



סיכום פרק: מעבר חומרים ואנרגיה

כל היצורים החיים זקוקים לחומרים ולמקור אנרגיה לקיומם. הם קולטים חומרים ואנרגיה מהסביבה ומשחררים לסביבה חומרים ואנרגיית חום. במערכת האקולוגית מתקיים מיחזור של החומרים, אולם האנרגיה איננה ממוחזרת ולכן קיום המערכת מותנה באספקה מתמדת של אור השמש.

תכנית הלימודים

פירוט הסילבוס של משרד החינוך:

מקורות אנרגיה, מעברי אנרגיה ומעברי חומרים במערכת אקולוגית (8-10 שעות)

נושאים

- השמש מקור האנרגיה הראשוני והעיקרי במרבית המערכות האקולוגיות.
- מעברי אנרגיה בין גורמים ביוטיים לבין הסביבה האביוטית.
- זרימת אנרגיה בין גורמים ביוטיים נעשית באמצעות הזנה.
- דרכים לייצוג מעברי אנרגיה וחומרים במערכת האקולוגית: שרשרת מזון, מארג מזון ופירמידה אקולוגית.
- מחזורי חומרים בטבע: מחזור חנקן (ללא פירוט תהליכים כימיים) ומחזור הפחמן.

מונחים: אנרגיה כימית, אנרגיית חום, ביומסה, זמינות, חומר אורגני, חומר אי-אורגני, טורף-על, יחסי הזנה, יצרנים, מפרקים (חיידקים ופטריות), נשימה, פוטוסינתזה, צרכנים (ראשוניים, שניוניים), קיבוע חנקן.

הערה: נדרשת הבנה כללית של מחזור החנקן. אין צורך לפרט תהליכים כימיים.

- א. דרכי הזנה
- ב. יצרנים, צרכנים ומפרקים
- ג. שרשרת מזון, מארג מזון ופירמידה אקולוגית
- ד. מחזורי חומרים וזרימת אנרגיה
- ה. מחזור הפחמן
- ו. מחזור החנקן

א. דרכי הזנה

כל האורגניזמים החיים זקוקים לחומרים אורגניים שאותם הם מפרקים בתהליך הנשימה התאית. האנרגיה הנפלטת בתהליך מנוצלת לתהליכי החיים (באמצעות חומר מתוך ATP). החומרים האורגניים מנוצלים גם לגוף האורגניזמים, כלומר לבניית התאים ולתפקודם.

אפשר לחלק את האורגניזמים על פי יכולת ייצור החומרים האורגניים לשתי קבוצות – אוטוטרופים והטרוטרופים.

אוטוטרופים

אורגניזמים המייצרים חומרים אורגניים מחומרים אי-אורגניים שהם קולטים מהסביבה. האוטוטרופים העיקריים במערכת האקולוגית ביבשה הם הצמחים, ובמים – אצות חד-תאיות ורב-תאיות, חיידקים כחוליים וצמחי מים. אורגניזמים אלה מייצרים בתהליך הפוטוסינתזה פחמימות מפחמן דו-חמצני וממים, תוך ניצול אנרגיית השמש. חלק מהפחמימות הנוצרות מתפרקות בתהליך הנשימה התאית של הצמח, וחלק אחר מהפחמימות משמש כשלד לבניית כל שאר החומרים האורגניים (כגון חלבונים ושומנים הבונים את תאי הצמח). לתהליך ההרכבה של חלק מהחומרים האלה נחוצים יסודות כמו חנקן וזרחן, שאינם מרכיבים את שלד הפחמימות. מקור היסודות האלה הוא במינרלים שונים (חומרים אי-אורגניים) הנקלטים מהקרקע.

כימאוטוטרופים (הרחבה): יש כמה מיני חיידקים אוטוטרופים שאינם מנצלים אנרגיית אור להרכבת החומרים האורגניים, אלא את האנרגיה הנפלטת מחמצון של תרכובות מחוזרות שנמצאות בסביבתם. לדוגמה, חיידקי הניטריפיקציה במחזור החנקן שמחמצנים אמוניה (כפי שיפורט בהמשך). חיידקים אלה נקראים כימאוטוטרופים, להבדיל מהאורגניזמים הפוטו-אוטוטרופים שמבצעים פוטוסינתזה.

הטרוטרופים

אורגניזמים שאינם מסוגלים לייצר חומרים אורגניים מחומרים אי-אורגניים, ומנצלים חומרים אורגניים שהם קולטים מהסביבה. על הטרוטרופים נמנים בעלי החיים, הפטריות והחיידקים.

ב. יצרנים, צרכנים ומפרקים

יצרנים

האוטוטורפים הם היצרנים במערכת האקולוגית, משום שהם מייצרים את החומרים האורגניים הנצרכים על ידי כל שאר האורגניזמים שניזונים מהם במישרין (בעלי החיים הצמחוניים) או בעקיפין (בעלי החיים הטורפים והמפרקים). מכאן נובע שהקיום של כל ההטורופים תלוי באוטוטורפים.

צרכנים

ההטורופים נחלקים למפרקים ולצרכנים, וגם הצרכנים נחלקים לשתי קבוצות: **צרכנים ראשוניים**: אלו שניזונים מצמחים בלבד, כלומר הצמחוניים.

צרכנים שניוניים: אלו שניזונים מאכילת בעלי חיים, כלומר הטורפים.

שימו לב!

לעיתים מחלקים את הצרכנים חלוקת משנה לשניוניים, שלישוניים וטורפי-על, ולעיתים מכלילים את כולם כצרכנים שניוניים. יש אורגניזמים אוכלי-כול שמשתייכים לשתי רמות הזנה. לדוגמה, שועל שניזון בעיקר מטריפה, אך גם מפירות או מצמח טורף שמבצע פוטוסינתזה אך גם ניזון מטריפת חרקים.

מפרקים

המפרקים הם חיידקים ופטריות שפועלים בעיקר בקרקע, שם הם מפרקים שאריות של צמחים, בעלי חיים מתים והפרשות של בעלי חיים. הם מפרישים אל הסביבה אנזימים המפרקים את החומרים האורגניים שבשרידי האורגניזמים (בכך הם שונים מהצרכנים שאצלם האוכל נכנס אל תוך הגוף באכילה ומפורק בתוך הגוף).

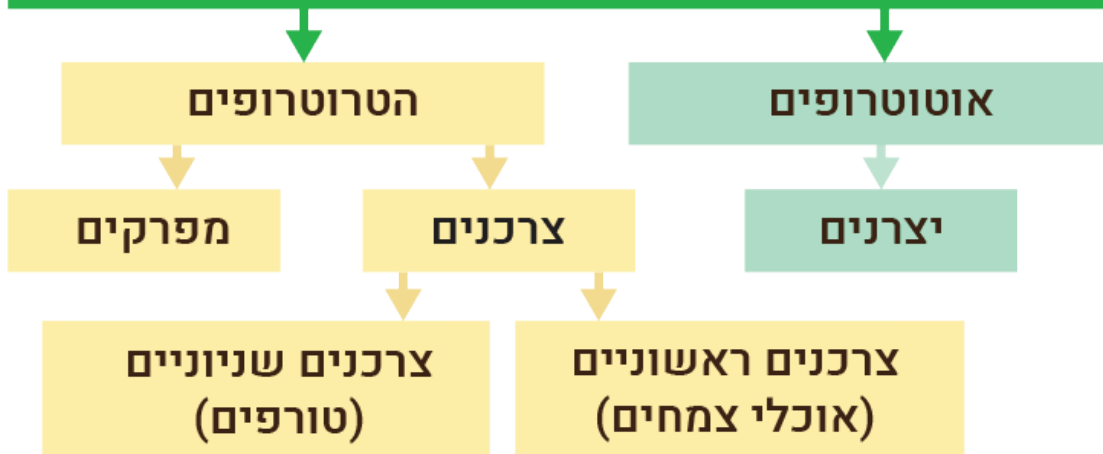
תוצרי הפירוק הם:

יחידות המבנה של החומרים האורגניים (כגון חד-סוכרים וחומצות אמיניות) שנספגות אל גופם של המפרקים ומנוצלים לבניין ולנשימה תאית.

חומרים אי-אורגניים שמורכבים מיסודות שונים כמו חנקן, ברזל וגופרית (מינרלים) שנשארים בסביבה וחלקם נקלט דרך שורשי הצמחים. בכך תורמים המפרקים למיחזור החומרים בטבע.

לסיכום: מיון האורגניזמים במערכת האקולוגית לפי דרך ההזנה ורמת ההזנה:

גורמים ביוטיים במערכת האקולוגית



ג. שרשרת מזון, מארג מזון ופירמידה אקולוגית

הצרכנים והמפרקים בבית הגידול תלויים ביצרנים ותלויים אלו באלו לאספקת החומרים האורגניים הנחוצים לקיומם. אפשר לייצג את מעבר החומרים בין האורגניזמים בשתי דרכים:

א. ייצוג איכותי באמצעות שרשרת מזון ומארג מזון

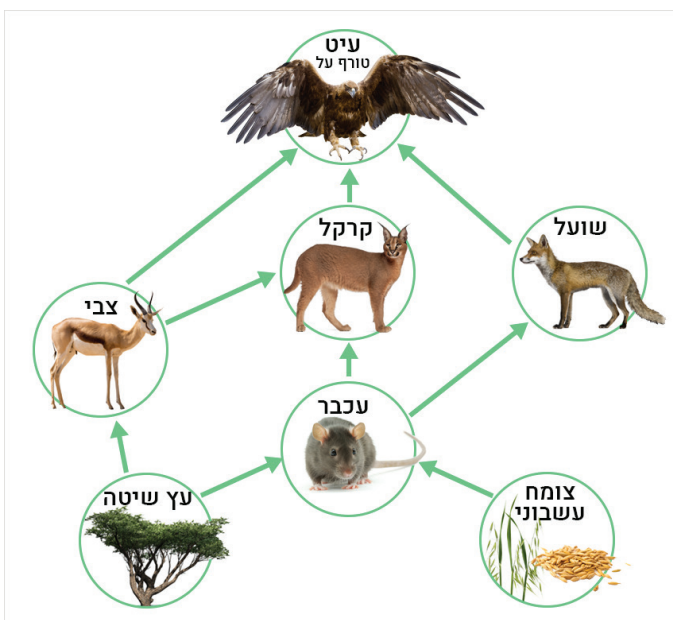
ב. ייצוג כמותי באמצעות פירמידה אקולוגית

שרשרת מזון

שרשרת מזון היא ייצוג איכותי של רצף אחד של יחסי הזנה בסביבת חיים מסוימת: יצרן נאכל על ידי בעל חיים צמחוני שנאכל על ידי טורף, שנאכל על ידי טורף אחר. בראש השרשרת נמצא טורף-על.

מארג מזון

מארג מזון הוא צירוף כל שרשראות המזון והקשרים ביניהן בסביבת חיים מסוימת. לפניכם חלק ממארג המזון בבית גידול מדברי:



פירמידה אקולוגית

פירמידה אקולוגית היא ייצוג גרפי כמותי של רמות ההזנה השונות במערכת האקולוגית במקום מסוים.

רמת הזנה

רמת הזנה היא עמדה בשרשרת המזון הנקבעת על ידי מספר ה"צעדים" של מעבר החומרים (והאנרגיה האצורה בהם) במערכת האקולוגית, מרמת ההזנה הראשונה של היצרנים ועד רמה זו.

נדון בשני סוגים של פירמידה אקולוגית – פירמידת ביומסה ופירמידת אנרגיה.

פירמידת ביומסה

פירמידת ביומסה היא ייצוג גרפי כמותי של הביומסה של האורגניזמים במערכת אקולוגית מסוימת. השטח של כל נדבך בפירמידה הוא פרופורציונלי לביומסה של כלל האורגניזמים במערכת השייכים לאותה רמת הזנה.

ביומסה היא משקל המסה הכוללת של כל האורגניזמים, והיא מבוטאת בדרך כלל כמשקל יבש ליחידת שטח. כלומר משקל האורגניזמים בלי המים. הביומסה מורכבת בעיקר מחומרים אורגניים המרכיבים את תאי האורגניזמים (בעיקר פחמימות, חלבונים ושומנים).

פירמידת ביומסה



במערכות האקולוגיות הטבעיות הביומסה הולכת וקטנה ככל שעולים ברמת ההזנה ההסבר לכך הוא שחלק מהחומרים האורגניים במזון הנאכל על ידי האורגניזמים (או מיוצר על ידם, במקרה של היצרנים) מתפרק בנשימה תאית, חלקו נמצא בהפרשות בעלי החיים או בעלים וענפי צמחים שנופלים, ורק חלק מנוצל לגידול המתבטא בעליית הביומסה. רק חלק זה עומד לרשות רמת ההזנה הבאה.

פירמידת אנרגיה

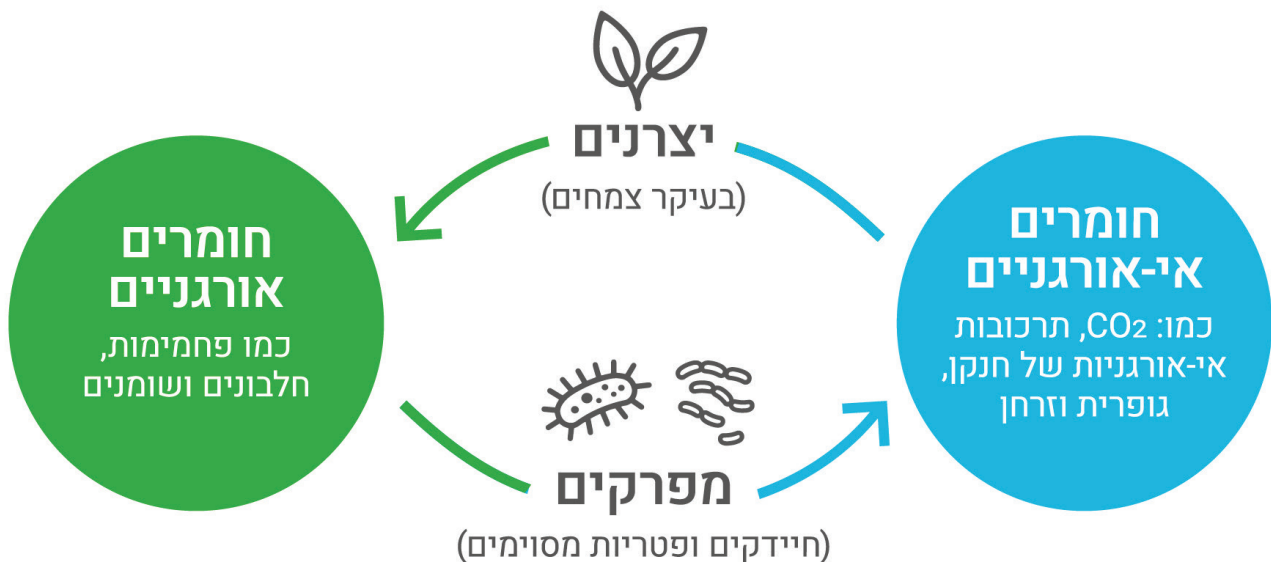
פירמידת ביומסה היא גם פירמידת אנרגיה. בחומרים האורגניים המרכיבים את גוף האורגניזמים, בכל רמת הזנה אצורה אנרגיה כימית. מכיוון שהביומסה הולכת וקטנה ככל שעולים ברמת ההזנה, גם האנרגיה האצורה בה הולכת וקטנה.

ד. מיחזור חומרים וזרימת אנרגיה במערכת האקולוגית

מיחזור חומרים במערכת האקולוגית

במערכת האקולוגית מתקיים מחזור של חומרים: היצרנים הופכים חומרים אי-אורגניים לאורגניים, והמפרקים עושים את התהליך ההפוך.

אם נבחן בנפרד מחזורי חומרים מרכזיים במערכת האקולוגית כמו פחמן וחנקן, נמצא שגם בהם מתקיים המחזור המתואר בתרשים. (ראו פירוט בהמשך).



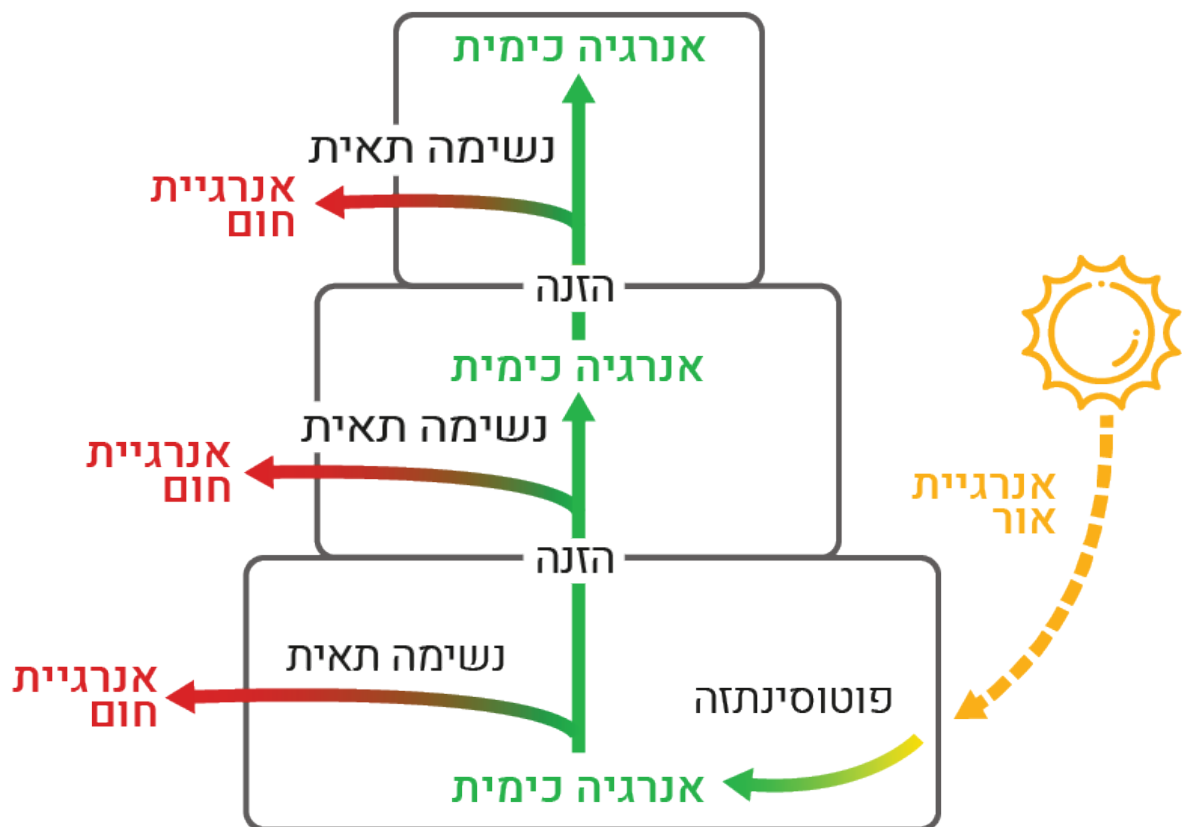
שימו לב: יש לזכור שלא רק המפרקים, אלא כל האורגניזמים מפרקים חומרים אורגניים בנשימה התאית ופולטים חומר אי-אורגני לסביבה – CO₂.

זרימת אנרגיה וגלגוליה במערכת האקולוגית

קיום המערכת האקולוגית תלוי באנרגיית השמש. אנרגיית האור נקלטת על ידי הצמחים, ובתהליך פוטוסינתזה היא מומרת לאנרגיה כימית האצורה בחומרים האורגניים הנוצרים בתהליך. מרגע זה ואילך, מעבר האנרגיה הכימית במערכת צמוד למעבר החומרים. החומרים האורגניים מנוצלים לנשימה תאית ולגדילה בצמחים ובכל בעלי החיים שניזונים מהם במישרין (הצמחוניים) או בעקיפין (הטורפים), וגם במפרקים. בתהליך הנשימה התאית של כל האורגניזמים, חלק מהאנרגיה משתחרר כחום.

המרת אנרגיה כימית
לאנרגיית חום

המרת אנרגיית אור
לאנרגיה כימית

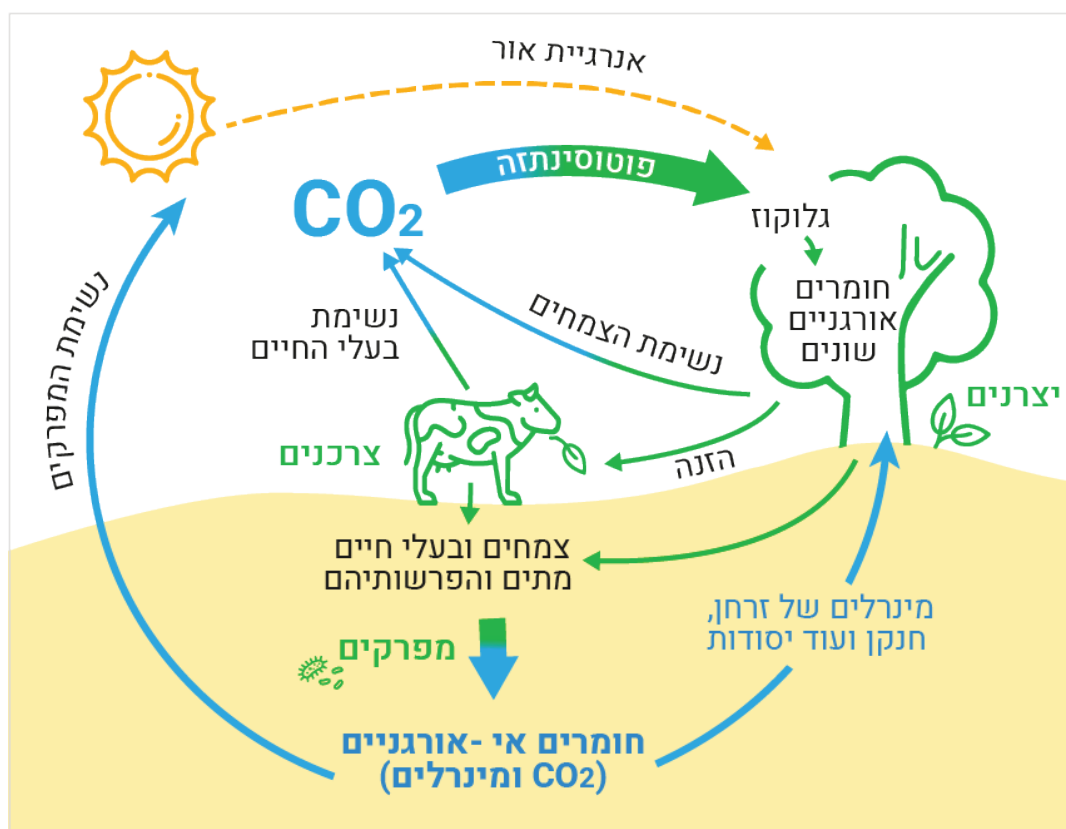


כלומר, האנרגיה הזורמת במערכת האקולוגית מומרת מצורה אחת לצורה אחרת:

אנרגיית אור → אנרגיה כימית → אנרגיית חום

מדוע בניגוד לחומרים, האנרגיה איננה ממוחזרת במערכת האקולוגית?

החום הנפלט בתהליך הנשימה התאית אינו יכול להיות מנוצל לתהליך הפוטוסינתזה, ולכן קיום המערכת האקולוגית תלוי באספקה מתמדת של אור השמש. כלומר האנרגיה אינה ממוחזרת במערכת האקולוגית אלא זורמת ומומרת מצורת אנרגיה אחת לאחרת, אך בניגוד לחומרים היא אינה ממוחזרת.



במחזור הפחמן יש שני תהליכים ביולוגיים מרכזיים שמשפיעים על ריכוז ה- CO_2 באוויר ועל מחזור החומרים באופן מנוגד:

תהליך	השפעה על ריכוז ה- CO_2 באוויר	השפעה על מחזור החומרים
פוטוסינתזה	הורדה	הפיכת חומרים אי-אורגניים לחומרים אורגניים
נשימה תאית	העלאה	הפיכת חומרים אורגניים לאי-אורגניים

פירוט מחזור הפחמן:

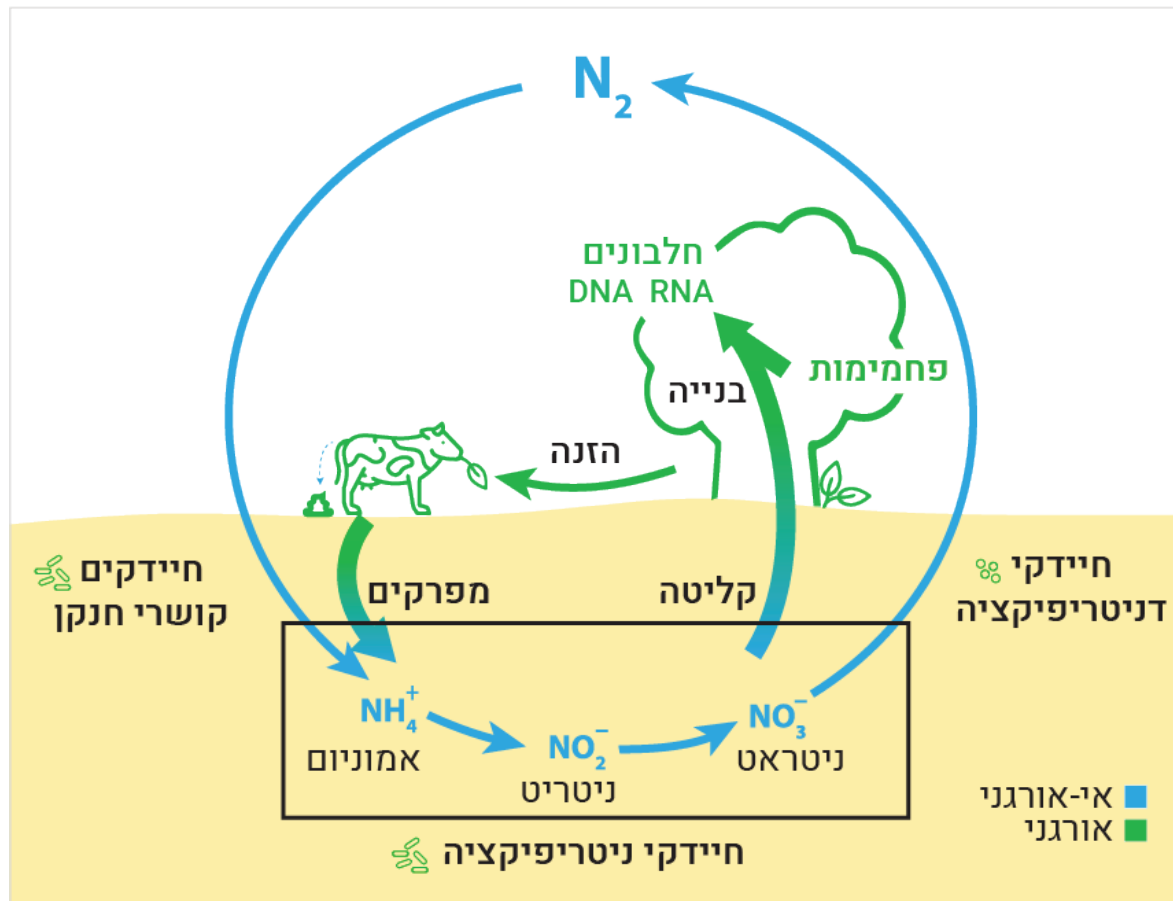
הפחמן מרכיב את השלד של כל החומרים האורגניים, והוא מרכיב מרכזי במחזור החומרים בטבע. בתהליך הפוטוסינתזה הצמחים יוצרים פחמימות מפחמן דו-חמצני ומים תוך ניצול אנרגיית השמש.

הפחמימות משמשות בחלקן כשלד ליצירת תרכובות אורגניות אחרות (כמו חלבונים), ובחלקן הן מתפרקות בתהליך הנשימה התאית (הן בצמחים והן בבעלי החיים הניזונים מהן במישרין או בעקיפין).

הפחמן הדו-חמצני שנוצר בתהליך הנשימה התאית של כל האורגניזמים נפלט לאטמוספירה.

בדורות האחרונים ריכוז ה- CO_2 באוויר עולה הן בשל שריפת דלקים בתעשייה, במכוניות ובשימוש ביתי, והן בשל צמצום שטחי היערות שגורם להקטנת הפוטוסינתזה שצורכת CO_2 . העלייה בריכוז ה- CO_2 מגבירה את אפקט החממה וגורמת להתחממות כדור הארץ – תהליך שיש לו השפעה מכרעת על גורל האנושות ועל גורל המערכת האקולוגית כולה.

1. מחזור החנקן



החנקן הוא יסוד חשוב מאוד בגוף החי. הוא מרכיב בתרכובות חנקן אורגניות כמו חלבונים וחומצות גרעין.

הצמחים מייצרים את התרכובות האלה משלד הפחמימות שנוצרו בתהליך הפוטוסינתזה ומתרכובות חנקן אי-אורגניות כמו אמוניום (NH_4^+) וניטראט (NO_3^-) שהם קולטים מהאדמה.

הצמחים נאכלים על ידי בעלי חיים צמחוניים, והחומרים האורגניים מתפרקים במערכת העיכול שלהם ליחידות המבנה, שמועברות לתאים ומנוצלות להרכבת חומרים הנחוצים לבניית התאים ולתפקודם. לדוגמה, מהחומצות האמיניות מתוצרי פירוק החלבונים – נבנים חלבונים חדשים בהתאם לצורכי התאים. תהליך דומה מתרחש בגופם של בעלי החיים הטורפים שניזונים מבעלי החיים הצמחוניים.

תרכובות החנקן האורגניות שבשרידי הצמחים ובעלי החיים המתים ובהפרשות בעלי החיים, מפורקות על ידי המפרקים. אחד התוצרים הוא אמוניה NH_3 שהיא תרכובת חנקן אי-אורגנית. בסביבה מימית האמוניה הופכת ליון אמוניום (NH_4^+) שזמין לצמחים.

לצמחים יש מקור נוסף לאמוניום – חיידקים קושרי חנקן שחיים בסימביוזה עם צמחים ממשפחות מסוימות (כגון הקטניות) או באופן עצמאי בקרקע (ראו פירוט בהמשך).

ניטריפיקציה (הרחבה): לא כל האמוניום נקלט על ידי הצמחים; על חלק ממנו פועלים חיידקים הנמצאים בקרקע שנקראים חיידקי ניטריפיקציה (חינקון). הם מחמצנים את האמוניום לניטריט NH_2^- , ולאחר מכן לתרכובת חנקן אי-אורגנית נוספת, ניטראט NO_3^- , שגם היא נקלטת על ידי הצמחים. החיידקים האלה מפיקים אנרגיה מהתהליך ומנוצלים להרכבת חומרים אורגניים מחומרים אי-אורגניים. כלומר הם כימאאוטוטרופים, ובניגוד לצמחים מקור האנרגיה שלהם אינו אור אלא האנרגיה שנפלטת בתהליכים כימיים של חמצון חומרים כמו האמוניה.

קשירת חנקן

לא כל תרכובות החנקן האי-אורגניות בקרקע מקורן בפעילות המפרקים. חלקן נוצרות על ידי חיידקים קושרי חנקן. החנקן הגזי מהווה 78% מהגזים המרכיבים את האוויר, אולם כל הצמחים ובעלי החיים ומרבית החיידקים אינם יכולים לנצלו. יש מינים מועטים של אורגניזמים פרוק-ריוטיים, רובם חיידקים, שמסוגלים להפוך את החנקן שבאוויר לאמוניום בתהליך שנקרא קשירת חנקן או קיבוע חנקן. חלק מהאורגניזמים קושרי החנקן חיים באופן עצמאי, וחלקם חיים בתוך גופם של צמחים ובעלי חיים מסוימים שאיתם הם מקיימים יחסי הדדיות.

לדוגמה, בשורשי צמחים ממשפחת הקטניות יש פקעיות שבתוכן חיים חיידקים מסוג ריזוביום. הצמחים מקבלים מהחיידקים את תרכובת החנקן שהם בנו ויכולים לנצל אותה לתועלתם, ובתמורה החיידקים מקבלים מהצמחים תרכובות אורגניות שיוצרו בפוטוסינתזה, וסביבת חיים מוגנת ומתאימה לפעילותם.

דניטריפיקציה (הרחבה): קשירת החנקן על ידי החיידקים קושרי החנקן גורעת חנקן גזי מהאוויר. למרות זאת, ריכוז החנקן באוויר נשאר קבוע הודות לתהליך שנקרא דניטריפיקציה המבוצע על ידי חיידקים המצויים בקרקע שהופכים חלק מהניטראטים לחנקן גזי הנפלט לאטמוספירה.

בעולם מתקיים מחזור של חומרים: הצמחים (היצרנים) מייצרים בתהליך הפוטוסינתזה חומרים אורגניים שמשמשים מזון לשאר האורגניזמים במערכת האקולוגית. כאשר הצמחים ושאר האורגניזמים מתים, החומרים האורגניים המרכיבים אותם מפורקים על ידי המפרקים לחומרים אי-אורגניים שנקלטים על ידי הצמחים, וחוזר חלילה.

לסיכום

מחזור החנקן הוא מורכב מאוד, אבל באופן עקרוני מתקיים בו מחזור של חומרים אורגניים וחומרים אי-אורגניים ולהפך, כפי שקורה במחזור הפחמן ובמחזור החומרים בטבע באופן כללי.

