पोटोमीटर के साथ मेरे कुछ अनुभव

किशोर पंवार

मिट्टी से पानी पौधे के सबसे दूर के भागों तक कैसे पहुँच पाता है? और कितनी तेज़ी से पहुँचता है? पोटोमीटर नामक एक उपकरण के ज़रिए इन सवालों की खोज की जा सकती है। लेकिन पारम्परिक पोटोमीटर महँगे होते हैं और उनका सेट-अप भी कठिन होता हैं। इन्हें कम लागत का कैसे बनाएँ ताकि विद्यार्थियों को प्रयोग करने के लिए प्रोत्साहित हों?

मिट्टी से पौधे के हर अंग तक पानी का संचरण पादप कार्यिकी का एक अनिवार्य पहलू है। यह प्रवाह पत्तियों की सतह से वाष्पोत्सर्जन द्वारा पानी गँवाने से संचालित होता है (**बॉक्स-1** देखें)। जितनी तेज़ी से वाष्पोत्सर्जन होगा, उतनी ही तेज़ी से पौधे के शरीर में से पानी का प्रवाह होगा। क्या वाष्पोत्सर्जन की गति का आकलन करना सम्भव है? क्या वातावरणीय घटक इस गति को प्रभावित करते हैं? इन सवालों की खोजबीन पोटोमीटर नामक एक ख़ास उपकरण के माध्यम से की जा सकती है।

पोटोमीटर काम कैसे करता है? यह तो हम जानते हैं कि पौधा एक समयावधि में मिट्टी से जितना पानी सोखता है वह वाष्पोत्सर्जन के कारण उसी अवधि में गँवाए जाने वाले पानी की मात्रा के लगभग बराबर होता है (**बॉक्स-2** देखें)। पोटोमीटर वाष्पोत्सर्जन की गति का आकलन अप्रत्यक्ष रूप से करता है - एक पत्तीदार टहनी द्वारा पानी लेने की गति का मापन करके।

आम पोटोमीटर

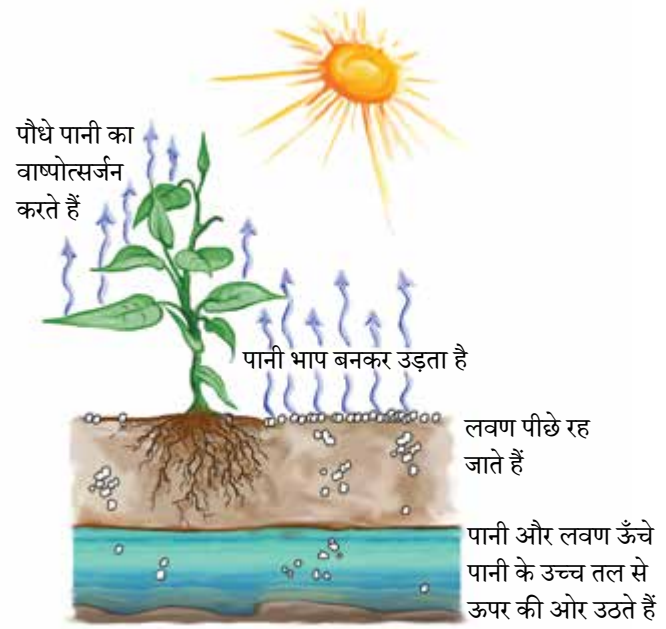
सामान्यतः तीन प्रकार के पोटोमीटर उपलब्ध हैं - डार्विन, फार्मर और गेनाँग (ये नाम उन वैज्ञानिकों के नाम पर हैं जिन्होंने इन्हें डिज़ाइन करके पहली बार उपयोग किया था)। इन तीनों में ही रबर कॉर्क

बॉक्स-1 : वाष्पोत्सर्जन के अध्ययन की क्या आवश्यकता है ?

किसी भी पौधे का बड़ा हिस्सा पानी का बना होता है। उदाहरण के लिए, जलीय पौधे का 98%, मांसल ज़मीनी पौधे का 95% और काष्ठीय ज़मीनी पौधे का 80% हिस्सा पानी का बना होता है। आश्चर्यजनक रूप से, अवलोकनों द्वारा यह पता चलता है कि पौधों की जड़ों द्वारा अवशोषित पानी में से केवल लगभग 2-3% पानी ही भोजन के संश्लेषण, विकास और पाचन जैसी जैविक प्रक्रियाओं के लिए खर्च होता है। शेष 97-98% पानी वाष्प के रूप में बरबाद होता है, मुख्यतः पत्तियों से। पानी के वाष्प के रूप में पौधे के हवाई अंगों (जैसे पत्तियों) की सतह पर उपस्थित छोटे रन्ध्रों (स्टोमैटा) द्वारा ह्रास होने की प्रक्रिया वाष्पोत्सर्जन कहलाती है।

वाष्पोत्सर्जन से पौधे की जैविक प्रक्रियाओं के लिए आवश्यक संसाधनों का पुनर्भरण होता है। पौधों में स्टोमैटा प्रायः पानी वाहक ऊतकों के लगभग छोर पर होते हैं। इस कारण से जल वाष्प का इन रन्ध्रों से ह्रास होने पर नलीनुमा वाहक ऊतकों में निर्वात पैदा हो जाता है। इससे जड़ों से आने वाले पानी व उसमें घुले खनिजों (प्रकाश-संश्लेषण के लिए आवश्यक कुछ घटक) का क्लोरोप्लास्ट युक्त कोशिकाओं तक (भले ही वे पौधे के सबसे ऊपरी सिरे पर हों) तेज़ गति से संचरण होता है (**चित्र-1** देखें)।

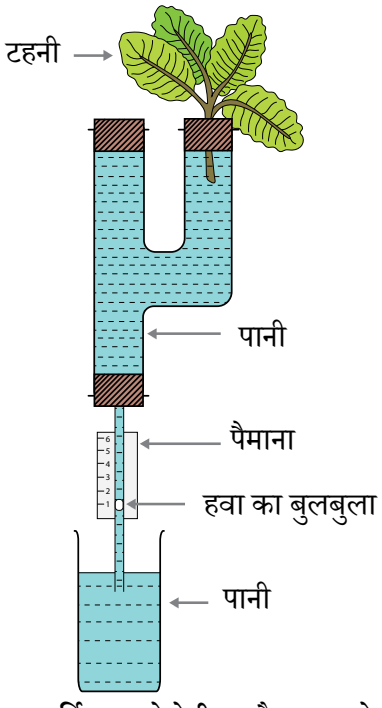
इसके अलावा, यह प्रक्रिया जल चक्र का निर्वाह करने में एक महत्त्वपूर्ण भूमिका निभाती है। जल चक्र में वापस आने वाले पानी में इसका 10% योगदान होता हैं।[1] वनरक्षक पीटर वोलेबेन के मुताबिक, ''...समुद्र से दूरी वाले क्षेत्रों में बादलों के निर्माण का श्रेय पौधों से होने वाले वाष्पोर्जत्सन को दिया जा सकता है...।''[2] दिलचस्प बात यह है कि वातावरणीय



चित्र 1 : वाष्पोत्सर्जन पौधे के प्रत्येक अंग में से पानी के संचरण को संचालित करता है।

Credits: s gendera. URL: https://www.flickr.com/photos/sgendera/8058464569. License: CC-BY.

घटक, जैसे- तापमान, हवा, प्रकाश और नमी वाष्पोत्सर्जन के गति को प्रभावित कर सकते हैं जिसके परिणामस्वरूप प्रकाश-संश्लेषण और पानी अवशोषण की दरें भी प्रभावित हो सकती हैं। इसलिए वाष्पोत्सर्जन की दर के अध्ययन का कृषि और जल प्रबन्धन से महत्त्वपूर्ण सम्बन्ध है।



चित्र-3 : डार्विन का पोटोमीटर और उसका सेट-अप

Adapted from: https://www.biologydiscussion.com/experiments/top-13-experiments-on-transpiration-plants/56605.

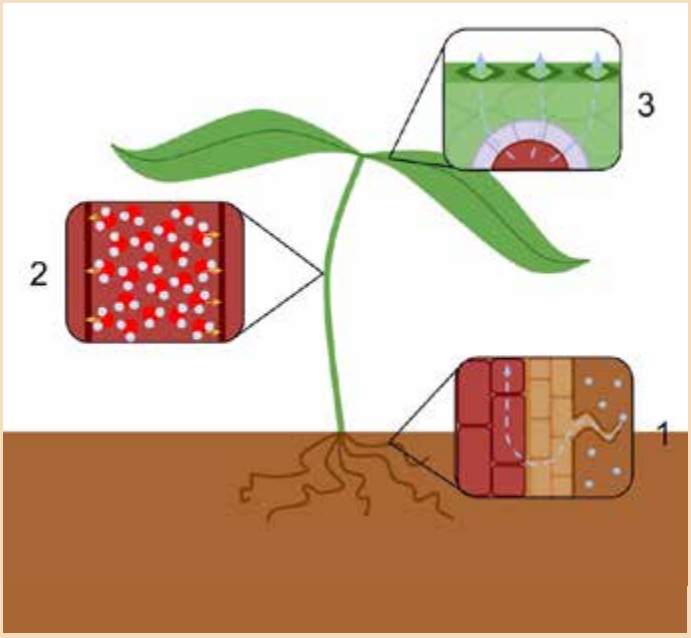
(cork) लगी काँच की नलियाँ होती हैं।

1. डार्विन का पोटोमीटर : तीनों प्रकारों में यह सबसे सरल है। इसमें कॉर्क वाली काँच की एक सीधी नली के साथ एक तरह की U-नलिका जुड़ी होती है। सीधी नली के तल में एक केशिका नली कॉर्क की मदद से लगाई जाती है। 15 सेंटीमीटर का एक पैमाना केशिका नली पर बँधा होता है। यह पूरी रचना पानी भरे हुए एक पात्र में इस तरह से रखी जाती है कि केशिका नली पानी में थोड़ी-सी डूबी रहे। पानी भरने के साथ ही यह उपकरण तैयार हो जाता है। बाजूवाली नली के कॉर्क के एकल छिद्र में किसी पौधे की एक ताज़ी कटी हुई टहनी घुसा दी जाती है। टहनी द्वारा पानी ऊपर खींचा जाता है, और केशिका नली में पानी की ऊपर की ओर होने वाली गति को दर्ज करके वाष्पोत्सर्जन की गति का मापन किया जा सकता है (गति का अवलोकन आम तौर पर केशिका नली में एक बुलबुला प्रविष्ट करवाकर या कोई रंजक घोलकर किया जाता है)। चूँकि इस पोटोमीटर में प्रत्येक कॉर्क एकल छिद्र वाला है इसलिए पानी के रिसाव की गुंजाइश न्यूनतम होती है। अलबत्ता, इस उपकरण को ब्यूरेट स्टैंड के आधार की ज़रूरत होती है। फिर भी बड़े आकार की पत्तियों वाली टहनी

बॉक्स 2 : पौधे द्वारा पानी के ग्रहण और क्षति की गतियों में क्या सम्बन्ध है?

अधिकांश हरे पौधों में उनकी पत्तियाँ प्रकाश-संश्लेषण का प्रमुख स्थल होती हैं। प्रकाश-संश्लेषण पत्ती के ऊपरी और निचली सतहों के बीच स्थित कोशिकाओं के गुच्छों के भीतर घटित होता है। इन कोशिकाओं में क्लोरोफिल पाया जाता है। महीन नलिकाओं का जाल (शिरा विन्यास), कोशिकाओं तक जड़ों द्वारा मिट्टी से सोखे गए खनिज और पानी पहुँचाता है। इन कोशिकाओं के बीच हवा के अन्तराल छितराए हुए होते हैं जो वातावरण से गैसों का आदान सुलभ कर देते हैं। हवा के ये अन्तराल पत्ती की ऊपरी और निचली सतहों पर स्थित हज़ारों स्टोमैटा द्वारा खुले होते हैं। पत्ती में हवा और पानी का लगातार विसरण सम्भव बनाकर हर एक रन्ध्र प्रकाश-संश्लेषण, श्वसन और वाष्पोत्सर्जन को सम्भव बनाता है (**चित्र-2** देखें)।

वाष्पीकरण के दौरान पानी पत्ती की कोशिकाओं से वाष्प के रूप में बाहर वातावरण में निकलता है। इस कारण पत्ती की कोशिकाओं में पानी की कमी आ जाती है। इसके परिणामस्वरूप एक वाष्पोत्सर्जन खिंचाव निर्मित होता हैं जो नज़दीकी महीन शिराओं में पहुँचता है और इनके ज़रिए बड़ी और मोटी शिराओं तक और आख़िरकार पत्ती के डण्ठल (stalk) तक। खिंचाव का बल पौधे के तनों (stems) तक और आगे बढ़कर ठेठ जड़ों तक पहुँचता है। इसी खिंचाव के कारण पानी पौधे की जड़ों और तनों से होकर पत्तियों तक पहुँचता है।



चित्र-2 : पौधों की जड़ों द्वारा पानी अवशोषण की गति और पत्तियों द्वारा पानी की क्षति की गति लगभग बराबर है।

1.पानी के अणु अकर्मक ढंग से (passively) जड़ों में प्रवेश करते हैं और दारु (ज़ायलम) ऊतक (पौधों में पानी का वहन करने वाली नलिकाओं) तक पहुँचाए जाते हैं।

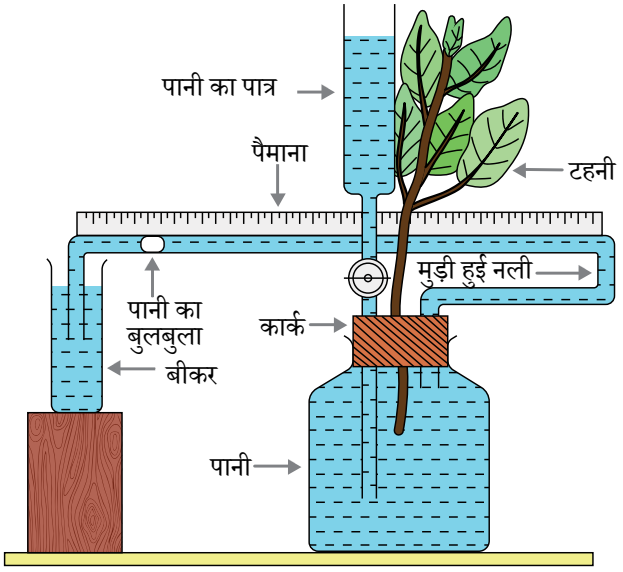
2. पानी (दो सफेद बिन्दुओं वाला लाल रंग का वृत्त, जो H_2O का प्रतीक है) के ज़ायलम में प्रवेश करने के साथ पानी के अणुओं की नलियों की दीवारों से आसंजन और आपस में ससंजन क्रिया होने से जड़ों से पौधे के सिरों तक पानी का स्तम्भ बन जाता है।

3. ज़ायलम में से पानी पत्तियों के स्पंजी ऊतक में छोड़ा जाता है जहाँ वह रन्ध्रों के सम्पर्क में आता है। रन्ध्र जब खुले होते हैं, तब इस परत की कोशिकाएँ बाहरी हवा के सम्पर्क में आ जाती हैं और वाष्पन होने लगता है। रन्ध्रों से जब पानी के अणुओं का वाष्पन हो जाता है, तब पानी के स्तम्भ में तनाव निर्माण होता है क्योंकि एक-दूसरे से जुड़े पानी के अणु एक-दूसरे को खींचते हैं। यह तनाव ज़ायलम के नीचे तक एक खिंचाव बल का निर्माण करता है जिस कारण मिट्टी में से पानी ऊपर खींचा जाता है।

उपयोग में लाने पर उपकरण लुढ़क सकता है (**चित्र-3** देखें)।

2. फार्मर का पोटोमीटर : इस पोटोमीटर में एक चौड़े मुँह वाली बड़ी बोतल होती है जिसमें तीन छेद वाला कॉर्क लगा होता है। तीन जगह पर मुड़ी हुई एक केशिका कॉर्क के तीन में से एक छेद में बिठाई होती है। 15 सेमी का एक पैमाना केशिका के एक हिस्से से जुड़ा होता है। एक कीपनुमा पात्र दूसरे छेद से जोड़ा जाता है, जिससे पानी बोतल में प्रवेश कर सकता है। किसी पौधे की एक ताज़ी कटी हुई टहनी कॉर्क के तीसरे छेद से भीतर डाली जाती है। जैसे ही यह उपकरण पानी से भरा जाता है, वाष्पोत्सर्जन की प्रक्रिया शुरू हो जाती है। जैसे ही केशिका में पानी की मात्रा कम हो जाती है, उसका निचला खुला मुँह तुरन्त छोटे बीकर में रखा जाता है। ऐसा करने से हवा का एक बुलबुला केशिका नली में प्रवेश करता है। टहनी द्वारा पानी ऊपर खींचे जाने पर बुलबुले की गति के रूप में वाष्पोत्सर्जन से होने वाली पानी की क्षति की दर का मापन किया जा सकता है। पानी की बोतल बड़ी और भारी होने के कारण गिरती नहीं है, न ही उसे किसी स्टैंड के सहारे की आवश्यकता होती है। लेकिन बोतल के कॉर्क में तीन छिद्र होने से उसे हवाबन्द रखने में कठिनाई अवश्य होती है (**चित्र-4** देखें)।

3. गेनाँग का पोटोमीटर : यह सबसे बेहतर अभिकल्पित पोटोमीटर है। इसमें दो जगह मुड़ी हुई काँच की नलिका होती है जिसकी निचली क्षैतिज भुजा पर अंशांकन (calibrations) होता है। नलिका के ऊपरी हिस्से में एक चौड़ी खुली जगह होती है जिसमें एकल छिद्र वाला रबर का एक कॉर्क लगा हुआ होता है। किसी पौधे की एक ताज़ी कटी हुई टहनी उसमें फँसाई जाती है। एक स्टॉपर युक्त पात्र ऊपरी क्षैतिज हिस्से से अंशांकित नलिका के थोड़ा पहले जोड़ा जाता है। इसका उपयोग नलिका के क्षैतिज हिस्से के भीतर प्रविष्ट किए गए हवा के बुलबुले की गति पर नियंत्रण रखने में हो सकता है। डार्विन



चित्र 4 : फार्मर का पोटोमीटर और उसका सेट-अप

Adapted from: https://www.biologydiscussion.com/experiments/top-13-experiments-on-transpiration-plants/56605.

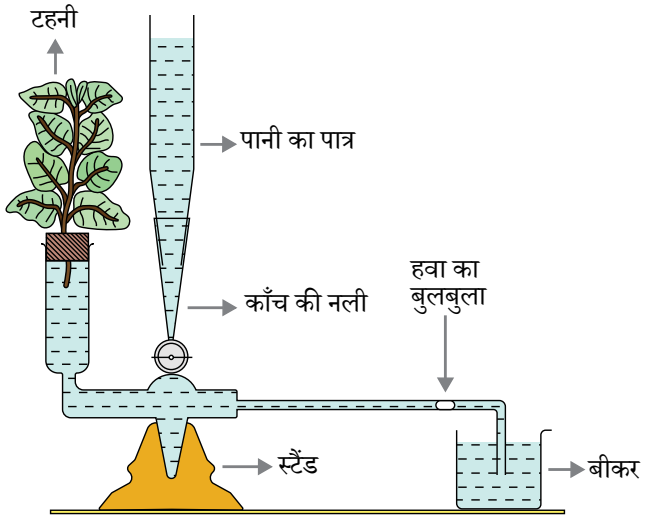
और फार्मर के पोटोमीटर की तरह, वाष्पोत्सर्जन से होने वाली क्षति की दर का मापन टहनी से पानी खींचे जाने से हवा के बुलबुले की गति के रूप में किया जाता है। केशिका अंशांकित होने के कारण उपकरण के साथ पैमाना जोड़ने की आवश्यकता नहीं होती। लेकिन यह उपकरण ज़्यादा नाज़ुक होने से अक्सर सेट-अप के दौरान ही टूट जाता है। इसका तल छोटा होने के कारण इसके गिरने की सम्भावना भी ज़्यादा होती है (**चित्र-5** देखें)।

एक सस्ते जलरोधी (water-tight) पोटोमीटर की डिज़ाइन

पोटोमीटर वाष्पोत्सर्जन की अवधारणा और उसे प्रभावित करने वाले सम्भावित घटकों, जैसे- तापमान या प्रकाश की स्थिति की जाँच करने के उद्देश्य से ख़ुद विद्यार्थियों द्वारा किए जा सकने वाले प्रयोगों को बढ़ावा देने में काफ़ी फ़ायदेमन्द हो सकते हैं (**चित्र-6** देखें)। लेकिन पारम्परिक पोटोमीटर काफ़ी महँगे होते हैं। साथ ही उनका सेट-अप भी कठिन होता है, और वे ग़ैर-भरोसेमन्द व नाज़ुक होते हैं।

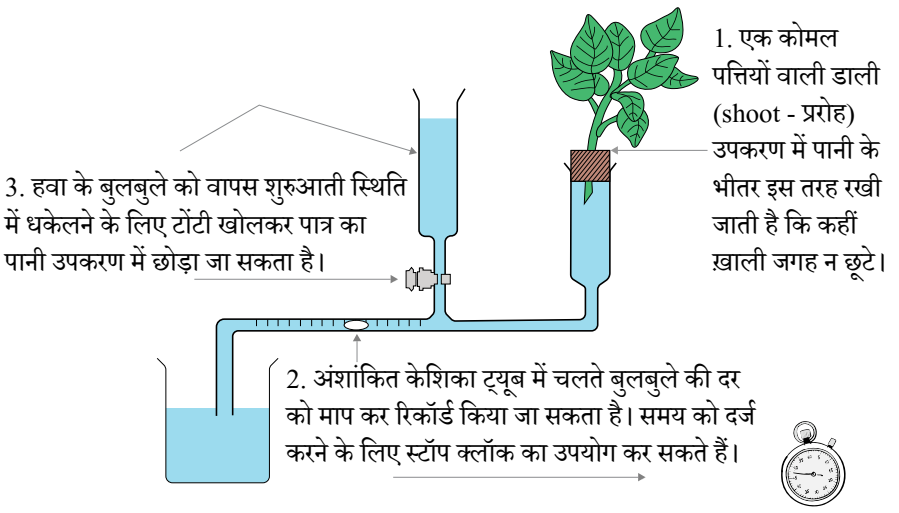
कम लागत के सरल पोटोमीटर का उपयोग करने से सामान्यतः उपयोग में लाए जाने वाले पोटोमीटर की दिक़्क़तों से छुटकारा पाया जा सकता है। (**चित्र-7** देखें)। काँच की बोतल, काँच की नलिका की बजाय ख़ाली प्लास्टिक बोतल और प्लास्टिक नलियाँ (जो वैसे ही व्यर्थ जाने वाली हैं), और रबर के कॉर्क का उपयोग करके इसे बनाया जा सकता है। हम इसकी रचना कैसे करेंगे? प्लास्टिक बोतल के ढक्कन में मोटी सुई से या चाकू से काटकर दो गोल सुराख़ बनाइए। 5-5 सेंटीमीटर लम्बाई वाली प्लास्टिक की 2 नलियाँ इन दो सुराख़ों में से बोतल में पिरो दीजिए। (एक्वेरियम में उपयोग में लाई जाने वाली पानी की नली, या स्कूटर, मोटरसाइकिल में उपयोग में लाई जाने वाली पेट्रोल की नली का उपयोग कर सकते हैं।) नलियाँ इस तरह पिरोना है कि हर नली का आधा हिस्सा बोतल के अन्दर और आधा बोतल के बाहर हो। बोतल में ऊपर तक पानी भर दीजिए और ढक्कन कसकर बन्द कर दीजिए। ऐसा करने पर दोनों नलियों में पानी ऊपर तक चढ़ जाएगा। अगर न चढ़े, तो पिचकारी की सहायता से नलियों के मुँह तक पानी से भरना ज़रूरी है। अब एक बेरी, अमरूद, पीपल या जरबेरा की पत्तियों वाली एक टहनी एक नली में पिरो दें। ध्यान रखें कि डण्ठल को पानी में डुबोकर ही काटें। टहनी वाली नली में ऊपर की ओर पानी की गति (जिसे एक बुलबुले के ज़रिए देखा जा सकता है) का मापन करने के लिए बोतल पर एक पैमाना इस नली के निकट जोड़ दीजिए। पोटोमीटर तैयार है (**चित्र-7** देखें)। ध्यान रखें कि टहनी वाली नली इस तरह चुनें कि उसका भीतरी व्यास पत्ती के डण्ठल या तने की मोटाई के हिसाब से हो

इस उपकरण को जलरोधी (water-tight) कैसे रख सकते हैं? किताबों में सुझाव दिया होता है कि जिन खुली जगहों से पानी के रिसने की सम्भावनाएँ हैं, वहाँ सील करने के लिए ग्रीस या प्लॅस्टिसीन का उपयोग करें। लेकिन हमारा यह अनुभव रहा है कि ग्रीस गीली सतह पर चिपकता नहीं है। इसकी बजाय अगर तना या पत्ती का डण्ठल नली के खुले मुँह के व्यास से ज़्यादा मोटा लिया जाए तो उसे नली में धकेलकर मज़बूती से बैठाकर जलरोधी बनाया जा सकता है।



चित्र-5 : गेनाँग का पोटोमीटर और उसका सेट-अप

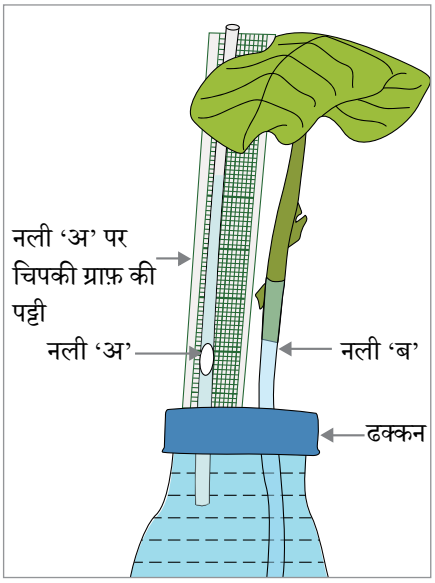
Adapted from: https://www.biologydiscussion.com/experiments/top-13-experiments-on-transpiration-plants/56605.



चित्र 6 : वाष्पोत्सर्जन की गति का मापन
Adapted from: Ms Cooper's IGCSE Biology. URL: https://www.youtube.com/watch?v=I510WIjaAZk.

चलते-चलते

वाष्पोत्सर्जन की अवधारणा को पत्तीयुक्त पौधे द्वारा पानी के अवशोषण की दर के माध्यम से प्रायोगिक रूप से नापना उच्चतर माध्यमिक स्तर के विज्ञान पाठ्यक्रम का एक महत्त्वपूर्ण हिस्सा है। तीन सामान्यतः उपलब्ध पोटोमीटर को विज्ञान कक्षा में तैयार करके उपयोग में लाने का काम चुनौती भरा होने के कारण विद्यार्थियों द्वारा ख़ुद करने की बजाय अध्यापक ही इनका प्रदर्शन करते हैं। कम लागत वाले, सरल पोटोमीटर का उपयोग करके शिक्षक इन दिक़्क़तों से छुटकारा पा सकते हैं और अपने विद्यार्थियों को ख़ुद ही पूरा प्रयोग करने का अवसर प्रदान कर सकते हैं।



चित्र-7 : एक सरल, कम लागत वाला प्लास्टिक बोतल से बना हुआ पोटोमीटर। इस उपकरण से वाष्पोत्सर्जन की गति नापने के लिए ग्राफ़ कागज़ की पट्टी या प्लास्टिक स्केल पट्टी का हिस्सा (लगभग 2 सेमी) 'अ' नली के पीछे सेलो टेप से जोड़ा जा सकता है। इसका उपयोग करके हम नली 'ब' में हवा के बुलबुले की गति नाप सकते हैं।

Credits: Kishore Panwar. License: CC-BY-NC.

मुख्य बिन्दु

- पौधे द्वारा पानी का अवशोषण उसकी पत्तियों की सतहों से वाष्पोत्सर्जन से होने वाले पानी की क्षति से संचालित होता है।
- पौधे द्वारा मिट्टी में से पानी के अवशोषण की दर और वाष्पोत्सर्जन द्वारा होने वाली क्षति की दर लगभग बराबर होती है। यह दर वातावरणीय घटकों, जैसे- तापमान, प्रकाश, हवा की गति और नमी से प्रभावित होती है।
- पोटोमीटर ख़ास उपकरण होते हैं जो पत्तीयुक्त टहनी के द्वारा पानी के अवशोषण की दर का मापन करके वाष्पोत्सर्जन की दर का आकलन करने के लिए उपयोग में लाए जाते हैं।
- बाज़ार में मिलने वाले पोटोमीटर महँगे होते हैं, उपयोग करने में कठिन होते हैं और उनके काँच के भाग आसानी से टूट जाते हैं। इस कारण वे विद्यार्थियों द्वारा सम्भालने में अनुपयुक्त हैं।
- प्लास्टिक बोतल और नलियाँ उपयोग में लाकर एक सरल और सस्ता पोटोमीटर बनाना वाष्पोत्सर्जन सम्बन्धी प्रयोगों में विद्यार्थियों के लिए अधिक सुविधाजनक होता है।

Note: Source of the image used in the background of the article title: https://pixabay.com/photos/drop-of-water-drip-water-macro-2356282/. Credits: Pitsch, Pixabay. License: CC0.

References:

1. Evapotranspiration and the Water Cycle. U.S. Geological Survey. URL: https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/evapotranspiration-and-water-cycle? Accessed on 18th Apr, 2021.
2. The forest as water pumps. Peter Wohlleben. The Hidden Life of Trees. Penguin Random House, India (2016). Pg. 127-136.

किशोर पंवार होलकर साइंस कॉलेज, इन्दौर से वनस्पति विज्ञान के सेवानिवृत्त प्रोफ़ेसर हैं। उनकी रुचि और शोध कार्य पर्यावरण विज्ञान में निहित है। डॉ. पंवार शिक्षक प्रशिक्षण कार्यक्रमों में सक्रिय रूप से शामिल हैं। उन्होंने कई वैज्ञानिक प्रयोग डिज़ाइन किए हैं जो शिक्षक और विद्यार्थी दोनों के अनुकूल हैं। डॉ. पंवार एक लोकप्रिय विज्ञान लेखक भी हैं। उनके लेख विभिन्न पत्र-पत्रिकाओं में प्रकाशित होते रहते हैं। उन्होंने लोकप्रिय विज्ञान पर छह पुस्तकें लिखी हैं। उनसे kishore.panwar@gmail.com पर सम्पर्क किया जा सकता है। **अनुवाद :** गजानन महाजनी