**الفسيولوجيا البيئية**

**Ecophysiology (Physiological plant ecology)**

**مقدمة**

**فسيولوجيا الإجهاد**

**تأثيرات إجهاد الحرارة ومقاومتها**

**مقدمة**

**Introduction**

كانت في البداية أبحاث علم البيئة وصفية، وكانت التجارب في علم الفسيولوجيا تقتصر على المختبر. ونظراً للإرتباط الكبير بين العوامل البيئية والعمليات الفسيولوجية والأيضية ونمو النبات وتطوره ظهر العديد من العلماء الذين يطالبون بربط الفسيولوجيا بالبيئة. وهناك عدد من أوائل الباحثين الذين أجروا التجارب الفسيولوجية والكيميائية على النبات في بيئته ومنهم:

**Richards** **(1915)))**, ((**Spoeher** **(1919)**, **Schimper** **(1898)))** وقد كان **Shreve** **(1914)))** و **(Fitting** **(1911)** أول من درسا العلاقات المائية للنباتات الملحية الأسترالية، و **((Turesson** **(1922)** أدخل مصطلح البيئة الجينية **Genecology))** ثم جاء بعد ذلك عدد من العلماء الذين اهتموا بدراسة الفسيولوجيا البيئية للنباتات منهم : (**(Huber** **(1935)** , **Lundegardh** **(1924)))**, **Pisek** **(1939)))**, **Stocker** **(1928)))** , **Walter (1931)))** , **Maximov** **(1923)))** , **Eveneri** **(1937)))** , **Beadle** **(1952)))** , **Oppnheimer** **(1932)))** , **(** **عن** **Daubenmire, 1974** **)**.

يهتم علم الفسيولوجيا البيئية بدراسة تأثير العوامل البيئية على العمليات الفسيولوجية والأيضية في النبات. هذا العلم يدمج بين علمي البيئة والفسيولوجيا ويهتم بالعلاقة بين العمليات الفسيولوجية وبيئة النبات.



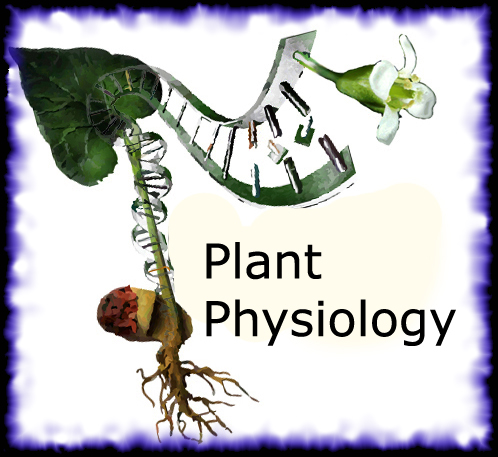
**فسيولوجيا الإجهاد**

**Stress physiology**

تتعرض العوامل البيئية المختلفة المحيطة بالنبات إلى تغيرات يومية وموسمية كبيرة وقد تكون بعض هذه التغيرات غير ملائمة لنمو النبات وتطوره وتؤثر هذه التغيرات على العمليات الفسيولوجية.

**وقد ذكر Leopold and Kriedemann)) أربعة أنواع من التغيرات الفسيولوجية التي تسببها العوامل البيئية وهي:**

* العامل البيئي من الممكن أن يسبب تغيرات في مكونات أو تركيب النبات مثل تأثير الضوء على اخضرار الأوراق وتمددها.
* التغير في البيئة قد يسبب تغيراً في تفاعلات البناء مثل تأثير الضوء وتركيز ثاني أكسيد الكربون على البناء الضوئي.
* العامل البيئي من الممكن أن يسبب حدوث عملية جديدة قد يكون لها دور في تنظيم نمو النبات وتطوره.
* التغير في العامل البيئي من الممكن أن يحد من نجاح النبات وتوزيعه.

قد يتعرض النبات في دورة حياته إلى درجة حرارة مرتفعة فتسبب تسخين أنسجته وتؤدي إلى ارتفاع كبير في معدل النتح، وينتج عن ذلك ذبول النبات. الإرتفاع الكبير في درجة الحرارة يسبب عدم اتزان في العمليات الأيضية مما قد يؤدي إلى تراكم بعض المركبات السامة أو نقص في بعض المركبات المهمة لحياة النبات. قد تسبب الحرارة المرتفعة تعرض النبات إلى المجاعة نظراً لزيادة معدل التنفس على معدل البناء الضوئي. قد يتعرض النبات كذلك في دورة حياته إلى درجة حرارة منخفضة جداً قد تصل إلى درجة التجمد وقد يؤدي ذلك إلى تجمد أنسجة النبات واختلال في العمليات الفسيولوجية والأيضية. قد يتعرض النبات إلى تغيرات كبيرة في المحتوى المائي للوسط البيئي تتراوح بين زيادة كبيرة في ماء التربة يصل إلى درجة الغمر **Flooding))** **(يسبب نقصاً في محتوى التربة من الأكسجين)** ، أو يصل النقص في محتوى التربة إلى درجة الجفاف **Drought))** .

يسبب الجفاف انخفاض كل من جهد الماء وجهد ضغط الخلايا النباتية مما يؤدي إلى انغلاق الثغور وتثبيط البناء الضوئي، وجميع هذه التغيرات تسبب تثبيط نمو النبات. ولكي يحافظ النبات على حياته واستمرار جنسه فإنه يتأقلم على التغيرات اليومية والفصلية في العوامل البيئية.

* **الإجهاد والشد Stress and strain))**

تستعرض كتب فسيولوجيا النبات العام العمليات الفسيولوجية وكأنها تحدث في ظروف بيئية مثالية، ولكن النبات نادراً ما يكون موجوداً في ظروف بيئية مثالية، وغالباً ما يتعرض النبات في دورة حياته إلى ظروف بيئية قاسية مثل الجفاف ، ارتفاع أو انخفاض كبير في درجة الحرارة، نقص أو زيادة كبيرة في شدة الإضاءة. يسبب تعرض النبات إلى مثل هذه الظروف البيئية القاسية إجهاداً **Stress))** للنبات يؤثر على معظم أو جميع العمليات الفسيولوجية والأيضية في النبات. وإنه لمن الضروري معرفة الأضرار التي تسببها الإجهادات البيئية المختلفة ومعرفة ميكانيكية مقاومة النباتات المختلفة لهذه الإجهادات حتى يمكن إنتاج أصناف من المحاصيل **(عن طريق التهجين)** على درجة كبيرة من مقاومة للإجهاد.

يستخدم مصطلح الإجهاد في علم الطبيعة للتعبير عن تأثير قوة ما على جسم معين. عندما يتعرض الجسم إلى إجهاد يصبح الجسم تحت شد **Strain))** حيث يحدث تغير في شكل الجسم وحجمه **(عن** **Levitt,1980)**. تقاس شدة الإجهاد بكمية القوة المؤثرة على وحدة المساحة من الجسم **(داين / سم 2 أو عدد البارات)** ، في حين يعبر عن درجة الشد بمقدار التغير الحاصل في أبعاد الجسم مثل الحجم أو الطول . الشد الذي يحدث للجسم قد يكون عكسياً **Reversible))** ، يزول بإزالة الإجهاد ويسمى

هذا النوع من الشد بالشد المرن **Elastic** **strain))** ولكن إذا زاد تأثير القوة على الجسم يتحول جزء من الشد إلى شد دائم **(غير عكسي)** **((Irreversible** لا يزول بإزالة الإجهاد ويسمى هذا النوع من الشد بالشد غير المرن **Plastic** **strain))**.

* **الإجهاد البيولوجي Biological stress))**

عرَّف لفت **(** **Levitt, 1980** **)** الإجهاد البيولوجي بأنه العامل البيئي القادر على إحداث شد يسبب أضرارأً للكائن الحي. يستخدم للإجاد البيولوجي وحدات الطاقة أو وحدات التركيز.

عند تعرض الكائن الحي إلى إجهاد بيولوجي قد يحدث له شد فيزيائي **(طبيعي)** **((Physical** **strain** أو شد كيميائي **Chemical** **strain))** **(وهي التغيرات في التفاعلات الكيميائية).** وعند زيادة شدة الإجهاد إلى مستوى معين فقد تظهر على الكائن الحي تغيرات دائمة أو أضرار قد تؤدي إلى موته **(Levitt, 1980** **).**

هناك العديد من العوامل البيئية التي من الممكن أن تكون مجهدة للنبات وهي موضحة في الشكل التخطيطي رقم **(1 (** .

**أضرار الإجهاد البيولوجي**

**Biology stress injuries**

عندما يتعرض النبات إلى إجهاد بيولوجي فإن العمليات الحساسة هي التي تتأثر أولاً بالإجهاد الخفيف جداً، وإذا زادت شدة الإجهاد يزداد تأثر تلك العمليات الحساسة بالإضافة على بدء تأثر عمليات أخرى بالإجهاد ويكون ترتيب تأثرها حسب درجة حساسيتها للإجهاد. يزداد الشد الذي يسببه الإجهاد مع زيادة شدة الإجهاد، فالإجهاد الخفيف يسبب تغيرات محددة وعكسية في النبات، حيث تعود العمليات المتأثرة بالإجهاد إلى وضعها الطبيعي بعد إزالة الإجهاد ولكن إذا كان الإجهاد الذي تعرض له النبات شديد فإن الشد الذي حدث في النبات يصبح ثابتاً ودائماً ولا يزول بإزالة الإجهاد.

**إستجابة النبات للظروف البيئية القاسية (الإجهادات البيئية)**

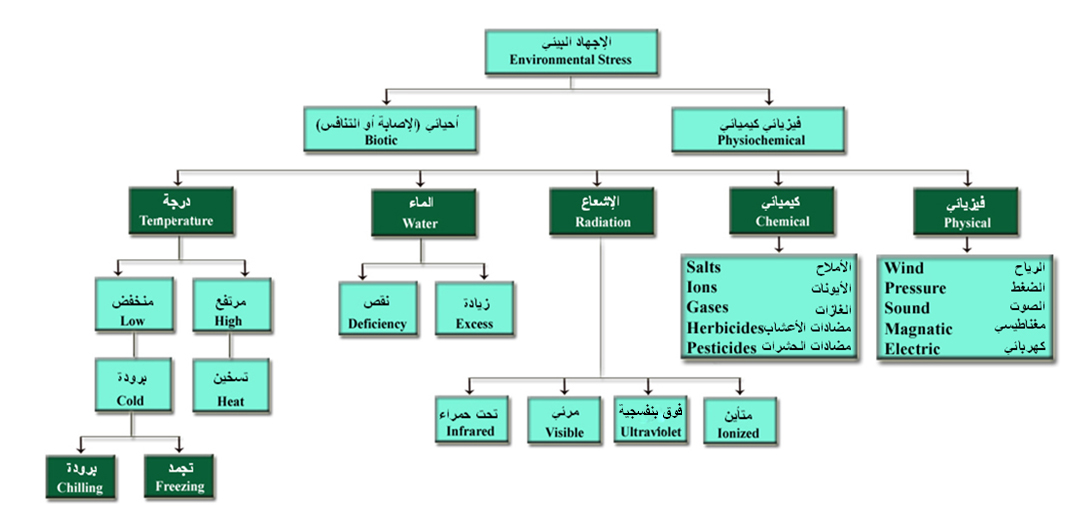


**الإنتاجية Productivity))**

**التبرقش Necrosis))**

**الإصفرار(Chlorosis)**

**النمو ((Growth**



**مخطط (1) : العوامل البيئية المجهدة للنبات**

**قسم العالم لفت (Levitt, 1980) - والذي يرجع إليه الفضل في معرفتنا لمعظم مصطلحات الإجهاد- أضرار الإجهاد إلى عدة أنواع وهي:**

* **أضرار إجهاد مباشر** **Direct** **stress** **injury))**

عند التعرض إلى إجهاد فقد ينشأ عن ذلك شد غير مرن **Plastic** **strain))** ، والشد المتكون يسبب ضرراً للكائن الحي والضرر يحدث بشكل سريع ، وقد يموت النبات بعد تعرضه لفترة زمنية وجيزة لذلك الإجهاد. مثال ذلك الضرر الذي يتكون في النبات عندما يتعرض بشكل مفاجئ إلى درجة حرارة منخفضة ، تسبب تجمد البروتوبلازم وتسبب البلورات الثلجية المتكونة تمزق الغشاء البلازمي ويفقد نفاذيته الإختيارية فتموت الخلية نتيجة لذلك.

* **أضرار الإجهاد غير المباشر** **((Indirect** **stress** **injury**

قد يسبب الإجهاد للكائن الحي شداً مرناً **Elastic** **strain))** عكسي غير ضار ي حد ذاته ولكن إذا استمر تعرض الكائن الحي للإجهاد لفترة زمنية طويلة فمن الممكن أن يتحول الشد المرن إلى شد غير مرن **Plastic** **strain))** **(غير عكسي)** ، من الممكن لهذا النوع من الشد أن يسبب أضراراً للكائن الحي قد يؤدي إلى موته. يتطلب هذا النوع من الضرر فترة زمنية طويلة من التعرض للإجهاد تتراوح بين ساعات وعدة أيام. مثال ذلك تعرض النبات إلى درجة حرارة منخفضة ولكنها ليست منخفضة إلى درجة تسبب تجمد أنسجة النبات وهذا الإجهاد يسبب شداً مرناً مثل نقص معدل جميع العمليات الفيزيائية والكيميائية في النبات. وهذه التغيرات غير ضارة في حد ذاتها ولكن في بعض الحالات يكون تأثير الإجهاد على العمليات الفيزيائية والكيميائية بدرجات متفاوتة أي أن بعض العمليات تتأثر بدرجة أكبر من عمليات أخرى، وبذلك يحدث عدم إتزان في أيض النبات وقد يتيح عنه تراكم بعض المركبات السامة أو نقص في بعض المركبات الأيضية الوسيطة.

* **أضرار الإجهاد الثانوي** **Secondary** **stress** **injury))**

تعرُّض الكائن الحي إلى إجهاد معين قد تنشأ عنه أضرار ولكن هذه الأضرار لا تنشأ عن الشد الذي يحدثه ذلك الإجهاد ولكنها تنشأ من شد يسببه إجهاد آخر يتكون نتيجة تعرض النبات لذلك الإجهاد مثلاً عندما يتعرض النبات إلى درجة حرارة مرتفعة قد لا يسبب هذا التعرض ضرراً للنبات في حد ذاته ولكنه قد يسبب إجهاداً مائياً **(إجهاد جفاف)** في النبات نظراً لزيادة معدل النتح على معدل امتصاص الماء ويسبب الجفاف شداً تنتج عنه أضراراً للنبات . ويلاحظ أن الإجهاد الثانوي قد يؤدي إلى تكون إجهاد ثلاثي **Tertiary** **stress))**.

يرى **(Treshow**, **1970)** أن العوامل البيئية القاسية **(العوامل المجهدة)** تكون ممرضة للنبات وقد أطلق على هذه الأنواع من العوامل ( مسببات الأمراض الفيزيائية **((Physiopaths** ) وهي تسبب أضراراً للنبات قد يكون للأضرار الناشئة أعراض ضاهرة وقد لا يكون، وعند تعرض النبات إلى ظروف بيئية قاسية ينمو النبات نمواً غير طبيعي وهذا النمو غير الطبيعي دليل على مرض النبات نتيجة تعرضة للظروف البيئية القاسية.

**وقد ذكر Treshow)) أربعة أنواع من إستجابة النبات للظروف البيئية القاسية (الإجهادات البيئية) وهي :**

* **النمو** **Growth))**

توقف النمو أو نقص معدله عن المعدل الطبيعي من بين أهم استجابات النبات للظروف البيئية القاسية وهو دليل على أن هناك شيئاً غير طبيعي في العمليات الفسيولوجية والكيميائية في النبات، لأن النمو يحدده مجموع معدل التفاعلات الكيميائية والفسيولوجية، ويحدث أقصى نمو عندما تكون الظروف البيئية مناسبة لحدوث العمليات الفسيولوجية والتفاعلات الكيميائية.

* **الإصفرار** **Chlorosis))**

من إستجابة النبات للظروف البيئية القاسية فقد اللون الأخضر وتظهر الأوراق بلون أخضر باهت أو تكون صفراء أو بيضاء اللون. يفقد النبات لونه الأخضر عندما تكون الظروف البيئية المؤثرة على أيض الكلوروفيل غير مناسبة فيزداد معدل الهدم للكلوروفيل مع نقص في التخليق.

* **التبرقش** **Necrosis))**

يحدث عند موت خلايا النبات نتيجة تأثير الكائنات الممرضة أو نقص بعض العناصر الغذائية أو تأثير العوامل البيئية القاسية.

* **الإنتاجية** **Productivity))**

إن إنتاج البراعم الزهرية تتحكم فيه العوامل الوراثية في النبات بالإضافة إلى عوامل المناخ وأهمها طول فترة الإضاءة. تؤثر العوامل البيئية على تكوين البراعم الزهرية وعلى عقد الثمار ونموها وتطورها.

**مقاومة الإجهاد Stress resistance))**

تتفاوت النباتات تفاوتاً كبيراً في درجة مقاومتها للظروف البيئية القاسية المختلفة فهي تتراوح بين النباتات الحساسة جداً للإجهاد الخفيف والنباتات التي تقاوم الإجهاد الشديد.

**تأثيرات إجهاد الحرارة ومقاومتها**

**Heat stress effects and resistance**

بعض الأنواع من النباتات البرية متأقلمة لأن تعيش في بيئة صحراوية جافة ذات أمطار موسمية بكميات قليلة ودرجة حرارة الهواء مرتفعة في معظم أيام السنة ، بالإضافة إلى أن الرطوبة النسبية للهواء فيها منخفضة جداً وجهد ماء التربة أيضاً منخفض جداً في معظم أيام السنة. فلماذا تستطيع هذه النباتات أن تعيش في مثل هذه البيئات ذات الصفات الجفافية في معظم أشهر السنة بينما تموت نباتات أخرى لو وجدت في مثل هذه الظروف؟.... هناك العديد من الأسئلة التي من الممكن طرحها عن العلاقات المائية لهذه النباتات. مثلاُ هل ثغور هذه النباتات مفتوحة طوال ساعات النهار أو معظمها ؟ هل تنتح هذه النباتات بمعدل مرتفع يكفي لتبريد أنسجتها في الحر الشديد؟ هل تستطيع هذه النباتات امتصاص كمية كافية من الماء من التربة الجافة بحيث تعوض الماء المفقود في عملية النتح؟ لماذا لا تظهر عليها أعراض الذبول في مثل هذه الظروف القاسية؟ هل ضغط إمتلاء خلاياها مرتفع؟ غالباً تظهر على النباتات التي تستوطن مثل

هذه البيئات صفات مورفولوجية وتشريحية تميزها عن نبات البيئات الأخرى وهذه الصفات تساعدها على التأقلم في البيئات ذات الصفات الجفافية.

تستوطن بعض الأنواع من النباتات بيئات ذات محتوى ملحي مرتفع مثل تلك النباتات الموجودة على شواطئ البحار المالحة. هناك العديد من الأسئلة التي من الممكن طرحها عن النباتات ، مثلاً هل تستطيع هذه النباتات الحصول على الماء من بيئة ذات جهد مائي منخفض جداً نظراً لإرتفاع محتواها الملحي؟ هل المحتوى الملحي لأنسجة هذه النباتات مرتفع أم غير مرتفع؟ أم هل

العمليات الأيضية فيها من نوع خاص بحيث يستطيع مقاومة تركيز مرتفع من الأملاح، هل تملك هذه النباتات ميكانيكيات خاصة تساعدها على التأقلم للإجهاد الملحي؟

توجد بعض النباتات في بيئات تكون التربة فيها مغطاة بالثلج في عدد من شهور السنة ودرجة حرارة التربة والجو المحيط منخفضة جداً ، ومثل هذه النباتات تستطيع أن تعيش في مثل هذه البيئات وهذه النباتات تستطيع أن تقاوم إجهاد الحرارة المنخفضة جداً. من الأسئلة التي من الممكن أن تسأل عن هذه النباتات هي هل تستطيع هذه النباتات الحصول على ما تحتاجه من الماء والعناصر المعدنية من التربة المتجمدة مع أنه من المعروف أن الإمتصاص يعتمد بشكل كبير على درجة حرارة التربة ، ويتوقف الإمتصاص عند درجة الحرارة المنخفضة جداً؟ هل أنسجة هذه النباتات متجمدة؟ وإذا كانت غير متجمدة فلماذا لا تتجمد في مثل هذه الظروف؟ هل إنزيماتها من نوع خاص بحيث تستطيع أن تحفز التفاعلات الأيضية عند مثل هذه الدرجات الحرارية المنخفضة؟ مع أنه من المعروف أن لكل إنزيم مدى حراري معين يتوقف نشاطه خارج هذا المدى الحراري.

تمتلك النباتات التي تستوطن بيئات ذات ظروف بيئية قاسية صفات مورفولوجية وتشريحية وأيضية وفسيولوجية تمكنها من التأقلم للعيش في تلك البيئات وتمكنها من مقاومة الظروف البيئية غير الملائمة للنمو.

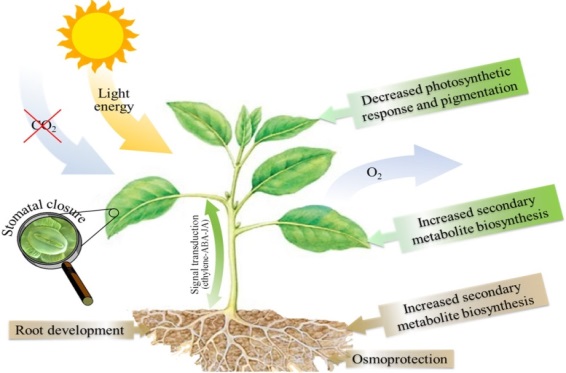
عرُّف **(Levitt, 1980)** مقاومة النبات للإجهاد بأنه مقدار الإجهاد اللازم لإحداث شد معين طبقاً للمعادلة الرياضية التالية:

**المقاومة = إجهاد / شد**

ويرى هذا العالم أن الشد الذي إتخذه معياراً هو موت **(50%)** من النسيج النباتي. ويصبح تعريف مقاومة الإجهاد بأنه مقدار الإجهاد اللازم لموت **(50%)** من النسيج النباتي. المقاومة هي مقياس لمقدرة الكائن الحي على التعايش مع الإجهاد البيولوجي.

قسم **((Levitt** المقاومة إلى نوعين:

**المقاومة بالتجنب Stress avoidance))**

لا يستطيع النبات تغيير الظروف البيئية التي يعيش فيها ولكن بعض الأنواع النباتية القادرة على مقاومة نوع معين من الإجهاد تستطيع أن تمنع أو تقلل من دخول الإجهاد إلى داخلها وبذلك فهي تتجنب الوصول إلى حالة إتزان مع الإجهاد. والنباتات التي تقاوم الإجهاد بهذه الطريقة إما أن تستخدم طرقاً فيزيائية **(طبيعية)** تعزل بها أنسجتها من الإجهاد أو تستخدم طرقاً كيميائية أو

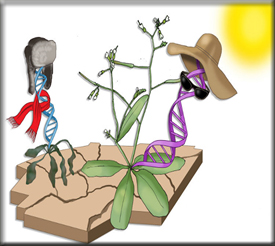
أيضية لإستبعاد الإجهاد ، مثلاً بعض النباتات التي تعيش في بيئة مالحة تقاوم الإجهاد بالتجنب تشمل كذلك تجنب الشد الذي من الممكن أن يحدثه الإجهاد.

**تحمل الإجهاد Stress tolerance))**

لا تستطيع بعض النباتات منع دخول الإجهاد إلى أنسجتها ولكنها مع ذلك تقاوم الإجهاد مع أن خلاياها تحتوي على الإجهاد وبالتالي فإن أنسجتها معرضة للشد الذي من الممكن أن يسببه الإجهاد وهي إما أن تمنع حدوث الشد أو تقلل من حدوثه. النباتات

التي تقاوم الإجهاد بالتحمل قادرة على الوصول إلى إتزان مع الإجهاد ولكنها لا تتضرر به وهي قادرة على منع ضرر الشد الذي يحدثه الإجهاد أو تقليله أو إصلاحه.

**التأقلم Adaptation))**

من الصعب تعريف التأقلم بدقة فهو يستخدم للتعبير عن الأصل التطوري لصفة ما وكذلك يستخدم للتعبير عن مساهمة اكتسات صفة معينة في تمكين الكائن الحي للمعيشة في بيئته. من تعريفات التأقلم كذلك أنه التحورات التركيبية والوظيفية القابلة للتوارث والتي تزيد من احتمال معيشة الكائن الحي في بيئة معينة. ونادراً ما يقتصر وجود الكائن في بيئة ما على تأقلم صفة واحدة لتلك البيئة وإنما يعتمد على مجموعة من الصفات لها دور كبير في تقليل الأضرار التي من المحتمل أن تسببها تلك البيئة.

تتميز أفراد المجتمعات النباتية بوجود اختلافات وراثية وهذه الإختلافات هي التي تجعل بعض الأفراد حتى النوع النباتي الواحد أكثر تأقلماً من الناحية الفسيولوجية لبعض الظروف البيئية القاسية من الأفراد الأخرى. النباتات المتأقلمة للإجهادات البيئية أكثر مقدرة على التنافس والعيش في البيئات القاسية.

أي صفة في الكائن الحي لها فائدة في مساعدته على العيش في ظروف معينة في موطنه تسمى تأقلماً وهذه الصفة تمكن الكائن من الإستفادة التامة من المواد المتوفرة في موطنه واستخدامه مثل استخدام العناصر الغذائية والماء والضوء. وتعدد الصفات التأقلمية تساعد الكائن على استخدام مصادر الطبيعة في موطنه بشكل أفضل وأكثر فعالية. حدث أثناء تطور المملكة النباتية العديد من التحورات التركيبية والوظيفية، وكان ذلك نتيجة الطفرات الوراثية أو نتيجة الإتحاد العشوائي للجينات. بعض التحورات الناتجة لها فائدة أحيائية في مساعدة النبات على العيش والتكاثر. فمثلاً النباتات التي تستوطن بيئات ذات صفات جفافية حدث بها عدد من التحورات في الصفات الظاهرية والفسيولوجية مثل وجود الأدمة السميكة وكثافة المجموع الجذري والجهد الأسموزي المنخفض التي تساعدها على العيش في مثل هذه الظروف القاسية وغير الملائمة للنمو **(Kramer, 1980)**.

**التقسية ((Hardening**

إن تعريض الكائن إلى دورات من الإجهاد الخفيف يساعده على التقليل من أضرار الإجهاد الشديد عند تعرضه له، مثلاً تعريض النبات إلى إجهاد جفاف خفيف **(تقسية ضد الإجهاد)** بتقليل عدد مرات الري والتي تؤدي إلى نقص في حجم الأوراق وزيادة في سمك الأدمة وزيادة النسبة بين المجموع الجذري إلى المجموع الخضري تساعد النبات على مقاومة إجهاد الجفاف الشديد.