كلية العلوم

القسم : علم الحياة

السنة : الرابعة

المادة : تغذية ونمو

المحاضرة : الاولى/نظري/د.ريم

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z



2026

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960

# مدخل إلى التغذية والنمو النباتي

# Introduction of plant nutrition and growth

إعداد د. ريم ابراهيم

قسم علم الحياة

كلية العلوم

العام الدراسي 2025-2026

# مدخل إلى علم التغذية والنمو النباتي

**تمهيد:**

النباتات، مثل جميع الكائنات الحية، تحتاج إلى الغذاء لتنمو وتستمر في حياتها، ولكنها تختلف عن الكائنات الأخرى بقدرتها على تكوين غذائها بنفسها من خلال عملية التمثيل الضوئي، مستخدمة ضوء الشمس وثاني أكسيد الكربون والماء، ومع ذلك، فإن هذه العملية وحدها لا تكفي فالنبات يحتاج إلى عناصر معدنية محددة من التربة كي يستطيع بناء أنسجته وإتمام وظائفه الحيوية.

وهنا يأتي دور التغذية النباتية كعلم يفسر كيفية حصول النبات على هذه العناصر، ودور كل منها في النمو والإنتاج.

تحتاج النباتات إلى الغذاء لتنمو وتستمر في حياتها ولكنها تختلف عن الكائنات الأخرى بأنها ذاتية التغذية ولا تستطيع أن تنفذ إلا إلى حيز محدود من بيئتها تستغله في متطلباتها الحياتية، وبالتي هي **تعتمد على التربة** أو بدائلها لامتصاص العناصر المعدنية وتحافظ على نسب محددة من بعض العناصر مثل الآزوت والفوسفور والبوتاسيوم.....الخ، وقد تكيفت النباتات للحياة الأرضية ورافق ذلك **تطور وسائل الحماية** التي ظهرت لوقايتها من فقدان الماء بحيث تسمح لها بالمبادلات الغازية دون جهاز تنفس، وكذلك **تطورت لديها جملة متكاملة لامتصاص** ونقل الماء والمواد المعدنية. كما **تطورت في النباتات جملة من الأنسجة الدعامية** خلاياها ذات جدران ثخينة تعرف بالنسج الكولانشيمية أو السيكلرانشيمية، وكل ذلك لتنمو وتستمر.

وتأتي أولويات النبات والكائنات الحية عموما من ضرورة الحصول على الغذاء لاستمراها في النمو وأداء وظائفها الحيوية بما يضمن استمراريتها وتجددها.ومن هنا لابد لنا أن نفهم معنى التغذية والنمو النباتي، وندرس العلاقة بينهما، كما يمكن أن ن نتعرف على العوامل المؤثرة في تغذية ونمو النبات، ونميز بين العناصر الضرورية والمفيدة لنمو النبات، وأن نكون قادرين على فهم الأساس الفيزيولوجي لامتصاص العناصر الغذائية.

## مفهوم التغذية النباتية Plant Nutration:

تغذية النبات هي العلم الذي يدرس احتياجات النبات من العناصر الغذائية، وكيفية امتصاصها من البيئة، واستعمالها في العمليات الحيوية التي تضمن نموه الطبيعي وإنتاجيته.

**تشمل التغذية النباتية ثلاثة محاور رئيسية مترابطة:**

**أ. العناصر الغذائية الأساسية:**

هي العناصر الضرورية التي لا يستطيع النبات إتمام دورة حياته دونها، وعددها 17 عنصرًا معروفًا حتى الآن.

**ب. مصادر هذه العناصر:**

من الهواء: الكربون (C) والأوكسجين (O)

من الماء: الهيدروجين (H)

من التربة: بقية العناصر الكبرى والصغرى **عناصر كبرى: N, P, K, Ca, Mg, S عناصر صغرى: Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl**

**ج. امتصاص العناصر:**

يتم من خلال الجذور عبر آليات فيزيائية وكيميائية (الانتشار، الامتصاص النشط، النقل عبر الأغشية).

**يمكن تصنيف العناصر التي يحتاجها النبات للتغذية والنمو حسب عدة أسس:**

**أ. حسب الكمية المطلوبة:**

**عناصر كبرى (Macronutrients): يحتاجها النبات بكميات كبيرة نسبيًا مثل N, P, K, Ca, Mg, S.**

**عناصر صغرى (Micronutrients): يحتاجها بكميات ضئيلة مثل Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl.**

**ب. حسب الحركة داخل النبات:**

**عناصر متحركة: مثل N, P, K (تنتقل من الأوراق القديمة إلى الحديثة عند النقص).**

**عناصر غير متحركة: مثل Ca, Fe (تظهر أعراض نقصها على الأوراق الحديثة أولاً).**

**ج. حسب الوظيفة الفسيولوجية:**

**عناصر تدخل في بناء المركبات العضوية (C, H, O, N, S, P).**

**عناصر تلعب دورًا منشِّطًا للإنزيمات (Zn, Mn, Cu, Mo).**

**عناصر تنظيمية أو هيكلية (Ca, K, B, Mg).**

**وبالخلاصة : التغذية النباتية ليست مجرد تزويد النبات بالأسمدة، بل هي علم متكامل يبحث في العلاقات الفسيولوجية والكيميائية بين النبات وبيئته، وإن فهم هذا العلم هو المفتاح لإنتاج نباتات قوية، صحية، ومثمرة وهو الأساس لتطوير أنظمة زراعية ذكية ومستدامة.**

**تستطيع** الكائنات الحية **أن** تمثل العناصر التي تحصل عليها من الوسط الخارجي على هيئة أغذية Aliments وذلك بفضل تفاعلات بيوكيميائية مستمرة تجري في بيئة داخلية متناسقة وموجهه بفعل الأنزيمات؛ حيث تستفيد منها في تصنيع مادتها الحية الخاصة Protoplast.

ولابد عند دراسة التغذية النباتية أن نأخذ بعين الاعتبار تخصص الأجزاء وتحديد مكان العمل، بدءاً من امتصاص المواد المغذية التي تتطلب دراسة حركة المواد الممتصة عبر النسج البرانشيمية (الانتقال الأفقي) إلى النسج الناقلة في أوعية متخصصة (انتقال النسغ الخام) حتى النسج التي ستقوم باستخدام تلك المواد لتصنيع مركبات جديدة (البرانشيم اليخضوري).

إن الشكل الأكثر وضوحا لتحول المواد الخام إلى مواد طبية معقدة (ما يتم أثناء التركيب الضوئي Photosynthesis ) الأمر الذي يسمح باستخدام كربون المعدني الممتص من الوسط وتحويله إلى مركبات عضوية بفضل الطاقة الشمسية الممتصة من قبل اليخضور وتهاجر تلك المواد بدورها على هيئة نسغ محضّر يستخدم من قبل النبات مباشرة أو يتم تخزينه حتى وقت الحاجة.

**أنواع المبادلات الغازية بين النبات والوسط الخارجي التي تهم التغذي ترتبط بثلاث وظائف رئيسية وهي:**

**التركيب الضوئي Photosynthesis** الذي يتميز بامتصاص غاز ثنائي أوكسيد الكربون co2 وطرح o2.

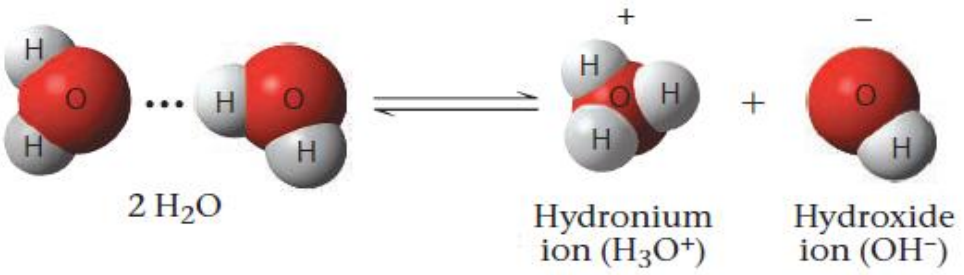
**التنفس Resperation** وهو عبارة عن امتصاص لغاز o2 وطرح لغاز الco2 .

**النتح Transperation** آخر مرحلة من حركة الماء في النبات وهو عبارة عن طرح بخار الماء من الأجزاء المعرضة للهواء وخاصة الأوراق.

# الماء وأهميته للتغذية النباتية

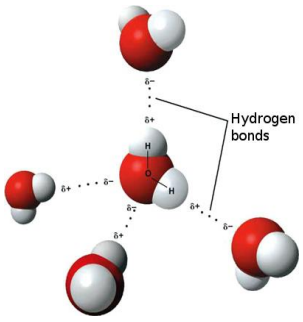
**أهمية الماء:** يعد الماء من المكونات الرئيسية للنبات فهو عامل رئيسي في استمرار حياته ونموه، وإنّ إمكانية تأمين الماء للنبات من أهم العوامل الايكولوجية التي تنظم – مع الحرارة- امتداد الغطاء النباتي على سطح الأرض، ولذلك فإن المناطق الصحراوية (حيث تقل نسبة الأمطار عن 200مم في السنة) تتميز بفقرها الشديد بالأنواع النباتية.

**يسهم الماء على مستوى الخلية في** الحفاظ على البنية والتعضي، وخاصة فيما يتعلق بالبنية الغروية للسيتوبلاسما structure clloidal cytoplasm، تلك البنية الضرورية جداً للحصول على أشكال النشاط الحيوي المختلفة في الخلية، حيث يسمح الماء بحدوث معظم التفاعات الاستقلابية ويمكن أن يدخل في بعض منها مثل تفاعلات الحلمهه وذلك بفضل شارديته $\{ H3O^+ (H^+) , OH^- \}$ (الشكل 2).




*الشكل* **1: المعادلة التشاردية لجزيئة الماء.**

كما يمتلك بنية متماسكة بفضل قطبيته التي تنتج من عدم التوازن الالكتروني في ترابط الهيدروجين مع الاوكسجين حيث يحتوي على ذرة أوكسجين فائضة الشحنة السالبة مرتبطة تشاركياً بذرتي هيدروجين تميل لتكون ذات شحنة موجبة فائضة،و تجذب ذرة الأوكسجين معظم كثافة الالكترونات من الرابطتين التشاركيتين الموجودتين بين O-H لتصبح غنية نسبياً بكثافة الالكترونات (δ-) بينما تصبح كثافة الالكترونات عند الأوكسجين منخفضة للغاية (δ+) مما يولد عزم ثنائي القطب يسمح لها بأن تحتوي على تداخلات كهروستاتيكية قوية مع جزيئات قطبية أخرى او ذرات مشحونة وبذلك يوصف الماء بأنه مذيب قطبي (الشكل 3) الأمر الذي يسمح له بتشكيل روابط هدروجينية بين جزيئاته. مما يساعده وعلى مستوى المتعضية أن يقوم بدور الناقل للمواد الغذائية والفضلات والهرمونات ما بين الوسط والمتعضية من جهة ومن عضو لآخر من جهة أخرى.




**الشكل 2: البنية الفراغية لارتباط جزيئات الماء.**

للماء دور خاص جداً في النبات وذلك لوجوده داخل الخلية النباتية ضمن فجوة Vacula ضخمة مليئة بالعصارة الفجوية، مما يسمح لها بممارسة ضغط على جدران الخلية وتشكيل ما يسمى **الضغط الانتباجي** الذي يعد مسؤولا عن الدور الدعامي لمعظم النباتات- ما عدا الأشجار- وكذلك فإن الانتباج هو المسؤول عن حركة بعض الأعضاء النباتية كالأوراق والأسدية أو بعض الخلايا كالخلايا السمية مثلاً؛ والتي تتحكم بالمبادلات الغازية في النبات، كما يؤثر الانتباج على استطالة الخلايا في اثناء نموها ونمو النبات ككل.

## الخواص الفيزيائية والكيميائية للماء وعلاقتها بتكيف النباتات:

يمكننا أن نفهم سبب بقاء بعض الأعضاء النباتية حية بالرغم من درجات الحرارة المنخفضة (كالدرنات والأبصال) حسب حالة الماء التي توجد بداخل الخلية الحية في كل عضو نباتي، حيث أن الماء النقي يبقى سائلا في الدرجة ما بين 0 و100درجة مئوية وهو يستطيع بفضل الروابط الهدروجينية التي يكونها أن يزيد من اتساع هذا المجال وخاصة في الجمل الغروية، وبالتالي يمكنه المحافظة على الحالة السائلة حتى الدرجة -340م، ولكن بشرط أن تتم عملية التبريد بشكل تدريجي. وإن امتلاك

الماء خواصاً فيزيائية وكيميائية مختلفة عن السوائل الأخرى جعل منه الوسط الأفضل للعديد من العمليات الحيوية الهامة للكائنات الحية عموماً والنباتات خصوصاً.

**أولاً: الخواص الفيزيائية للماء: - يزداد حجم الماء عند تبلوره،** فإن 1 ليتر ماء سائل يعطي 1.98 ليتر جليد، فإذا تبلور ماء النيات في درجات الحرارة المنخفضة سيؤدي ذلك إلى تخريب السيتوبلاسما بشكل نهائي كيف يمكنك تفسير ذلك؟

- يمتلك الماء **حرارة نوعية مرتفعة مقارنة** مع غيره تتراوح بين 14.5 و 15.5 م **وحرارة تبخر كامنة** تساوي 591 حريرة في الدرجة 20م وهذا يسمح له بلعب دور أساسي في التنظيم الحراري للكائنات الحية.

**ثانياً: الخواص الكيميائية:**

يمكن اختصار الخواص الكيميائية للماء من خلال فهم معادلة تشرده ( الشكل2) وتأثيرها على درجةPH الوسط والتي تساوي اللوغاريتم العشري لمقلوب تركيز شوارد $H3O^+$ أي $H^+$ وهي على علاقة وثيقة بتراكيز الشوارد في المحلول المائي، ذلك أن تشرد H2O ثابت تقريبا في درجة حرارة 25 م وإن العلاقة التي تربط بين PH و تركيز +Hو POH وتركيزالهيدروكسيل $OH^-$ هي التي تساعدنا في فهم تغيرات قيمة PH كلما زاد تشرد الماء أو انخفض والعلاقة تختصر بمايلي:

$$[H+]\ [OH-] = K[H2O] = K$$

وهذا الثابت تبقى قيمته ثابتة وهي $K=10^{-14}$ في الدرجة 25م وفي هذه الدرجة تكون قيمة PH = 7 وتتغير بارتفاع درجة الحرارة او انخفاضها.

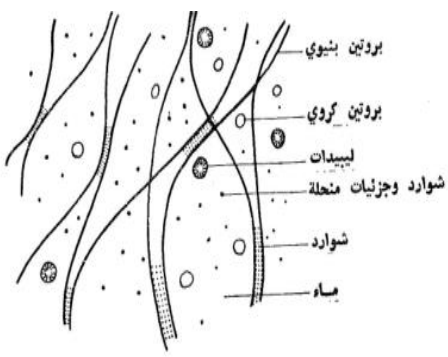
كما يوضح المثال بأن تكون PH=7 في الدرجة 25م، بينما تصبح PH= 7.37 في الدرجة 50 م وترتفع إلى 7.78 في الدرجة 40 م، ويفسر ذلك بازدياد تشرد الماء بارتفاع درجة الحرارة حيث يزداد تركيز $H^+$ وتركيز -OH نتيجة زيادة تشرد الماء.

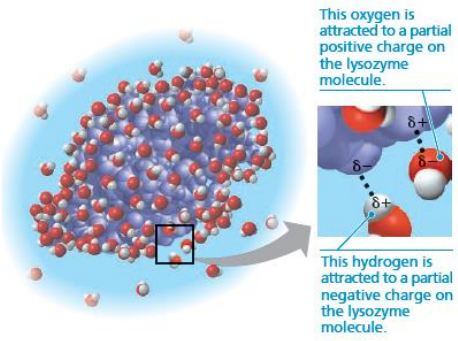
**روابط الماء:**

1- ترتبط جزيئات الماء بشكل بوليميرات، بينما الشكل الأحادي للماء (مونمير) لا يوجد سوى في حالة بخار الماء Monohydrol، أما الحالة السائلة أو الصلبة فهي مزيج متفاوت من جزيئات الماء الثنائية أو الثلاثية...الخ. وقد يصل عدد الجزيئات المتجمعة في الـ polyhydrol إلى عدة مئات وهذا ما يفسر كون الماء يزداد حجما عندما يتحول إلى جليد في الدرجة +4 م.

2- يرتبط الماء على سطوح الجمل الغروية وخاصة حول الفتيلات الغضارية للتربة وهذا ما نسميه الامتزاز ويفسر ذلك احتفاظ أنواع التربة الغنية بالغضار بالماء بشكل أفضل من غيرها، واعتبارها أفضل أنواع الترب المغذية لمختلف الأنواع النباتية، وذلك لأن شحنة الغضار تصبح سالبة عندما تلامس الماء، ووجود هذه الشحنة يساهم في سهولة تبادل الشوارد الموجبة التي يتم امتصاصها من الأملاح المعدنية، كما أن غنى هذه الأنواع من التربة بالكلس يزيد من أهميتها للنبات لأن الكلس يتكثف جول الغضار ويشكل حبيبات كروية soil crumbs يمكنها الاحتفاظ بالماء وتأمين تهوية جيدة للتربة.

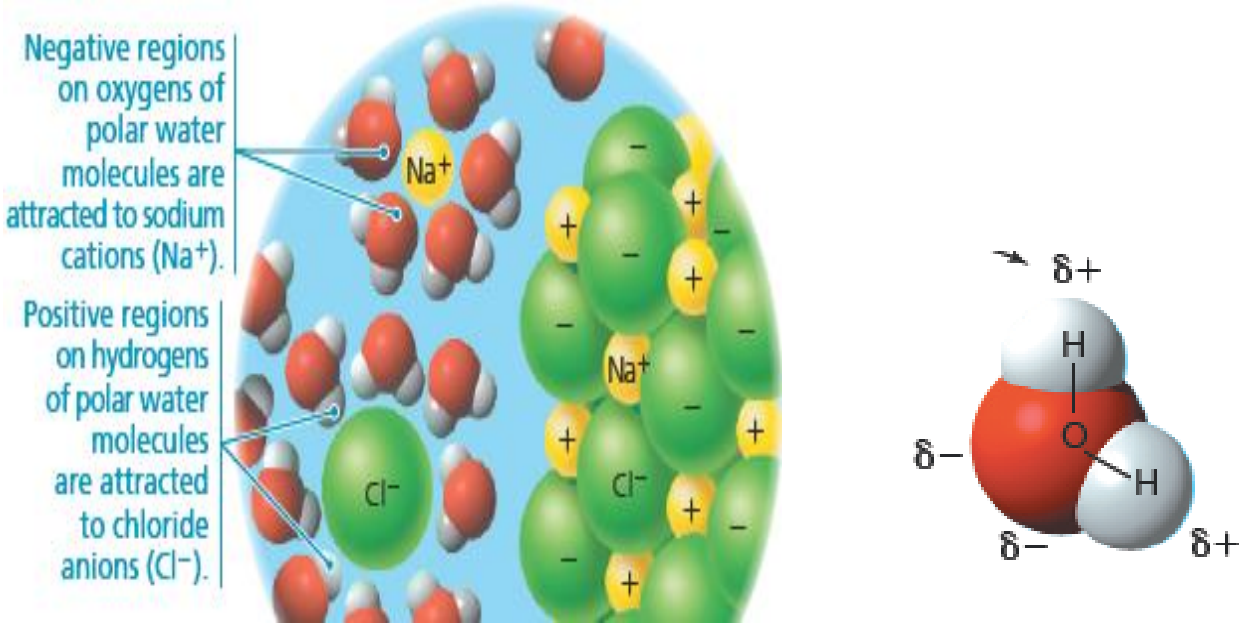
3- يرتبط الماء مع البروتينات الخلوية بواسطة قوى التشرب حيث يتم تشرب الماء من قبل الغرويات مثل البروتينات كما يبدو في الرسم التوضيحي 4. ويفسر هذا النوع من الارتباط قدرة البذور على الانتفاخ عندما تتشرب الماء. حيث يمكن أن نلاحظ كيف تشغل جزيئات الماء فراغات كبيرة بين مكونات النسيج المغذي للبذور (بروتين – ليبيد – شوارد ...الخ).



الشكل 4: ارتباط الماء بالبروتينات وتشكيل هلام بروتوبلاسمي.

4- يرتبط الماء مع الشوارد أو الجزيئات المنحلة بحالة الإماهه وتحتفظ أغلب هذه الشوارد بعدد من جزيئات الماء، مثلا تحتفظ جزيئة السكاروز بستة جزيئات ما، وهذا يعود على عنصر الأوكسجين الذي يتمتع بخواص كهرسلبية شديدة أي شديد الشراهة للالكترونات وبالتالي يجذب إليه الهيدروجين مما يخلق شحنة سالبة من جهة O وموجبة من جهة H وتبدو جزيئة الماء ثنائية الأقطاب. وتزداد طاقة إماهة الشاردة حسب عدد جزيئات الماء التي يمكن أن تثبتها (الشكل 5)وحسب طاقة التثبيت ويختلف ذلك من مركب لآخر حيث نجد أن الكالسيوم $Ca^{++}$ يتمتع بطاقة إماهه تزيد أربع مرات عن الصوديوم $Na^{+}$ والصوديوم أكثر محبة للماء من البوتاسيوم $K^{+}$ .




الشكل5: جزيئة الماء- تعشق أملاح الصوديوم للماء.

5- يتعلق ارتباط الماء بالجزيئات العضوية بمجموعتين منفصلتين الأولى تكون محبة للماء ( -NH2- COOH- CO- OH-.....الخ) وهذا ما يفسر محبة السكاكر والحموض الأمينية والبروتينات للماء ، أما المجموعة الثانية فهي كارهه للماء ومحبة للدسم مثل -CH3 وغيرها، ولذلك أهمية كبيرة في تشكيل البنية الخلوية الدقيقة حيث تشكل المجموعات المحبة للماء البروتوبلاسم بينما تشكل المجموعات الكارهه للماء الأغشية الخلوية ذات الطبيعة الفوسفوليبيدية كما نعلم.

## أنواع ارتباط الماء بالمادة الحية

تسمح الروابط المائية الموجودة بين الماء والمادة الحية من جهة وبين الماء والتربة من جهة أخرى إلى تقسيم الماء إلى ثلاث أنواع:

**الماء الحر:** يشكل هذا النوع الماء الذي يمكن مصادفته على الأعشاب أو الأوراق أو المبتلة أو داخل الاوعية الناقلة، وهو سهل التبخر لأن الروابط بينه وبين الأجسام المنحلة تكون ضعيفة، ويفقد النبات هذا النوع من الماء في حالة الذبول، وهو يشكل النسبة الأعلى من الماء الموجود داخل الفجوات العصارية.

**ماء البنية:** وهو الماء الذي يدخل في تركيب الجزيئات ولا يمكن فصله دون تغيير في البنية الجزيئية ويصادف بصورة أساسية في البروتينات ولا تتجاوز كميته 1 على 2% من الماء الإجمالي.

**الماء المرتبط:** هذا النوع اقل متانة من ماء البنية ولكنه أكثر ارتباطا من الماء الحر ويصادف هذا النوع في فراغات التربة الدقيقة وفي الأوعية الناقلة شديدة الدقة ويسمى **بالماء الشعري** وتتعلق متانة الروابط في هذا النوع ضمن الأوعية الناقلة بقطر الأوعية فكلما كانت أكثر دقة كلما كان الروابط أكثر متانة، كما في الأوعية الشعرية الموجودة في الغلف الخلوية. كما يوجد نوع آخر من الماء المرتبط أكثر متانة يعرف **بماء التشرب** وهو يوجد مرتبطا بالغرويات المحبة للماء مثل الفتيتات الموجودة داخل ماء الفجوات العصارية، ويصادف في الترب الغضارية وفي البروتوبلاسم وتصل نسبته في المادة الحية إلى 20%.

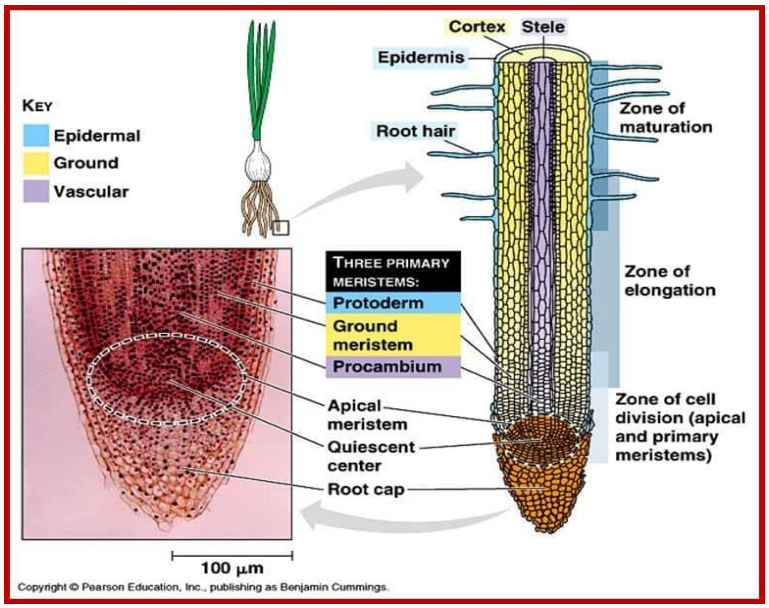
## امتصاص الماء

# The Absorbation of water

تمتص النباتات الوعائية عموماً الماء من جذورها والنباتات المائية من جميع سطوحها، بينما تستطيع النباتات الرمية أن تمتص الماء من خلال جذورها الهوائية أو أرواقها،سندرس في هذا الجزء امتصاص الماء عبر الجذور من التربة:

- **مناطق الجذر التي تقوم بعملية الامتصاص:**

تمتص معظم كميات الماء والاملاح من الأجزاء النهائية للجذور، ويعد عدد القمم في الجذر الواحد دليلا على فعاليته في الحصول على الماء والأملاح من التربة. نميز المناطق المختلفة في الجذر (الشكل6) من خلال دراسته باستخدام المكبرة ونجد في القمة منطقة صغيرة بيضاء اللون تسمى القلنسوة Root cap، وفوقها مباشرة منطقة صغيرة تتميز بلونها الأصفر قليلاً يبلغ طولها 1مم غالباً وهي المنطقة الجنينية (الميريستمية) Meristematic region وتعد منطقة الانقسامات الخلوية، يليها منطقة الاستطالات Eleongation region طولها عدة مليمترات وتحدث فيها معظم استطالة الخلايا. يأتي بعدها طبقة الشعيرات الماصة Root hairs ويختلف طول هذه المنطقة باختلاف النبات وتتداخل مع منطقة الاستطالة وتقع فوقها.




الشكل 6: مقطع طولي في جذر حديث النمو

- **ماء التربة:**

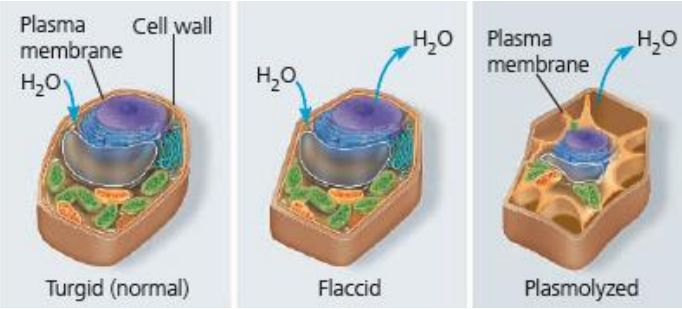
يرتبط الماء في التربة بعدة قوى مختلفة ومنها الارتباط الكيميائي وهنا يدخل في تركيب المواد المعدنية في التربة ولا يستفيد منه النبات، أو يدمص على شكل طبقة رقيقة على سطح التربة وأيضا لا يستفيد منه النبات، أما الماء الموجود بين حبيبات التربة في الفراغات الدقيقة فيمكن للنبات الاستفادة منه ويسمى الماء الشعري.

كما يوجد نوع رابع يسمى بالماء الهابط بفعل الجاذبية الأرضية وهو يرتبط ارتباطا مؤقتا بالجاذبية الأرضية و لا يتأثر بالخاصية الشعرية لانه يصل إلى أعماق كبيرة في التربة ويتوزع بين الفراغات الكبيرة ويحدث ذلك بعد هطول الامطار او عمليات الري بمدة قصيرة، و يستطيع النبات الاستفادة منه.

- **امتصاص الماء:**

يتم امتصاص الماء في الظروف الطبيعية بوساطة الجملة الجذرية وتكون منطقة الامتصاص الأعظمي للماء هي منطقة الشعيرات الماصة، بينما يكون معدل الامتصاص الاعظمي للأملاح يكون في المنطقة الجنينية من القمة.

يتاثر امتصاص الماء في الجذر بعدة عوامل ومنها: **تدرج في ما يسمى جهد الماء** (تركيز الماء)، أي أن الماء ينتقل من التربة على خلايا الجذور عندما يكون تركيز الماء في الجذر أقل من تركيزه في التربة وهذا ما يسمى الجهد السلبي للماء داخل خلايا الجذر كما تصفه بعض المراجع العلمية، وهو يمثل ظاهرة الحلول المتعارف عليها والتي يلخصها الرسم التوضيحي 7 الآتي، ويبين انتقال الماء بالحلول من العصارة الفجوية للخلية النباتية إلى الوسط الخارجي وفقا لممال التركيز.



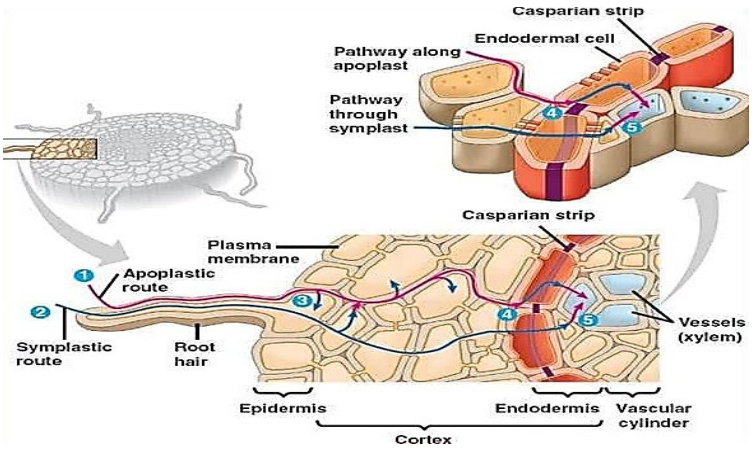

**الشكل 7: ظاهرة الحلول لخلية نباتية وضعت في محاليل مختلفة التراكيز. (Turgid: انتباج، flaccid: ذبول (رخو) ، plasmolyzed: البلزمة)**

كما يؤثر على امتصاص الماء **اختلاف نوع الجملة الجذرية**، حيث تتغلغل جذور بعض النباتات عميقاً في التربة بحثاً عن الماء، بينما تنتشر جذور أنواع نباتية أخرى لتشغل مساحات واسعة بالقرب من سطح التربة للهدف ذاته.

توجد منطقة النفوذية الأعظمية للماء في منطقة الشعيرات الماصة كما ذكرنا ولكن للشعيرات أنواع فبعضها تكون مؤقتة تدوم لمدة أقل من يومين، وبعضها تدوم فترة أطول وهي نادرة إلا أنها لوحظت في بعض النباتات، ولهذا تاثير على الامتصاص أيضاً، كما أن جدر الشعيرات تتغلظ ويترسب فيها الفلين والخشبين مما يضعف قدرتها الامتصاصية مع الزمن.

قد يحدث في الأشجار أن تمتص القمم الجذرية المتفلنة الماء من خلال سطوحها من خلال الشقوق والعديسات والجروح في الجذور الثانوية، وقد لوحظ ذلك عند نبات الصمغ الحلو والصنوبر قصير الورق والحور، حيث أن هذه الأشجار المعمرة لم تمتلك إلا قليلا من القمم الجذرية النامية حديثا وبالتالي تأقلمت مع حاجتها للماء بما يتناسب مع نموها من خلال ما سبق ذكره.

- **مسار الماء ضمن الجذور: (اطلع على الفيديو المرافق على الرابط التالي)**
  **https://www.youtube.com/watch?v=dl5TaOCTMVg**
- يسير الماء في منطقة الشعيرات وقربها عبر قشرة الجذر ومنها على البشرة الداخلية Endodermis ومن ثم المحيط الدائر وفي النهاية يصل إلى الاوعية الخشبية للجذر Xylem (الشكل8). يمر قسم كبير من الماء من خلال الجدر الخلوية في طبقات البشرة ومن ثم يتوقف في خلايا البشرة الداخلية لوجود شريط كاسبر Casparian strip وهو شريط من الفلين يترسب على الوجه الداخلي للجدر الأولية العرضية والشعاعية لخلايا البشرة الداخلية.

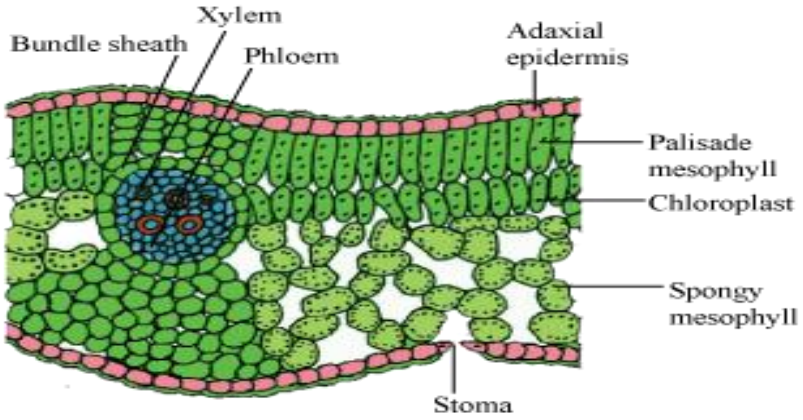



**الشكل 8: مقطع عرضي في جذر نباتي يمر من منطقة الشعيرات الماصة يوضح ممر الماء من التربة للخشب.**

يتحول بعد ذلك مسير الماء ليمر وفقا لظاهرة الضغط الحلولي اعتبارا من بروتوبلاسم خلايا البشرة الداخلية إلى الخلايا الناقلة للخشب ومن ثم إلى أنسجة الخشب في الساق وبعدها على الورقة.

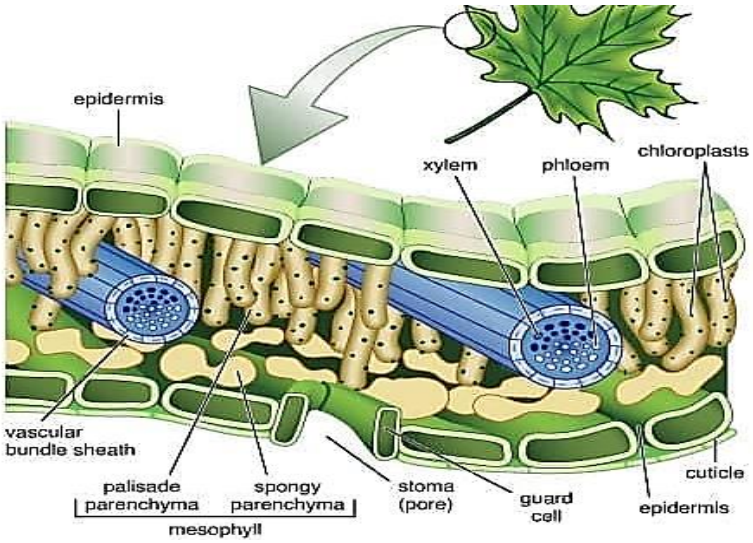
- **مسار الماء ضمن الورقة:**

يتفرع النسيج الوعائي للساق ويشكل شبكة من الأوعية الناقلة ومنها الخشب الناقل للماء والاملاح، وبعد ذلك تصل هذه الأوعية للورقة وتتفرع ضمنها على شبكة من الاوعية الناقلة في العروق أو العصيبات veins وتشكل الحزم الوعائية للورقة (الشكل 9)، وتختلف في النباتات أحادية الفلقة عنها في النباتات ثنائية الفلقة، حيث تتميز الأولى بوجود ما يسمى bundle sheath أي غمد الحزمة الوعائية. وهي من مميزات النباتات C4.




الشكل 9: مقطع عرضي في ورقة نبات احادي الفلقة.

تبدي النباتات أحادية الفلقة وثنائية الفلقة اختلافات تشريحية وخاصة في النسيج المتوسط، حيث تحتوي ذوات الفلقتين (الشكل 10) على نسيج متوسط يتمايز إلى نوعين وهما برانشيم أسفنجي أو فراغي spongy وآخر عمادي palisade، يمر الماء من الأوعية إلى النسيج المتوسط ويستهلك جزء صغير منه في الخلايا بينما تتبخر كميات كبيرة منه على شكل بخار ماء ينتقل من سطوح خلايا النسيج المتوسط إلى المسافات البينية ومن ثم تتسرب إلى الغرفة تحت السم وبعدها على الجو عن طريق المسام. ويتعلق ذلك بفروق التراكيز بين داخل الورقة وبخار الماء في الهواء الخارجي.




الشكل 10: مقطع عرضي في ورقة نبات ثنائي الفلقة.

يقارب معدل النتح في النباتات معدل الامتصاص غالبا وقدي يزيد عليه لأحياناً، ويفسر ذلك بتزايد ما يسمى جهد الماء والذي ينتج من انتقال القوة الماصة الناتجة عن الحركة السريعة للماء في الخشب إلى الساق والجذر مما يسمح بزيادة امتصاص الماء من التربة. نتيجة لزيادة سلبية جهد الماء في العصارة الخلوية.

- **امتصاص الماء في الأجزاء الهوائية:**

يتم امتصاص الماء في الأجزاء الهوائية بحالتيه السائلة والغازية ويتوقف ذلك على جهد الماء في خلايا الورقة وعلى نفوذية طبقة القشرين cutin، يعتقد بعض العلماء أن الماء الممتص من قبل الأوراق يسير باتجاه عكسي أي ينتشر إلى الجذور ومن ثم التربة، وقد أثبت ذلك في تجارب أجريت على نباتي الذرة الصفراء والبندورة.

أخيرا تم تقسيم انتقال الماء في النبات وفقاً لنشاطين أطلق عليهما انتقال الماء والمواد المنحلة فيه عبر المجموع الحي والذي يشمل الخلايا والجدر والمسافات البينية في الجذور والسوق والأوراق وينتقل الماء عبر هذا النشاط تحت تأثير الحلول والفعل الشعري والانتشار الحر.

أما النشاط الثاني فقد أطلق علية بالمجموع غير الحي وفيه ينتقل الماء والمواد المنحلة في الخلايا النباتية بتأثير الحلول والانتشار الحر (الامتصاص السلبي) أو الامتصاص النشط للأملاح. ويساهم في هذا المجموع النبات الحي بما فيه من اتصالات هيوليه ومكتنفات حية ضمن الغشاء الهيولي.

**سنتعرف في المحاضرة القادمة على مفهوم الامتصاص السلبي والامتصاص النشط وما هي أهم العوامل المؤثرة في عملية الامتصاص عند النباتات. وما علاقة بنية التربة بامتصاص الماء.**

مكتبة A to Z