تأثير مكوّنات النباتات في السقوف الخضراء على وتيرة تثبيت ثاني أكسيد الكربون

تمّ إعداد المقال من הראל אגרא, תמיר קליין, עמיאל וסל, ג'ונג'יבר קדס וליאון בלאושטיין. השפעת הרכב הצמחייה על קצב קיבוע פחמן בגגות ירוקים. מתוך *אקולוגיה וסביבה* 7(3), אוקטובר 2016. עמ' 252-251.

مقدمة

متنزه مدينة "نشر"، مثال للطبيعة المدنية (مساحة خضراء في المدينة)

طرأت في السنوات الأخيرة عمليّة تنمية وتطوّر في المدن، ونتيجة لذلك تغيّرت غاية المساحات المفتوحة داخل المدينة (التي تشمل مناظر طبيعية مثل: أقسام غابات، حدائق ومتنزهات ثانوية) إلى مناطق مدنية تشمل بنايات، أرصفة وشوارع. هناك تأثير ضار لتقليص هذه المساحات المفتوحة داخل المدينة على المجتمع وعلى البيئة المحيطة:

1. تعمل المساحات المفتوحة كـ "رئة خضراء" للمدينة ، لأن النباتات تستوعب ثاني أكسيد الكربون المنبعث من المرْكَبات وتُطلق أكسجين إلى الهواء. تساعد هذه المساحات المفتوحة على تنقية الهواء في المدينة.
2. الاستجمام – تُتيح المساحات المفتوحة، في المدينة، للسكان أن يقوموا بنشاطات رياضيّة، أن يتنزهوا، يحتفلوا وغير ذلك.
3. تُتيح المساحات المفتوحة لمياه الأمطار التغلغل في التربة.
4. تُتيح المساحات المفتوحة، في المدينة وفي الطبيعة المدنية بشكل خاص، الحفاظ على الثروات الطبيعية والمناظر الطبيعية.

على الرغم من أهمّيّة المساحات المفتوحة داخل المدينة، إلّا أنّها تقل تدريجيًّا داخل مدن كثيرة في العالَم، لأنّ هذه المدن تكبر وهي بحاجة إلى هذه الأراضي للاستعمالات مختلفة. مساحة إسرائيل صغيرة ومعظم سكانها مدنيون يعيشون في مركز البلاد. انتشار مساحات البناء في هذه المنطقة سريع جدًّا، لذا تقل المساحات المفتوحة في المدن ومن حولها تدريجيًّا. على الرغم من ذلك، يزداد الوعي، في إسرائيل، في السنوات الأخيرة إلى أهمّيّة المساحات المفتوحة وإلى الحفاظ عليها.

تُعتبر "السقوف الخضراء" إحدى الطرق لمواجهة انخفاض المساحات المفتوحة في المدن. السقوف الخضراء ("سقوف الحياة") هي سقوف مغطاة بوسط نمو وبنباتات ملائمة. في السنوات الأخيرة تمّ جمع معلومات كثيرة عن مساهمة السقوف الخضراء في مجالات متنوعة، مثل: العزل الحراري للبنايات والتوفير في الطاقة، امتصاص وتصريف مياه الأمطار والتنوّع البيولوجي في المدن.

قاموس المصطلحات

مساحات مفتوحة: مساحات غير مبنية.

سقوف خضراء: تُستخدم مساحات السقوف لتنمية النباتات.

تنوّع بيولوجي: تنوّع بيولوجي (جينات، أنواع وأنظمة بيئية) على سطح الكرة الأرضيّة.

صورة توضيحية للسقوف الخضراء

نُجيب بعد القراءة:

1. **أشيروا إلى الكلمات المرتبطة بمصطلح "مساحات مفتوحة":** بنايات سكن / حدائق عامة / شوارع / مراكز تجارية / جادة طريق / متنزهات / الطبيعة المدنية

2. **לماذا نسمّي، عادة، المساحات المفتوحة داخل المدن "رئة خضراء"؟**
3. **اشرحوا كيف تُتيح المساحات المفتوحة استغلال مياه الأمطار؟**
4. **لماذا تقل المساحات المفتوحة في المدن؟**
5. **ما هي حسنات المساحات المفتوحة؟**
6. **هل تشكّل السقوف الخضراء، حسب رأيكم، حلًّا للمشاكل الناجمة نتيجة لانخفاض المساحات المفتوحة؟**

سؤال البحث

على الرغم من الحسنات التي ذُكرت في المقدمة بشأن السقوف الخضراء، إلّا أنّ هناك نقص بالنسبة لمساهمتها في تثبيت ثاني أكسيد الكربون في عملية **التركيب الضوئي** وفي تقليل تركيز ثاني أكسيد الكربون في الهواء. تتميّز المدن بمستويات عالية، نسبيًّا، في ثاني أكسيد الكربون في الهواء. لذا، اختار الباحثون أن يقيسوا وتيرة تثبيت ثاني أكسيد الكربون في السقوف الخضراء التي تحتوي على طبقة دقيقة من وسط النمو. يمكن بناء ذلك على معظم البنايات الموجودة في المدينة، وهي تحتاج إلى صيانة قليلة، لذا فهي شائعة الاستعمال. تمّ في هذا البحث قياس مكوّنات النباتات المختلفة على وتيرة تثبيت ثاني أكسيد الكربون كي نفحص أنواع النباتات المناسبة لتقليل ثاني أكسيد الكربون في الهواء.

نُجيب بعد القراءة:

7. **لماذا تتميّز المدن بمستويات عالية، نسبيًّا، في ثاني أكسيد الكربون في الهواء؟**
8. **اقترحوا 3 طرق مختلفة، على الأقل، لتقليل تركيز ثاني أكسيد الكربون في الهواء في المدن.**
9. **افترضوا – ما الذي يميّز النباتات المناسبة للنمو على السقوف؟**
10. **افترضوا – لماذا نتوقع أن يكون فرق في تثبيت ثاني أكسيد الكربون بين أنواع النباتات المختلفة؟**
11. **ما هو المتغيّر المتعلق في البحث وما هو المتغيّر المستقل؟**

طُرق البحث

السدم

<u>أنواع قِطع النباتات (هي قِطع من سقف البناية أُعِدّت لتنمية النباتات) :</u>

أ. قطعة نباتات حوليّة من أنواع وعائلات مختلفة.

ب. قطعة نباتات أوراقها سميكة عصارية متعدّدة السنوات، اسمها السدم الطويل (*Sedum sediforme*).

ت. قطعة نباتات تحتوي على نباتات حوليّة ونبتة السدم.

ث. قطعة ضابطة (دون نباتات).

في قِطع النباتات الحوليّة تمّ زرع خليط، من البذور المتجانسة، يحتوي على 1,000 بذرة تقريبًا لـ 20 نوع من أنواع النباتات الحوليّة المحليّة، مثل: النفل النجمي (*Trifolium stellatum*)، النفل الأرجواني (*Trifolium purpureum*)، أقحوان تاجي (*Chrysanthemum coronarium*)، الصمعاء (*Stipa capensis*)، رقمة طرية (*Erodium malacoides*)، شعر الأرنب (*Lagurus ovatus*)، سيلينة مصرية (*Silene aegyptiaca*).

في قِطع نباتات السدم تمّ غرس 36 نبتة من نبتة السدم بتوزيع متجانس، وقد كانت النباتات متساوية الكبر تقريبًا.

تمّ فحص تأثير مكوّنات النباتات على وتيرة تثبيت ثاني أكسيد الكربون بواسطة مقياسين:

أ. **وتيرة تثبيت الكربون في الأوراق (وتيرة عمليّة التركيب الضوئيّ)** – تمّ قياس وتيرة التثبيت في أوراق أنواع النباتات، في جميع القطع، بمساعدة جهاز قياس خاصّ. تمّ القياس خلال أربعة أيام مختلفة، في شهر فبراير/ شباط، في شدّة إضاءة عالية، في تركيز ثاني أكسيد كربون مقداره 400 جزء في المليون وفي درجة حرارة البيئة المحيطة.

ب. تركيز ثاني أكسيد الكربون في الهواء – تمّ قياس تركيز ثاني أكسيد الكربون بواسطة مجس تمّ تعليقه على ارتفاع 50 سم فوق سطح الأرض، في مركز كلّ قطعة نباتات. تمّ قياس تركيز ثاني أكسيد الكربون خلال خمس دقائق. استمرّ كلّ قياس 3 ثوانٍ، وبلغ مُجمل القياسات 100 قياس في قطعة النباتات. هذا القياس بسيط نسبيًّا لكنه حساس للظروف الجوية.

قاموس مصطلحات

تثبيت ثاني أكسيد الكربون – استيعاب ثاني أكسيد الكربون من الهواء، وتحويله إلى مركَّب عضوي متوافر بواسطة عمليّة التركيب الضوئي والبكتيريا.

عمليّة التركيب الضوئي – عمليّة إنتاج موادّ عضويّة من موادّ غير عضويّة (ثاني أكسيد الكربون الذي يستوعبه النبات من الهواء، والماء الذي يستوعبه النبات بواسطة الجذور) بمساعدة الطاقة الضوئيّة التي يستوعبها النبات (بواسطة كلوروفيل).

نباتات حوليّة - نباتات تُكمل دورة حياتها خلال موسم نمو واحد.

أسئلة بعد القراءة:

12. كم إعادة نُفِّذت في التجربة؟ لماذا يجب تنفيذها ؟

13. ما هي القطعة الضابطة في التجربة؟ ما أهمّيّة تنفيذ القطعة الضابطة؟

14. لماذا نفّذ الباحثون التجربة في شدّة إضاءة عالية؟

15. ما هي العوامل الثابتة التي تمّ الحفاظ عليها في التجربة؟ ولماذا تمّ الحفاظ على هذه العوامل؟

نتائج

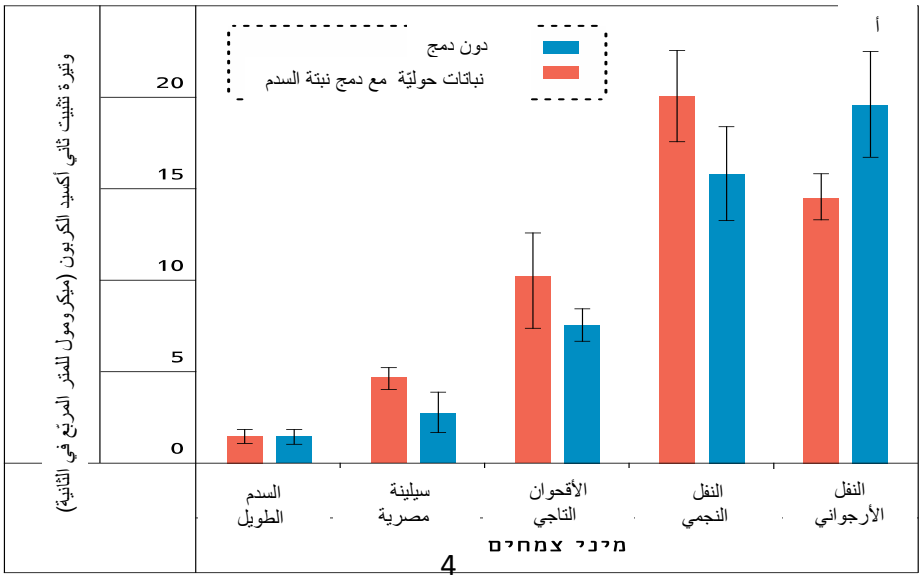
وتيرة عمليّة التركيب الضوئي في الأوراق

وُجد تباين في وتيرة تثبيت ثاني أكسيد الكربون في النباتات المختلفة (الرسم البياني 1):

- تمّت عمليّة التركيب الضوئي بوتيرة عالية (15–20 ميكرومول للمتر المربّع في الثانية) في النفل النجمي (*Trifolium stellatum*) وفي النفل الأرجواني (*Trifolium purpureum*)،
- تمّت عملية التركيب الضوئي بوتيرة متوسطة (8–12 ميكرومول للمتر المربّع في الثانية) في الأقحوان التاجي (*Chrysanthemum coronarium*)، الصمعاء (*Stipa capensis*) وفي الرقمة الطرية (*Erodium malacoides*)،
- تمّت عمليّة التركيب الضوئي بوتيرة منخفضة (4–6 ميكرومول للمتر المربّع في الثانية) في شعر الأرنب (*Lagurus ovatus*) وفي سيلينة مصرية (*Silene aegyptiaca*).
- وُجد أقل قياس في وتيرة عمليّة التركيب الضوئي لدى السدم (1.5 ميكرو مول للمتر المربّع في الثانية)

عندما أُجريت مقارنة بين قِطع نباتات دون دمج نباتات أخرى وقطع نباتات حوليّة مع دمج نبتة السدم وُجدت فروق في وتيرة تثبيت ثاني أكسيد الكربون: لم يكن تأثير العلاج واضح في مستوى النوع، هذا يعني أن هناك أنواع ثبتت كمية عالية من ثاني أكسيد الكربون في قِطعة النباتات التي تمت معالجتها بواسطة دمج نباتات حولية مع نبتة السدم (مثلًا: النفل الأرجواني)، وهناك أنواع ثبتت كمية عالية من ثاني أكسيد الكربون دون نبتة السدم (مثلًا: النفل الأرجواني). لكن بودنا أن نشير إلى نبتة السدم تُثبت الكربون في مسار نسمّيه CAM (Crassulacean Acid Metabolism)، هذا يعني أنّ النبات يستوعب ثاني أكسيد الكربون في الليل ويُنفّذ عمليّة التركيب الضوئي في النهار، لذا فمن المتوقع أن يتمّ تثبيت كمّيّة كربون عالية في ساعات الليل، ولم يتمّ قياسها في هذه التجربة.

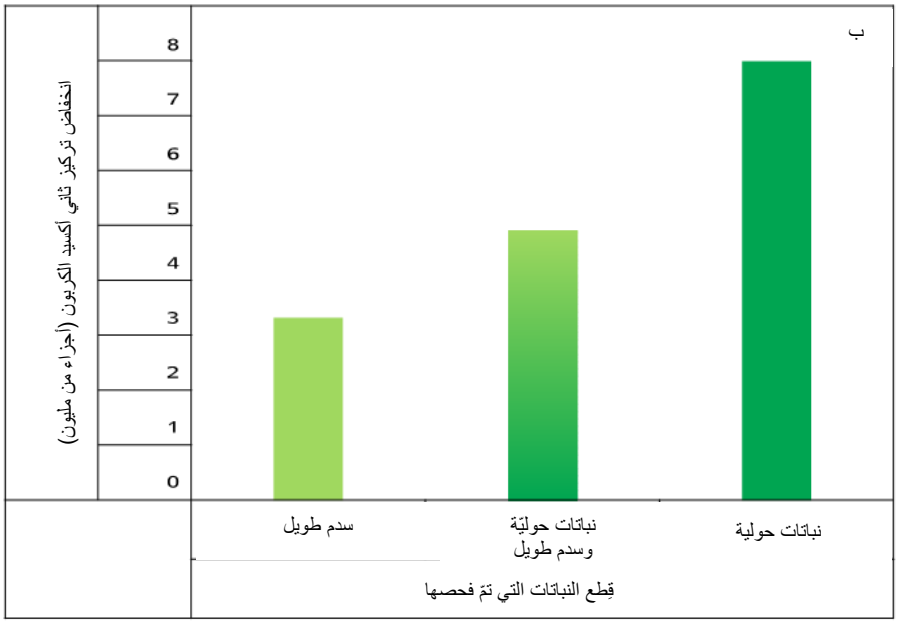
الرسم البيانيّ 1 – وتيرة تثبيت ثاني أكسيد الكربون في خمسة أنواع مختارة، في قطع نباتات مع دمج ودون دمج.



ترکيز ثاني أكسيد الكربون في الهواء

أثرت السقوف الخضراء على ترکيز ثاني أكسيد الكربون داخل قطعة النباتات. ووفقًا لفرضيتنا، كان ترکيز ثاني أكسيد الكربون في قِطع النباتات الحولية والسدم أقلّ ممّا كان في القطع دون النباتات (الرسم البيانيّ 2). أظهر تحليل النتائج أنّ هناك تأثير متبادلة بين نبتة السدم والنباتات الحوليّة: كان تأثير النباتات الحولية على ترکيز ثاني أكسيد الكربون أكبر دون وجود نبتة السدم.

الرسم البيانيّ 2: انخفاض ترکيز ثاني أكسيد الكربون في العلاجات المختلفة



نُجيب بعد القراءة:

16. الرسم البيانيّ 2 يعرض 3 علاجات من بين 4 علاجات مختلفة تمّ تنفيذها.

أ. اشرحوا ما هي العلاجات المختلفة؟

ب. ما هو العلاج الذي لم يُذكر في الرسم البيانيّ 2؟ افترضوا لماذا لم يتمّ عرض هذا العلاج في الرسم البيانيّ؟

17. **إذا أردتِ/تِ بناء سقف أخضر على سطح بيتك لتقليل ترکيز ثاني أكسيد الكربون، أي نبتة تختار من بين النباتات المفحوصة؟ هل من الأفضل دمج نباتات حولية مع نبتة السدم؟**

18. **لو تمّ قياس ثاني أكسيد الكربون في الليل، كيف تتغيّر النتائج، حسب رأيكم؟ تطرّقوا في إجاباتكم إلى السدم وإلى أحد أنواع النباتات الحوليّة.**

19. افترضوا – ما أفضلية تثبيت الكربون في الليل؟

20. لو نفّذتم أنتم بأنفسكم التجربة، هل تختارون نبتة السدم؟ علّلوا.

استنتاجات

تُثبت النباتات الحوليّة وأنواع النفل المختلفة الكربون بشكل كبير، لكن تنتهي دورة حياتها مع انتهاء موسم الأمطار، لذا هناك مشكلة جمالية، في المنظر، عندما نستعملها في السقوف الخضراء. السدم تبقى خضراء كلّ السنة دون الحاجة إلى الصيانة والري، لذا فهي مثالية للاستعمال في السقوف الخضراء وفي ظروف المناخ الإسرائيلي بشكل خاصّ. لكن حسب مشاهداتنا، عندما نأخذ بالحسبان اعتبارات تثبيت الكربون ومساهمتها في تقليل ظاهرة الدفيئة، استعمال نبتة السدم بشكل منفصل أو دمجها مع النباتات الحوليّة ليس الأمثل. إذا أردنا أن يتمّ تثبيت الكربون بشكل كبير خلال السنة، يجب أن نضيف إلى السقوف التي تعتمد على نبتة السدم قطع نباتات حوليّة منفردة كالنفل النجمي، لأنّها تُثبت الكربون بشكل كبير. بالإضافة إلى ذلك، يجب أن نأخذ بالحسبان إضافة نباتات معمرّة (متعدّدة السنوات) قادرة على الصمود في الجفاف وقادرة على تثبيت الكربون بمستوى أعلى من 2 ميكرومول للمتر المربع في الثانية، في ساعات النهار التي تحدُث فيها ذروة انبعاث ثاني أكسيد الكربون في المدينة.

نُجيب بعد القراءة:

21. اذكروا حسنة وسيئة في استعمال نباتات النفل والسدم في السقوف الخضراء (واحدة لكلّ نوع، المجموع 4).

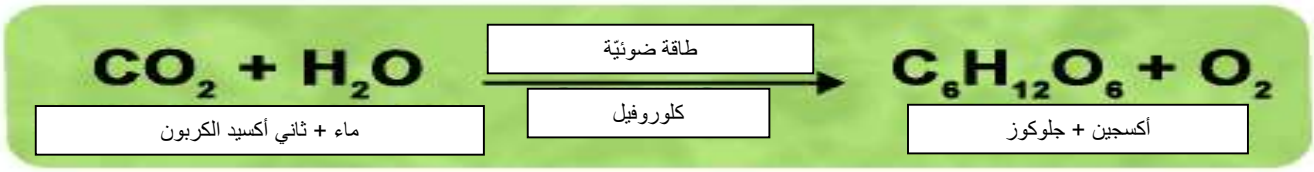
22. افترضوا، لماذا يدّعي الباحثون أنّ ذروة انبعاث ثاني أكسيد الكربون في المدينة في ساعات النهار؟

23. اتضح من استنتاجات البحث أنّه "يجب أن نأخذ بالحسبان استعمال أنواع متعدّدة السنوات إضافيّة قادرة على الصمود في الجفاف وقادرة على تثبيت الكربون بمستوى أعلى من 2 ميكرومول للمتر المربّع في الثانية. خططوا تجربة أخرى لفحص هذا الادّعاء.

פעّاليّة إثراء

عمليّة التركيب الضوئيّ

النباتات كائنات حيّة تتنفس كلّ حياتها كسائر النباتات الحيّة، بالإضافة إلى عمليّة التنفس تتمّ فيها عمليّة أخرى نسمّيها عمليّة التركيب الضوئي. عمليّة التركيب الضوئي هي عمليّة يتمّ فيها إنتاج موادّ عضوية من موادّ غير عضوية (ثاني أكسيد الكربون الذي تستوعبه النباتات من الهواء، وماء تستوعبه النباتات بواسطة جذورها) بمساعدة الطاقة الضوئيّة التي يستوعبها النبات (بواسطة الكلوروفيل). بما أنّ مصدر الطاقة لعمليّة التركيب الضوئي، في الطبيعة، هو أشعة الشمس، لذا تستطيع أن تتمّ عمليّة التركيب الضوئي في الطبيعة في ساعات النهار. نواتج عمليّة التركيب الضوئي هي مادّة عضويّة – سكر (جلوكوز) والأكسجين المنبعث إلى البيئة المحيطة. يمكن تلخيص عمليّة التركيب الضوئي بواسطة الصيغة التالية:



تتمّ عمليّة التركيب الضوئيّ في الكائنات الحيّة التي تحتوي على كلوروفيل كالنباتات الخضراء التي تعيش في اليابسة والطحالب وفي بكتيريا معينة نسمّيها بكتيريا زرقاء. جميع هذه الكائنات تُنْتِج المادّة العضويّة، نجد المُنْتِجات في قاعدة كلّ سلسلة غذائيّة وفي كل هرم غذائي في الطبيعة.

قاموس المصطلحات

مادّة عضوية – مركَّب يحتوي على كربون وهيدروجين وفي معظم الحالات على أكسجين، مثلًا: الكربوهيدرات والدهنيات. إنتاج المركَّبات العضوية في الطبيعة مرتبط بنشاط الكائنات الحيّة.

مادّة غير عضوية – جميع الموادّ في الطبيعة التي ليست من مركَّبات الكربون والهيدروجين، مثل: العناصر، الأملاح، ثاني أكسيد الكربون وماء.

نُجيب بعد القراءة:

1. **من المعروف أنّ ثاني أكسيد الكربون ينطلق إلى الغلاف الجوي خلال عمليّة التنفس. على الرغم من ذلك يبقى تركيز ثاني أكسيد الكربون، في الغلاف الجوي، ثابتًا تقريبًا. لماذا؟**
2. **ما هي الأهمّيّة الأساسيّة لعمليّة التركيب الضوئي؟**
3. **كيف تتغيّر مكوّنات الغلاف الجوي إذا توقفت عمليّة التركيب الضوئي في النباتات؟**
4. **كيف يمكن قياس شدّة عمليّة التركيب الضوئي؟ اقترحوا طريقتين مختلفتين.**
5. **كيف يؤثّر بناء السقوف الخضراء على تركيز ثاني أكسيد الكربون؟**

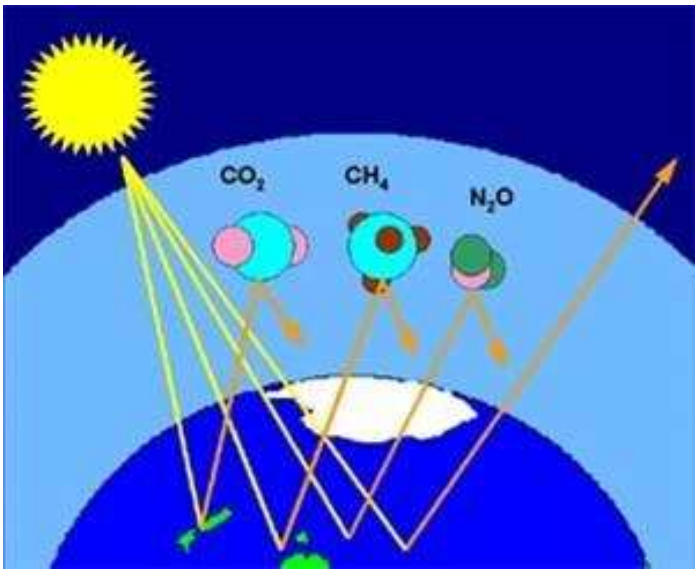
للتعرُّف على تأثير السقوف الخضراء على عمليّة التركيب الضوئي نُنفِّذ تجربة تفحص تأثير كمّيّة الأوراق على شدّة عمليّة التركيب الضوئيّ (ملحق).

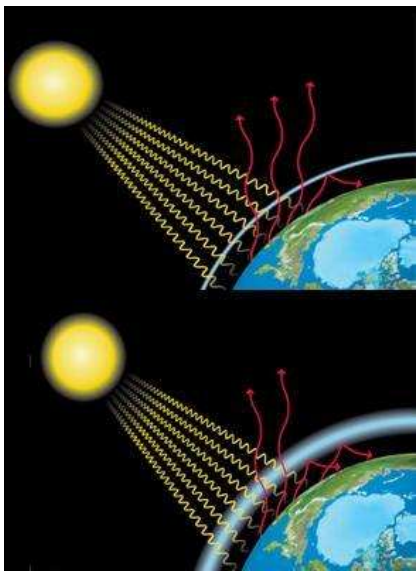
عمليّة التركيب الضوئي وظاهرة الدفيئة

يحتوي الغلاف الجوي على غازات مختلفة تبتلع الأشعة بأطوال أمواج مختلفة. نسمّي الغازات التي تبتلع الأشعة الحرارية بشكل كبير "غازات الدفيئة". تمنع غازات الدفيئة الأشعة الحراريّة المنبعثة من الكرة الأرضية أن تعود إلى الفضاء، كما تعمل جدران الزجاج في الدفيئة. يؤدّي ازدياد تركيز غازات الدفيئة إلى ازدياد كمّيّة الحرارة المنعكسة إلى الكرة الأرضيّة، ونتيجة لذلك تسخن الكرة الأرضيّة. يؤدّي نشاط الإنسان إلى ازدياد ظاهرة الدفيئة الطبيعية.

غاز الدفيئة الشائع هو بخار الماء. غازات الدفيئة الأخرى الموجودة في الغلاف الجوي هي: ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، ميثان (CH_4)، أوزون (O_3) ، NO_2 .

ينبعث ثاني أكسيد الكربون (CO_2) خلال عمليّة تنفس الكائنات الحيّة وفي عمليّات احتراق الوقود الأحفورية (الفحم، النفط ومنتجاته، الغاز الطبيعي) التي يزداد استعمالها بشكل واسع. منذ الثورة الصناعية (1750) ازدادت نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بمقدار 12% نتيجة لنشاط الإنسان، ويقدر الباحثون أن تزداد نسبته بمقدار 50% حتى سنة 2050. هذا الغاز هو غاز الدفيئة، وهو مسؤول عن حوالي 55% من ظاهرة الدفيئة. ينبعث الميثان في عمليّات احتراق الوقود وفي عمليّات تعفن الروث العضوي الذي يحدُث بواسطة نشاط البكتيريا.





نُجيب بعد القراءة:

1. **هل ظاهرة الدفيئة ضروريّة لحياتنا على سطح الكرة الأرضيّة؟ علّلوا.**
2. **اذكروا ثلاثة عوامل تؤثّر على ازدياد ظاهرة الدفيئة على الكرة الأرضيّة.**
3. **اذكروا ثلاثة حلول ممكنة لتقليص الظاهرة.**
4. **كيف تؤثّر النباتات على ظاهرة الدفيئة؟ اشرحوا إجاباتكم.**

<u>תגרבה: تأثير كمّيّة الأوراق على شدّة عمليّة التركيب الضوئيّ</u>

(تمّ إعدادها حسب امتحان البجروت العملي في البيولوجيا بمستوى 3 وحدات تعليميّة 2007، مشكلة رقم 3)

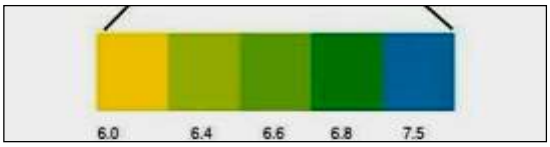
نفحص في هذه التجربة عمليّة التركيب الضوئيّ التي تحدُث في أوراق نبتة البقدونس.

<u>أدوات وموادّ:</u>

1. كيس بلاستيك شفاف مع 24 ورقة بقدونس متساوية الكبر (يتمّ تحضيرها في يوم العمل في المختبر).
2. أربعة أنابيب اختبار عادية + 4 أغطية.
3. كاشف أزرق بروموثيمول.
4. ماصة 10 مليلتر.
5. ماصة باستور.
6. قشة للشرب.
7. ورقة بيضاء.
8. حامل أنابيب.
9. مصباح طاولة مع لمبة 100 واط.
10. قلم توش غير قابل للمحو للكتابة على الزجاج.

<u>مبدأ القياس</u>

الأزرق بروموثيمول هو كاشف لونه أزرق في وسط محيط قاعدي وأصفر في وسط محيط حامضي. CO_2 المذاب في الماء يُنْتِج حامض الكربونيك. يستوعب النبات في عمليّة التركيب الضوئي CO_2 من المحلول، لذا ينخفض مستوى حامض الكربونيك في المحلول. يعبر التغيير في تركيز حامض الكربونيك، في المحلول، عن كمّيّة ثاني أكسيد الكربون CO_2 التي تُستهلك في عمليّة التركيب الضوئي.



كلّما كان المحلول حامضي أكثر (في هذه التجربة تركيز ثاني أكسيد الكربون أعلى) يكون اللون أصفر. لكن كلّما كان المحلول قاعدي أكثر يكون اللون أزرق – أخضر.

نضيف في هذه التجربة عدد مختلف من أوراق البقدونس إلى المحلول الغني بثاني أكسيد الكربون CO_2. نقارن بين اللون الابتدائي للمحلول ولونه في نهاية التجربة، وهكذا نعرف ما إذا كان ارتفاع في تركيز ثاني أكسيد الكربون في المحلول، أو انخفاض أو أنّه بقي دون تغيير.

<u>سير العمل:</u>

القسم أ – تحضير محلول غني بثاني أكسيد الكربون CO_2 (بواسطة الزفير)

أ. اختاروا أنبوبة اختبار، وسجّلوا عليها محلول غني بثاني أكسيد الكربون. صبوا في الأنبوبة 50 مليلتر مياه مقطرة.

ب. اختاروا ماصة باستور وسجّلوا عليها بروموثيمول. أضيفوا بمساعدة ماصة باستور 25 قطرة من الكاشف أزرق بروموثيمول إلى داخل أنبوب الاختبار الذي يحتوي على المياه المقطرة.

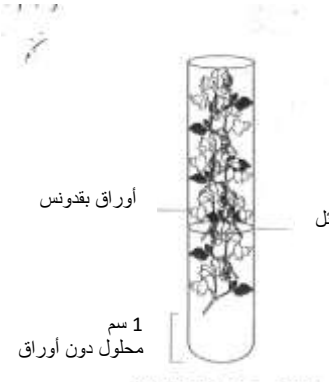
ת. הזרו الأنبوب ببطء لخلط المحلول.

ث. اغمسوا قشة الشرب في المحلول وازفروا عبرها لمدّة 45 ثانية. احذروا: لا تستنشقوا المحلول.

ج. هزوا الوعاء حتّى يتغيّر لون المحلول إلى أخضر.

ح. ازفروا مرّة أخرى (3-2 مرات) حتّى يصبح لون المحلول أصفر.

القسم ب – تحضير نظام التجربة (يجب تحضير 4 مرات، 3 مرات لكلّ علاج، ومرّة واحدة للمجموعة الضابطة)



الرسمة 1: أنبوب اختبار

1. اختاروا ماصة 10 ملليلتر، سجّلوا عليها ثاني أكسيد الكربون.
2. أمامكم 4 أنابيب اختبار فارغة، اكتبوا "1" على الأنبوب الأول، "2" على الأنبوب الثـ وَ "3" على الأنبوب الثالث. اكتبوا مجموعة ضابطة على الأنبوب الرابع. لا تضيف أوراقًا إلى هذا الأنبوب.
3. أدخلوا بواسطة الماصة، التي سجّلتم عليها ثاني أكسيد الكربون، 10 ملليلتر من المحلول الغني بثاني أكسيد الكربون CO_2 (الذي تمّ تحضيره في المرحلة أ).
4. أدخلوا 4 أوراق بقدونس إلى الأنبوب رقم "1"، الواحدة تلو الأخرى، كي لا تكون فوق بعضها بكثافة. يمكن الاستعانة بمسواك من خشب. أدخلوا الأوراق حتى ارتفاع 1 سم عن أسفل أنبوب الاختبار (انظروا الرسمة 1). اغلقوا أنبوب الاختبار بشكل جيد بواسطة غطاء.
5. أدخلوا 8 أوراق بقدونس إلى الأنبوب رقم "2"، الواحدة تلو الأخرى، كي لا تتراكم فوق بعضها. يمكن الاستعانة بمسواك من خشب. أدخلوا الأوراق حتّى ارتفاع 1 سم عن أسفل أنبوب الاختبار (انظروا الرسمة 1). اغلقوا أنبوب الاختبار بشكل جيد بواسطة غطاء.
6. أدخلوا 12 ورقة بقدونس إلى الأنبوب رقم "3"، الواحدة تلو الأخرى، كي لا تكون فوق بعضها بكثافة. يمكن الاستعانة بمسواك من خشب. أدخلوا الأوراق حتّى ارتفاع 1 سم عن أسفل أنبوب الاختبار (انظروا الرسمة 1). اغلقوا أنبوب الاختبار بشكل جيد بواسطة غطاء.
7. ضعوا الأنابيب على ورقة بيضاء على الطاولة.
8. ضعوا المصباح إلى جانب الأنابيب بحيث يكون البُعد بين المصباح والأنابيب 15 سم تقريبًا.
9. شغلوا المصباح. اكتبوا توقيت بداية التجربة: _____. انتظروا 15 دقيقة.
10. بعد مرور 15 دقيقة من بداية التجربة، اخلطوا محتوى الأنابيب جيدًا بواسطة قلبها عدّة مرات، ثم اغلقوا المصباح.
11. سجّلوا، في الجدول، لون السائل في كلّ أنبوب.

הأنبوب	عدد أوراق البقدونس	لون المحلول في بداية التجربة	لون المحلول بعد مرور 15 دقيقة
1			
2			
3			
4			

أسئلة في أعقاب التجربة

1. ما هو المتغير المستقل في التجربة؟ بأيّ طريقة غيّرتم هذا المتغيّر؟
2. ما هو المتغيّر المتعلق في التجربة؟ كيف قستم هذا المتغيّر؟
3. ما هي العمليّة التي تمّ فحصها في التجربة؟ وما هو الغاز المُستهلك في العمليّة؟
4. ما الاستنتاج من نتائج التجربة؟