الماء والتغذية في النبات

للماء اهمية كبيرة اذ ان اساس الحياة يرتبط ارتباطا وثيقا بوجود الماء فهو مصدر لعنصر الهيدروجين والذي يعتبر ضروريا لكل الجزيئات العضوية. والماء مذيب لكثير من المواد كالأملاح التي تعتبر المصدر الرئيس لأيونات العناصر الغذائية في التربة كما انه مذيب للسكريات والانيونات العضوية، وهو الوسط الذي تحدث فيه كل التفاعلات الكيمياوية والحيوية للنبات. والماء يسمح بانتشار المواد الذائبة وجريانها وانسيابها الكتلي ولهذا فان الماء يعد ضروريا لامتصاص وانتقال المغذيات ونواتج التفاعلات الحيوية الى باقي اعضاء النبات الاخرى. فضلا عن ذلك فان للماء فعلا مهما في الفجوات العصارية للنباتات اذ يسبب ضغطا على برتوبلازم وجدار الخلية والذي يعرف بالضغط الانتفاخي ΨP (turgor pressure) وبذلك فانه يحافظ على صلابة الاوراق والجذور وغيرها من الاعضاء النباتية. ان الجهد المائي ΨW (Water potential) كان له الفضل في فهم الاساس العلمي للعمليات التي يساهم فيها الماء. ان مصطلح الجهد المائي يوضح ما موجود من قوة او طاقة كيمياوية دافعة او كامنة في الماء ويمكن تعريف الجهد المائي بانه الفرق في الجهد الكيمياوي الناتج عن الفرق تركيز المحلول المائي (الماء المحتوي على مواد ذائبة فيه) وبين تركيز الماء النقي الحر تحت درجة حرارة واحدة ولوحدة حجم واحدة. ان وحدة الجهد المائي هي وحدة الضغط ، والضغط يقاس عادة بـ bar او ضغط جوي(atmosphere) والبار يعادل 10^6داين/سم^2 والبار يعادل ايضا 0.987 ضغط جوي atm. افترض ان الجهد المائي للماء النقي الحر يساوي صفرا وهذا يعني ان نشاط حركة جزيئات الماء المقطر النقي الحر اعلى ما يمكن ويقل الجهد المائي للماء كلما زاد تركيز المواد الذائبة فيه اي يقل نشاط حركة جزيئاته بزيادة المواد الذائبة في الماء. وجد ان الجهد المائي للأنسجة النباتية يكون ما بين 10− 20 بار في حين ان الجهد الازموزي (الضغط الازموزي) للمحاليل المغذية يكون بين 0.5−1 بار اما الجهد الازموزي لمحاليل التربة غير الملحية والحاوية على كمية من الماء فهو يماثل تقريبا الجهد الازموزي للمحاليل المغذية ويكون من 1−2 بار.

يتأثر الجهد الازموزي بعدد من العوامل منها

1. الضغط الهيدروستاتيكي الخارجي المعرض له الماء.
2. وجود المواد الذائبة في الماء.
3. القوى المرتبطة بالسطوح الصلبة والسائلة Ψm matric forces.
4. التأثيرات الكهربائية الناجمة عن الشحنات الموجبة و السالبة للأيونات او الشحنات السالبة والموجبة لغرويات التربة والمسماة بالطبقة الكهربائية المزدوجة electric double layer او الشحنات السالبة لجدار الخلية وغشاء البلازما.

5. تأثيرات الجاذبية ربما تكون ذات اهمية في بعض الحالات الخاصة.
6. تأثير درجة الحرارة Ψt temperature.

ولكن غالبا ما تهمل تلك التأثيرات ويؤخذ بنظر الاعتبار ثلاثة مكونات للجهد المائي وهي الموضحة في المعادلة الاتية $\Psi W=\Psi p+\Psi s+\Psi m$ حيث ان

ΨW= الجهد المائي والذي يمثل القوة المحركة لانتقال الماء والناتج عن الفرق في الجهد المائي بين نقطتين والذي يمثل الفرق في التركيز بين المحلولين والذي يشير الى الفرق في القوة او الطاقة الكيمياوية الدافعة او الكامنة للماء معبرا عنها بالضغط الجوي او البار.

Ψp= ضغط الانتفاخ والذي يعبر عن القوة المبذولة على الجدار الخلوي وغشاء البلازما من داخل الخلية الى الخارج بوحدة الضغط الجوي.

Ψs= الجهد الازموزي والناتج عن المواد الذائبة وهو يمثل القوة المحركة لجزيئات الماء من محلول التربة الخارجي الى داخل الخلية (المحلول الداخلي) بوحدة الضغط الجوي.

Ψm= القوة الهيكلية وهو ناتج عن تأثير السطوح الصلبة في الطور المائي ويسمى هذ المكون بجهد التشرب حيث ان الماء يمكن ان يحيط بجزيئات كبيرة مثل البروتينات والسكريات المتعددة بواسطة اواصر الهيدروجين بوحدة الضغط الجوي.

وبهذه الكيفية يمكن ان تتشرب imbibition سطوح الخلايا والاغشية المائية بالماء. علاوة على هذا التأثير الامتصاصي فقد يحمل الماء شعريا capillary بوساطة تأثير الشد السطحي surface tension وهذه القوى التي يطلق عليها matric forces. وبما ان هذه القوى تعرقل حركة الماء فأنها تؤدي الى خفض الجهد المائي ولهذا فان قيمته Ψm تكون سالبة. في حين ان قيمة ضغط الانتفاخ تزيد من قيمة الجهد المائي ولذلك فأنها تحمل اشارة موجبة غالبا.

في اجزاء النبات الحديث العمر تكون نسبة الماء المقيد بواسطة قوى الـ matric قليلة جدا ولذلك فانها تهمل غالبا ويكون لهذا اهمية في التربة او عندما تكون الانسجة النباتية قد استغلت اكثر من 50% من محتواها المائي. ويصبح الجهد المائي مكونا فقط في مكونين وكما يأتي

$\Psi W=\Psi p+\Psi s$ ان وجود الذائبة في الماء يؤدي الى تقليل تركيز الماء وبعبارة ادق يؤدي الى تقليل نشاط حركة جزيئاته وهذا بدوره يخفض الجهد المائي ومن ثم قلة قابلية نفاذ الماء اي انتشاره من المحلول الخارجي الى داخل النبات. ان الجهد الازموزي Ψs هو دائما ذو قيمة سالبة اي اقل من صفر والذي هو قيمة الجهد المائي للماء الحر النقي.

ان كلا من قوى الـ matric Ψm والمواد الذائبة Ψs تخفض من الجهد الازموزي (اي تزيد قيمته السالبة) ولهذا السبب فان الجهد المائي لأجزاء النبات (الاوراق ، السيقان ، الجذور) تكون سالبة، غير انه تحت ظروف معينة ربما يكون الضغط الهيدروستاتيكي في الفجوات عاليا فيؤدي الى حصول الجهد المائي على قيمة الصفر في حالة الانتفاخ.

ان الجهد المائي يمثل القوى المحركة لانتقال الماء وان حركة الماء في الخلايا والانسجة النباتية تحصل من الجهد المائي العالي (الاقل تركيزا اي ذو المحتوى المنخفض من المواد المذابة) الى الجهد الواطئ (الاكثر تركيزا اي ذو المحتوى العالي من المواد المذابة).

تعتمد حركة الماء بين النقطتين على الاختلاف بالجهد المائي وعلى مقاومة الجريان او السريان او الانسياب الكتلي mass flow ومثل هذه المقاومات في النبات هي جدران الخلايا والاغشية الحيوية والكيوتيكل وغيرها. عندما تقل جاهزية الماء في التربة ويكون الناتج عاليا فتكون النتيجة قلة الماء المتواجد في الخلايا وبهذا تصبح النتيجة سالبة (اي فقدان الماء من قبل النبات اعلى من ΨW يعني انخفاض قيمة الجهد المائي امتصاصه وتصبح قيمة الجهد المائي سالبة بدرجة اعلى مما كانت عليه سابقا). وعندما يكون فقد الماء عاليا يذبل النبات ويوقف الانخفاض الشديد في الجهد المائي في هذه الحالة نمو النبات.

ان الطريق السهل والمتعارف عليه لموازنة فقد الماء وتجنب انخفاض الجهد المائي هو الري، اذ لوحظ ان للري تأثير ايجابي في الحاصل، اذ تبين زيادة امتصاص النتروجين من قبل النبات بزيادة اضافة السماد النتروجيني نتيجة لعملية الري ، وان الامتصاص العالي للنتروجين في المعاملة المروية كانت موازية للزيادة في الحاصل. هذا وتختلف الاحتياجات المائية للنباتات باختلاف مراحل نموه.

النتح

يعرف بانه عملية فقد الماء من النباتات بشكل بخار. على الرغم من اهمية المياه فان كميته المستغلة فعليا في العمليات الحيوية للنبات، لا تشكل الا جزءا بسيطا من الكمية الكبيرة التي يمتصها النبات، وان نسبة كبيرة من هذه المياه تصل 99% من مجموع ما يمتصه النبات تتسرب عبر الاوراق والساق، على هيئة بخار وتسمى هذه العملية بالنتح Transpiration. النتح عملية مفيدة للنبات لأنها تقوم بتبريد الاوراق وتسبب صعود العصارة النباتية وتزيد من امتصاص العناصر المعدنية، كما يعزى له دور في نمو وتطور النبات والمحافظة على الانتفاخ الامثل للخلايا. ويرى البعض بان احسن طريقة للتعبير عن عملية النتح بانها شر لا يمكن تجنبه وان سبب عدم امكانية تجنبه هو التركيب التشريحي للورقة وسببه كونه شر لأنه غالبا ما يؤدي الى نقص الماء في النبات واحداث اضرار له نتيجة جفافه.

مقر النتح

يقسم النتح الى صنفين اساسيين عبر الثغور وعبر الادمة مع العلم ان اكبر نسبة من الفقد تتم عبر النتح الثغري بينما لا يمثل نتح الادمة سوى حوالي 5−10% من مجموع ما يفقده النبات من المياه في المناطق المعتدلة وفي العموم لا يكون نتح الادمة مهما الا في نباتات المناطق الرطبة ذات الادمة الرقيقة ويكون اقل اهمية لدى نباتات المناطق الجافة المحتوية على ادمة غليظة. كما

يمكن مشاهدة نوع ثالث يعرف بالنتح العديسي اقل اهمية من النوعين السابقين ويتم عبر فتحات دقيقة في الانسجة الفلينية التي تغطي اسطح السيقان والافرع.

الية انفتاح وانغلاق الثغور

للخلايا الحارسة جدار داخلي سميك والمواجه للفتحة الثغرية مقارنة مع الجدران المقابلة لها اي الخارجية ذات الجدران المرنة. يزداد الضغط الانتفاخي للخلايا الحارسة بدخول الماء اليها من الخلايا المجاورة. بانتفاخ الخلايا الحارسة تتأثر جدرانها الخارجية وهي الارق بشكا اكبر من تاثر الجدران السميكة اي الداخلية، ولذلك تتمدد الى داخل خلايا البشرة المحيطة. ويؤدي التغير الحاصل في شكل الخلايا الحارسة الى زيادة مساحة فتحة الثغر. اما نقصان الانتفاخ في الخلايا الحارسة فيحدث بسبب فقدان الماء ومن ثم يسمح بتقلص الحجم بان تستعيد الجدران الداخلية المرنة شكلها الاولي مما يسبب في انغلاق الثغر.

اننا نجهل دائما الحقيقة التي تدفع بالخلايا الحارسة بامتصاص او فقد الماء واعتقد الجميع لمدة طويلة ان مواد تحلل النشا هي التي تساهم في انطلاق ظاهرة الحلول Osmose ففي عام 1968 قام احد العلماء بغطس شرائح من البشرة السفلية لنبات فول داخل محلول من كلوريد البوتاسيوم بتراكيز مختلفة. فلاحظ عند الاضاءة وفي جو فقير من غاز ثاني اوكسيد الكاربون انفتاح الثغر، لان الخلايا الحارسة تمتص ايونات البوتاسيوم متبوعة بارتفاع للضغط الحلولي (الازموزي). ويبدو ان النقل الفعال يتدخل في امتصاص ايونات البوتاسيوم عند بدء عملية البناء الضوئي ، ويرجع ذلك الى ان البناء الضوئي يحدث انخفاضا في تركيز غاز ثاني اوكسيد الكاربون داخل الورقة فيتم عندها بسرعة امتصاص البوتاسيوم بواسطة الخلايا الحارسة متبوع بفتح الثغر وبالعكس فان الحركة للبوتاسيوم خارج الخلايا الحارسة يحدث غلق للثغر الناجم عن الانكماش.

لا يمكن للبناء الضوئي ان ينظم لوحده هذه الالية، ان لكمية الماء المتوفرة في خلايا الورقة دورا تلعبه ايضا. عندما ينقص ماء الورقة فأنها تذبل وتغلق الثغور وهذا ناجم عن هرمون نباتي يعرف بحامض الابسيسيك تفرزه الخلايا عندما يكون هناك اجهاد او نقص مائي مما يجبر البوتاسيوم على مغادرة الخلايا الحارسة ويعرف هذا الهرمون النباتي من طرف علماء فسلجة النبات بهرمون الاجهاد او النقص المائي كما لوحظ في دراسات عديدة ان الاس الهيدروجيني المرتفع يحفز فتح الثغور اما الاس الهيدروجيني المنخفض فيحفز غلق الثغور.

العوامل المؤثرة على شدة النتح

يمكن تقسيمها الى صنفين احدهما خاص بعوامل النبات والاخر بالعوامل البيئية

اولا عوامل النبات

أ. نسبة المجموع الجذري الى نسبة المجموع الخضري: عندما تكون جميع الظروف مناسبة للنتح فان كفاءة سطح الامتصاص (سطح الجذر) والسطح الناتح (سطح الورقة)هما المتحكمان في معدل النتح، فلو كان امتصاص الماء اقل من النتح فان النبات يعاني من نقص الماء بداخله وبالتالي سوف يقل النتح، فقد وجد ان النتح يزداد بزيادة نسبة الجذر الى الساق.

ب. مساحة الورقة: من المنطق ان نفترض انه كلما كبرت مساحة الورقة زاد فقد الماء، هذا الافتراض صحيح، الا ان التناسب بين مساحة الورقة وفقد الماء غير صحيح. لذلك فقد لوحظ ان تقليم اشجار الفاكهة يزيد من معدل نتحها لكل وحدة من مساحة الورقة، الا ان الماء الكلي المفقود يكون اعلى في الاشجار غير القلمة. وربما تنشا هذه الحالة من تلك الحقيقة، الا وهي ان المجموع الجذري للأشجار المقلمة يمدها بكمية اكثر من الماء الى عدد اقل من الاوراق وبالتالي زيادة كفاءة النتح.

ت. عدد الثغور وتركيب الورقة: تظهر في العادة نباتات المناطق الجافة عددا من التحورات التركيبية خاصة بأوراقها، فالأوراق تلك النباتات طبقة ادمية شمعية سميكة وجدر خلوية سميكة وخلايا برانشيمية عمادية ذات تطور عالي، وثغر غائرة وتغطى بشعيرات بشرية ميتة....الخ. فعند مقارنة اوراق نبات من المناطق الجافة مع اوراق نبات من المعتدلة بالعيش في ظروف الجفاف جنبا الى جنب فسوف نلاحظ الذبول المبكر على اوراق نباتات المناطق المعتدلة قبل ظهورها على اوراق نباتات الجفاف بمدة زمنية اطول. كما ان ثغور اوراق نباتات المناطق الجافة تغلق تحت ظروف الجفاف وفي وجود الضوء أيضا، وعندها يمثل نتح الادمة الوسيلة الوحيدة لفقد الماء. كما لاحظ العديد من الباحثين ان الامداد الكافي بالماء، يؤدي الى ان معدل النتح لأنواع المناطق الجافة يكون اعلى منه في نباتات المناطق المعتدلة، ويرجع ذلك جزئيا الى العدد الاكبر من الثغور لوحدة المساحة، والتشعب الغزير للعروق في اوراق نباتات المناطق الجافة يكون عاليا مقارنة مع نباتات المناطق المعتدلة. كما يمكن تصنيف النباتات وفق اوساطها البيئية المناسبة.

ث. المرض: ان تأثير الامراض على العلاقات المائية للنبات نادرا ما يلفت انتباه الباحثين؟ ومع ذلك فقد اشار البعض بانه عند عملية تكوين ابواغ الصدأ على اوراق الفاصوليا المصابة به، لوحظ ازدياد عملية النتح في هذه النباتات بمقدار 50% عنه في النباتات السليمة، كما لوحظ ازدياد النتح عندما تصاب اوراق الشعير بمرض العفن الفطري.