**مقاومة إجهاد الجفاف**

**Drought stress resistance**

**مقدمة**

**تقسيم النباتات على أساس مقاومتها للجفاف**

**تجنب الجفاف وتحمله**

**العلاقة بين المقاومة ومرحلة التطور**

**الصفات الجفافية**

**مقدمة**

**Introduction**

يعد الجفاف من بين أهم المشكلات التي تواجه التوسع في الإنتاج النباتي في العالم وخاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة. لقد اهتم عدد كبير من الباحثين في جميع أنحاء العالم بدراسة تأثير الجفاف على نمو النبات وتطوره، وكذلك اهتموا بدراسة استجابة العمليات الفسيولوجية والأيضية للنقص في المحتوى المائي في أنسجة النبات.

يستخدم مصطلح مقاومة الجفاف للدلالة على مقدرة النباتات على النمو بشكل مقبول، عندما يعرّض إلى فترات من الجفاف **(May and Mithorpe,1962 عن Clark and Durley, 1981)**.

عرَّف **(Henckel, 1964)** النبات المقاومة للجفاف **(Drought resistant plants)** بأنها النباتات التي تستطيع في المراحل الأولى من تكوينها **(Ontogenesis)** أن تتأقلم للجفاف وتستطيع النمو والتطور والتكاثر بشكل طبيعي في ظروف من الجفاف نظراَ لإحتوائها عدداً من المميزات التي تتكون أثناء تطورها وذلك نتيجة تأثير الظروف البيئية والإختيار الطبيعي.

عرَّف العالم **(Levitt, 1980)** مقاومة الجفاف بأنها الجهد المائي اللازم لقتل **(50%(** من النسيج النباتي كما هو موضح في المعادلة التالية:

**Rd = ψe50**

**حيث**:

**Rd** مقاومة الجفاف

**Ψe50** جهد الماء الذي يسبب قتل **(50%)** من النسيج النباتي

**ويمكن أن تقاس المقاومة بالطرق التالية (عن Levitt, 1980):**

* قياس الإنتاج النباتي في الحقل أثناء الإجهاد
* قياس طول الفترة الزمنية التي يستطيع أن يبقى فيها النبات حياً بعد منع الري والماء عنه
* قياس كفاءة النبات في استخدام الماء **(وهي كمية الماء اللازمة لإنتاج وحدة من الوزن الجاف)**. هذه الطريقة كانت تستخدم قديماً باعتبار أن الطريقة الوحيدة لمقاومة إجهاد الجفاف هي الإقتصاد في استهلاك الماء.

**تقسيم النباتات على أساس مقاومتها للجفاف**

هناك العديد من الأسس والمحاولات التي استخدمت لتقسيم النباتات إلى مجاميع حسب طريقة تأقلمها لإجهاد الجفاف. وسوف نستعرض هذه التقسيمات بإيجاز.

**تقسيم ورمنج (Warming’s classification)**

يستخدم علماء البيئة تقسيم العالم ورمنج **(Warming, 1985 عن Levitt, 1982)** للنبات. وقد قسم هذا العالم النباتات على أساس كمية الماء التي تحتاجها للنمو الطبيعي ولإكمال دورة حياتها إلى عدة مجموعات هي:

**النباتات المائية (Hydrophytes)**

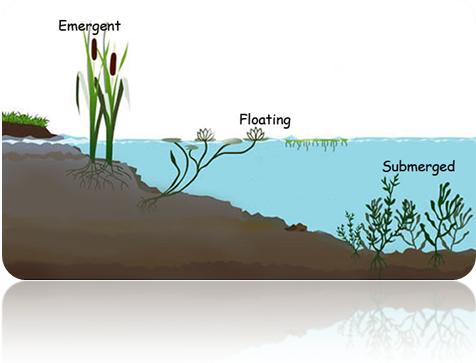
وتشمل هذه المجموعة النباتات التي تأقلمت لكي تعيش مطمورة (مغمورة) أو شبه مطمورة في الماء أو في الأماكن المشبعة بالماء.

وتشمل أيضاَ النباتات الموجودة بشكل طبيعي في البرك والمستنقعات ومجاري المياه وغيرها .... الخ. تمتلك نباتات هذه المجموعة عدداً من التحورات في الشكل الظاهري والتركيب التشريحي تساعدها على التأقلم لمثل هذه البيئات من هذه التحورات **(عن الوهيبي، 1984 م)**.

* رقة الأدمة والتي بدورها تساعد على انتشار الأكسجين إلى داخل النبات
* وجود الأنسجة الهوائية **(البرانشيمة الهوائية)** وهذه الأنسجه تساعد على تهوية أنسجة النبات.
* عدم وجود الثغور أو عدم فعاليتها.
* قلة الأنسجة التوصيلية والدعامية
* قلة الجذور.

**تُقسَّم النباتات المائية حسب علاقتها بالماء والهواء إلى عدة أقسام ( مجاهد وآخرين 1987 م) وهي:**

* النباتات المغمورة المثبتة في القاع **(Submerge anchored hydrophytes)** وتشمل النباتات التي تعيش مغمورة تماماً في الماء وتثبت نفسها في القاع.
* النباتات المائية المعلقة **(Suspended hydrophytes)** وتشمل النباتات المعلقة والسابحة في الماء وهي تنتقل بسهولة بفعل تيارات الماء.
* النباتات المائية الطافية **(Floating hydrophytes)** هذه النباتات لا ترتبط بالقاع وتتصل بالماء والهواء.
* النباتات المائية المثبتة في الأرض ذات الأوراق الطافية **(Floating-leaved anchored hydrophytes)** وهذه النباتات تثبت نفسها في القاع بواسطة الجذور وأوراقها تطفو فوق سطح الماء.
* النباتات البرمائية أو المنبثقة **(Amphibious or emergent anchored plants)** وهذه النباتات متأقلمة لأن تعيش في المياه الضحلة وهي تغمر جذورها وأجزاءها السفلى بالماء ويرتفع معظم مجموعها الخضري فوق سطح الماء.



**النباتات المتوسطة (Mesophytes)**

وتنتمى إلى هذه المجموعة النباتات المتوسطة في احتياجها للماء مقارنة بالنباتات المائية والجفافية. وهي توجد في بيئات لا يصل فيها المحتوى المائي للتربة إلى درجة التشبع ولا ينقص محتواها المائي إلى درجة الجفاف وتمتاز نباتات هذه المجموعة بقدرتها على التحكم في كمية الماء المفقود في عملية النتح عن طريق التحكم في حركة الثغور ومقاومتها. ينتمى إلى هذه المجموعة معظم نباتات المحاصيل وتتميز هذه النباتات بغزارة تفرع جذورها ويتساوى فيها عادة طول الجذر مع ارتفاع المجموع الخضري أو يزداد أحياناً ارتفاع الجذر، وكذلك يتساوى فيها الحيز الذي تشغله الجذور مع الحيز الذي يشغله المجموع الخضري **(عن مجاهد وآخرون 1987 م)**.

**النباتات الجفافية (Xerophytes)**

تشمل هذه المجموعة النباتات التي تأقلمت لكي تعيش في المناطق ذات الصفات الجفافية، وتمتلك عدداً من التحورات المورفولوجية والتشريحية والفسيولوجية التي تمكِّنها من إستيطان هذه البيئات.

يرى **(Henckel, 1964)** أن النباتات الجفافية الحقيقية **(Euxerophytes)** هي النباتات التي تمتلك المقدرة على فقد كمية كبيرة من محتواها المائي ، ولا تحدث لها أضراراً وتصل كمية الماء التي تستطيع فقدها إلى **(60%)** و **(70%)** من وزنها الرطب

بالإضافة إلى أن هذه النباتات تتميز بزيادة مطاطية البروتوبلازم **(Protoplasmic elasticity)** مقارنة بالنباتات المتوسطة الإحتياج المائي.

**من أنماط النباتات الجفافية ما يلي (عن مجاهد وآخرين 1987م):**

**النباتات الحولية الموسمية (Ephemeral annuals):**

وهذه المجموعة من النباتات تكمل دورة حياتها في الفصل الممطر في فترة زمنية قصيرة تتراوح بين **(6 إلى 7 أسابيع)** وتقضي فترة الجفاف على هيئة بذور ساكنة. تتميز هذه النتاتات بصغر حجمها وضحالة مجموعها الجذري والذي يمتد أفقياً في التربة إلى مساحة كبيرة.

جميع النباتات الموسمية الصحراوية التي تنبت بذورها بعد سقوط المطر صيفاً هي – تقريباً – من النباتات التي تنبت بذورها بعد سقوط المطر في فصل الخريف فهي من نوع نباتات **(C3)** **(Turner, 1979 عن Levitt, 1980)**.

**النباتات شبه الموسمية (Ephemerals):**

تكمل هذه النباتات دورة حياتها في فترة زمنية قصيرة في الفصل الممطر وفي بداية الفصل الجاف يجف فيها الجزء الموجود فوق سطح التربة ويموت وتبقى تلك الأجزاء تحت سطح التربة مثل الزيزومات والأبصال والدرنات.

**النباتات المعمرة العصارية (Perennial succulents):**

تتميز خلايا هذه النباتات بتضخم الفجوات العصارية واتساعها، وهذا النوع من التحور يمكِّن النبات من تخزين الماء في خلاياه في الموسم الممطر ويستخدم هذا الماء المخزن في فصل الجفاف. الماء في هذه النباتات يخزن في الأوراق أو في الساق أو في الجذور.

**النباتات الجفافية القياسية (Sclerophytes):**

تشمل هذه المجموعة معظم النباتات الصحراوية المعمرة ومنها نباتات حشائش وشجيرات وأشجار وأعشاب متخشبة.





**تقسيم شانتز (Schantz classification):**

إتبع شانتز التقسيم الذي تبناه العالم تن آيك **(Ten Eychk, 1910)** لنباتات المناطق الجافة. قسّم شانتز **(Schantz, 1972 عن Parker, 1968)** نباتات المناطق الجافة إلى أربع مجموعات وهي:

**نباتات هاربة من الجفاف (Drought escaping):**

وهي نباتات صحراوية لا تمتلك ميكانيكيات خاصة لمقاومة الجفاف، وتعتمد تأقلمها للبيئات الجافة على تنظيم نموها . يحدث النمو الخضري فيها في الفصل الرطب فقط، وتمضي الفصل الجاف على هيئة طور ساكن مثل البذور.

مقاومة الجفاف بالهروب ظاهرة منتشرة في المناطق التي تتميز فيها دورات من الجفاف والرطوبة.

من أمثلة النباتات الهاربة من الجفاف النباتات الموسمية وهي إما أن تكون نباتات حولية تتكاثر بالبذور أو تكون نباتات معمرة تتكاثر بالأبصال والريزومات. تمتاز النباتات الهاربة من الجفاف بحدوث الإنبات بعد سقوط الأمطار وتنمو النباتات وتزدهر بسرعة وتنضج ثمارها في فترة زمنية قصيرة في خلال الفصل الرطب. تعتمد كمية النمو الخضري والإنتاج النباتي فيها على كمية الأمطار وعلى طول فترة الرطوبة.

يرى **(Levitt, 1980)** أن النباتات الهاربة من الجفاف تحتاج إلى الإرباع **(Vernalization)** بحرارة فصل الشتاء المنخفضة والإرباع يستحث الإزهار فيها قبل حلول فصل الصيف الجاف.

يرى أحد المتخصصين أن النباتات الهاربة من الجفاف ليست نباتات جفافية ومن الأفضل أن يطلق عليها اسم نباتات جفافية كاذبة **(Pseudoxerophytes)** **(Hencted, 1932 عن Parker, 1968)**.

**نباتات تتحاشى الجفاف (Drought – evading plants):**

تشمل النباتات التي تقتصد في استهلاك الماء مثل بعض نباتات الحبوب في المناطق شبه الجافة والتي تتميز بانخفاض معدل النتح لوحدة الوزن الجاف.



**نباتات تتحمل الجفاف (Drought – enduring plants):**

وهي نباتات لا تقتصد في استهلاك الماء ولكنها تفقد أوراقها وتتميز بأن أنسجتها تستطيع أن تتحمل فقد كميات كبيرة من الماء **(تتحمل التجفيف)**. وقد أطلق **(Parker, 1968)** على هذه الصفة **(مقاومة التجفيف (Desiccation resistance))**.



**النبات المقاومة للجفاف (Drought-resistant plants):**

هي النباتات التي تخزن الماء في الأوراق أو الجذور ومن أبرز أمثلتها النباتات العصارية.



**تقسيم ميكسيموف (Maximov classification):**

قسّم مكسيموف **(Maximov, 1929 عن Levitt, 1980)** النباتات الجافة إلى ثلاث مجموعات هي :

* النباتات الموسمية **(Ephemerals)** وتشمل النباتات التي تكمل دورة حياتها في البيئات الجافة في الفصل الرطب قبل حلول الفصل الجاف.
* النباتات العصارية **(Succulents)** وتسمى النباتات المقتصدة في الماء **(Water-conserving plants)**.
* النباتات الجفافية الحقيقية **(True xerophytes)** وهي نباتات تقاوم الجفاف ولا تقتصد في استهلاك الماء.

**تجنب الجفاف وتحمله**

**Drought avoidance and drought tolerance**

تتميز النباتات التي تقاوم الجفاف بالتجنب بارتفاع جهد الماء في خلاياها عندما تتعرض إلى إجهاد نقص الماء. ويتم ذلك عن طريق تحورات مورفولوجية وتشريحية تساعد على كل من مقدرة النبات على امتصاص الماء من التربة الجافة وعلى انخفاض معدل النتح.

النباتات التي تقاوم الجفاف بالتحمل ينخفض جهد الماء في خلاياها عند تعرضها لإجهاد جفاف. وتتميز هذه النباتات بمقدرة البروتوبلازم في خلاياها على تحمل درجة كبيرة من التجفيف دون أن تظهر عليها أضرار الجفاف.

يبدو أن المقدرة على تحمل درجة كبيرة من التجفيف صفة لا تتميز بها معظم النباتات الراقية لأن معظم النباتات الراقية تموت عندما تفقد **(40% إلى 90%)** من محتواها المائي أو عندما تصل إلى اتزان مع رطوبة نسبية قدرها **(91% إلى 98%)** **(Levitt, 1960 عن Bewley and Krochko, 1982)**. صفة تحمل التجفيف موجودة في عدد من الكائنات الدقيقة (مثل الطحالب والأشنات) وبعض مغطاة البذور.

تسمى النباتات التي تتحمل الجفاف نباتات بوكيلوهيدرز **(Poikilohydric plants)** **(Walter, 1955 عن Bewley and Krochko, 1982)**، وتسمى النباتات التي لا تتحمل الجفاف هوميوهيدرز **(Homiohydrous)** **(Walter, 1955 عن نفس المرجع السابق)** وتسمى كذلك النباتات الحساسة للتجفيف **(Dessication sensitive)** **(عن Dewley and Krochko, 1982)**

****

**العلاقة بين المقاومة ومرحلة التطور**

يبدو أن مقاومة النبات لإجهاد نقص الماء تعتمد على مرحلة التطور التي يتعرض فيها للإجهاد، وقد ذكر **(Levitt, 1980)** عدداً من الأمثلة على ذلك نذكر بعضاً منها:

****ينقص تحمل البادرات للجفاف مع تطورها أي أن البادرات تكون أكثر مقاومة للجفاف في المراحل الأولى من النمو **(Rabe, 1905 :Desaussre, 1827)**. تنقص مقاومة بادرات نبات البازلاء مع زيادة طول البادرات فالبادرات القصيرة معدل طولها يتراوح بين **(7 و 12 مم)**، ومن الممكن أن تشفى من الجفاف عندما تروى حتى إذا فقدت أثناء الجفاف **(77%)** من وزنها الرطب **(محتواها الرطوبي النهائي 27%)**. والبادرات متوسطة الطول **(13 إلى 20 مم)** من الممكن أن تشفى من الجفاف بعد الري حتى عندما تفقد **(74.4%)** من وزنها الرطب **(محتواها الرطوبي النهائي 48.8%)**. في حين أن البادرات الطويلة **(21 إلى 30 مم)** تكون على درجة كبيرة من الحساسية للتجفيف **(Sun, 1958)**. إنتاج نبات **(Sorghum)** أقل تأثراً بنقص ماء التربة في منتصف مرحلة التطور **(Lewis et al. 1974)**. يحدث في الفاصوليا أكثر نقص في الإنتاج النباتي عندما يتعرض النبات للجفاف في مرحلة الإزهار **(Stocker, 1974)** ، نبات تباع الشمس أكثر حساسية لنقص ماء التربة في مرحلة الإزهار مقارنة بمرحلة النضج **(Taha and Osman, 1975)** ، أوراق كل من تباع الشمس وفول الصويا أكثر حساسية للجفاف في مرحلة ما قبل الإزهار **(Sionit and Kramer, 1976)** ، الأنسجة الحديثة أكثر مقاومة للجفاف من الأنسجة القديمة، وذلك لحصولها على الماء من الأنسجة الأقدم.

**الصفات الجفافية**

**Xerophytesm**

تظهر على النباتات التي تستوطن المناطق الجافة تحورات مورفولوجية تشريحية تساعدها على مقاومة إجهاد الجفاف، وعادة يطلق على مثل هذه التحورات الصفات الجفافية.

يستحث تكوّن الصفات الجفافية بعوامل بيئية أخرى بالإضافة إلى الجفاف مثل شدة الإضاءة والتغذية المعدنية ل لفوسفور **(Hencle, 1964)**. تختلف درجة تكون الصفات الجفافية من نبات إلى آخر وتزداد درجة تميزها مع زيادة شدة الإجهاد **(Pyykko, 1966 عن Levitt, 1980)**. ويبدو أن هذه الصفات تتميز بدرجة أكبر في نباتات النهار الطويل مقارنة بنباتات النهار القصير **(Margaris and Papadopoulou, 1975 عن Levitt, 1980)**.

أهم الصفات الجفافية التي ذكرها **(Schimperc, 1903 عن Parker, 1968)** لبعض النباتات الدائمة في منطقة شبه صحراوية هي:

* غياب تكون نصل الأوراق أو ضعفه
* تكون الأشواك **(Thorns)**
* تكون الشكل العصاري
* أدمة سميكة
* التغطية بالشمع
* إختزال المسافات البينية بين الخلايا في النبات
* حماية الثغور

معظم الصفات السابقة المذكورة صفات تساعد على انخفاض معدل النتح وهي أبرز الصفات الجفافية في رأي هذا العالم.

أهم الصفات الجفافية في رأي لندجرا **(Lundegardh عن Parker, 1968)** هو الإنخفاض في الجهد الأسموزي في النبات ومقدرة الخلايا على تحمل التجفيف. ذكر **(Stocker عن Parker, 1968)** أن بعض النباتات الصحراوية في مصر تستطيع أن تتحمل نقصاً في محتواها المائي يصل إلى **(50%)** في حين أن النباتات الصحراوية المتوسطة الإحتياج المائي تظهر عليها أعراض الذبول عندما تفقد **(1%)** من محتواها المائي.

يرى مكسيموف **(Maximov, 1929 عن Parker, 1968)** أن أهم الصفات الجفافية هو مقدرة البروتوبلازم على تحمل التجفيف. أطلق على هذه الصفة **(الصفة الجفافية الحقيقية)**. ويرى هذا العالم أن النباتات الجفافية ليس من الضروري أن تنتح بمعدل أقل من النباتات المتوسطة الإحتياج المائي، وهي قد تنتح بمعدل أعلى من النباتات المتوسطة الإحتياج المائي في حالة إرتفاع رطوبة تربتها.

**تحورات الأوراق:**

أكثر الأعضاء النباتية تأثراً بإجهاد نقص الماء هي الأوراق، وتظهر عليها أعراض النقص بشكل سريع وملاحظ. أهم الصفات الجفافية التي ذكرها **(Walter, 1949 عن Parker, 1968)** للأوراق هي:

* زيادة سمك العرق الوسطي
* زيادة عدد الثغور لكل وحدة سطحية من الورقة
* صغر حجم الثغور
* صغر حجم خلايا البشرة وخلايا النسيج الوسطي
* زيادة عدد الشعيرات لوحدة المساحة من صغر حجمها
* زيادة سمك الجدر الخارجية لخلايا البشرة وزيادة سمك الأدمة

سبب جفاف أنسجة النبات وظهور أعراض الذبول على الأوراق أثناء الجفاف وزيادة ماء النتح على كمية الماء الممتص، وبالتالي فإن النباتات التي تقاوم الجفاف تظهر على أوراقها تحورات تساعد على الإتزان المائي، ويتم ذلك بشكل كبير عن طريق إختزال السطح الناتح.

ويمكن تلخيص أهم الصفات الجفافية للأوراق فيما يلي:

* بعض النباتات تتساقط أوراقها أو يزداد فيها معدل التساقط عند تعرضها إلى إجهاد جفاف، وعدد من النباتات التي تستوطن البيئات شبه الصحراوية يعتبر تساقط الأوراق مهماً جداً في تقليل معدل النتح. بعض نباتات وسط أسيا مثل الأجناس النباتية **(Salsola and Chondrilla , Artemisia , Calligonum , Epherda , Kochia)** تتساقط أوراقها في بداية فصل الصيف أو منتصفه **(Sveshinikova and Zalensky, 1956 عن Parker, 1968)**.

تحتوي بعض النباتات الجفافية مثل **(*Retama* *raetam*)** على ساق خضراء وأوراق صغيرة تتساقط أثناء الجفاف ، وتقوم الساق بالبناء الضوئي **(Koslowski, 1968)**. تتساقط في نبات **(*Zygophyllum* *dumosum*)** أنصال الأوراق وتبقى أعناق الأوراق والتي تظهر عليها تغيرات تركيبية عند التساقط تساعد على عدم انفتاح الثغور **(Kozlowski, 1968)**، يزداد بمعدل تساقط الأوراق في نبات القمح عند تعرض النبات إلى إجهاد جفاف **(عن Clarke and Durley, 1982)**.



***Retama* *raetam***

* تحتوي بعض نباتات حوض البحر الأبيض المتوسط مثل نبات **(*Salvia* *triloba*)** على أوراق كبيرة في فصل الشتاء الممطر وتستبدلها بأوراق صغيرة في فصل الصيف الجاف **(Oppenheimer, 1960 عن Clarke and Durley, 1982)**.
* لا تحمل بعض الأنواع النباتية في حوض البحر الأبيض المتوسط مثل نبات **(*Anagyris* *foetida*)** في العادة أوراقاً في فصل الصيف الجاف وتظهر الأوراق والأزهار في الفصل الممطر **(عن Parker, 1968)**.
* لا يحتوي بعض الأنواع النباتية مثل **(*Ephedra* *trifurca*)** (الموجود في بعض الولايات المتحدة) على أوراق **(Coulter, 1911 عن Parker, 1968)** ولا تحتوي معظم أنواع العائلة **(Cactus)** على أوراق، وأنواع أخرى تحمل الأوراق في المراحل الأولى من النمو. أما في المراحل المتقدمة من النمو فهي تحمل أوراقاً حرشفية عند العقد في الساق **(عن Clarke and Durley, 1982)** . لا يحمل النبات **(*Laurena* *arbkorescens*)** أوراقاً على أفرع الساق الخارجية ولكن توجد الأوراق على الأفرع الداخلية من الساق وهذه الفروع تظللها الأفرع الخارجية **(Gremor, 1974 عن Clarke and Durley, 1983)**.



***Zygophyllum dumosum***

* بعض الأنواع النباتية يختزل فيها السطح الناتح عن طريق التفاف **(Rolling)** الأوراق أو انثنائها **(Folding)**. لقد وصل النقص في كمية الما المفقود في عملية النتح في بعض نباتات حوض البحر الأبيض المتوسط إلى **(46%) و ( 63%)** نتيجة الإلتفاف **(Rolling)** **(Parker, 1968)** في نباتي **(*Agropyron dasystachyum*)** و **(*Agropyron* *smithii*)** ، يزداد التفاف الأوراق مع زيادة إجهاد الجفاف. ويصل الإلتفاف إلى حده الأقصى في منتصف النهار عندما يصل الإجهاد إلى حده الأقصى **(Redmann, 1973 عن Clarke and Durley, 1982)**. يحتوي نبات قصب الرمال **(*Ammophila arenaria*)** على خلايا خاصة تسمى بالخلايا الحركية في ثنيات الأوراق تسبب التفاف الأوراق عندما تفقد ماءها وتبسط الأوراق عند امتلائها بالماء **(Parker, 1968)**.

يقاس الإلتفاف بمعامل الإلتفاف **(Rolling index)** وهو النسبة بين عرض الورقة المعرضة للإضاءة إلى عرض الورقة الكلية. وقد وجد أن هناك علاقة بين معامل الإلتفاف والجفاف في نبات **(*Sorghum bicolor*)** حيث ينقص معامل الإلتفاف في هذا النبات ظهراً ويزداد النقص مع زيادة شدة الجفاف **(Levitt, 1980)**.

* يعتقد أن وجود الشعيرات على الأوراق والساق من بين أهم التركيبات المميزة لعدد من النباتات الجفافية ، ويعتقد أن وجود الشعيرات له دور كبير في انخفاض النتح **(Yepp, 1912 عن Parker, 1968)**. تظهر نتائج أبحاث **(Sceyre, 1920 عن Parker, 1980)** أن معدل النتح ينقص نتيجة إزالة الشعيرات من الأوراق.
* من مميزات النباتات الجفافية سماكة الأدمة ووجود بعض المواد التي تغطي أسطح الأجزاء الهوائية في النبات **(جدول 1)**. ولكن يبدو أن زيادة سمك الأدمة وحده ليس دليلاً على نقص النتح وذلك للإختلاف الكبير في التركيب التشريحي والتركيب الكيميائي للأدمة في النباتات المختلفة **(عن Parker, 1980)**. ويتضح من بعض الأبحاث أن الجفاف يسبب نقص النتح الأدمي نتيجة تقلص القنوات الدقيقة الموجودة في الأدمة.

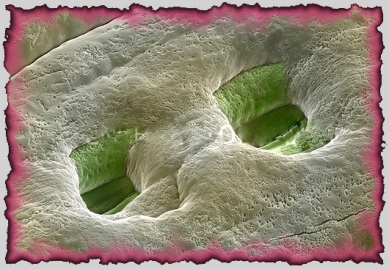
**جدول (1): العلاقة بين معدل النتح الأدمي والدهون على سطح نبات فول الصويا**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | معدل النتح  جرام/مسافة/1.5 ساعة | كمية الدهون الممكن إزالتها من سطح الأوراق (سم 2) |
| نبات غير مقساة | 0.119 | 0.0167 |
| نبات مقساة | 0.058 | 0.289 |

**(Clarke and Levitt, 1980 عن Levitt, 1980)**

قد يكون لكل من إفراز الشمع على سطح الأوراق ووجود الدهون في الجدر الخلوية ووجود المواد الراتنجية على سطح الأوراق دور كبير في إعاقة النتح الأدمي **(عن Parker, 1968)**. يرى كل من **(Schieferstein and Locmis, 1958 عن Parker, 1968)** أن ترسب الشمع بين الياف السيليولوز والبكتين في الجدر الخلوية مهم جداً في نقص النتح الأدمي.

* معظم الماء المفقود في عملية النتح يكون عن طريق الثغور، وبذلك فإن التحكم في حركة الثغور مهم جداً في مقاومة إجهاد نقص الماء. الإنغلاق الجزئي التام للثغور أثناء إجهاد الجفاف يقلل من النتح ويساعد على الإتزان المائي في النبات ولكنه كذلك قد يعرض النبات إلى إجهاد حراري إذا لم تكن في النبات ميكانيكيات خاصة لمقاومة مثل هذا الإجهاد.

تشير نتائج أبحاث **(Stocker, 1943 عن Parker, 1968)** إلى أن إنغلاق الثغور في نباتات المحاصيل الأكثر مقاومة للجفاف يحدث بشكل أسرع من إنغلاق ثغور نباتات المحاصيل الأقل مقاومة للإجهاد.

بعض الأنواع من النباتات يكون تأقلمها للجفاف عن طريق نقص عدد الثغور في وحدة المساحة من الورقة أو توجد الثغور في مناطق غائرة تسمى الثغور الغائرة **(Sunken stomata)**، يساعد وجود هذا النوع من الثغور على نقص الماء المفقود في النتح نظراً لزيادة الطبقة المحيطة **(عن Clarke and Durley, 1982)**.

يسبب التحكم في كمية الماء المفقود في النتح بالإنغلاق التام أو الجزئي للثغور نقصاً كبيراً في البناء الضوئي، وقد يُعرّض النبات إلى إجهاد مجاعة **(Levitt, 1980)**.

تتفادى بعض أنواع النباتات الصحراوية نقص البناء الضوئي بسلوكها مسلك نباتات الأيض الحمضي العشبي **(CAM)** **(Crassulacean acid metabolism)** في تثبيت ثاني أكسيد الكربون حيث تفتح فيها الثغور ليلاً عندما يكون الجو بارداً ومعدل النتح منخفضاُ جداً وتثبت **((CO2** ليلاً. ويتراكم في الفجوات العصارية في الأرواق حمض الماليك **(Malic acid)** وفي النهار تغلق الثغور ويتحرر **(CO2)** من الحمض المخزون وتقوم بتفاعلات الإضاءة ودورة كالفن. تشير نتائج بعض الأبحاث إلى أن بعض النباتات التي هي في العادة تسلك مسار **(C3)** في تثبيت **(CO2)** تتحول إلى تثبيت **(CAM)** عندما تتعرض إلى إجهاد جفاف **(عن Levitt, 1980)**.

* من مميزات عدد من النباتات التي تستوطن المناطق الجافة تغير وضع الحافة بالنسبة للأشعة الساقطة، بحيث تأخذ الورقة في حالة زيادة شدة الإضاءة الساقطة وضعاً يمكنها من تقليل كمية الأشعة الساقطة ويتم ذلك عن طريق انخفاض زاوية استقبال الأشعة. عندما تأخذ الورقة وضعاً رأسياً أو شبه رأسي تكون زاوية سقوط الأشعة منخفضة وتقل بذلك كمية الأشعة التي تتلقاها الورقة وعندما تأخذ الورقة وضعاَ أفقياً فهي تتلقى جميع الأشعة الشمسية الساقطة.
* بعض النباتات تزداد فيها كمية الأشعة المعكوسة من الأوراق عن طريق ترسب البلورات الملحية على سطح الأوراق، كما في نبات **(*Atriplex hymenelytra*)** ففي هذا النبات الأوراق التي تتكون في فصل الشتاء تعكس أقل من **(30%)** من

الأشعة التشيطة في البناء الضوئي بينما تعكس الأوراق الصيفية ما يقرب من **(50%)** من الأشعة **(Mooney et al., 1977)**.

**تحورات الجذر**

الجذور وهي العضو النباتي الذي يمتص الماء من التربة، تحدث فيها عدد من الخصائص التي تساعد النبات على مقاومة الجفاف ومن هذه المميزات:

* استطالة الجذور وتعمقها إلى مسافات بعيدة في التربة بعيداً عن السطح جداً في مقاومة إجهاد نقص الماء. جذور نبات **(*Rosa arkansena*)** تصل إلى عمق متر من التربة **(Clarke and Durley, 1982)**، تصل جذور نبات **(*Artemisia tridentata*)** إلى عمق كبير في التربة وبذلك تستخدم كمؤشر على وجود الماء في الطبقات السفلي من التربة **(Parker, 1968)** في نبات **(*Bromus inermis*)** توجد علاقة طردية بين مقاومة إجهاد الجفاف وتعمق الجذور في التربة وعدد أفرعها **(Cook, 1943 عن Clarke and Durley, 1982)**. تتميز أصناف القمح ذات الجذور العميقة بإنتاج نباتي أكبر من الأصناف الأخرى في فترة الجفاف **(Hurd, 1964 عن Clarke and Durley, 1982)**. يصل عمق جذور أحد أنواع الأكاسيا **(Acacia)** إلى **(30 متراً(** **(عن Parker, 1968)**.
* بعض النباتات تزداد فيها كثافة المجموع الجذري بزيادة الجذور قرب السطح ولا تتعمق إلى مسافات بعيدة في الت ربة. جذور نبات **(*Opuntia camanchica*)** لا تتعمق في التربة إلا لمسافة **(3 إلى 8 سم)** ولكنها تمتد إلى مسافة **(2 متر)** بعد سقوط المطر **(Weaver, 1929 عن Clarke and Durley, 1982)**.
* من تأقلمات الجذور التي تساعد على مقاومة الجفاف تخزين الماء فيها وهذه الظاهرة يتميز بها عدد من النباتات التي تستوطن البيئات ذات الصفات الجفافية وكذلك توجد هذه الصفة في بعض النباتات ذات الإحتياج المتوسط من الماء **(عن Parker, 1968)**.
* تتميز بعض الأنواع من النباتات بمقدرتها على سرعة إنتاج ما يسمى بالجذور المطرية **(Rain roots)** التي تمتد بالقرب من سطح التربة، وتمتص المطر الخفيف الذي يتساقط في الصيف ثم تموت عندما يتوقف المطر **(عن Levitt, 1980)**.

**تحورات الساق**

تحدث في الساق تحورات تساعد على مقاومة الجفاف، وأهم هذه التحورات كما يراها **(Parker, 1968)** هي :

* تحورات تساعد على تخزين الماء
* تحورات تساعد على منع فقد الماء
* تحورات تساعد على نقص المقاومة لحركة الماء

تشير دراسة المحتوى المائي لعدد من الأشجار في الفصول المختلفة إلى وجود تراجع في محتواها المائي، حيث ينقص في فصل الصيف ويصل إلى أقل مستوى له في فصل الخريف وإلى أعلى مستوى له في فصل الربيع **(Gibbs, 1959 عن Parker, 1968)**.

