الجزء الرابع

علم وظائف أعضـــــاء النبات

PLANT PHYSIOLOGY

obeikandl.com

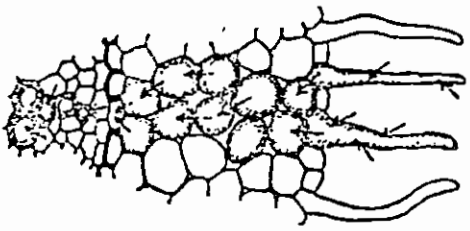
obeikandl.com

الباب الثامن عشر

الخلية النباتية وعلاقتها بالماء

تعزى ظواهر الحياة فى الخلية إلى التنظيم الداخلى للسيتوبلازم، وجميع العمليات التى تنتج عنها هذه الظواهر تجرى كلها فى وسط مائى فاذا انعدم الماء وجف البروتوبلازم وقفت العمليات الكيميائية وبالتالى تختفى ظواهر الحياة. ويعتبر الماء أكثر المركبات وجودا فى الخلية النباتية النشطة فهو يكون ٨٥ — ٩٠ ٪ من وزن الخلية كما يلعب الماء أدواراً هامة فى حياة النبات، إذ أنه يدخل كمادة أولية فى تركيب المواد العضوية للنبات. ويقوم الماء بدور المذيب الذى تتم خلاله كثير من التفاعلات الحيوية وكذلك يقوم الماء بنقل الذائبات من خلية إلى أخرى، كما يعطى صلابة للخلايا.

يمتص النبات الماء والغذاء من المحلول الغذائى الأرضى عن طريق الشعيرات الجذرية، ثم يمر المحلول الغذائى من الشعيرات الجذرية إلى داخل النبات مارا بخلايا البشرة فالقشرة حتى محيط القشرة الداخلية، التى تعوق خلاياه المغلظة الجدر، مرور المحلول الغذائى إلا عن طريق بعض خلاياه التى تبقى بدون تغليظ وتسمى بخلايا المرور passage cells . عن طريق خلايا المرور ينتقل المحلول الغذائى إلى خلايا البريسيكل الرقيقة الجدر، ثم إلى الأوعية الخشبية (شكل ١٢٣). بعد ذلك يتجه المحلول الغذائى خلال أوعية الخشب إلى أعلى مارا بالساق حتى يصل إلى الأوراق.



(شكل ١٢٣) : قطاع مستعرض فى جذر يبين خط
سير المحلول الغذائى من الشعيرة الجذرية حتى الأوعية الخشبية

ويعزى دخول المحلول الغذائى ومروره إلى الداخل إلى خاصيتين هما الانتشار diffusion والتشرب imbibition .

الانتشـار :

الانتشار هو حركة المواد الذائبة solutes خلال المذيبات solvents . وتكون سرعة انتقال الذائبات من جهة التركيز العالى إلى جهة التركيز المنخفض أعلى من سرعة انتقالها فى الاتجاه المضاد ويستمر ذلك حتى تصل إلى حالة الاتزان حيث يتساوى التركيز . والإنتشار قد يتم خلال أغشية وهى على ثلاثة أنواع .

ا ـ أغشيه منفذة : permeable membranes وهى أغشية تسمح بمرور الذائبات والمذيبات كما فى ورق الترشيح والجدار الخلوى للخلية النباتية .

ب ـ أغشية غير منفذة impermeable membranes وهى أغشية لا تسمح بمرور الذائبات ولا المذيبات كما فى الجلود .

حـ ـ أغشية شبه منفذة semi-permeable membranes وهى أغشية تسمح بمرور جزيئات المذيب ولا تسمح بمرور المواد الذائبة كلية أو

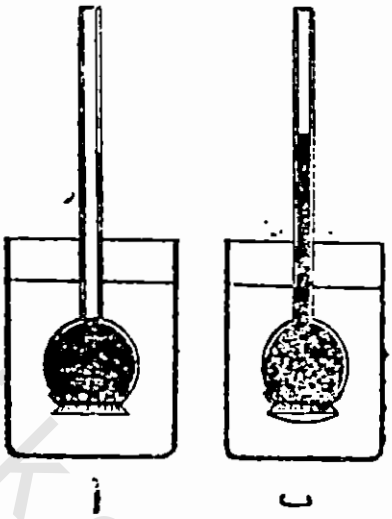
تسمح بها جزئيا ، فاذا لم يسمح الغشاء بمرور الذائبات كليا كما فى غشاء الكلوديون أوغشاء المثانة الحيوانية وصف الغشاء بأنه غشاء شبه منفذ تام perfect semi-permeable membrane أما إذا سمح الغشاء بمرور الذائبات جزئيا وصف بأنه غشاء شبه منفذ غير تام imperfect semi-permeable membrane وذلك كما فى الأغشية البروتوبلازمية للخلية .

والإنتشار خلال الأغشية الشبه منفذة يسمى بالإنتشار الغشائى osmosis فإذا فصل غشاء شبه منفذ تام بين محلول غذائى وماء مقطر ، يتنقل الماء خلال الغشاء من الماء إلى المحلول ومن المحلول إلى الماء ، ويكون سرعة الانتقال فى إتجاه المحلول أعلى منه فى الاتجاه العكسى ، وباستمرار الانتقال يزداد الضغط الواقع على الغشاء نتيجة لنقل عمود السائل حتى يصل إلى الضغط الاسموزى osmotic pressure ، بعدها يقف الانتقال .

وقد وجد أنه إذا أذيب الوزن الجزيئى لمادة غير متأينة (سكر مثلا) فى لتر من الماء ، أعطى المحلول الناتج ضغطا أسموزيا قدره ٢٢،٤ ضغط جوى فى درجة الصفر المئوى ، ولكن فى حالة إذابة المواد المتأينة فإن الضغط الاسموزى الناتج يعادل :

٢٢،٤ × ١،٧٥ = ٣٩،٢ ضغطا جويا

ومن أبسط الأجهزة الصناعية قمع تيسل Thistle funnel وهو قمع ذو ساق طويلة يربط حول فوهته ربطا محكما غشاء من ورق البارشمنت أو غشاء من مثانة حيوان فاذا وضع فى هذا القمع محلول مركز من سكر القصب ثم غمس فى ماء مقطر بحيث يكون سطح المحلول فى ساقه محاذيا لسطح الماء فى الخارج فإننا نلاحظ بعد مدة ارتفاع السائل فى ساق القمع (شكل ١٢٤) ، مما يدل على انتشار الماء



(شكل ١٢٤) : تجربة لإثبات الإنتشار الغشائى

ا ـ قمع تيسل عند بدء التجربة ب ـ إرتفاع المحلول السكرى بداخل القمع

من الخارج إلى المحلول الداخلى بالخاصة الأزموزية ويستمر الارتفاع لفترة من الزمن وإن كان معدله يتناقص باستمرار نظرا لانخفاض التركيز فى الداخل ويقف ارتفاع المحلول فى ساق القمع عندما يصبح الضغط الذى يبديه عمود المحلول من القوة بحيث يكفى لدفع جزيئات الماء إلى الخارج بنفس السرعة التى تنتشر بها إلى الداخل .

تطبيق نظرية الانتشار الغشائى على الخلية النباتية :

إذا وضعت خلية نباتية تركيز عصيرها الخلوى ٧ ٪ مثلا فى ماء مقطر فإن سرعة دخول الماء إلى سرعة خروجه تتناسب مع تركيزى الماء أى تساوى ١٠٠ : ٩٣ . باستمرار دخول الماء يزداد الضغط على الغشاء البروتوبلازمى الذى يضغط بالتالى على الجدار الخلوى مما قد يسبب تمزقه إذا كان ضعيفا أو

يتحمل الجدار الخلوى الضغط حتى يصل إلى درجة يقاوم معها دخول الماء إلى الخلية وتسمى الخلية فى هذه الحالة منتفخة turgid . عند وصول الخلية إلى هذه الدرجة يكون هناك ضغطان متضادان ومتعادلان ، هما الضغط الاسموزى الذى يعمل على دخول الماء والضغط الجدارى wall pressure الذى يحد من دخول الماء ، أى أن الضغط الجدارى يساوى الضغط الاسموزى النهائى للعصير الخلوى والخلية فى حالة انتفاخ . من هذا يتضح أن قوة الامتصاص تنتج عن الضغط الاسموزى الابتدائى للعصير الخلوى والضغط الجدارى .

قوة الامتصاص = الضغط الاسموزى الابتدائى للعصير الخلوى
— الضغط الجدارى

وفى حالة وضع الخلية فى محلول معلوم ضغطه الاسموزى فإن

قوة الامتصاص = الضغط الاسموزى الابتدائى للعصير الخلوى
— [الضغط الجدارى + الضغط الاسموزى للوسط الخارجى]

فإذا وضعت الخلية فى محلول تركيزه أعلى من تركيز عصيرها الخلوى فإن مرور الماء يكون بعكس الاتجاه السابق مؤديا إلى حدوث انكماش فى محتويات الخلية ، ويمكن بيان ذلك إذا أخذنا خلية نباتية حية يمكن فحصها بسهولة تحت المجهر مثل خلايا ورقة نبات الألوديا ووضعناها فى : —

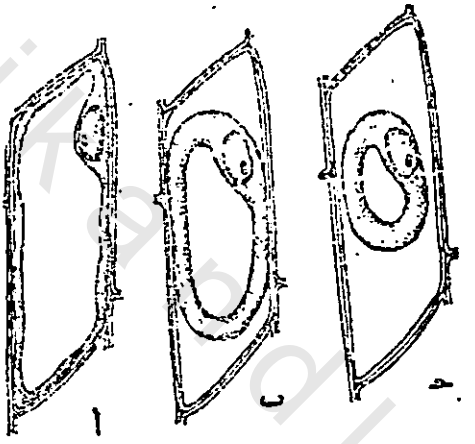
١ — محلول ناقص التركيز hypotonic عن محلول العصير الخلوى

٢ — محلول زائد التركيز hypertonic « « « «

٣ — محلول سوى التركيز isotonic مع « « « «

نشاهد فى الحالة الأولى انتفاخ الخلية وتكورها نتيجة لدخول الماء إلى العصير

الخلوي . أما فى الحالة الثانية فتأخذ محتويات الخلية فى الانكماش وتنفصل عن الجدار الخلوى متكورة فى وسط الخلية نتيجة لخروج الماء من العصير الخلوى ، أى أن الخلية تتبلزم (شكل ١٢٥) ، وفى الحالة الثالثة لا يشاهد أى تغيير نظرا لتساوى تركيز العصير الخلوى مع المحلول الخارجى .



(شكل ١٢٥) : خطوات حدوث البلزمة فى الخلية النباتية
(عن جرولاش وآدمز)

ويمكن تقدير تركيز العصير الخلوى بتتبع تقوس الأجزاء النباتية الغضة عند وضعها فى محاليل مختلفة التركيز من سكر القصب ، وتتلخص الطريقة فى إختيار أعناق أوراق حديثة التكوين من نبات الخروع مثلا ، تشق الأعناق طوليا فيلاحظ تقوس كل جزء جهة الخارج قليلا ، توضع هذه الأجزاء فى محاليل السكر المختلفة التركيز فيتأثر التقوس الأصلى تبعاً لتركيز المحلول الخارجى ، فإذا كان المحلول الخارجى ناقص التركيز انتقل الماء إلى الخلايا المعرضة من النخاع

بقوة الامتصاص فيزداد حجمها ويتبع ذلك زيادة التقوس الأصلى فى نفس الاتجاه .

أما إذا كان المحلول الخارجى زائد التركيز فان خلايا النخاع تفقد الكثير من ماء عصيرها الخلوى فينقص حجمها ويقل تبعا لذلك التقوس الأصلى وقد يتغير اتجاه التقوس كلية إذا استمر خروج الماء من النخاع . إما إذا كان تركيز المحلول الخارجى مساويا لتركيز العصير الخلوى فإن إنحناء الجزء النباتى يبقى ثابتا ولا يتغير ويلاحظ أن خلايا البشرة أقل تأثرا بالمحلول الخارجى من الخلايا الأخرى نظرا لتأدمها .

التشرب :

التشرب هو قدرة الغرويات المتصلبة (hydrophilic colloids , gels) على جذب المذيب حول حبيبات الغروى ، وتظهر هذه الخاصية بصورة واضحة عند وضع الجيلاتين فى الماء وبصورة ضعيفة عند وضع الخشب فى الماء .

وبالنسبة للنبات فإن جدر الشعيرات الجذرية تتشرب بالماء إلى درجة كبيرة وبملاصقتها لجدر القشرة البعيدة عن الماء تتشرب الأخيرة بالماء الموجود فى جدر خلايا البشرة والشعيرات الجذرية ، وهكذا نجد أن جدر الخلية التى تحتوى على تركيزات منخفضة من الماء تمتص الماء من جدر الخلايا المجاورة .

ويمكن اثبات قوة التشرب بإحضار أنبوبة زجاجية رفيعة ، يوصل بطرفها العلوى أنبوبة رفيعة من المطاط ، تملأ الأنبوبتان بالماء وتوضعا رأسيا فى حوض به زئبق ، ثم يغلق الطرف العلوى للأنبوبة المطاط بذرة فول جافة ،

يشاهد بعد مدة ارتفاع الزئبق فى الأنبوبة الرفيعة ليحل محل الماء الذى تشربته بذرة الفول (شكل ١٢٦) .

صعود العصارة :

بعد وصول المحلول الغذائى إلى أوعية الخشب ، يرتفع المحلول خلال تلك الأوعية إلى أعلى حتى يصل إلى الأجزاء العليا من النبات ، ويمكن بيان ذلك بقطع سيقان من نباتات الجارونيا المورقة والتى تحمل أزهارا بيضاء ، تحت سطح الماء ، ثم غمرها فى محلول من الأيوسين الأحمر اللون . بعد مدة يلاحظ تلون الأزهار باللون الأحمر ، وبقطع بعض السيقان عرضيا وشق البعض الآخر طوليا يلاحظ تلون أوعية الخشب فقط باللون الأحمر ، دالا بذلك على إرتفاع محلول الايوسين خلال أوعية الخشب إلى الأوراق والأزهار .

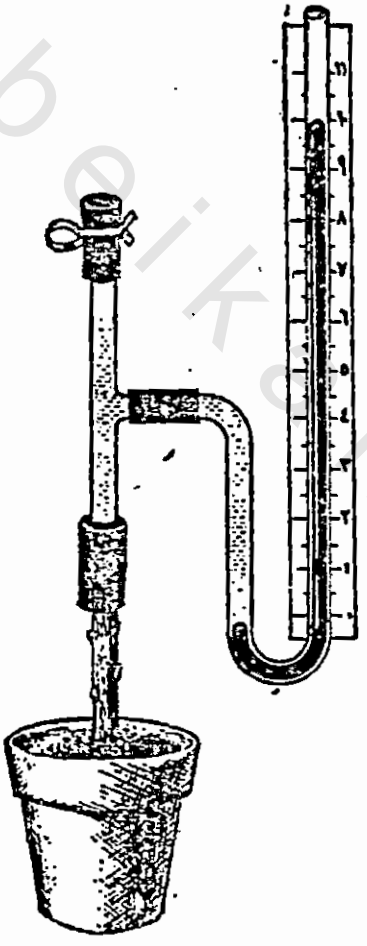
(شكل ١٢٦)
تجربة لإثبات خاصية التشرب

وقد وضعت نظريات كثيرة لتفسير آلية إنتقال العصارة خلال الأوعية الخشبية ، وفيما يلى دراسة للقوى التى تتسبب فى رفع الماء إلى أعلى .

١ — الضغط الجذرى Root Pressure

وهو قوة غير معروف طبيعتها بالضبط ، ولكن أمكن إثباتها . ويمكن توضيح هذه القوة بتوصيل أنبوبة زجاجية منثنية ومملئة بالماء بسطح مقطوع لساق نبات قطعت حديثا بواسطة أنبوبة من المطاط (شكل ١٢٧) فيشاهد بعد

فترة تساقط قطرات الماء التى حلت محلها العصارة المندفعة بالضغط الجذرى .



(شكل ١٢٧)
تجربة لتوضيح وقياس الضغط الجذرى

ولقياس الضغط الجذرى يؤتى بنبات نامى فى إصيص ، ثم يروى جيدا ، ويقطع ساق النبات تحت الماء قريبا من سطح التربة ثم يوصل بأنبوبه على شكل حرف t بواسطة أنبوبة من الكاوتشوك ، توصل الأنبوبة الجانبية بأنبوبة على شكل حرف U . يوضع الماء فى الأنبوبة t ويوضع زئبق فى الأنبوبه المانومترية حتى يتساوى سطحيها وتكمل الأنبوبة t بالماء وتسد من أعلى (شكل ١٢٧) يترك الجهاز فترة من الزمن يلاحظ إنخفاض سطح الزئبق افى الأنبوبة المانومترية المجاورة للنبات وإرتفاعه فى الأنبوبة المانومترية البعيدة عن النبات . عندما يقف إرتفاع الزئبق تقاس المسافة بين سطحى الزئبق فى الأنبوبه ، وهذا يدل على الضغط الجذرى .

٢ — القوة السالبة : Passive force

وجد أن قيمة الضغط الجذرى ضئيلة فى معظم النباتات فهى لا تتعدى عادة ضغطين جويين أى ما يكفى لرفع العصارة مسافة ٢٠ متر تقريبا ، وتكاد تكون هذه القوة منعدمة فى كثير من النباتات ، وبالرغم من ذلك فان المحلول الغذائى يرتفع فى هذه النباتات ويصل إلى قمم الأشجار العالية . وقد عزى ذلك إلى وجود قوة أخرى ناشئة عن النتح تعرف بالقوة السالبة . فنتح الماء من الاوراق يسبب نقصا فى المحتوى المائى لخلايا الميزوفيل المجاورة والتى تسحب الماء بقوة الانتشار الغشائى والتشرب حتى يصل الفقد المائى إلى الخلايا المجاورة للأوعية الخشبية التى تقوم بتعويض الماء المفقود .

لما كان الماء موجودا فى كل وعاء خشبى على شكل خيط شعرى غير متقطع فانه يمكن تصور عمود الماء فى الاوعية الخشبية كخيط توجد إحدى نهايتيه فى الثغر والاخرى فى التربة فاذا جذب هذا الخيط من نهايته فى الاوراق فإنه يسحب بأكمله كوحدة متصلة من التربة ويرفع إلى الأوراق . ويساعد على ذلك قوة التماسك cohesion بين جزيئات الماء التى تمنع تقطع خيط الماء طول حياة النبات .

ويمكن التحقق من عمل القوة السالبة بتثبيت فرع نبات مورق بعد قطعه من النبات تحت سطح الماء فى طرف أنبوبة زجاجية مملوءة ومنكسة رأسيا فى حوض به زئبق . (شكل ١٢٨) . بعد فترة من الزمن يرتفع الزئبق إلى أعلى فى ساق الأنبوبة ، دالا على أن الماء المفقود من النبات فى حالة النتح قد تسبب فى ارتفاع عمود الزئبق ، ويتوقف ارتفاعه على قيمة القوة السالبة .

النتح : Transpiration

(شكل ١٢٨)
تجربة لقياس
القوة السالبة

يقصد بالنتح خروج الماء من النبات على شكل بخار ومعظم النتح يحدث عن طريق الثغور ويسمى بالنتح الثغرى stomatal transpiration ، وإذا كان الماء موجودا بكثرة فى النبات فقد يخرج جزء منه خلال البشرة والكيوتين الذى يغطيها إذا كان رقيقا ويعرف هذا بالنتح الكيوتينى cuticular transpiration وينتح النبات كميات هائلة من الماء فقد قدرت الكمية التى ينتحها نبات الذرة فى موسم نموه بـ ٥٤ جالون وقد وجد عموما أن النبات ينتح حوالى ٩٨ ٪ من كميات المياه التى يمتصها بواسطة جذوره ويتأثر نتح النبات بعوامل مختلفة أهمها : —

١ — الرطوبة الجوية : فكلما زاد جفاف الجو كلما ازدادت كمية النتح . فالهواء فى المسافات البينية لأوراق فى حالة انتفاخ ، يكون مشبعا بالرطوبة تقريبا ، وانتشار بخار الماء من المسافات البينية إلى الهواء المحيط بالأوراق خلال الثغور يتم مادام ضغط الانتشار diffusion pressure فى المسافات البينية يزيد عن ضغط الانتشار فى الهواء الخارجى ، ويزداد الانتشار كلما زاد الفرق ما بين الضغطين .

٢ — حركة الهواء : يحدث النتح تتكون طبقة من الهواء حول

الأوراق نسبة الرطوبة بها عالية ، وهذه تقلل نسبة النتح ، بحركة الهواء تنتقل طبقة الهواء الرطب ويحل محلها هواء أجف يزيد من سرعة النتح ثانية . وكلما زادت سرعة الهواء ، زادت سرعة انتقال الهواء الرطب بعيدا عن الأوراق ، كلما زادت سرعة النتح .

٣ — حرارة الهواء : بارتفاع درجة حرارة أوراق النبات يرتفع ضغط البخار vapor pressure فى المسافات البينية عن ضغطه فى الهواء الخارجى وبذلك يزداد انتشار بخار الماء للخارج .

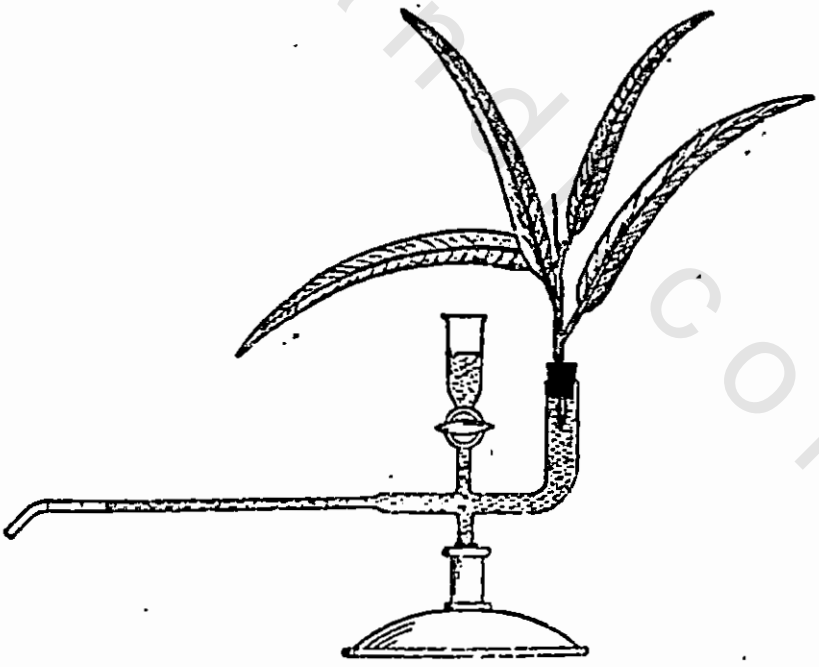
٤ — شدة الضوء : كلما زادت شدة الضوء ازدادت الحرارة الداخلية للأوراق وبالتالى يزداد فقد الماء ، كما أن الضوء ينبه فتح الثغور فى كثير من النباتات وبذلك يزداد النتح .

٥ — حالة التربة : حالات التربة التى تؤثر على امتصاص الجذور للماء تؤثر بالتالى على سرعة النتح فبرودة التربة وزيادة ملوحتها وسوء تهويتها تقلل من الامتصاص وبالتالى تقلل من النتح .

٦ — عوامل متعلقة بتركيب النبات : لا تؤثر العوامل الجوية السابقة على نتح النبـــاتات المختلفة بدرجة واحدة ، ويتوقف تفاعل النبات مع البيئة على شكل وتركيب النبات ، فبعض النباتات يمكنها تحمل ظروف الجفاف التى لا تتحملها نباتات أخرى ، وينتج ذلك عن قدرة تلك النباتات على حفظ التوازن بين الماء الداخل والماء الخارج ، ويرجع ذلك إلى عوامل تركيبية فى تلك النباتات كأن تكون الثغور غائرة أو أن تكون محاطة

بشعور تقلل من تعرضها للهواء الجوى ، أو أن تختزل سطوح الأوراق كما فى حالة تحورها إلى أشواك .

ويمكن تقدير كميات المياه التى ينتحها النبات باستخدام جهاز البوتوميتر (شكل ١٢٩) . يملأ الجهاز المبين بالشكل . بماء ملون وتوضع الورقة أو الفرع النباتى المقطوع فى الأنبوبة الجانبية للبوتوميتر ثم تعين كمية الماء المتراجعة فى الأنبوبة الشعرية أى التى امتصها النبات .



(شكل ١٢٩) : تقدير النتح بجهاز البوتوميتر

obeikandl.com

ولما كان معدل النتح يرمز غالبا إلى كمية الماء التى تفقدها وحدة المساحات من السطح الناتح ، لذلك تقدر مساحة الأوراق المستعملة فى التجربة برسم المحيط الخارجى لها على ورقة ثم تتبعه بجهاز البلانيمتر . كما يمكن تقدير المساحة بوزن قطعة من الورق مطابقة للورقة النباتية موضوع التجربة ثم مقارنة وزنها بوزن ديسمتر مربع أو سنتيمتر مربع من نفس نوع الورق .

obeikandl.com