על שכפולים, תרגומים, צילום במיקרופילם ואחסנה ועיבוד במערכות וברשתות תקשורת אלקטרוניות. אין אנו מבטיחים שכל החומר שבעבודה זו אינו מחויב בזכויות יוצרים או כל אמצעי הגנה אחר.

רעיון: Ruth Schildhauer, עריכה: Christiane Theis, הכוונת פריקט: Ita Meister, Kristin Albert, פיתוח מוצר: Elena Ryvkin, עיצוב ומערך מוצר: Atelier Bea Klenk, Klenk/Riedinger.

איורים: Michael Schlegel, kommunikation - print & web, Würzburg

Photos: picsfive, U1, p. 5, p. 19, p. 36; Fredy Thürig, p. 1 top left, p. 18 middle left; Freesurf, p. 1 middle left, p. 20 top; Jan Will, p. 1 top middle, p. 19 bottom right; Charlotte Erpenbeck, p. 1 bottom left, p. 2; Richard Cote, p. 1 middle right; p. 2, p. 18 middle; by-studio, p. 6, p. 7; Karandeu, p. 7 Tasse; camera-me, p. 7 Tube; abf, p. 7 Besteck; Birgit Reitz-Hofmann, p. 7 Nagel; StepZone, p. 7 Klammern; Prgra, p. 7 Münzen; Xuejun Li, p. 7 Flasche; Daniel Bursch, p. 9; Mark FGD, p. 20 top; NatUlrich, p. 24; Irochka, p. 25 top middle, p. 37 middle right; Titelio, p. 25 top left; mattei, p. 25 bottom middle; terex, p. 26 top, p. 36; Freesurf, p. 30, p. 33; Justin Paget, p. 32; Alina Isakovich, p. 37 top; James Steidl, p. 37 bottom right; Frank Wohlfeil, p. 43 left; Bernard BAILLY, p. 43 middle right; oragore, p. 43 bottom; Gentil Francois, p. 44 top left; Kalle Kolodziej, p. 46 Fisch; Stefanie Frey, p. 46 Löffel; (all previous www.fotolia.com) Állatka, p. 1 top right; Association Curie, Joliot-Curie, nobelprize.org, p. 19 bottom left; Sebastiano del Piombo, p. 25 middle right; John Davis, The Seaman's Secrets (1607), p. 25 bottom right; Gary A Glatzmeier, NSF, p. 34; NASA, p. 35 top; Hannes Grobe, wikipedia, CC-BY-3.0, p. 43 middle (all previous www.wikipedia.de); Michael Flaig, pro-studios Stuttgart, U2; Oliver Klasen, Stuttgart, U1, p. 3 top; p. 44 right; gettyimages, p. 26; CERN, p. 42

המפרסם עשה כל מאמץ על מנת לזהות את בעלי הזכויות על כל התמונות שבשימוש. במידה ועולה מקרה שבו בעלי הזכויות על תמונות מסוימות לא זכו להכרה, הם מתבקשים לעדכן את המפרסם בכל הנוגע לבעלות זכויות יוצרים כך שיוכלו לקבל דמי התמונה המקובלים.

עיצוב מארז: Atelier Bea Klenk, Klenk/Riedinger. עם השימוש בתמונות מתוך: Charlotte Erpenbeck, Freesurf, Taffi, camera-me, Richard Cote, Mark FGD, Birgit Reitz - Hofmann, D. Fabri (all fotolia.com); Állatka, Nasa (both www.wikipedia.de); Oliver Klasen, Stuttgart

מהדורה ראשונה באנגלית © 2012, 2015 Thames & Kosmos, LLC, Providence, RI, USA

© Thames & Kosmos הינו סימן מסחרי רשום של Thames & Kosmos, LLC.

טקסט ורעיון: Ted McGuire, גרפיקה וסידורים נוספים: Dan Freitas

מופץ בצפון אמריקה על ידי Thames & Kosmos, LLC, Providence, RI 02903

מספר טלפון: 800-587-2872; כתובת דואר אלקטרוני: support@thamesandkosmos.com

הודפס בסין

