فسلجة المحاصيل والاجهاد

الفسيولوجيا البيئية Ecophysiology

- دراسة مقاومة النباتات للإجهاد يتطلب دراسة فسيولوجيا الإجهاد و التي تعتمد أيضاً علوم فسيولوحيا النبات، التغذية المعدنية، العلاقات المائية، فسيولوجيا النمو و التكشف و كيمياء النبات.
- علم الفسيولوجيا البيئية يدمج بين علمي البيئة و الفسيولوجيا، و يهتم بالعلاقة بين العمليات الفسيولوجية و بيئة النبات.

الإجهاد هو اما:

- الإجهاد فيزيائياً: هو مجموعة من الظروف تتسبب في إحداث تغيرات ملموسة في العمليات الفسيولوجية و التي تؤدي تدريجياً إلي إحداث الضرر.
- الإجهاد فسيولوجياً: هو انعكاس لمجموعة من الضغوط البيئية لإحداث تغيرات في فسيولوجيا النبات تمييزاً له عن الإجهاد المغير للأبعاد (Strain) و الذي يعرف بأنه التغير الجزئي في المادة نتيجة للإجهاد و يمكن أن يميز بالتغير الفسيولوجي الحادث إستجابة للإجهاد البيئي و الذي لا يؤدي بالضرورة إلى خفض بالنمو أو التكاثر.

أنواع الإجهاد

١. الإجهاد الفيزيائي Physical Stress
هو كل ما يؤثر علي الأنماط الفسيولوجية بطريقة إيجابية أو سلبية فعلى سبيل المثال يزيد الجفاف من النشاط الإنزيمي إلي حد معين و إذا زاد عن ذلك فانه يحدث تثبيط قوي.

٢- الإجهاد الكيميائي Chemical Stress
و هذا مثل التلوث، المبيدات أو الزيادة المرتفعة في تركيز الملوحة أو pH

٣- الإجهاد الحيوي او البيولوجي Biological Stress
و هو الذي يختص بميكانيكيات التداخل بين المجتمعات (العشائر) و البعض منها مثل الأمراض و التي تعتبر مهمة في الزراعة.

الشد الذي يسببه الإجهاد يزيد مع زيادة شدة الإجهاد و يمكن أن تعود العمليات المتأثرة بالإجهاد إلى وضعها الطبيعي هذا الإجهاد إذا كان خفيفاُ. أما إذا كان الإجهاد شديداً فان الشد الذي حدث في النباتات يصبح ثابتا و دائماً و لا يزول

عموما يعرف بعض الباحثين الإجهاد (Stress) بأنه تغير فسيولوجي يحدث عندما تتعرض الأنواع إلى ظروف غير عادية و غير مرغوبة لا تهدد بالضرورة حياتها، بل قد تكون حافزاً لاستجابتها للأقلمة لهذه الظروف.

فسيولوجيا الإجهاد (Stress Physiology)

يتعرض النبات إلي تغيرات كثيرة في العوامل البيئية المختلفة التي تحيط بالنبات سواء كانت هذه التغيرات يومية أو موسمية و بالتالي تتأثر العمليات الفسيولوجية التي تسببها التغيرات البيئية المختلفة.

التغيرات الفسيولوجية التي تؤثر عليها العوامل البيئية

التغير في العوامل البيئية تسبب تغيراً في تفاعلات البناء (تأثير الضوء، ثاني أوكسيد الكربون علي البناء الضوئي) ، حدوث تغيرات في مكونات أو تركيب النبات مثل تأثير الضوء علي تمدد الأوراق و علي اخضرار الأوراق، الحد من توزيع و نجاح النبات في منطقة معينة.

فغالباً تتعرض النباتات خلال دورة حياتها إلي ظروف بيئية قاسية مما يسبب حدوث إجهاد للنبات

و لكي يحافظ النبات علي حياته و استمراره كان لزاماً عليه أن يقاوم الضغوط البيئية و يتأقلم مع هذه التغيرات.

لذلك لابد من معرفة أضرار الإجهادات المختلفة و معرفة ميكانيكية مقاومة النباتات لهذه الإجهادات.

أضرار الإجهاد Stress Injury

١) أضرار مباشرة (Direct Injury): يحدث هذا النوع من الضرر عند التعرض للإجهاد حيث ينتج عنه شد غير مرن Plastic Strain و يؤثر هذا الشد تأثيراً مباشراً و سريعاً ويحدث موت للنبات بعد التعرض لهذا الإجهاد بعد فترة قصيرة.

مثال ذلك عندما يتعرض النبات لدرجة حرارة منخفضة لدرجة التجمد بشكل فجائي يموت النبات و ذلك لان بروتوبلازم النبات يحدث له تجمد و يتمزق الغشاء البلازمي بسبب وجود البلورات الثلجية التي تكونت و بالتالي يفقد البروتوبلازم خاصية النفاذية الاختيارية وبالتالي تموت الخلية من جراء التعرض لهذا الإجهاد الفجائي.

٢) أضرار غير مباشرة (Indirect Injury) : يحدث عند التعرض للإجهاد بصورة غير مباشرة وفي هذه الحالة يحدث شد مرن Elastic Strain أي عكسي.
و هذا النوع غير ضار و لكن إذا طالت مدة التعرض للإجهاد فيمكن أن يتحول هذا الشد المرن إلى شد غير مرن أي غيرعكسي. و هذا النوع يمكن أن يسبب ضررا للنبات و قد يؤدي إلي موته.

مثال ذلك عند تعرض النبات لدرجة حرارة منخفضة لا تسبب التجمد لأنسجة النبات مما يؤدي إلى حدوث شد مرن يحدث معه نقص في معدل جميع العمليات الكيميائية والفيزيائية في داخل النبات و التي لا تكون ضارة و لكن يحدث أحيانا عدم اتزان في العمليات الايضية للنبات وقد تتراكم بعض المركبات السامة.

٣) ضرر ثانوي (Secondary injury): و يحدث هذا الضرر عند التعرض للإجهاد و لكن لا ينشأ عن الشد الذي يحدثه الإجهاد، و لكنه ينشأ بسبب إجهاد آخر و الذي يكون نتيجة تعرض النبات لذلك الإجهاد.

يحدث هذا النوع عند تعرض النبات لدرجة حرارة مرتفعة (درجة الحرارة المرتفعة) لا يضر النبات بصورة مباشرة و لكنه يسبب إجهادا آخر هو الإجهاد الجفافي في النبات نتيجة لزيادة التبخر - نتح Evapotranspiration على معدل الامتصاص و بالتالي ينتج شداً بسبب الإجهاد الجفافي مما يحدث ضرراً للنبات، و هذا ما يطلق عليه الضرر الثانوي.

العوامل البيئية المجهدة

١) مجموع العوامل الإحيائية (Biotic Factors)
٢) مجموعة العوامل غير الإحيائية (A biotic Factors)
و التي تقسم الى ثلاثة أقسام:
أ- مجموعة العوامل الجوية (المناخية) Atmospheric (Climatic) factors
و هذه تشمل (المناخية) الضوء- درجة الحرارة- الغلاف الجوي- الهواء- الماء- التضاريس و العوامل الأخرى التي لها دور في تنظيم العمليات الحيوية و التفاعلات الكيميائية في الخلية.
ب- مجموعة عوامل التربة Soil (Edaphic) factors
و تشمل الماء و العناصر المعدنية و المواد العضوية و مسامات التربة التي تحتوي علي محلول التربة و الهواء
ج- مجموعة العوامل الطبوغرافية Topographic (Orgraphic) factors
تستجيب النباتات للعوامل البيئية عند حد معين و هو ما يطلق عليه الحد Optimum حيث تصل جميع العمليات الفسيولوجية و الايضية لأقصي معدل لها. لكن إذا زادت أو قلت شدة أو تركيزالعامل البيئي فان معدل العمليات يقل.
لكل عامل من العوامل البيئية المختلفة حد أدني و حد أمثل و حد أقصي.

العوامل البيئية والحاصلات الزراعية

عوامل مناخية Climatic factors

وهي تمثل العوامل البيئية على المدى الطويل : أي تأثير المناخ مثل الشتاء البارد ، الصيف الحار بحيث تحدد المحاصيل الممكن نجاحها في منطقة معينة أو فشلها ،

عوامل البيئة على المدى القصير وتعرف بإسم عوامل الطقس Weather factors.

وعموماً تؤثر العوامل البيئية على الإنتاج أو النمو بإختلاف شدتها وفترة مكثها في الحقل أو موسم النمو. وأهم العوامل البيئية التي تؤثر على الإنتاج الزراعي هي : الضوء ، الحرارة ، الرطوبة ، الرياح .

أ- الضوء Light:

يخترق الإشعاع الشمسي الكون الخارجي في شكل موجات كهرومغناطيسية وتقوم طبقة الأوزون المغلفة للكرة الأرضية بامتصاص الإشعاعات الضارة للنبات والإنسان وتمتص السحب جزءاً من الإشعاعات ليصل الباقي إلى النبات الذي يستفيد بحوالي ١ – ٢ % فقط من الطاقة الشمسية للقيام بعملياته الحيوية التي تحتاج إلى ضوء (ومن مجموع الطاقة الشمسية الممتصة ما بين ٧٥ – ٨٠ % يستعمل لتبخير الماء و ٥ – ١٠ % طاقة تخزن في التربة). والضوء الذي يمتصه النبات هو الضوء المنظور حيث تحول النباتات هذه الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية في عملية التمثيل الضوئي

ويمتص كلوروفيل النبات (أ و ب) الألوان – الزرقاء (بواسطة كلوروفيل ب) والحمراء (بواسطة كلوروفيل أ) وتعكس باقي الألوان ولا يستفيد النبات إلا بجزء ضئيل من هذه الألوان. والضوء له تأثيرات عديدة على النبات توجزها فيما يلي :

- تكوين المادة الخضراء وإكتمال تكوين البلاستيدات الخضراء.
- يدخل في عملية التمثيل الضوئي كمصدر للطاقة.
- يتزايد نمو النباتات نتيجة للضوء الأزرق والأحمر.
- تؤثر الموجات الضوئية في توزيع الأوكسينات وبالتالي يؤثر ذلك في عملية النمو والانتحاءات وتكوين هرمونات الأزهار.
- يؤثر الضوء في فتح وغلق الثغور (عملية النتح).
- يتأثر التركيب التشريحي للنبات باختلاف شدة الضوء. فالنباتات المحبة للشمس تتميز بوجود طبقات من النسيج العمادي وأديم أكثر سماكة (Epiderm) مع تواجد شعيرات أو زغب على السطح الخارجي عن النباتات المحبة للظل.

ويختلف تأثير الضوء من حيث النوع Quality ، الكمية Quantity وشدة الإضاءة Light Intensityومدة الإضاءة Duration.

ب- الحرارة Temperature

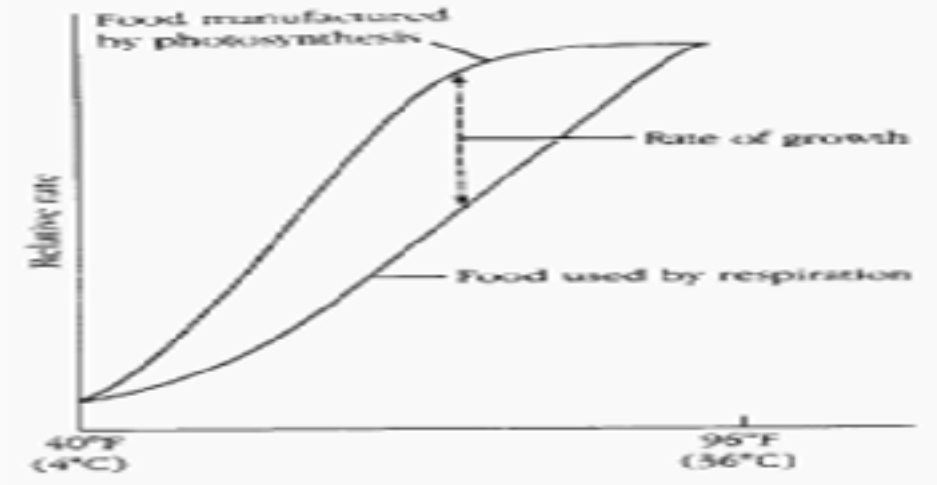
من أهم العوامل البيئية التي تؤثر على الكائنات الحية. وتلعب الحرارة دوراً رئيسياً في كثير من العمليات الطبيعية والكيمائية والتي تؤثر بدورها في التفاعلات الحيوية. فتؤثر الحرارة على عمليات إنتشار الغازات والسوائل وكذلك على عمليات إذابة الأملاح كما تؤثر على التفاعلات الإنزيمية في الخلايا.

الدرجات الحدية : Cardinal Temperature

وهي الدرجات التي تحدث عندها تغيرات حساسة في حيوية النباتات وفي نموه وفي طاقته الإنتاجية. وقد حدد لكل عملية حيوية ثلاث درجات حرارية مميزة هي القصوى (الحد الأعلى) الصغرى أو الدنيا (الحد الأدنى) وبينهما المثلى وهي أكفئ درجة حرارة لحدوث التفاعل.

- **محاصيل المناطق المعتدلة Temperate**: وهذه تنمو بين درجات حرارة ٥ – ٣٠°م ، درجة الحرارة المثلى لها بين (١٥ – ٢٥°م) مثل القمح – الشعير – الراي – الشوفان .

- **محاصيل المناطق الدافئة** : وهذه تنمو ما بين درجة حرارة ١٠ – ٤٠°م والمثلى ما بين (٣٠ – ٣٨°م) ولا تنمو إذا قلت درجة الحرارة عن ١٠°م. وأهم هذه المحاصيل الذرة الشامية – الذرة الرفيعة – القطن الأرز – فول الصويا



الوحدات الحرارية التراكمية : (العلاقة بين دراجات الحرارة والنضج) Thermal "DD" unit Heat units

بالنسبة للمحاصيل المحايدة لطول النهار فإن العامل المحدد لتمام النضج هي درجات الحرارة التي يتعرض لها هذا المحصول. ولكل محصول حد أدنى من درجات الحرارة – إذا قلت عنه – لا ينمو هذا المحصول ويعرف بالحد الأدنى باسم صفر النمو grow zero وهي أقل درجة حرارة لازمة لنمو المحصول.

أما درجات الحرارة التراكمية (المجمعة) فهي عبارة عن مجموع درجات الحرارة التي تزيد عن صفر النمو والتي يحتاجها المحصول من الزراعة حتى النضج accumulative heat units (الوحدات الحرارية) Degree days (DD) .

وتساوي = متوسط درجة حرارة اليوم – صفر النمو للمحصول

$$\text{Accumulative Heat} = (Ta - T_{zero})$$

ويوضح الجدول الآتي صفر النمو لمجموعة من المحاصيل

المحصول	صفر النمو
القمح	٣°م
العنب	١٠°م
الذرة الشامية	١٣°م
القطن	١٦°م
النخيل	١٨°م

مثال: إذا زرع نبات الذرة الشامية في أول شهر مارس وحصد في العاشر من يولية وكانت درجات الحرارة القصوى والصغرى كما يلي:

	مارس	أبريل	مايو	يونية	يولية
عدد الأيـام	٣١	٣٠	٣١	٣٠	١٠ أيام منه
درجة الحرارة القصوى	٢٧	٣٢	٣٩	٤٢	٤٤
درجة الحرارة الدنيا	١٣	١٨	٢٣	٢٥	٢٧
المتوسط	٢٠	٢٥	٣١	٣٣,٥	٣٥,٥
الحرارة التراكمية اليوم	٢٠-١٣=٧	١٢	١٨	٢٠,٥	٢٢,٥
الحرارة التراكمية للنمو = (٧ × ٣١) + (١٢ × ٣٠) +(١٨× ٣١) + (٢٠,٥ × ٣٠) + (١٠ × ٢٢,٥) = ٢٠١٠ درجة متراكمة					

وعلى هذا كلما أرتفعت درجة الحرارة كلما زادت عدد الوحدات الحرارية التراكمية ويقل موسم النضج أما إذا أرتفعت درجة الحرارة عن ٣٥°م في الذرة فنحسب على أنها الحد الأعلى. (الوحدات الحرارية).

ويفيد حساب عدد درجات الحرارة التراكمية في الآتي :

• تحديد أنواع الحاصلات التي يمكن زراعتها وكذلك الأصناف وتحديد موعد الزراعة المناسب.

• تحديد موسم النمو وبالتالي ميعاد النضج بدقة وسهولة وذلك لتجهيز الحصاد في الوقت المناسب وخصوصاً للمحاصيل الحقلية.

• تحديد مواعيد الزراعة إذا زرع في الحقل أكثر من صنف ويراد التلقيح بينهما (التوافق بينهما في مواعيد التلقيح) كما في حالة إنتاج الذرة الهجين .

الأضرار الحرارية : Heat Stress

في الملزمة

الإجهاد الملحي Salt stress

تعد الملوحة هي أحد أهم عوامل الأجهادات غير الحيوية a biotic stress المحددة لنمو وإنتاجية النبات. وهناك دليل على تأثيرات الأملاح في أنزيمات البناء الضوئي،الكلوروفيل والكاروتينات، القدرة على البناء الضوئي،تغيرات في الجهد المائي والضغط الانتفاخي للورقة حيث سجلت تأثيرات متراكمة تعزى إلى الإجهاد الملحي، كذلك بعض الترب والعوامل البيئية الأخرى لها تأثيرها على نمو النبات تحت الظروف الملحية

تاثير تراكم الاملاح في التربة

إنبات البذور،نمو البادرات،النمو الخضري، التزهير وتكوين الثمار وبالتالي تقليل الغلة الاقتصادية ورداءة نوعية المنتوج

لذلك تم تقسيم النباتات حسب تحملها الملوحة الى:

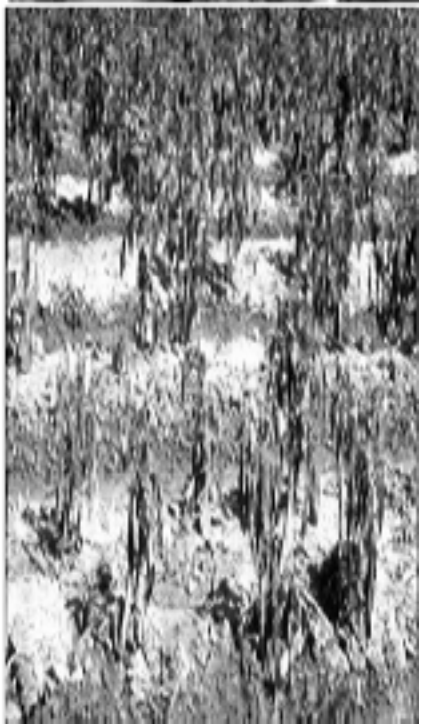
١- glycophytes حساسة للملوحة ٢- haplophytes متحملة للملوحة

وللملوحة عدة تأثيرات فقد تعمل على تكوين معقدات من عمليات نشوئية مختلفة. أن الأعراض المورفولوجية تظهر تأثيرات مؤذية بالإجهاد الملحي،لذلك فأن الملوحة تثبط بشكل مباشر أو غير مباشر الانقسام الخلوي cell division واتساع الخلية cell enlargement لمناطق النمو في النبات وكذلك اختزال نمو المجموع الخضري، تقليل محتوى الكتلة الجافة،زيادة نسبة shoot: root، تقليل حجم الورقة وبالتالي قلة إنتاج الحبوب.

التأثر الفسيولوجي للنبات بملوحة التربة Physiological effect of soil salinity on plant

- تؤثر ملوحة التربة علي فسيولوجية النبات بواحدة أو أكثر من الطرق التالية:

١- التأثير الأيوني Ionic Effect :- وهو تراكم الأملاح في أنسجة النبات المختلفة بتركيزات عالية وزائدة عن حاجة النبات والذي يؤدي إلي إعاقة نمو النبات وموته.



٢- تأثير تداخل الأيونات Intera ctions of Ions :- احتواء التربة علي تركيزات مرتفعة من الأملاح يؤدي إلي إعاقة امتصاص المغذيات النباتية (العناصر المعدنية الضرورية للنمو) وهو واضح بشدة بين البوتاسيوم والصوديوم فكلما زاد أحدهما قلت قدرة النبات علي امتصاص الآخر.

٣- التأثير الاسموزية Osmotic effect :- يميل الماء إلي التحرك من المناطق ذات الجهد المائي المرتفع إلي الجهد المائي المنخفض وزيادة تركيز الأملاح في التربة يخفض الجهد المائي لمحلول التربة مقابل خلايا الجذر مما يشكل صعوبة في امتصاص الماء من قبل النبات.

التأثير الضار لتراكم الأملاح الذائبة على نمو النباتات The harmful impact of the accumulation of soluble salts on plants growth

• التأثير الكلي لتركيز الأملاح في المحلول الأرضي: يؤدي زيادة تركيز الأملاح إلى زيادة الضغط الاسموزي للمحلول الأرضي وبالتالي قد تنعدم حركة الماء إلى النبات، أي ينخفض معدل امتصاص النبات للماء، ويمكن حساب قيمة الضغط الاسموزي للمحلول الأرضي من المعادلة

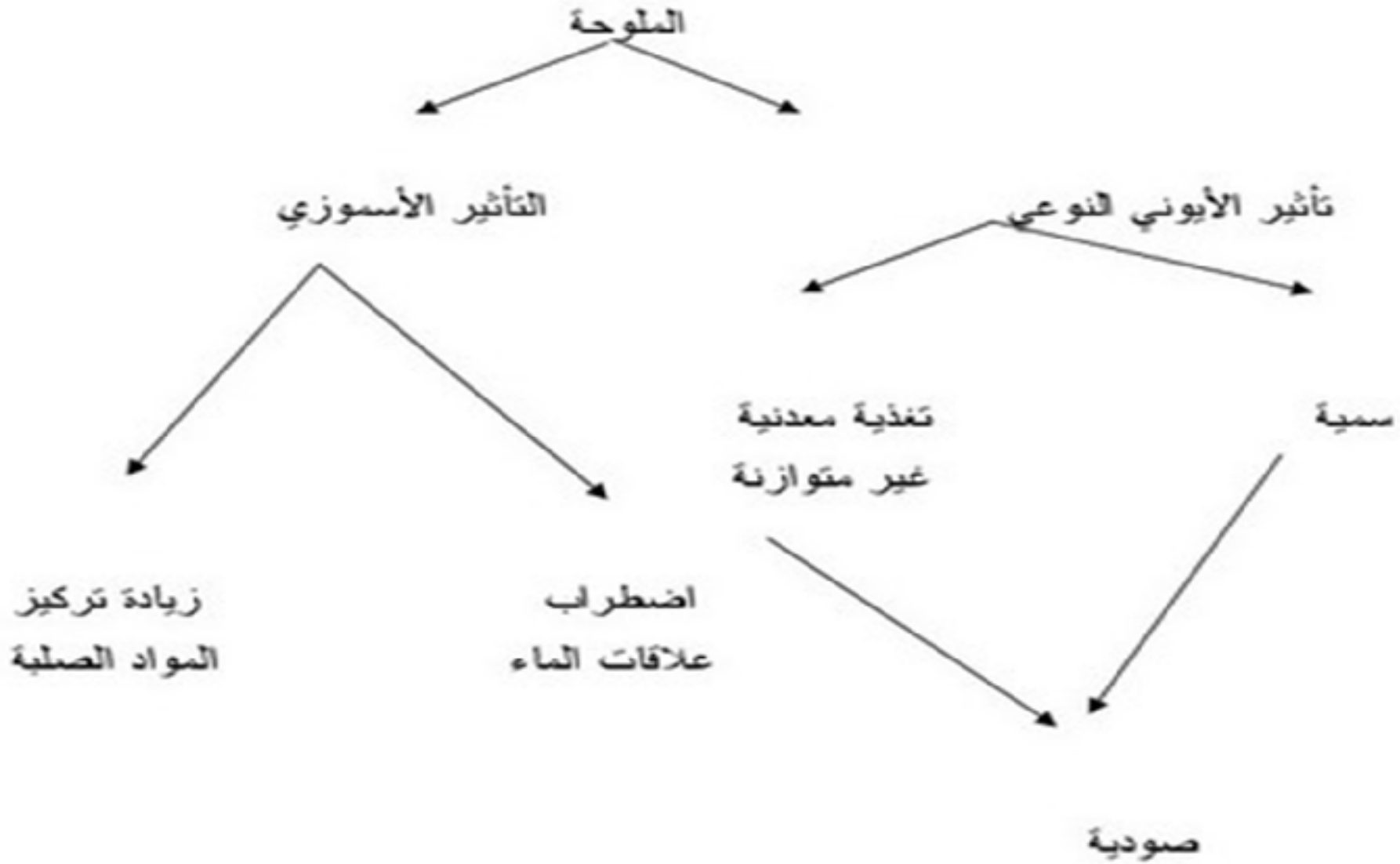
الضغط الاسموزي (جـو) = التوصيل الكهربائي بالملموز / سم × ٠.٣٦

معلومة

- الاسموزية (الانتشار الغشائي): هو انتشار جزيئات الماء دون المادة المذابة خلال غشاء شبه منفذ.
- السيتوبلازم بغشائية المحيطين به يمثل غشاء شبه منفذ يفصل بين محلول التربة والعصير الخلوي الموجود في الفجوة العصارية في الداخل (الجدار الخلوي السليلوزي يمكن إهماله لأنه منفذ تماما للماء).
- الضغط الانتشاري للماء في محلول العصير الخلوي ينقص بكثير عن الضغط الانتشاري للماء في الخارج وبالتالي تكون صافي حركة الماء لداخل الخلية، ويطلق عليه قوة الامتصاص الاسموزية للخلية.
- قوة الامتصاص الاسموزية هي = الضغط الاسموزي للعصير الخلوي – (الضغط الجداري + الضغط الاسموزي للمحلول الخارجي).
- العامل المسئول عن دخول الماء للخلية هو قوة الامتصاص الاسموزية وليس الضغط الاسموزي للعصير الخلوي.

• التأثير النوعي للأملاح (Specific effect): وهو تأثير نوع معين من الأملاح على النبات سواء عند تركيز مرتفع أو منخفض، مثل البورون إذ يؤثر على نمو كثير من النباتات إذا زاد تركيزه عن واحد جـزء / مليون في المحلول الأرضي، وكذلك زيادة تركيز عنصر الصوديوم يؤدي إلى الإضرار بالنبات.

التأثير الفسيولوجي لملوحة التربة على النبات عن طريق التأثير الاسموزي والنوعي للأملاح



تأثير إجهاد الملوحة Salinity stress

- هو نوع من الإجهاد الناتج عن فعل مؤثرات فيزيائية أو كيميائية.
- يعتبر إجهاد الملوحة واحد من أهم عوامل الإجهاد التي تؤثر على نمو النباتات وجودة وكمية المحصول.
- يرجع التأثير الضار لظروف إجهاد الملوحة للتأثير المباشر والغير مباشر لعوامل الإجهاد stress على تكوين جذيرات الأكسجين الحرة Activated oxygen radicals التي تسبب دمار وهدم الخلايا والأنسجة النباتية، وأيضا المواد المضادة للأكسدة والتي تقوم بحماية هذه الخلايا والأنسجة النباتية تحت ظروف الإجهاد.
- Oxygen free radicals من أهم العوامل المؤدية لدخول النبات فى طور الشيخوخة وذلك عن طريق تنشيط عمليات الأكسدة الضارة للجزيئات البيولوجية مثل جزيئات DNA مما يؤدى إلي خلل شديد في عمليات metabolism واختلال وظيفي لا يمكن تعويضه أو إصلاحه مما يؤدى إل هدم الخلايا وموت النبات.
- حدوث زيادة واضحة فى إنتاج الجذيرات الحرة مثل ذرات الاكسجين النشطة أو مجاميع الهيدروكسيل -OH أو أكسيد النيتروجين NO2 أو أكسيد الكبريت SO ومجاميع الكربوكسيل النشطه-COO، وهذه الجذيرات الحرة لها تأثير مدمر على الأغشية الخلوية وعملية البناء الضوئي ومحتوى DNA والاحماض النووية والبروتينات والسكريات.

ميكانيكيات التحمل والتكيف والتجنب للملوحة

النباتات المتحملة للملح لها القابلية على تقليل التأثيرات على النبات بواسطة أنتاج تكيفات تشريحية،مورفولوجية وفسيولوجية مثل النظام الجذري الواسع، وغدد خازنة للملح Secreting glands على سطح الورقة. إن التأثيرات التي تسببها النسب المختلفة من الملوحة للنباتات كفيلة بموت الكثير من النباتات لاسيما الحساسة منها،أو على الأقل تعيق النمو أو تقلل من نسب الإنبات أو الحاصل، لذلك أصبح من الضروري أن يحصل النبات على التكيفات التي تسمح له بالحفاظ على ديمومة حياته ونموه

هناك مجموعتان من التكيفات وهي:

أولا التكيفات المظهرية والتشريحية ومنها قلة عدد أوراق النبات وصغر حجمها، وزيادة سمك طبقة الكيوتكل والطبقة الشمعية للأوراق وقلة عدد الثغور في وحدة المساحة للورقة واختزال في تمايز وتكشف الأنسجة الناقلة واختزال تكشف الشعيرات الجذرية وغيرها من التكيفات التشريحية أو الشكلية الحاصلة في كثير من النباتات. الملوحة تؤثر في توفر المغذيات والماء،الانخفاض في جودة الأراضي الصالحة للزراعة وتبديل التراكيب في المجتمعات البيئية ecological communities

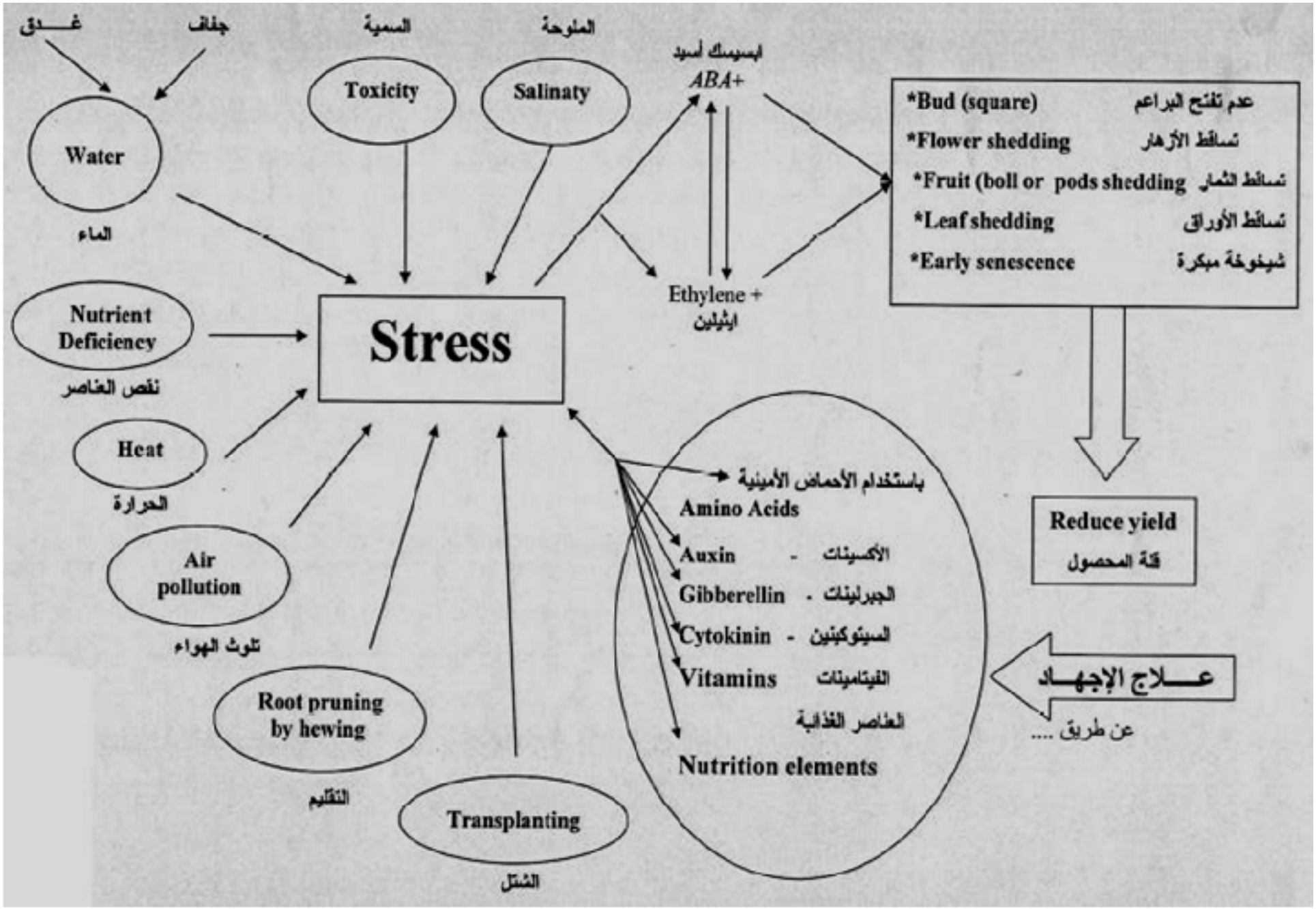
ثانيا التكيفات الفسلجية وقد قسمت إلى نوعين هما التحاشي أو التجنب avoidance وطرق التحمل tolerance المتعددة،ويقصد بطرق التجنب أو التحاشي قلة امتصاص الايونات الملحية حيث إن بعض النباتات لها قابلية انتقائية في امتصاص الايونات الضارة بميكانيكية تسمح بعد ذلك بامتصاص الايونات المفيدة،والتخلص من الأملاح الفائضة أو طرحها خارجا وذلك من خلال استبعاد الملح exclusion وهذا يمكن أن ينجز بواسطة نفاذية الجذور لايونات مختلفة وخصوصا الصوديوم،وكذلك من خلال عملية الإفراز secretion وهذا يعتمد على وجود غدد ملحية وتراكيب مثانية bladder خاصة

وآليات التحاشي للملوحة الأخرى هي تخفيف dilution تركيز الأملاح الداخلة إلى النباتات بواسطة العصارية ،حيث في بعض الأحيان يزداد سمك الورقة النباتية إلى درجة تصبح كأنها ورقة نبات عصاري

وميكانيكيات التحمل للملوحة تتضمن بعض الميكانيكيات المهمة التي تمنح النباتات آلية التحمل وهذه تتضمن استبعاد الايون ،الحفاظ على اخذ ايونات البوتاسيوم K^+، التنظيم الاوزموزي،تحمل النسيج لايونات الصوديوم Na^+ وتجمع ايونات الصوديوم في الأوراق القديمة

وان آليات التحمل للملح تتطلب توفر محاليل متناغمة تتجمع في السايتوبلازم والعضيات التي لها وظيفة في التنظيم الاوزموزي وحاميات الاوزموزية osmoprotectants. كما إن الأصناف الرئيسة للمحاليل العضوية الأوزموزية تتكون من سكريات بسيطة (بصورة رئيسة الفركتوز والكلوكوز)،كحولات سكرية (كليسرول و methylated inositols) وسكريات معقدة(تريها لوز،رافينوز و fructans). وأخرى تتضمن مشتقات الأحماض الأمينية الرباعية (برولين،كلايسين،betaine،Balancing betaine، proline betaine) وأمينات ثلاثية (1,4,5,6-tetrahydro-2-methyl-4-carboxyl pyrimidine) ومركبات dimethyl, choline sulfonamide O-sulfate sulphonium propironate.

أن التكيف للإجهاد الملحي يتضمن العديد من العمليات منها : زيادة في محتوى ABA، تراكم الذوائب مثل الأحماض الأمينية والسكريات وبروتينات حماية protective protein مثل (PRD) البروتينات المتعلقة بالأمراض وزيادة مضادات الأكسدة وكبح مسالك استهلاك الطاقة وتلك الذائبات التي تتراكم تحت الإجهاد الملحي ربما تشترك في إزالة الـ ROS كذلك تتراكم الكاربوهيدرات غير التركيبية Non-structural carbohydrates مثل (السكروز والهكسوز والكحولات السكرية)،وتعمل هذه السكريات بدور الحماية حيث تساهم في الحفاظ على ثباتية الغشاء ومن الأحماض الأمينية المهمة التي تزداد خلال الإجهاد هو البرولين حيث يقوم بدور حماية سلامة الغشاء البلازمي وإنتاج الطاقة



الآثار الناجمة عند تعرض النبات لظروف الإجهاد وعلاقتها بالمنشطات والمثبطات الداخلية وكيفية علاجها

درجة الحرارة Temperature

لدرجة الحرارة تأثير كبير على جميع وظائف الحياة إذ أن جميع عمليات الايض الكيميائية والعمليات الطبيعية اللازمة لتكوين جدر الخلايا وغيرها كالانتشار والترسيب والتجلط وتعتمد هذه العمليات على درجات الحرارة إذ تنشط بارتفاع هذه الدرجة إلى الحد الأمثل وعلى العكس من ذلك إذا نقصت درجة الحرارة إلى حد أدنى معين كان ذلك عائقا للنمو في الحجم فإذا نقصت أكثر من ذلك فان التمثيل الضوئي يتأثر بالحرارة ودرجة الحرارة لا يقتصر تأثيرها في تنشيط وظائف النبات بل توفر الطاقة اللازمة لبعض الوظائف .

و الحرارة عامل بيئي متغير يتاثر بالوقت والموسم وخطوط العرض والارتفاع والانخفاض عن مستوى سطح البحر الانحدار ، الاتجاه ، نسجة التربة ، الغطاء النباتي ونشاطات الانسان مثل المدنية والصناعية ، والحرارة تخترق كل منطقة الغلاف الحيوي (البايوسفير) ولها تاثير كبير جدا في كل اشكال الحياة وذلك فهي تؤثر بالنشاطات من خلال زيادة او تقليل بعض الانشطة الحيوية مثل عمليات البناء الايضي (Metabolism) والتكاثر (Reproductive) والسلوك (Behavior) والتطور الجيني (Embryonic development) والنمو (Growth) ودرجة الحرارة (Heat) والتي اصطلح عليها بوحدة قياسية شائعة يعبر عنها دائما بالفهرنهايت او السيليزية (المئوية) او (Centigrate) والحرارة من اشكال الطاقة تسمى طاقة حرارية (Thermal energy) . ان الطاقة الحرارية يتم تبادلها بين الحيوان والمحيط عن طريق **الاشعاع والتوصيل والتسخين والتبخر** وهذه الطرق الاساسية الاربعة لنقل الطاقة الحرارية تحدث داخل الكائنات الحية وبين الكائنات الحية ومحيطها .

ان كمية الحرارة التي تدخل الى الغلاف الحيوي (Biosphere) من الشمس يتم حسابها او تقديرها بالكمية) .

ومن الملاحظ ان اليابسة تكتسب الحرارة بنسبة أكبر وأسرع من الماء وذلك يعود للأسباب التالية:

أ -(أن الحرارة النوعية لليابسة أقل من الحرارة النوعية للماء.

ب -(إن صافي الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الماء أقل من صافي الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح اليابسة

. ج) إن سمك طبقة الماء التي تتأثر بالإشعات الشمسي أكبر من سمك طبقة اليابسة التي تتأثر بنفس الأشعة .

كما تلعب عوامل مختلفة دورًا هامًا في اختلاف درجة حرارة الهواء فوق اليابسة من مكان لآخر وأهمها:

١ -عامل الحرارة المفقودة خلال وحدة الزمن .

ان سريان الحرارة الارضية من داخل الارض هي صغيرة جدا مقارنة بالحرارة التي تدخل الغلاف الحيوي من الشمس . ان تقدير سريان الطاقة الحرارية في الغلاف الجوي يمكن ان تعزى الى ما يسمى بالميزانية الحرارية .

٢-القرب والبعد عن البحار والمحيطات.
٣- التضاريس.
٤ -الرياح.
٥ -الغطاء النباتي.

ان اكثر العوامل المناخية تاثيرا هي درجة الحرارة والرطوبة . ان درجة الحرارة تؤثر في الكساء الخضري اما مباشرة او غير مباشرة والتأثير المباشر للحرارة على الكساء الخضري يكون بطريقتين هما :-

١- التاثير في الفعاليات الفسيولوجية وبالتالي يتاثر النمو والحجم .

٢- تاثير الحرارة يتاتي من خلال تحديده للانواع التي يمكنها العيش في مناطق معينة أي تتوزع الانواع النباتية على المناطق وحسب المواسم وفق توزيع الدرجات الحرارية المناسبة لكل نوع . ان الانواع النباتية المختلفة تبدي اختلافات واسعة في تحملها للحرارة ومدى التذبذب الذي يحصل على كوكب الارض فان الكائنات الحية تستطيع القيام بنشاطاتها في مدى حرارة ضيق نسبيا والذي يتراوح بين ٠ م° الى ٥٠ م° ولكل نبات مدى حراري خاص بمتطلباته الحرارية وهذا المدى يختلف من نوع نباتي لاخر .

وبشكل عام ففي درجة حرارة ٤٠ م° فان البروتوبلازم يضعف ويتغير الى اقل حد مطلوب لحياة النبات وهو يموت فوق ٩٠ م° وعلى اية حال بعض النباتات تستطيع القيام بفعالياتها الحيوية في درجات حرارة عالية لكن في درجة حرارة ٧٠ م° نادرا ما يستطيع أي نبات ان يبقى ، وان تحت درجة حرارة الصفر أي تحت نقطة الانجماد فان النباتات عموما تموت بسبب تبلور الماء البروتوبلازمي والذي يسبب ضررا ميكانيكيا بسبب بلورات الثلوج ....

ان الهواء الجاف يمكن ان يتحمل درجات حرارة تصل الى ١١٤ م° وهناك بكتريا يمكن ان تعيش في درجات حرارة تتراوح بين ١٢٠ م° الى ١٣٠ م° ، وهنالك عدد قليل من الفطريات يمكن ان تقاوم فوق ٨٩ م° . ان درجة حرارة الهواء فوق ٣٢ م° تكون اكثر ملائمة للنباتات الاستوائية . ان بقاء الاكسية الخضرية يكون بين ٢٦ م° (بعض الصنوبريات) و ٦٦ م° (النباتات الصحراوية) وان كل كائن يمكن ان يعرف او يتحدد بمدى حراري .

ان العمليات الايضية للكائنات الحية تتاثر كثيرا بدرجات الحرارة وان اقل درجة حرارة يحصل عندها اقل سرعة للعملية الايضية بمستوى الدرجة الحرارية الدنيا (Minimum) والدرجة الحرارية التي يحصل عندها اكبر مستوى لنشاط العملية الايضية تسمى مثالية (Optimum) واعلى درجة حرارية يحصل عند اقل مستوى لنشاط العملية الايضية تسمى (Maximum) .

ان العملية الايضية تبدأ من اقل درجة حرارة (Minimum) ثم تزداد الى ان تصل لقصى سرعة لها عند (Optimum) ثم تبدأ بالنزول مع ازداد درجة الحرارة حتى تصل الى اقل سرعة عند درجة حرارة معينة (Maximum) .

بشكل عام فان عدم قدرة البروتوبلازم على الاستمرار في درجات الحرارة العالية يمكن ان يعزى الى جزء كبير من عدم القدرة تلك الى حساسية انزيماته الحرارية فتهدم البروتين غير العكسي نتيجة التعرض لدرجات الحرارة العالية (عادة اكثر من ٥٠ م°) ولاي مدة زمنية وعلي اية حال فهو يستطيع المقاومة في درجة الحرارة المنخفضة حتى تحت نقطة انجماد الماء وان قابلية الخلية للاستمرار تحت ظروف الانجماد تعتمد على قدرتها في تجنب تكون الثلج ، ان ظهور بلورات الثلج داخل الخلية غالبا ما يرتبط بموت الخلية وهو ما يعزى في جزء منه الى الضرر

الميكانيكي الذي تسببه تلك البلورات نتيجة ازالة الماء من البروتوبلازم لتحوله الى ثلج في المسافات البينية بين الخلايا وهكذا يحصل نزع للماء فيموت البروتوبلازم .

وطبقا للاحتياجات الحرارية للنباتات فقد قسم Raunkiaer الكساء النباتي بشكل عام الى الطرز الاتية :-

١- نباتات الحرارة العالية :- Megatherms

وهي نباتات المواطن الدافئة وتحتاج الى درجات حرارة عالية خلال السنة وتتواجد في المناطق ذات المناخات الاستوائية ومثال عليها النباتات الصحراوية .

٢- نباتات الحرارة المعتدلة :- Mesotherms

وهي نباتات المواطن التي لا تكون حارة و لا باردة وهذه النباتات لا تستطيع مقاومة الحرارة العالية و لا المنخفضة وهي تتواجد في المناطق الاستوائية وتحت الاستوائية .

٣- نباتات الحراو الواطئة :- Microthermal Plants

وهي النباتات التي تعيش في المواطن الباردة وتحتاج الى درجات حرارة واطئة اقل من ١٠ م˚ ومثل هذه النباتات لا تستطيع تحمل درجات الحرارة العالية ويمكن ان تتواجد في المناطق الاستوائيو شبه الاستوائية في الاراضي المرتفعة وعندما تكون درجات الحرارة قليلة .

٤- نباتات الانجماد :- Hekistotherms

وهي نباتات المناطق الباردة والمناطق الالبية وهي لا تزدهر بوجود الحرارة وتستطيع ان تقاوم الشتاء القاسي الطويل جدا .

بعض النباتات حساسة جدا للحرارة و الانخفاض المفاجيء في درجة الحرارة يكون ضار لها لان انسجة هذه النباتات تتاثر بشدة .

الغابات تعاني من الصقيع الليلي على الجهة الشرقية وعندما تشرق الشمس يظهر التاثير وبشكل مبكر في النهار . وكنتيجة للتكيف للصقيع فان النشأ في النباتات يتحول الى دهن وزيت في الخريف وان الزيوت الدهنية تقلل من نقطة انجماد وتزيد من المقاومة للصقيع . ان اوراق النباتات في الاراضي الباردة تحتوي على دهون ، بنتوسان ، صمغ ومواد بكتينية والتي لها قوة كبيرة لحجر الماء في بعض النباتات . فهي تقلل من خطر تعرض النباتات للتجفيف والموت لاحقا ان الجذور الجافة والسبورات لا تتاثر بالانجماد لانها لا يكون فيها سوائل معرضة للانجماد ونتيجة لازالة الماء من البذور فان مقاومة لبذور بعض النباتات للبرودة تزداد الى حد يمكن ان تتعرض لمدة ثلاثة اسابيع الى درجة ١٩٠ م˚ و لا يتاثر انباتها .

ان درجات الحرارة تحفز نمو البادرات ان درجة الحرارة المثلى للانبات تتراوح بين ٢٠ – ٢٧ م˚ . ان سرعة امتصاص الماء يضعف في درجات الحرارة المنخفضة ، البناء الضوئي يعمل في مدى واسع من درجات الحرارة . معظم الطحالب تحتاج حرارة واطئة للتمثيل الضوئي مقارنة بالنباتات الراقية وان التمثيل الضوئي يستمر حتى الى درجة حرارة ٨٠ م˚ في بعض النباتات الصحراوية .

ان معدلات التنفس تزداد بازدياد درجات الحرارة الى حدود معينة لكن بعد درجات الحرارة المثلى فان معدلات التنفس تبدأ بالانخفاض . ان معدل التنفس يتضاعف بزيادة عشرة درجات مئوية فوق درجة الحرارة المثلى وعندما تكون بقية العوامل مناسبة وهي ما يسمى بقانون هوف (Vant Hoffs Low) .

بعض النباتات تفضل الحرارة العالية لتنمو بينما نباتات اخرى تفضل الحرارة الواطئة .

ان المعدل الحراري لبعض الاصناف الشتوية بين ٠ م° الى ٥ م° البذور تزرع في الربيع سوف تنمو بشكل جيد وان النبات سوف يزهر وينضج في الوقت الطبيعي .

ان العملية التي يحتاج فيها النبات الى مدى من الدرجات الحرارية المنخفضة لكي يعطي حاملا زهرياً مبكرا تسمى عملية التربيع او الارباع (Vernilization) وهذه شائعة في البلدان الباردة وخاصة مع الحنطة الشتوية فالحنطة الشتوية تحتاج الى درجات حرارية منخفضة (برودة) لعدد ساعات معينة لكي تزهر وهي لا تتضرر بالانجماد وفي الفترة المبكرة من حياتها .

الحرارة تكون محددة للنمو في بعض النباتات فالقطن يحتاج الى اكثر من ٢٠٠ يوم خالية من الانجماد ولكي نمو ويعطي حاصل لذا فهو يزرع في المناطق التي لايحصل فيها انجماد الى فترات محدودة من السنة او لا يحصل ويحتاج الى درجات حرارية عالية لكي تنمو . كذلك بالنسبة لمحصول الرز ، البطاطا يعطي حاملا جيدا في درجات الحرارة المعتدلة .

ان نمو النباتات يقل او يعاق او يتوقف بدرجات الحرارة العالية .

ان تاثير الحرارة بالتداخل مع الرطوبة الجوية والعوامل الاخرى يساعد في انتشار الامراض النباتية ، فالحرارة المنخفضة والرطوبة العالية تساعد الصدأ Rust والحرارة المنخفضة والرطوبة العالية والجو ذو الغيوم تؤدي الى انتشار لفحة البادرات مرض تعقد الجذور للخيار والتبغ .

تأثير درجة الحرارة في النباتات

درجة حرارة النبات :-

تتبع درجة حرارة النبات أكثر الأحيان الوسط الذي يعيش فيه النبات وقلما ترتفع درجة حرارة السيقان والأوراق أو تنخفض كثيرا عن درجة حرارة الوسط الخارجي والوسط الخارجي ترتبط حرارته بعوامل المناخ كالحرارة والتبخر والرياح ..... الخ . فضلا عن درجة حرارة الجذور قلما تختلف عن درجة حرارة التربة التي يعيش فيها وهناك نشاطات فسيولوجية يصاحبها انبعاث حرارة مثل التنفس إلا إنها لا تفيد في رفع درجة حرارة النبات لان التنفس يهبط عند انخفاض درجة حرارة الوسط الخارجي لذلك فان كمية الحرارة الناتجة تقل فيه .

تتغير درجة حرارة النبات بدرجة أبطأ من تغير درجة حرارة الوسط الذي تعيش فيه لذلك يحصل تغيير مفاجئ في درجة حرارة الوسط فان درجة حرارة النبات تكون أبطأ من الهواء واستجابته له . ويعزى ذلك إلى وفرة الماء في أنسجة النبات والماء له حرارة نوعية عالية فيحافظ على درجة حرارة الخلايا لفترة أطول مما يتغير فيه الوسط الذي يعيش فيه النبات .

إن درجة حرارة أشجار الغابات قد تختلف بمقدار عشرة درجات لنفس الشجرة بين الجزء العلوي المعرض للأشعة والجزء السفلي المظلل. كما يحد من ارتفاع درجة حرارة النبات المعرضة للشمس التأثير التبريدي لعملية النتح .

تؤثر درجة الحرارة بشكل مباشر أو غير مباشر في كل وظيفة من الوظائف الحيوية للنبات ومنها:

١. تأثير درجة الحرارة على البناء الضوئي: يتوقف معدل البناء الضوئي إلى جانب العوامل البيئية المختلفة من إضاءة وتركيز ثاني أكسيد الكربون وغيره.
٢. تأثير درجة الحرارة على التنفس: تؤثر درجة الحرارة تأثيرًا معقدًا في عملية التنفس شأنها في ذلك شأن تأثيرها في العمليات الحيوية المختلفة ، وعلى العموم تؤدي زيادة درجة الحرارة في حدود معينة إلى زيادة معدل التنفس
٣. تأثير درجة الحرارة على الامتصاص: ينخفض معدل امتصاص الماء في كثير من طراز النباتات إذا انخفاض درجة حرارة التربة إلى درجة قريبة من الصفر أو دون درجة التجمد.
٤. تأثير درجة الحرارة على النتح: يزداد معدل النتح مع زيادة درجة حرارة الهواء المحيط بالمجموع الخضري
٥. تأثير درجة الحرارة على الانبات اذ انه إذا لم توجد عوامل محددة أخرى فإن بذور أي نوع نباتي تنبت في مجال معين من درجات الحرارة تختلف من نوع لآخر ولكنها لا تنبت في درجات الحرارة أعلى أو أقل من هذا المجال.

درجات الحرارة الملائمة وغير الملائمة للنبات :-

تحتمل معظم النباتات مدى واسع من درجات الحرارة وتستطيع بعضها أن تنمو في درجات حرارة متطرفة في الارتفاع وبعضها في درجات حرارة متطرفة في الانخفاض وهناك أنواع تستطيع احتمال الدرجات المتطرفة طالما توفر لديها الماء الكافي . فبعض النباتات الطحلبية الواطئة تستطيع أن تنمو وتتكاثر في المياه القطبية إذ تهبط درجة الحرارة تحت الصفر . ويضل الماء سائلا رغم ذلك بسبب ملوحته العالية . ومن ناحية أخرى تزدهر أنواع كثيرة من الطحالب والبكتريا في الينابيع الدافئة تحت درجات حرارة تصل إلى ٧٧ م° وحتى إلى ٨٩ م° . في بعض الأنواع والمعروف بشكل عام أن درجات الحرارة الملائمة لمعظم الأنواع النباتية هي الدرجات السائدة في المواضع الطبيعية لهذه النباتات لذلك فمعظم نباتات المناطق المعتدلة تنمو أحسن نمو بين درجتي ١٥ م° و ٢٥ م° بينما تزدهر نباتات المناطق البادرة وجبال الألب في درجات تعلو قليلا عن درجة التجمد .

وتتعرض النباتات أثناء فترة نموها لمدى واسع في درجات الحرارة ولا تتحمل البقاء إلا إذا بقيت درجة الحرارة في حدود معينة فإذا تجاوزت تلك الحدود ارتفاعا أو هبوطا فان النباتات تسارع بالنضج أو تهلك أو أحيانا تدخل فترة سكون كما يحدث في المناطق الجافة التي تنضب مواردها في فترات معينة من العام لا تستطيع النباتات أن تمتص ما يعوض الماء المفقود بالنتح . وتتشابه طريقة استجابة النباتات للجفاف ولدرجات الحرارة المتطرفة . إذ أن النتيجة في الحالتين اختزال الأوراق الناتجة ومختلف انواع النشاط الحيوي .

وتتأثر درجة حرارة النبات بمؤثرات أساسية تحدد التوازن الحراري للنبات وهي:

١ -امتصاص الحرارة من الأشعة الشمسية.

٢ -فقد الحرارة بالإشعات العكسي.

٣ -الفقد بالتوصيل الحراري للهواء.

٤ -الفقد بالتبريد بواسطة النتح وتيارات الغازات أي بالحمل الحراري

درجات الحرارة المثلى :- Optimum Temperature

هي أكثر الدرجات ملائمة لنمو النبات والقيام بوظائفه أي هي الدرجة الحرارية التي يحصل عندها أعلى معدل للنمو لا توجد درجة حرارة مثلى لمختلف العمليات الفسيولوجية إذ أن كل عملية تتوقف على عدد من العوامل الطبيعية والكيميائية كما انه لا توجد درجة مثلى واحدة لجميع العمليات فدرجة التنفس المثلى أعلى بكثير من عمليات البناء الغذائي ولذلك فان الحرارة المثلى للنبات هي مدى حراري . أن توفر الدرجة الحرارية المثلى يعني زيادة من معدلات النمو وهي تحتاج إلى ماء ومواد غذائية أكثر لذلك فان درجة الحرارة المثلى لا تحقق ظروف مثلى للايض والنمو لوحدها فالدرجة الحرارية المثلى للإنبات ونمو البادرات هي في العادة اقل بكثير مما يحتاجه النبات البالغ .

وتنقسم النباتات حسب استجابتها لدرجات الحرارة إلى:

١ -النباتات المحبة للبرودة Psychrophiles

وتضم النباتات التي تنمو وتتم دورة حياتها في أوساط تتراوح درجة حرارتها بين صفر و ٢٠

٢ -النباتات المحبة للحرارة المعتدلة Mesophiles

وهي نباتات تنمو وتتم دورة حياتها في درجات حرارة تتراوح بين ١٠ إلى ٣٠ مئوية وأي درجة حرارة أقل من ٣٥ تُسبب لها إجهادا حراريًا.

٣ -النبات المحبة للحرارة المرتفعة Thermophiles

وهي نباتات تنمو وتتم دورة حياتها في درجات حرارة أعلى من ٣٠ -٤٥

وتسبب درجات الحرارة المرتفعة جملة من الأخطار تهدد النبات وأهمها:

1 - فقدان كميات كبيرة من الماء والجفاف حيث تؤدي درجات الحرارة المرتفعة التي تتعرض لها الأوراق

2 - عدم التوازن بين معدلي التنفس والبناء الضوئي تشكل عاملا سامًا أو مواد سامة

3 - تلف المكونات البروتينية للبروتوبلازم وموته وإتلافه الكلوروفيل وأصفرار لون الأوراق وتثبيط النمو.

اما اهم تكيفات النبات لدرجات الحرارة المرتفعة فهي :

١ -تكيفات مورولوجية وتشريحية.

٢- تكيفات تخص النتح.

٣ -تقوم كثير من النباتات بوظائفها الحيوية في الساعات الصباحية من النهار.

أضرار البرد Chilling injury

أ -الجفاف.

ب -قد تؤدي درجات الحرارة المنخفضة إلى تغيير الوسط الداخلي للنباتات عن طريق تثبيط تحول المواد المدخرة وانتقالها.

ج -وقد يعود السبب في إصابة النباتات في درجات الحرارة المنخفضة إلى تفكك البروتين يعود إلى تشكل مواد سامة ناتجة عن اضطرابات.

أضرار التجمد Freezing injury :

ويحدث التلف الناشيء عن التجمد بسبب تكون بلورات من الجليد في المسافات ، وإذا تكونت بلورات الجليد في المسافات البينية فربما يحدث موت الخلايا.

التكيفات الشكلية:

ومن أهم هذه الميزات ، الأوراق الصغيرة والمكتظة والثخينة والمغطاة بالشعر ، إضافة إلى تغطية البراعم بالحراشف البرعمية والشعر أو المواد الصمغية)النباتات المخروطية (زيادة سمك القلف والأدمة وغيرها.

التكيفات الفسيولوجية:

١ -انخفاض المحتوى المائي للبروتوبلازم.

٢ -زيادة نسبة المواد الذائبة.

٣ -ارتفاع الضغط الأزموزي.

٤ -تحول المختزن من النشا إلى زيوت ودهون.

٥ -تجميع المواد الغروية المحبة للماء.

٦ -زيادة نفاذية الأغشية البروتوبلازمية.

Hardeningالتقسية

علاقة درجة الحرارة بالإزهار او (الإرباع)

ويطلق على عملية معاملة النبات بالتبريد كي يكمل دورة حياته ويزهر اسم الإرباع Verbalization (Springificaion)

وهكذا فالارباع هو اكتساب النبات القدرة على الإزهار أو تعجيل القدرة على الإزهار بمعاملته بالتبريد.

تأثير درجة الحرارة على الكساء الخضري :-

ترتفع درجة الحرارة عادة في فصل الصيف ارتفاعا كبيرا فوق الحد الذي يسمح باستمرار نمو النباتات ولو إن فترة الحر الشديد قد لا تستمر أكثر من بضعة أسابيع ولذألك فان كثير من الأنواع النباتية وخاصة الحوليات لا تستمر في فصل الصيف وتلجا أنواع كثيرة من نباتات الصحاري إلى تكوين أجزاء حية مطمورة تكمن في أوقات الحر الشديد على عمق كبير تحت سطح التربة وتعمل على استمرار حياة النبات بصورة كامنة خلال الفترة غير

الملائمة بينما تجف الأجزاء الهوائية وعندما تعتدل حرارة الجو وتكون مصحوبة بازدياد في الرطوبة تنبت الأعضاء الكامنة لتعطي أفرعا هوائية وأوراقا خضراء ويعود إلى النبات نشاطه . وليس لدرجة الحرارة أي تأثير على توزيع النباتات في طور الهجرة بيد إن لها تأثير كبيرا على النباتات المهاجرة على إن الحد الأقصى لدرجة الحرارة قد يكون ذا اثر مباشر في تحديد انتشار النباتات .

وبينما تعتبر درجة الحرارة أهم العوامل التي تسيطر على توزيع النباتات نجد إن أثرها اكبر في تحديد الأنواع النباتية التي تستوطن منطقة من المناطق (Flora) منه في تحديد طرق التكوين الذي يتكون منه الكساء الخضري . فتكوينات أراضي الحشائش والغابات والصحاري توجد جميعها في كل منطقة من المناطق الحرارية على سطح الكرة الأرضية ، ولكن الانواع المكونة لكل طراز من هذه الطرز كالغابات مثلا تختلف كثيرا في المناطق المختلفة كذلك نعتبر درجة الحرارة أهم العوامل قي توزيع نباتات المحاصيل فالحد المثالي لإنتاج القطن مثلا على نطاق تجاري مربح تنفرد بتحديد درجة الحرارة ولنبات القمح حد أدنى من درجات الحرارة أبان موسم نموه لذلك يكون توزيعه مقصورا على الأقاليم التي لا تنخفض درجة حرارتها أبان موسمه دون ذلك الحد .

إما البطاطا فإنها تنتج أوفر محصول في المناطق ذات الحرارة الصيفية المنخفضة وذلك لان درجات الحرارة العالية تعوق نمو الدرنات وبعض المحاصيل كالذرة يحدد توزيعها درجة حرارة موسم النمو وحده وبعضها يتأثر بدرجة حرارة العالم كله .

درجة حرارة التربة Soil temperature

التغيرات اليومية والسنوية في درجة حرارة التربة:

تستمد التربة حرارتها من أشعة الشمس ، كما يحتمل أن تستمد بعض الحرارة أيضا من أعماق الأرض ومن الأمطار الدافئة ومن تحلل المادة العضوية فيها.

العوامل التي تؤثر في درجة حرارة التربة:

يؤثر عدد من العوامل تأثيرًا مباشرًا في درجة حرارة التربة كاللون والقوام والتركيب والمحتوى المائي والانحدار ووجود الغطاء النباتي أو عدم وجوده وغيرها ، وربما كان المحتوى المائي للتربة من أهم هذه العوامل

تأثير درجة الحرارة على توزيع النباتات

١ -عن طريق درجة الحرارة المرتفعة او المنخفضة.

٢ -حاجة النباتات لفترة منخفضة من الحرارة.

التقلب (التذبذب) الحراري في المحيط :- Temperature Fluctuation in environment

ان التذبذب الحراري يحصل خلال اليوم وخلال الموسم وان الحرارة تتذبذب من سطوع الشمس وهي تختلف من ضوء الشمس الى الظل ومن اليوم المضيء الى المظلم ، درجة حرارة السطح في اليوم ربما تكون ٣٠ م˚ اعلى في المكان المعرض للشمس منه الى المظلل وتكون حوالي ١٧ م˚ اعلى في النهار منه الى الليل . في الصحراء ربما تكون درجة الحرارة ٤٠ م˚ اعلى خلال النهار منه الى الليل .

ان خطوط العرض لها تاثير في دورة درجة الحرارة فبزيادة ١٥٠ م˚ لكل خط عرض فان درجة الحرارة تقل بمقدار ١ م˚ . المواطن المختلفة مثل المياه العذبة والبحار والاراضي تبدي استجابات مختلفة لتذبذب درجات الحرارة ، فتذبذب درجات الحرارة يكون اقل في البيئات المائية مقارنة بالارضية . ان الزيادة في عمق الماء تزيد من تذبذب درجات الحرارة .

ان اقل درجة حرارة البحر ربما تكون -٣ م˚ بينما درجة الحرارة لبركة او بحيرة من المياه العذبة لايمكن ان يقل تحت الصفر المئوي . ان اعلى درجة حرارة تصلها المحيطات حوالي ٣٦ م˚ لكنها تكون اكثر من ذلك بالنسبة للبرك وبحيرات المياه العذبة في الاجسام العميقة فان مسخونة الماء او برودته تتحدد بالطبقة السطحية لكن الطبقات العميقة ربما ايضا تحصل لها سخونة او برودة ونتيجة للحركة الشاقولية في سطح الماء فانة سيجلب الحرارة الى المناطق الاعمق وبالعكس .

ان الدراسات حول التغيرات الشاقولية للحرارة قادت الى تقسيم طبقات المياه العذبة الى ما ياتي :-

١- طبقة مائية فوقية :- Epilimnion

وهي الطبقة العليا من الماء الدافىء في بحيرة طبيعية والتي تكون حركتها ثابته بواسطة الرياح .

٢- طبقة مائية وسطية :- Metalimnion

وهي النطقة الوسطية بين الطبقة العليا والطبقة التحتية لجسم الماء وهذه المنطقة تظهر تغيرات شاقولية في درجات الحرارة .

٣- طبقة مائية تحتية :- Hypolimnion

وهي الطبقة التحتية للماء الراكد مع تغيرات قليلة او عدم حدوث تغيرات تذبذبية في درجات الحرارة .

ان عملية التمايز لبيئة الماء العذب على اساس التغيرات الشاقولية في درجات الحرارة الى ثلاث طبقات يمكن ان يطلق عليها التنضد الحراري (Thermal Stratification) .

في المحيط الارضي فان تذبذب درجات الحرارة يختلف وان اقل درجة حرارة سجلت لكتلة الارض كانت -٧٠ م˚ . في منطقة سيبريا وان اعلى درجة الحرارة وصلت الى ٨٠ م˚ في الصحاري . ان تغاير درجات الحرارة يختلف من مكان لاخر و طبقا لذلك فان الكساء الخضري يختلف باختلاف المناطق و وفقا للتغايرات الحرارية بين تلك المناطق . ان التداخل بين الحرارة والرطوبة هي التي تحدد الانتشار لعموم الاكسية الخضرية ، شمالية ، جنوبية ، الاستوائية ، معتدلة كلها تعتمد وبشدة على الحرارة والرطوبة .

درجات الحرارة الملائمة وغير الملائمة للنبات :-

تحتمل معظم النباتات مدى واسع من درجات الحرارة وتستطيع بعضها أن تنمو في درجات حرارة متطرفة في الارتفاع وبعضها في درجات حرارة متطرفة في الانخفاض وهناك أنواع تستطيع احتمال الدرجات المتطرفة طالما توفر لديها الماء الكافي . فبعض النباتات الطحلبية الواطئة تستطيع أن تنمو وتتكاثر في المياه القطبية إذ تهبط درجة

الحرارة تحت الصفر . ويضل الماء سائلا رغم ذلك بسبب ملوحته العالية . ومن ناحية أخرى تزدهر أنواع كثيرة من الطحالب والبكتريا في الينابيع الدافئة تحت درجات حرارة تصل إلى ٧٧ م° وحتى إلى ٨٩ م° . في بعض الأنواع والمعروف بشكل عام أن درجات الحرارة الملائمة لمعظم الأنواع النباتية هي الدرجات السائدة في المواضع الطبيعية لهذه النباتات لذلك فمعظم نباتات المناطق المعتدلة تنمو أحسن نمو بين درجتي ١٥ م° و ٢٥ م° بينما تزدهر نباتات المناطق البادرة وجبال الألب في درجات تعلو قليلا عن درجة التجمد .

وتتعرض النباتات أثناء فترة نموها لمدى واسع في درجات الحرارة ولا تتحمل البقاء إلا إذا بقيت درجة الحرارة في حدود معينة فإذا تجاوزت تلك الحدود ارتفاعا أو هبوطا فان النباتات تسارع بالنضج أو تهلك أو أحيانا تدخل فترة سكون كما يحدث في المناطق الجافة التي تنصب مواردها في فترات معينة من العام لا تستطيع النباتات أن تمتص ما يعوض الماء المفقود بالنتح . وتتشابه طريقة استجابة النباتات للجفاف ولدرجات الحرارة المتطرفة . إذ أن النتيجة في الحالتين اختزال الأوراق الناتجة ومختلف ضروب النشاط الحيوي .

درجات الحرارة المثلى :- Optimum Temperature

هي أكثر الدرجات ملائمة لنمو النبات والقيام بوظائفه أي هي الدرجة الحرارية التي يحصل عندها أعلى معدل للنمو لا توجد درجة حرارة مثلى لمختلف العمليات الفسيولوجية إذ أن كل عملية تتوقف على عدد من العوامل الطبيعية والكيميائية كما انه لا توجد درجة مثلى واحدة لجميع العمليات فدرجة التنفس المثلى أعلى بكثير من عمليات البناء الغذائي ولذلك فان درجة الحرارة المثلى هي مدى . أن توفر الدرجة الحرارية المثلى يعني زيادة من معدلات النمو وهي تحتاج إلى ماء ومواد غذائية أكثر لذلك فان درجة الحرارة المثلى لا تحقق ظروف مثلى للايض والنمو لوحدها .

الدرجة الحرارية المثلى للإنبات ونمو البادرات هي في العادة اقل بكثير مما يحتاجه النبات البالغ

تأثير درجة الحرارة على الكساء الخضري :-

ترتفع درجة الحرارة عادة في فصل الصيف ارتفاعا كبيرا فوق الحد الذي يسمح باستمرار نمو النباتات ولو إن فترة الحر الشديد قد لا تستمر أكثر من بضعة أسابيع ولذلك فان كثير من الأنواع النباتية وخاصة الحوليات لا تستمر في فصل الصيف وتلحا أنواع كثيرة من نباتات الصحاري إلى تكوين أجزاء حية مطمورة تكمن في أوقات الحر الشديد على عمق كبير تحت سطح التربة وتعمل على استمرار حياة النبات بصورة كامنة خلال الفترة غير الملائمة بينما تجف الأجزاء الهوائية وعندما تعتدل حرارة الجو وتكون مصحوبة بازدياد في الرطوبة تنبت الأعضاء الكامنة لتعطي أفرعا هوائية وأوراقا خضراء ويعود إلى النبات نشاطه . وليس لدرجة الحرارة أي تأثير على توزيع النباتات في طور الهجرة بيد إن لها تأثير كبيرا على النباتات المهاجرة على إن الحد الأقصى لدرجة الحرارة قد يكون ذا اثر مباشر في تحديد انتشار النباتات .

علاقة العوامل البيئية بنمو المحاصيل الحقلية ـ المـــاء ـ

يعتبر توفر الماء من المطر أو الري من أهم العوامل التي يرتكز عليها قيام زراعة المحاصيل الحقلية في العالم، فالمناطق التي يتوفر فيها الماء تمتاز بتنوع المحاصيل بينما المناطق الشحيحة المياه لا تنجح فيها الا أنواع محدودة من المحاصيل ذات انتاجية منخفضة ويتعذر انتاج المحاصيل الاقتصادية في المناطق القاحلة، والماء هو الوسط الذي تحدث فيه جميع التفاعلات الحيوية والكيمياوية بالنبات كما يؤثر الماء على صفات التربة الطبيعية والحيوية والكيمياوية. **ويمكن تلخيص اهمية الماء في حياة النبات بأربعة نقاط رئيسية.**

١ـ الماء هو أحد مكونات البروتوبلازم الرئيسة حيث يشكل ٨٥-٩٥ ٪ من الانسجة النامية للنبات.

٢ـ الماء عامل ضروري في عملية التركيب الضوئي والهضم لتحويل النشأ الى سكر.

٣ـ الماء مذيب للأملاح والغازات والمواد الاخرى التي يمتصها النبات وتنتقل خلال خلاياه.

٤ـ الماء ضروري لحفظ خلايا النبات في حالة انتفاخ وجعل الاوراق تحتفظ بشكلها وفتح وغلق الثغور مما يساعد على انتشار غاز ثاني اوكسيد الكاربون للمساهمة في عملية التركيب الضوئي، كذلك فان انتفاخ الخلايا الحارسة يساعد على فقدان الماء بالنتح والتبخر. ولمعرفة اهمية الماء لحياة المحاصيل الحقلية لا بد من التعرف على الصور التي يوجد عليها الماء في الجو وكذلك الحالات التي يوجد عليها في التربة.

الرطوبة الجوية ـ يقصد بالرطوبة الجوية بخار الماء الذى يحمله هواء الجو وتنشأ الرطوبة الجوية من انطلاق جزيئات الماء من الاسطح المعرضة للجو بواسطة التبخر

ومن النباتات بواطة النتح والتبخر ويعبر عن الرطوبة الجوية بتعبيرات مختلفة مثل الرطوبة المطلقة، الرطوبة النسبية، ونقص ضغط بخار الماء. فالرطوبة المطلقة هي كمية بخار الماء الموجودة في حجم معين من الهواء وتقاس بعدد الغرامات من الماء الموجودة في متر مكعب من الهواء.

أما الرطوبة النسبية فهي كمية بخار الماء الموجودة في الجو مقدرة كنسبة مئوية من كمية بخار الماء الكلية التي يمكن ان يحملها الجو في درجة التشبع تحت درجة حرارة وضغط معينين. والجو المشبع بالرطوبة تكون رطوبته النسبية ١٠٠٪ ولا يمكن ان يتحمل اي كمية اخري من بخار الماء. وكلما انخفضت الرطوبة النسبية في درجة حرارة وضغط معلومين كلما زادت قابلية الهواء لاستيعاب كمية اكبر من بخار الماء ويصبح عدد جزيئات بخار الماء المفقودة من سطح مائي عند درجة التشبع مماثلا لعدد جزيئات الماء التي تعود الى السائل.

وحيث ان الرطوبة النسبية تتأثر بدرجة الحرارة لذلك فأنها تختلف خلال اليوم وخلال الفصول الاربعة فالرطوبة النسبية شتاء هي أكثر منها صيفاً. وأحيانا رغم تماثل الرطوبة النسبية فقد تكون الظروف غير متماثلة الا اذا كانت درجات الحرارة واحدة. لذلك يستخدم اصطلاح نقص ضغط البخار ويقصد به الاختلاف بين الضغط الحقيقي لبخار الماء في الهواء الجوي وضغط بخار الماء عند تشبع هذا الحيز ببخار الماء بنفس درجة الحرارة.

وتؤثر على الرطوبة الجوية عدة عوامل مثل درجة الحرارة ، الرياح ، الغطاء النباتي فالحرارة المرتفعة والرياح الجافة تقلل من الرطوبة النسبية، بينما تزداد الرطوبة النسبية في الجو المحيط بالنباتات بزيادة الغطاء النباتي حيث يفقد الماء من النباتات عن طريق النتح وكل ذلك له تأثير على نمو المحاصيل وانتاجها.

اما الرطوبة الجوية فهي الاخرى تؤثر على نمو المحاصيل فيزداد النتح من النباتات بقلة الرطوبة النسبية في الجو وقد يحصل تساقط الأزهار بعض المحاصيل او عدم اخصاب لبعضها الأخر وبالتالي انخفاض في الحاصل خاصة اذا رافق انخفاض الرطوبة الجوية جفاف التربة.

ومن الناحية الاخرى فان زيادة الرطوبة الجوية قد تكون عاملاً لانتشار بعض الامراض مثل أصداء الحنطة وتأخير النضج. اما الامطار الغزيرة فقد تسبب تلفا للمحاصيل الحلقية.

الاشكال التي يكون عليها بخار الماء الجوي:

ان بخار الماء الموجود في الجو يتكثف على أشكال مختلفة هي السحاب ، المطر البرد ، الثلج ، الندى ، الضباب ، فالندى هو عبارة عن قطرات الماء التي تتكاثف على الاسطح الباردة. اما الضباب فهو عبارة عن بخار الماء المنتشر في الجو والذي يتكاثف قريباً من سطح الارض. ويحصل الندى عادة اذا كان الجو صاحيا والهواء ساكنا فاذا انخفضت درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الارض الى ما فوق الصفر المئوي بقليل تكون الندى ، اما اذا اصبحت دون الصفر يتكون الصقيع ويمكن ان يستفيد النبات من الندي من ناحيتين الاولي انه يمكن ان يمتصه النبات ويرطب الاوراق والثانية انه يخفض درجة حرارة الجو ويقلل من التبخر والنتح.

كمية الامطار وتوزيعها:

ليس المهم فقط أن تكون كمية الامطار كافية خلال الموسم حسب احتياجات المنطقة وتوزيعها خلال فصول السنة. ويظهر تأثير كمية الامطار بوضوح في المناطق التي يتعادل متوسطها مع الكمية الضرورية لإنتاج المحصول كما هو الحال في المناطق نصف الجافة. ففي هذه الحالة يقل المحصول كثيرا اذا كانت الامطار في احدى السنوات

اقل من المعدل. ويكون الضرر اكبر اذا رافق سنوات الجفاف ارتفاع درجات الحرارة مما يساعد على فقد الرطوبة من التربة فيزداد الضرر على المحاصيل.

ويختلف معدل سقوط المطر السنوي في مناطق العالم من ٠,٠٢ انج (٠,٥١ ملم) في بعض المناطق الصحراوية في شيلي الي ٩٠٥ انج سنويا (٢٢٩٨٧ ملم) في بعض اقسام الهند. وقد قسم العالم بالنسبة لكمية سقوط الامطار الى ثمانية مناطق كما هي في الجدول التالي.

جدول يبين تقسيم العالم الى مناطق حسب كمية الامطار السنوية

كمية الامطار السنوية بالمليمتر	التقسيم الجوي	النسبة المئوية لمساحة المنطقة في العالم
اقل من ٢٥٠	جافة	٢٥
٢٥٠ ـ ٥٠٠	نصف جافة	٣٠
٥٠٠ ـ ١٠٠٠	نصف رطبة	٢٠
١٠٠٠ ـ ١٥٠٠	رطبة	١١
١٥٠٠ ـ ٢٠٠٠	مبتلة	٩
٢٠٠٠ ـ ٣٠٠٠	مبتلة	٤
٣٠٠٠ ـ ٥٠٠٠	مبتلة	٠,٥
اكثر من ٥٠٠٠	مبتلة	٠,٥

ويتضح من الجدول اعلامه انه نحو ٥٥ ٪ من مساحة الاراضي في العالم تعتبر جافة ونصف جافة تستلم اقلي من ٥٠٠ ملم مطر سنويا و ١٤ ٪ رطبة ذات مطر سنوي ١٥٠٠ ملم فأكثر.

وقد لوحظ في بعض مناطق زراعة الحنطة في الولايات المتحدة الاميركية ان فشل المحصول يتوقف على كمية الامطار الساقطة خلال الموسم، وفي دراسة اجراها العالمان (١٩٣٨) Mathews and Brown على انتاج الحنطة في ٤٣ محطة في السهول العظمي في الولايات المتحدة وجدا ان محصول الحنطة يفشل اربعة سنوات من كل خمس سنوات اذا كان معدل ما يسقط من الامطار في الموسم ٣٣٠ ملم. اي احتمال

فشل المحصول ٨٠٪ ويمكن عرض المعلومات التي أمكن التوصل اليها بالجدول التالي.

جدول يبين معدل سقوط المطر السنوي وفشل محصول الحنطة.

معدل سقوط المطر السنوي ملم	عدد سنوات فشل المحصول
٣٣٠	٤ من كل خمس سنوات
٣٣٠ ـ ٣٧٨	٣ من كل خمس سنوات
٣٨١ ـ ٤٠٤	٢,٥ من كل خمس سنوات
٤٠٦ ـ ٤٢٩	٢ من كل خمس سنوات
٤٣٢ ـ ٤٥٥	٢ من كل خمس سنوات والنجاح اكثر
٤٥٧ ـ ٤٨٠	١,٥ من كل خمس سنوات والنجاح اكثر
٤٨٣ فاكثر	١,٢٥ من كل خمس سنوات والنجاح اكثر

يظهر من الجدول اعلاه انه عندما تكون كمية الامطار الساقطة خلال الموسم ٣٣٠-٣٧٨ ملم تكون مؤثرة على كمية الحاصل وان احتمال الفشل هو نحو ٧٥٪ اما اذا كانت الامطار ٣٨١ - ٤٠٤ ملم فان الفشل يكون نحو ٥٠٪ وعندما تكون كمية الامطار السنوية ٤٨٣ ملم يكون احتمال الفشل هو ٢٥٪. ومع هذا فان هذا التقدير يختلف من منطقة لأخرى حسب درجة الحرارة والتبخر وتوزيع المطر خلال الموسم.

وقد درس Mathews and Brown العلاقة بين كمية محصول الحنطة وكمية الماء التي يستخدمها النبات من الامطار ومن التربة خلال موسم النمو من الزراعة حتى الحصاد وتوصلا الى المعادلة التالية في حساب محصول الحنطة.

الحصول (بالبوشل) = (الماء المستعمل بالانج – ٧,١٣) ÷ (٠,٣٥)

علماً بان بوشل الحنطة يعادل ٥٩,٦ كغم، وقد وجد من استخدام هذه المعادلة بان ١٠ انجات (٢٥٤ ملم) من الماء (من الامطار ومن التربة) لا تعطي محصولا يذكر

حيث يجب ان يتوفر ١٤ انج علي الاقل (٣٤٥ ملم) لكي يعطي الايكر ٢٠ بوشل (١٣٤٥ كغم / هكتار) و ١٧ انج (٤٣٢ ملم) تعطي ٣٠ بوشل (٢٢١٦ كغم / هكتار).

أما العالم Cole فقد درس العلاقة بين حاصل الحنطة الربيعية في السهول العظمى الشمالية من الولايات المتحدة وكمية الامطار السنوية مستخدماً المعادلة التالية:

كمية المحصول = (كمية الامطار بالانجات – ٨,٠٢) × ٢,١٩.

أي ان ٨ انج (٢٠٣ ملم) من المطر خلال السنة لا تعطي محصولاً وكل انج واحد من المطر (٢٥,٤ ملم) فوق ذلك يعطي ٢,١٩ بوشل (٥٩,٦ كغم) من الحنطة.

ويتضح مما سبق ان المناطق التي تتوفر فيها الامطار يمكن ان يزرع فيها المحصول سنويا أما المناطق القليلة الامطار فلا بد من ترك الارض بدون زراعة لغرض توفير وخزن الماء بالأرض فقد تترك الأرض سنة أو سنتين بدون زراعة (بور) ويعتمد ذلك على نوع التربة ومناخ المنطقة ومعدلات سقوط الامطار فيها وتوزيعها مع الاخذ بنظر الاعتبار اتباع الدورات الزراعية المناسبة وقلب بقايا المحصول السابق وغيرها للمحافظة على رطوبة التربة .

تقسيم النباتات حسب حاجتها للماء:

تقسم النباتات من حيث علاقتها بالماء الى ثلاثة اقسام رئيسية هي:

١- نباتات مائية Hydrophytes

وهذه نباتات تعيش في وسط مائي دائم او المستنقعات وتعرف عندئذ باسم Aquatic plants او انها تعيش في ترب غدقة لا يمكن للنباتات الأخرى العادية ان تنمو فيها ويطلق على هذه المجموعة Bog plants.

وتكون النباتات المائية على عدة مجاميع حسب طبيعة حياتها فأما ان تكون مغمورة بالماء وتسمى بالمغمورة Submerged plants او طافية على سطح الماء وتسمى بالنباتات الطافية Floating Plants او انها تعيش في وسط مائي غير عميق جذورها في التربة واقسامها الحضرية خارج الماء وتسمى Emergent Anchored hydrophytes ومن الامثلة على النباتات المائية البردى Typha angusteta والقصب Phragmites communis والرز .Oryzae spp وبصورة عامة تتصف النباتات المائية بان خلاياها كبيرة رقيقة الجدران. الثغور عديدة موجودة بصورة رئيسة على السطح العلوي من الورقة. والمجموع الجذري لها صغير.

٢- نباتات عادية (أو متوسطة الجفاف Mesophytes).

وتشمل اهم النباتات الموجودة فوق سطح الارض من الناحية الاقتصادية وتدخل بضمنها المحاصيل الحقلية وبعض اصناف الرز. ولكي تنمو هذه النباتات وتعطي حاصلا اقتصادياً تحتاج الى رطوبة معتدلة وتهوية جيدة حول الجذور. وتمتاز بان المجموع الجذري لها كبير ومنتشر يساوي او يزيد علي المجموع الخضري ويمكن تمييزها عن مجموعة النباتات التي تليها (الصحراوية) بانها تصل درجة الذبول المستديم عندما تفقد ٢٥٪ من محتوياتها من الملاء.

٣- نباتات صحراوية Xerophytes.

وهذه النباتات تستطيع ان تتحمل فترة جفاف لمدة طويلة دون ان يؤثر ذلك تأثيرا بالغا على نموها وتتميز بان الذبول المستديم لها يحصل عندما تفقد ٥٠ -٧٥ ٪ من محتوياتها من الماء وتستطيع ان تعيش في ظروف جفاف التربة لعمق ٢٥ خلال موسم النمو.

وتتكيف النباتات الصحراوية لكي تتحمل ظروف البيئة القاسية من شدة الحرارة، والجفاف واكثر اعضاء النبات تحورا هي الورقة حيث يكون السطح مختزلاً والشكل ابرياً لتقليل النتح مع نقص في عدد الثغور وتغطية اجزاء النبات الخضرية بشعيرات لتقليل التبخر والبشرة مغطاة بطبقة سميكة من الكيوتكيل مع زيادة في الانتشار الرأسي والافقي للمجموع الجذري.

وبعض النباتات الصحراوية مهمة من الناحية الزراعية حيث انها تصلح للرعي ومن امثلتها Phalaris spp. Stipa spp. Agropyron spp.

تقسم النباتات الصحراوية الى قسمين رئيسيين هما:

١- الحوليات قصيرة العمر Ephemeral annuals: وهذه نباتات حولية تنمو خلال الشتاء وعند سقوط المطر فتنبت البذور وتنمو وتنضج ثم تجف وتنثر بذورها عند حلول فصل الصيف.

٢- النباتات الغضة Succulent plants: وهذه نباتات صحراوية معمرة تستطيع ان تخزن الماء في اوراقها وسيقانها السميكة فتتحمل الجفاف الطويل في المناطق الصحراوية والجافة ومن امثلتها الصبير.

ماء التربة ومدى استفادة المحاصيل منه:

يوجد الماء في التربة على عدة صور هي:

١- الماء الهايكروسكوبي Hygroscopic water:

وهو عبارة عن كمية الماء التي تبقى ملتصقة بحبيبات التربة بعد تجفيفها بالهواء. وهى غير قابلة للامتصاص بواسطة جذور النبات الا بنسبة ضئيلة لأن جزيئات الماء

ترتبط بحبيبات التربة بقوة اكبر من قوة امتصاص الجذور لها ويمكن ان يفقد هذا الماء من التربة في حالات الجفاف الشديدة.

٢- الماء الشعري Capillary Water:

وهو عبارة عن الماء الذي يغلف حبيبات التربة بما فيها الماء الهايكروسكوبي وتحتفظ به حبيبات التربة حولها ضد خاصية الجذب الارضي. ويتحرك الى أعلى بفعل الخاصية الشعرية. ويعتبر هذا الماء متيسرا Aviaileile للنباتات حيث يمكن للنبات ان يحصل عليه، ويعتبر من الناحية العملية المصدر لجميع الماء الذي يمتصه النبات من التربة

٣- ماء الجذب الارضي Gravitational Water:

وهو الماء الموجود في المسافات البينية بين حبيبات التربة على حالة حرة متحركة حيث لا يمكن لحبيبات التربة ان تحتفظ به وهذا الماء يتجه في حركته الى الاسفل بفعل الجاذبية الارضية ويتجمع في باطن الارض ويعمل على رفع مستوى الماء الارضي، ولا يستفيد منه النبات الا في حالة تعاقب سقوط الامطار الخفيفة بفترات متعاقبة.

٤- بخار الماء Water vapor:

ويوجد في المسافات البينية غير المشغولة باي ماء آخر وهو أحد مكونات الهواء الأرضي وتكون استفادة النبات منه محدودة وبصورة غير مباشرة، وطالما وجد الماء الشعرى في التربة فان جو التربة يكون مشبعاً ببخار الماء.

رطوبة التربة:

للتعرف على رطوبة التربة لا بد من توضيح بعض الاصطلاحات وهي:

السعة الحقلية: Field Cappacity:

وهى اكبر كمية من الماء يمكن ان تحتفظ بها التربة ضد الجاذبية الارضية بعد تسرب الماء الزائد من التربة الى اسفل بفعل الجاذبية. وتصل التربة هذه الحالة بعد ٢-٣ يوم من الري او بعد مطرة غزيرة. والسعة الحقلية تختلف باختلاف نسجة التربة. وتتراوح بين ٥-٤٠ ٪ لمعظم الترب. وتستطيع النباتات ان تمتص الماء من التربة في حالة عدم اضافة الماء اليها الى ان تصل مرحلة الذبول ويظهر الذبول اولا في الوقت الحار من النهار ثم يصبح الذبول دائميا بحيث ان النباتات الذابلة لا تعود الى حالتها الطبيعية بإعادة توفر الرطوبة في التربة وتسمى هذه الحالة نقطة الذبول المستديم Permenant wilting Point ويمكن تعريف نقطة الذبول بانها ادني مرحلة يمكن للنبات امتصاص الماء عندها، وتظهر على النباتات في هذه النقطة علامات الذبول ولا يعود النبات الى حالته الطبيعية ويتوقف نموه رغم أضافة الماء الى التربة.

النسبة المئوية للذبول المستديم Permenant wilting percentage ويقصد بها النسبة المئوية للماء المتبقي في التربة عندما يحصل الذبول المستديم وتختلف نسبته من ١-١٥ ٪ حسب نسجة التربة.

الماء المتيسر Available water:

وهو الماء الذي تمثل السعة الحقلية حده الاعلى ويمثل الذبول المستديم حده الادنى. او هو الفرق بين الماء الموجود في التربة عند السعة الحقلية والماء الموجود عند نقطة الذبول وهو الماء الذي يجب العمل على توفره بمنطقة الجذور خلال عمليات ري المحاصيل.

توازن الماء الداخلي Internal Water balance:

يتحدد نمو النبات بدرجة كبيرة بالتوازن المائي الداخلي حيث ان جميع العمليات الفسلجية تتوقف عليه وهو التوازن بين امتصاص الماء وفقده من النبات.

ويحصل نقص للماء الداخلي في النبات عندما يفقد الماء عن طريق النتح بكمية اكبر مما يمتصه النبات عن طريق الجذور.

ويعتمد النتح على عدة عوامل تشمل مساحة الورقة تركيب الورقة سمك طبقة الكيوتين الفترة التي تبقى فيها الثغور مفتوحة، وكذلك على العوامل المناخية من درجة الحرارة والرياح وغيرها.

أما امتصاص الجذور للماء فانه يعتمد على حجم المجموع الجذري، سرعة النتح، رطوبة التربة، تركيز محلول التربة، قوة الشد لرطوبة التربة Soil moisture tension وتميل سرعة امتصاص النبات للماء من التربة للانخفاض عندما تصبح اقل من سرعة النتح من النبات نظرا لمقاومة الماء للحركة الى الجذور ، ففي الايام الحارة المشمسة يحصل نقص في الماء للنبات Water dificit يعوض بالامتصاص الذى يحصل خلال الليل. ولكن عندما تستمر رطوبة التربة بالانخفاض يصبح امتصاص الماء بطيئا حتي يتعذر بعد ذلك تعويض نقص الماء الداخلي للنبات ويتوقف عندئذ نمو النبات وتتعقد الحالة عندما يصاحبها زيادة في النتح خلال الجو الحار المصحوب بهبوب الرياح حتى ولو كانت رطوبة التربة متوفرة. لذلك فان التوازن المائي الداخلي هو اهم عامل بالنسبة لنمو النبات وقد وجد من الدراسة على قصب السكر ان كمية الرطوبة في اغماد الاوراق الحديثة التكوين دليل حي علي التوازن المائي الداخلي وعلى حالة النبات العامة.

الاستهلاك المائي او الاحتياج المائي الحقيقي (التبخر - نتح الفعلي)

Consumptive use or real water- requirement (Acual) Evapotranspiration

يتحدد الاستهلاك المائي للمحصول بعوامل ثلاث هي:-

١- اقصي تبخر - انتح.

٢- النظام الرطوبي للتربة.

٣- طبيعة المحصول وتفاعلاته الوظيفية (الفسلجية) تجاه نقص الرطوبة Moisture stress . ان العلاقة بين التبخر - نتح الفعلي ونظام رطوبة التربة تتأثر بتركيب التربة Soil structure وقوة احتفاظ التربة للماء Water holding Capacity وطبيعة المحصول، وبسرعة جهد التبخر نتح evapotranspiration Potential. فعندما تكون كمية الماء المجهز للنبات في الحالة المثلى، تحاول ثغور الورقة ان تبقى مفتوحة خلال النهار ويصبح فقدان الماء عندئذ مساوياً تقريباً للتبخر من سطح مائي مفتوح. وعندما يزداد الشد الرطوبي للتربة تنغلق الثغور نسبيا فيقل النتح ويصبح التبخر - نتح الفعلي Actual evapotranspiration اقل من التبخر – نتح Potential evapotranspiration وعليه فان غلق الثغور يعتبر عملية مؤثرة في الاحتفاظ بالماء وذو اهمية كبيرة في المناطق الجافة.

كفاءة استعمال الماء في المحاصيل Water use efficincy:

ويقصد به كمية الحاصل المنتج لكل وحدة من الماء تستعمل في التبخر - نتح ويمكن ان يمثل بالمعادلة التالية:

كفاءة استعمال الماء = الحاصل ÷ تبخر – نتح

وكل من بسط ومقام المعادلة اعلاه يتأثر بعمليات خدمة المحصول وكذلك بالعوامل البيئية فكمية المحصول او انتاج المحصول يتأثر بعمليات خدمة المحصول. بينما يتأثر المقام (التبخر - نتح) بصورة رئيسية بالعوامل المناخية ورطوبة التربة.

ان التسميد وعمليات خدمة المحصول تزيد من كفاءة استعمال الماء ويعطي افضل حاصل. وكقاعدة عامة يمكن القول انه يمكن الحصول على زيادة ملحوظة في انتاج المحصول بتحسين عمليات خدمة المحصول بدون زيادة في التبخر - نتح وعادة فان التسميد الملائم للمحصول مع توفير مياه ري كافية تزيد من كمية الحاصل بصورة واضحة ويصاحب ذلك بطبيعة الحال زيادة قليلة نسبيا في مقدار التبخر - نتح ، ولذلك فان التسميد يزيد من كفاءة استعمال الماء بشكل واضح . اما في ظروف قلة توفر الماء فان التسميد بكميات مناسبة تتفق مع مقدار الرطوبة المتوفرة في التربة سوف يزيد من كفاءة الحصول في استعمال الماء. ولكن اذا ادي التسميد إلى زيادة في استهلاك الماء في المراحل المبكرة من نمو المحصول فانه سوف يؤدي إلى نقص في رطوبة التربة في المراحل الحرجة من حياة المحصول وبالتالي سوف يعطي نتائج عكسية تقلل من كمية الحاصل.

العوامل المؤثرة على كفاءة استعمال المحصول للمياه:

١- تؤثر على كفاءة استعمال الماء عدة عوامل اهمها:

١ــ طبيعة المحصول: توجد اختلافات واضحة في كمية الماء التي تستعملها المحاصيل المختلفة لإنتاج وحدة واحدة من المادة الجافة فعند مقارنة محصولين مثلا الجت والذرة الصفراء اللذين يزرعان لغرض انتاج العلف. يلاحظ بان المحصول الاول يحتاج الى ما يعادل ٤ - ٦ مرات من الماء مما يحتاجه محصول الذرة الصفراء لإنتاج كيلوغرام واحد من المادة الجافة. كما تختلف الاصناف لنفس المحصول فيما بينها في استهلاك الماء . ومن المحاصيل التي تعتبر اقتصادية في استعمالها للماء هي الذرة الصفراء والذرة البيضاء والبنجر العلفي ، بينما يعتبر الشعير والشوفان والحنطة والحمص متوسطة الاستعمال للماء. اما الجت فانه ذو كفاءة واطئة في الاستهلاك المائي.

٢- العوامل المناخية: يؤثر الطقس على كل من البسط والمقام لمعادلة كفاءة الاستهلاك المائي التي سبق ذكرها. ان مقدار الاشعاع الشمسي يؤثر على سرعة التركيب الضوئي وبالتالي على الحد الاقصى من الانتاج Potential Yield بينما تؤثر العوامل المناخية الاخرى مثل درجة الحرارة وطول النهار والامطار على العمليات الفسلجية الحيوية وبالتالي فأنها تحدد من كمية الانتاج الحقيقي للمحصول ومع هذا فان التبخر - نتح يتأثر بدرجة أكبر من العمليات الفسلجية وعادة يزداد التبخر - نتح طرديا مع زيادة الاشعاع الشمسي.

٣- الرطوبة النسبية : كلما انخفضت الرطوبة النسبية للهواء كلما ادى الى زيادة في التبخر - نتح ، فمثلاً من دراسة جرت على محصول الجت وجد ان هناك علاقة عكسية بين الاستهلاك المائي وسرعة التبخر حيث وجد انه عندما كان معدل التبخر اليومي ٣,٩٨ ملم كان الاستهلال المائي ضعف ما هو عليه عندما كان معدل التبخر اليومي ٧,٦٥ ملم.

٤- درجة الحرارة : تؤثر درجة الحرارة على الاستهلاك المائي تأثيرا ملحوظا ففي محاصيل المناخ البارد مثل الشعير والحنطة والشوفان فان الاستهلاك المائي يقل بزيادة درجة الحرارة بينا يكون العكس في محاصيل المناخ الحار مثل الذرة الصفراء والذرة البيضاء والقطن حيث ان الامتصاص يقل في درجات الحرارة المنخفضة. وتعتبر درجة ٢٠ مئوي هي الدرجة التي يصبح عندها امتصاص الماء محدودا في محاصيل المناخ الحار.

وباختصار فان العوامل المناخية مثل الرطوبة النسبية المنخفضة التي تسبب زيادة في النتح بدون زيادة في انتاج المادة الجافة للنبات سوف تقلل من الاستهلاك المائي. بينما العوامل المناخية مثل الضوء ودرجة الحرارة والتي تؤثران عادة على كل من النتح

والمادة الجافة فإنها اما أن تزيد أو تقلل من الاستهلاك المائي اعتمادا علي اي من التأثيرين يكون متغلباً.

٥- المحتوى الرطوبي للتربة: بصورة عامة يزداد انتاج معظم المحاصيل عندما يكون مستوى الرطوبة للتربة مقاربا للسعة الحقلية.، وعلى العموم فان الكفاءة في استعمال الماء عادة تتحسن في المستويات المنخفضة من رطوبة التربة. فقد وجد انه عند توفر التسميد بمستويات عالية فان كفاءة استعمال الماء تزداد بزيادة توفر الماء للمحصول. وعلى العكس من ذلك في المستويات المنخفضة من التسميد فان كفاءة استعمال الماء تقل بزيادة توفر الماء.

تأثير نقص الرطوبة في التربة على المحاصيل:

ان تأثيرات نقص رطوبة التربة على نمو المحصول تتوقف على عوامل عدة متعددة تتعلق بنوع المحصول او التربة او الطقس.

١- فمن الخواص النباتية هي استطالة اعضاء النبات وزيادة وزن المادة الجافة للمحصول والتي تعتبر حساسة لنقص رطوبة التربة، بينما التركيب الضوئي والتنفس يعتبران غير حساسين نسبياً، ونسبة السكر في كل من قصب السكر وفي البنجر السكري تزداد بقلة رطوبة التربة اما في التبغ فان نقص الرطوبة يقلل من كمية السكر في النبات لكنه يزيد من كمية النتروجين والنيكوتين، واذا حصل نقص في الرطوبة خلال النضج فانه يؤثر كثيراً على نوعية التبغ وقيمته التجارية.

٢- المرحلة التي يتعرض لها المحصول لنقص الرطوبة في التربة:

تكون الذرة الصفراء حساسة لنقص رطوبة التربة اذا وقع ذلك وقت نثر حبوب اللقاح فقد وجد انه اذا حصل انخفاض شديد في رطوبة التربة قبيل ظهور الحريرة للعرانيس

فان حاصل الحبوب ينخفض بمقدار ٢٥٪ واذا حصل وقت ظهور الحريرة فان حاصل الحبوب ينخفض ٥٠% اما اذا صادف انخفاض الرطوبة بعد ثلاثين يوما من ظهور الحريرة اي وقت تكوين العرانيس فان الحاصل يقل بمقدار ٢١%.

٣- طبيعة المجموع الجذري:

يعتبر حجم المجموع الجذري من حيث السعة السطحية ومن حيث تعمقه في التربة عامل مهم يؤثر على العلاقة بين رطوبة التربة ونمو المحصول. ففي الظروف الملائمة من رطوبة التربة فان المحاصيل المعمرة تميل الى تكوين جذور جيدة التفريع تنتشر في التربة بصورة جيدة، اما تعمق الجذور فيعتمد بصورة رئيسية على نوع المحصول.

أما المحاصيل الحولية فان البعض منها لها مجموع جذري جيد التفريع يتخلل التربة بصورة كاملة، كما ان جذور هذه المحاصيل تستطيع في حالة ترطيب التربة الى السعة الحقلية ان تصل الى مصادر من الماء في التربة لتعوض عن النقص الناتج بسبب النتح. أما المحاصيل ذات الجذور المتباعدة القليلة الكثافة فأنها بحاجة الى ماء الري عندما تنخفض رطوبة التربة.

وعليه فانه كلما كانت جذور المحاصيل غير كثيفة فان نموها يتأثر ويتأخر بتأخير فترات الري. اما المحاصيل كثيفة الجذور كبيرة المجموع الجذري فأنها تستطيع ان تقاوم نقص رطوبة التربة وتتحمل تأخر الري لأنها تستطيع ان تحصل على الماء من مجال اكبر من التربة بسبب انتشار جذورها في مساحة اوسع. والجدول التالي يوضح اختلاف المجموع الجذري باختلاف المحاصيل.

جدول يبين اختلاف الصفات الجذرية لثلاثة محاصيل.

المحصول	المساحة السطحية الجذرية (انج مربع) في كل انج من التربة	عدد الشعيرات الجذرية في انج مكعب من التربة
الشوفان	١٥	١٥٠٠٠٠
الشيام	٣٠	٣٠٠٠٠٠
حشيش كنكتاكي الازرق	٦٥	١٠٠٠٠٠٠

ومن الجدول السابق يتضح ان حشيش كنتاكي الازرق هو الافضل في قدرته على الحصول على الماء لأنه يتحمل نقص رطوبة التربة بسبب سعة وكثافة مجموعه الجذري بينما يلاحظ أن الشوفان هو أقل المحاصيل الثلاثة تحملا لقلة الرطوبة في التربة. وقد يحصل أن يتأثر نمو المحصول حالما تجف الطبقة السطحية من التربة رغم توفر الرطوبة في الاعماق السفلى منها بسبب صغر وقلة عمق المجموع الجذري للمحصول. وبعض المحاصيل تستطيع أن تمتص الماء من التربة حتى ولو وصلت الى مستوى أخفض من نقطة الذبول Wilting point فنبات الحنطة مثلا ذو المجموع الجذري الجيد التكوين يمكنه أن يمتص الماء في شد رطوبي أكثر من ٢٦ ضغط جوي.

وفي تجربة اجراها العالم Slatyer (١٩٥٥) لمقارنة ثلاثة محاصيل هي الذرة البيضاء والقطن وفستق الحقل من حيث تأثرها بنقص رطوبة التربة مستعملا طريقة قياس انتفاخالورقة Leaf turgor وجد ان سرعة النمو للقطن قلت حالما حصل الشد الرطوبي للتربة Soil moisture stress. أما في الذرة البيضاء فلم يحصل نقص في سرعة النمو الا بعد ان وصل الشد الرطوبي للتربة حدا كبيراً. اما فستق الحقل فقد كان متوسط التأثر بالنسبة للشد الرطوبي. وقد علل ذلك العالم Slatyer بان الذرة البيضاء اظهرت افضل ملائمة للشد الرطوبي لكونها تملك افضل مجموع جذري وكذلك لأن المحصول ذو قابلية عالية للسيطرة على النتح وتقليله.

٤- تعمق الجذور: يتأثر تعمق الجذور داخل التربة بمقدار رطوبتها ففي تجربة اجريت على ستة اصناف من محاصيل العلف وجد ان الاختلاف في تعمق الجذور كان بسبب اختلاف رطوبة التربة التي تعرضت لها الاصناف الست فقد استطاعت النباتات ان تأخذ الرطوبة من التربة لعمق ١٥ سم وكلما زاد استنزاف رطوبة التربة كلما كان تعمق الجذور اكثر لتمتص الماء من عمق اكبر.

٥- عوامل التربة: ان عوامل التربة التي تؤثر على كثافة الجذور يمكن ان تؤثر على استجابة النباتات لانخفاض رطوبة التربة كالبزل الرديء ونقص التهوية وبطء نفاذ الماء خلال التربة ووجود عائق ميكانيكي. فهذه العوامل يمكن ان تسبب نقص في المجموع الجذري وجعل الجذور سطحية غير متعمقة. ومن ناحية اخري فان صفات التربة كالنسجة والتركيب والعمق والرطوبة كلها تؤثر على سرعة تغيير استنزاف رطوبة التربة. ان مستوى الماء الارضي المستقر غير المتغير في الاقسام السفلى لمنطقة الجذور يمكن ان يجهز قسماً كبيراً من الماء الذي تمتصه الجذور لكن مستوى الماء الارضي المتغير يمكن ان يؤثر على الجذور فتكون سطحية.

ان الملوحة تسبب زيادة في استنزاف رطوبة التربة وتقلل من تكوين الجذور، وكذلك فان درجة الحرارة للتربة يمكن ان تحد من نمو وانتشار الجذور، اما امراض التربة والنيماتود فأنها تلعب دوراً كبيراً في تقليل حجم المجموع الجذري واضعاف نمو النبات..

٦- الطقس: يزداد تأثر النباتات بزيادة استنزاف رطوبة التربة التي تحصل في ظروف ارتفاع درجة الحرارة وقلة الرطوبة النسبية وسرعة الرياح وشدة الضوء وبعبارة اخري فان جميع العوامل المناخية التي تزيد من سرعة النتح تؤثر على استنزاف

رطوبة التربة وبالتالي على المحاصيل. ففي الايام الحارة الجافة يؤدى تفوق سرعة النتح على سرعة امتصاص الماء من التربة الى ذبول النباتات.

المقاومة للجفاف

يقصد بتعبير الجفاف بانه النقص في الماء المتيسر في التربة الذي ينتج عنه نقص في الماء الذي يحتاجه النبات بشكل يؤثر على نموه الطبيعي. وفي أغلب الاحيان فان الجفاف المتسبب عن انخفاض رطوبة التربة تصحبه وتعجل في حدوثه العوامل الجوية كالرطوبة النسبية المنخفضة وارتفاع درجات الحرارة وهبوب الرياح. اما الجفاف الجوي المتسبب عن قلة رطوبة الجو فانه قد يسبب ذبول للنباتات ولكن هذا الذبول يكون وقتيا. والأراضي ذات النبت القليل والمعرضة لهبوب الرياح تكون عادة معرضة للجفاف الجوي أكثر من غيرها حتى في الحالات التي تكون رطوبة التربة غير منخفضة.

ان تعبير الجفاف هو شيء نسبي حسب المنطقة حيث يؤخذ بنظر الاعتبار توزيع الامطار في تلك المنطقة. اما مقاومة الجفاف Drought resistance فانها تعني ملاءمة النباتات للنمو والانتاج في الظروف الجافة. وتقوية النباتات لمقاومة الجفاف فأنها تعني قابلية النبات على تحمل الجفاف.

وهنالك عدة عوامل تؤثر على مقاومة المحصول للجفاف وهذه تشمل كفاءة المحصول على الامتصاص ومساحة الورقة وتركيبها وحركة الثغور وحجم الخلية النباتية وشكلها وقابلية البروتوبلازم لتحمل الجفاف.

تكيف المحاصيل لتحاشي اضرار الجفاف:

تمتاز نباتات المحاصيل المتكيفة للجفاف بعض الصفات التركيبية والوظيفية (الفسلجية) ولكي تتحمل ظروف الجفاف فأنها من الناحية التركيبية تتصف بما يلي:

١- زيادة حجم الجموع الجذري: حيث تكون الجذور منتشرة ومتعمقة.

٢- قلة نسبة المجموع الخضري الى المجموع الجذري بما يقلل من مساحة السطح المعرض للنتح.

٣- صغر حجم الاوراق.

٤- الثغور قليلة غائرة غير بارزة على السطح.

٥- المسافات البينية بين الخلايا صغيرة .

٦- طبقة الكيوتكل سميكة تعمل كمادة عازلة.

أما من الناحية الوظيفية فان اهم صفات المحاصيل المقاومة للجفاف هي:

١- تكون الثغور بطيئة الفعالية وقد تبقى مغلقة خلال النهار.

٢- زيادة كمية السكر في الخلايا.

٣- يكون الضغط الازموزي في الاوراق اعلي مما هو في الجذور.

٤- انخفاض في سرعة التركيب الضوئي وانغلاق الثغور مما يقلل من امتصاص غاز ثاني اوكسيد الكاربون.

٥- مقدار النتح قليل لكن سرعته عالية.

٦- التبكير في التزهير والنضج.

الاجراءات المطلوبة لتقليل اضرار الجفاف:

١- اتباع طرق التربية والتحسين لإنتاج اصناف ذات صفات تركيبية ووظيفية تقاوم تأثير نقص الرطوبة. ومن الامثلة على ذلك انتاج وتحسين صنف الشعير السمي ماريوت بحيث اصبح اكثر مقاومة للجفاف والملوحة من بقية اصناف الشعير المزروعة في كاليفورنيا كذلك انتاج صنف الحنطة رامونا التي تنضج مبكرة بنحو ثلاثين يوماً عن اصناف الحنطة الاخرى في المنطقة.

٢- اتقان العمليات الزراعية التي تقلل من فقدان الماء من التربة وتشمل العزق السطحي ومكافحة الادغال (التي تشارك المحصول في الماء) واستعمال المواد التي تقلل تبخر الماء من التربة وتعمل كغطاء للتربة والمسماة التغطية الخضراء Mulch والتبكير في الزراعة للاستفادة من رطوبة التربة المتوفرة وزراعة مصدات الرياح وغيرها.

٣- اتباع طريقة تسميد متوازنة والتقليل من النتروجين بحيث تكون كميات النتروجين والفسفور والبوتاسيوم حسب حاجة المحصول المزروع.

زيادة كمية المياه عن حاجة المحاصيل:

تسبب زيادة كمية المياه عما تحتاجه المحاصيل سواء بالري او نتيجة لغزارة الامطار اضراراً لا تقل عن تلك التي يسببها الجفاف. واكثر هذه الاضرار هي اختناق الجذور لنقص التهوية وقلة الاوكسجين ، وضعف عملية النترجة ويظهر نتيجة لذلك اصفرار النباتات وقلة نموها خاصة في الاراضي الرديئة البزل .

ان رداءة التهوية تؤثر على نمو الجذور وانتشارها وقلة فعاليتها في امتصاص الماء ، وان زيادة غاز ثاني اوكسيد الكاربون وقلة الاوكسجين بالتربة يقللان من نفاذية خلايا

الجذور للماء وقلة امتصاص الجذور للعناصر المغذية الاولية كما انها تؤثر على احياء التربة . وقد تكون زيادة الرطوبة في التربة سبباً في انتشار بعض الامراض . ان زيادة مياه الري اول الموسم بعد الانبات قد تسبب موت البادرات النامية . اما زيادة المياه آخر الموسم فأنها تؤخر التزهير والنضج وتخفض من نوعية البذور بالإضافة الى صعوبة عملية الحصاد . وفيما يلي جدول يبين مدى تحمل بعض محاصيل العلف للغمر بالمياه.

جدول يبين تحمل بعض محاصيل العلف للغمر بالمياه بالأيام.

المحصول		عدد الايام لتحمل الغمر بالمياه
النفل الاحمر	Red clover	صفر ـ ٧
النفل الحلو	Sweet clover	٧ ـ ١٤
الجت	Alfalfa	٧ ـ ١٤
نفل السايك	Alsike clover	٧ ـ ١٤
حشيش فسكيو	Meadow fescue	٢١ ـ ٤٢
حشيش تموثي	Timothy	٢١ ـ ٥٦
حشيش بروم	Brome grass	٣٥ ـ ٥٦

علاقة العوامل البيئية بنمو المحاصيل الحقلية ـ درجة الحرارة ـ

درجة الحرارة من العوامل البيئية المهمة التي تؤثر على توزيع وانتشار المحاصيل الحقلية وعلى نموها وتكوينها حيث انها تؤثر على العمليات الفسلجية والحيوية للنبات كالتمثيل الضوئي والتنفس وامتصاص الماء والمواد الأولية وغيرها فكل عملية فسلجية تزداد بزيادة درجة الحرارة حتي تكون علي افضلها في درجة الحرارة المثلى

بعدها يبدأ نشاط العملية بالهبوط. وبصورة عامة فان النشاط الحيوي والنمو للمحاصيل يكون علي اقلها في المدي تحت الصفر المئوي وفوقي درجة ٥٠م.

ولكل محصول ثلاث درجات حرارة، درجة حرارة مثلىOptimum temperature ودرجة حرارة صغرى (Minimum temperature) ودرجة حرارة عظمى (Maximum temperature) ولا شك ان النباتات التي تتعرض لدرجات حرارة مرتفعة على الحد الاعلى ومنخفضة عن الحد الادنى تحصل لها أضرار بالغة ويتأثر انتاجها بشكل ملحوظ وقد تموت وذلك حسب فترة التعرض وشدته. فالحرارة المرتفعة تسبب تأخيراً في النمو وقلة في الاخصاب والحاصل حتى للمحاصيل المحبة للحرارة كالذرة الصفراء والذرة البيضاء ويكون هذا التأثير أكثر ضررا عندما يصحب ارتفاع درجة الحرارة انخفاض في رطوبة التربة مع هبوب رياح جافة كما هو الحال في المناطق ذات المناخ الحار الجاف صيفا كالعراق مثلا.

وبالإضافة الى تأثير درجة الحرارة على العمليات الفسلجية للمحصول فان الحرارة تؤثر على عناصر المناخ الأخرى مثل هبوب الرياح والتبخر وسقوط الامطار.

المناطق الحرارية في العالم:

يمكن تقسيم العالم الى خمسة مناطق حرارية بالنسبة لنمو النباتات ولكل منطقة صفاتها المتميزة وهي:

١- المنطقة الاستوائية: وتكون فيها جميع اشهر السنة حارة. ومتوسط درجة الحرارة فيها أكثر من ٢٠ م. وأهم محاصيل هذه المنطقة قصب السكر، البن، الموز والكاكاو.

٢- المنطقة شبه الاستوائية: ويتراوح عدد الاشهر الحارة من السنة فيها من ٤ - ١١ شهرا. ويكون متوسط درجة الحرارة فيها اكثر من ٢٠ م ايضا. اهم المحاصيل فيها

القطن ، قصب السكر ، الذرة البيضاء ، الدخن ، الرز ، وبعض محاصيل العلف. ومن الفاكهة الاعناب والزيتون والحمضيات .

٣- المنطقة المعتدلة: وفيها يتراوح عدد أشهر السنة ذات الحرارة المعتدلة من ٤ - ١٢ شهرا ، ومعدل درجة الحرارة بين ١٠ – ٢٠ م . وأهم محاصيل هذه المنطقة ، الحنطة ، الشعير ، الشوفان ، الذرة الصفراء وبعض محاصيل العلف ومن الفواكه التفاح.

٤- المنطقة الباردة: ويتراوح عدد اشهر السنة التي يكون فيها الجو معتدلا ١ - ٤ شهرا ، أما أشهر السنة الباقية فتكون باردة ودرجة حرارتها أقل من ١٠ م . وأهم محاصيلها: الشيلم وبعض محاصيل العلف.

٥- المنطقة القطبية: ودرجة الحرارة فيها باردة تقل عن ١٠ م لجميع اشهر السنة.

مصادر الحرارة:

الشمس هي المصدر الرئيسي للحرارة وللضوء التي تصلنا بواسطة الاشعة المنبعثة منها وتشمل هذه الاشعة موجات كهرومغناطيسية (الجزء المرئي من الطيف الشمسي) وموجات القصر من الضوء هي الاشعة فوق البنفسجية وموجات أطول من الموجات الضوئية وهي الاشعة الحرارية وموجات الراديو وعندما تصل اشعة الشمس الى الارض فان معظمها تكون حرارية. وان نسبة قليلة من الطاقة الضوئية تمتص من قبل النباتات للاستفادة منها في عملية التمثيل الضوئي وتستعمل كطاقة غذائية ومعظمها تكون حرارية وهذه تفقد الي الجو مرة اخري. وتمتص الارض حوالي ٢٧٪ من اشعة الشمس بينما تمتص البحار والمحيطات اكثر من ٧٠٪.

وتنتقل الحرارة بثلاث طرق وهي الاشعاع، ومصدر الاشعاع الرئيسي هو الشمس، والتوصيل عن طريق جزئيات التربة أو جزئيات الهواء الملامسة لسطح التربة حيث تسخن هذه الجزئيات بالإشعاع وتنتقل الحرارة خلالها نتيجة تصادمها ببعضها البعض. والطريقة الثالثة لانتقال الحرارة هي الحمل بواسطة التيارات الهوائية التي تنقل الحرارة من الاماكن الساخنة الى المناطق الباردة.

العوامل التي تؤثر على حرارة الموقع الجغرافي:

تتوقف حرارة الموقع الجغرافي على عدة عوامل هي:

١- الارتفاع عن سطح البحر: تنخفض درجة حرارة الهواء بصورة عامة كلما زاد الارتفاع عن مستوي البحر. ويكون هذا الانخفاض بالعدل بمقدار ٥,٥ درجة مئوية لكل ١٠٠٠ م زيادة في الارتفاع. لذلك فان سطوح الجبال تتعرض الى طبقات من الهواء البارد كلما زاد الارتفاع ويكون هذا التدرج والتغير في درجة الحرارة اشد في سفوح الجبال مما هو في المرتفعات العالية واكثر شدة في المنحدرات التي تواجه خط الاستواء وفي الصيف مما في الشتاء.

٢- الموقع بالنسبة لخطوط العرض: يؤثر هذا العامل على طول الليل والنهار وزاوية سقوط اشعة الشمس. وقد وجد بان الاشعاع في المنطقة الاستوائية لا يختلف كثيرا من شهر لأخر خلال السنة لأن زاوية سقوط الاشعة الشمسية لا تنحرف كثيرا عن العمودية خلال فصول السنة، ويكون طول النهار على مدار السنة هو ١٢ ساعة. وتقل كمية الاشعاع الشمسي كلما ابتعدنا في خطوط العرض عن خط الاستواء، ومع هذا فان كمية الاشعاع الكلي التي تصل للأرض خلال موسم النمو قد يكون متساويا في مختلف مناطق خطوط العرض بسبب الاختلاف بطول النهار حيث يزداد طول النهار صيفاً كلما اقتربنا من المنطقة القطبية، وتبلغ كمية الطاقة الحرارية التي تستلمها الارض من

الشمس ٢ غم/ سعرة لكل سم مربع في الدقيقة الواحدة، وعندما تكون أشعة الشمس عمودية على المكان فان الغلاف الجوي المحيط بالأرض يمنع ٢٢% من هذه الطاقة واذا مالت زاوية سقوط الاشعة الشمسية بمقدار ٥ درجات في السماء فان ٩٩٪ من الطاقة تحجب عن ذلك الموقع لأن تلك الاشعة تقطع في الجو مسافة تبلغ ١١ مرة تقريبا بالمقارنة مع الوضع العمودي للأشعة الشمسية.

٣- اتجاه الانحدار: يؤثر اتجاه الانحدار للمكان على درجة حرارة الجو والتربة ويكون هذا التأثير واضحا في اعالي الجبال حيث ان درجة الحرارة الصغرى على

الارض في المنحدرات الجنوبية ربما تكون اكثر من درجة الحرارة العظمى في المنحدرات الشمالية وعلى هذا الاساس فان المحاصيل الملائمة للجو الحار والجاف للمناطق المنخفضة يمكن ان تمتد زراعتها الى مناطق اعلى في الجبال على ان تزرع في المنحدرات التي تستلم اكبر كمية ممكنة من اشعة الشمس بينما المحاصيل والنباتات التي يلائمها الجو البارد الرطب التي تعيش في المرتفعات العالية يمكن ان تنجح في المنحدرات المواجهة للقطب.

٤- حجم السلاسل الجبلية: كلما كانت الجبال عالية وكبيرة كلما كانت درجات الحرارة فيها اكثر ارتفاعا من الجبال الصغيرة المتفرقة، ولذلك فان مناطق نمو اشجار الغابات مثلاً تكون على ارتفاعات اكثر في تلك الجبال الضخمة كما ان الحد الادنى لتواجد الثلوج الدائمة تكون في المستويات العالية من تلك الجبال.

٥- الموقع بالنسبة للمحيطات والبحار: تتمتع المناطق القريبة من المسطحات المائية الواسعة بجو قليل من التقلبات، معتدل خلال الليل والنهار والصيف والشتاء، ان المسطحات المائية تكتسب الحرارة ببطء وتفقدها ببطء لأن الحرارة النوعية للماء عالية، بالإضافة الى ذلك فان الرطوبة النسبية من المحيطات تعمل كعازل يقلل من

تقلبات درجات الحرارة الشديدة فيمنع وصول نسبة عالية من الاشعاع الى سطح الارض، وبنفس الوقت يقلل من سرعة فقد الحرارة الى طبقات الجو. ويكون هذا التأثير واضحا في الجزر الواقعة في المحيطات وفي المناطق الساحلية وفي هذا التأثير يبدأ بالتناقص حتى ينعدم كلما ابتعدنا عن السواحل الى داخل القارات. وعلى هذا الاساس فأننا نتوقع ان تسجل درجات الحرارة حدودها القصوى وسط القارات، ولقد وجد ان اقل درجة حرارة سجلت ليس في المنطقة القطبية وانما في اواسط سبيريا في منطقة فيرهويانسك (Verhoyansk) حيث ان درجة الحرارة الصغرى فيها على مدار السنة هي -٣٣م أو ٣٣ م تحت الصفر، أما درجة الحرارة العظمى فكانت ٦٠ م سجلت في الصحراء الكبرى في ليبيا.. ولذلك فان المناخ القاري يتميز بتقلبات درجات الحرارة صيفا وشتاء وليلا ونهارا كما هو الحال في معظم أقطار الشرق الأوسط ومنها العراق.

٦- التيارات البحرية: التيارات التي تتجه من المناطق الحارة نحو القطب تحمل مياهاً دافئة فتؤثر على حرارة الهواء الملامس لها وبالتالي على جو المناطق القريبة منها وعلى العكس من ذلك فان التيارات المتجهة من المنطقة القطبية الى الاستوائية. وتتأثر بهذه التيارات الجزر والمناطق الساحلية. ولهذا السبب فالجداول التي تنبع من مناطق باردة وتمر بمناطق دافعة اثناء جريانها تقلل من درجة حرارة التربة وبالتالي تؤثر على المحاصيل التي تروى منها.

٧- اتجاه الرياح: يلعب اتجاه الرياح دوراً مؤثراً في درجة حرارة الجو للمنطقة ، فالرياح التي تهب من المناطق الجبلية او القطبية تكون باردة ، كما ان الرياح التي تأتي من المناطق البحرية تعمل على تلطيف جو المناطق الساحلية والقريبة اضافة الي كونها تكون محملة ببخار الماء الذى يسقط امطارا اذا صادفت طبقات اخرى من الهواء البارد. اما الرياح التي تهب من مناطق صحراوية جافة فتكون حارة جافة ، وأحياناً

تكون محملة بالغبار فتؤثر على مناخ المناطق التي تتعرض لها. وهذا ما يحصل في العراق خلال اشهر الصيف والخريف عندما تهب على العراق عواصف محملة بالغبار تهب من مناطق صحراوية.

٨- لون السطح: لون التربة يؤثر على كمية الحرارة التي تمتصها التربة أو تعكسها ثانية الى الجو. وبصورة عامة فان الترب ذات اللون الفاتح تمتص القليل وتعكس الكثير من الحرارة وبذلك تكون حرارة الهواء فوقها مرتفعة لكن حرارة التربة نفسها منخفضة نسبيا، بينما الترب الغامقة اللون تمتص كمية من الاشعاع اكبر فترتفع حرارتها. وقد وجد بان الفرق بين التربة الغامقة والتربة الفاتحة المتجاورتين قد يصل الى ٢٠ م.

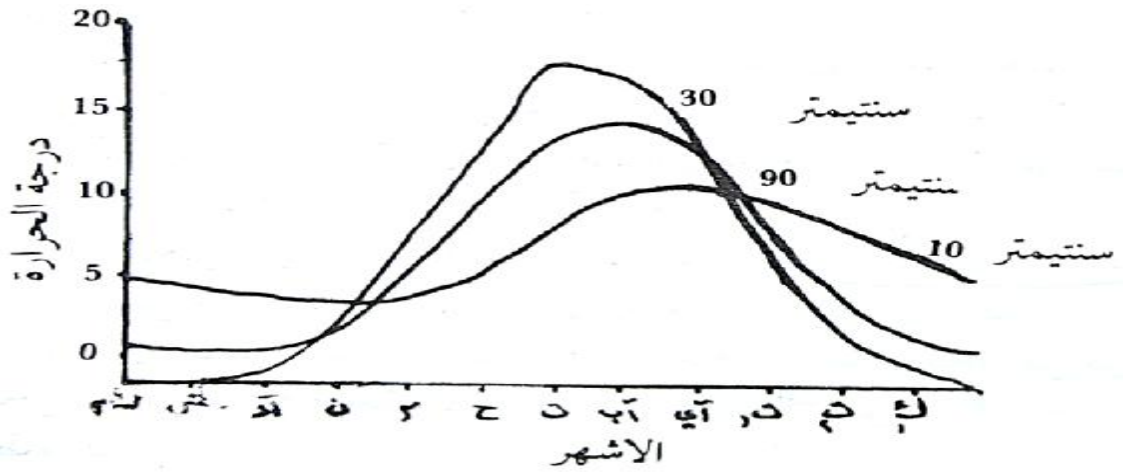
٩- مسامية التربة والمحتوى المائي: تستجيب التربة الخشنة للإشعاع اسرع من الترب الثقيلة الرديئة التجمع الحبيبي وذلك بسبب المحتوى المائي لكل منهما، فالترب الرطبة تكون اقل تغيراً في درجات الحرارة من الترب الجافة وذلك لأن الحرارة النوعية للماء هي حوالي خمس مرات اكثر من الحرارة النوعية لمحتويات التربة من المعادن وعليه فيلزم خمسة أمثال الحرارة لرفع درجة حرارة الماء بالمقارنة مع نفس الحجم من محتويات التربة من المعادن ، وتستجيب الترب الجافة بصورة بطيئة لارتفاع درجة الحرارة بسبب ضعف نقل الحرارة بالتوصيل الى اعماقها ، اما المتوسطة الرطوبة والقريبة من السعة الحقلية فأنها تعتبر من افضل الترب الموصلة للحرارة . ومن الناحية العملية يكون ذوبان الثلوج اسرع في الترب الرملية المغطاة بالثلوج مما هو في الترب المزيجية وهذه الاخيرة يكون ذوبان الثلوج فيها اسرع من تلك الترب المغطاة بمواد عضوية وبقايا نباتية.

١٠– التدرج الحراري قرب سطح التربة. من المعروف ان درجتي حرارة الهواء العظمى والصغرى عند سطح التربة تكون أكبر مما في طبقات الهواء التي فوقها او في اعماق التربة، وقد وجد بان درجة حرارة الهواء العظمى على ارتفاع ١,٥ م فوق سطح التربة أقل بعدة درجات مما هي عليه عند سطح التربة، والصغرى اكبر (ادفا) في ذلك الارتفاع بعدة درجات. ومن الناحية التطبيقية فان وضع محرار على سطح التربة يعتبر افضل طريقة لمقياس درجات الحرارة لغرض الزراعة النباتات التي تتأثر بانخفاض الحرارة من استعمال المعلومات الواردة من محطات الانواء الجوية.

أما خلال فصول السنة فان درجة الحرارة تتدرج حسب اعماق التربة فتكون أكثر ارتفاعا شتاء واقل حرارة صيفا كلما ابتعدنا من السطح الى اعماق التربة (الشكل التالي) ويتأخر التغير في درجات الحرارة نحو الارتفاع او الانخفاض في اعماق التربة عما هي عليه عند سطحها كما يتضح من الجدول التالي).

جدول يبين الزمن التقريبي لحدوث درجة حرارة التربة العظمي والصغرى

العمق بالسنتمتر	الزمن بالساعة درجة الحرارة العظمى	درجة الحرارة الصغرى
٢,٥	وقت الظهر – بعد الظهر	بعد شروق الشمس بقليل
٦,٥	٢ – ٤بعد الظهر	بعد ساعة واحدة من الشروق
١٠,٠	٤ – ٦بعد الظهر	بعد ساعتين من الشروق
١٥,٠	٥ – ٧بعد الظهر	بعد ٣ – ٤ من الشروق
٢٠,٠	٦ – ٨بعد الظهر	بعد ٤ – ٥ من الشروق
٣٠,٠	١٠ – ١١ بعد الظهر	بعد ٧ – ٨ من الشروق
١٨٠ – ٥١	الاختلاف قليل	–



شكل يبين الاتجاه السنوي لمعدلات درجات الحرارة الشهرية على ثلاث مستويات من العمق في التربة

١١- الغطاء النباتي: يقلل الغطاء النباتي من تقلبات درجات الحرارة ومن التأثير المباشر للإشعاع الشمسي ولذلك فان درجة الحرارة تكون اقل قرب سطح التربة المغطاة نباتيا حتى في أشد ساعات النهار حرارة من التربة المكشوفة المجاورة. فالتربة المكسوة بالنباتات تمتص الحرارة من الهواء عن طريق الاشعاع اسرع مما عن طريق التوصيل خلال جزئياتها وبالإضافة الى ذلك فان الرطوبة النسبية تكون أعلى ولذلك فأنها تحتاج الى حرارة اكثر لرفع درجة حرارة التربة بصورة ملموسة ، ولهذين السببين فان درجة الحرارة العظمى للهواء وللتربة تكون اقل في مناطق الغابات عما في الترب المكشوفة. أما خلال الليل فان الغطاء النباتي يقلل من فقدان الحرارة عن طريق الاشعاع المعاكس من سطح التربة الى الجو وبذلك فان درجة الحرارة الصغرى للتربة وللهواء تكون اكبر (ادفأ) مما في الترب المكشوفة.

١٢- الغطاء الثلجي: يعمل الغطاء الثلجي عادة كعازل لسطح التربة الذي تحته وبذلك تقل تقلبات درجات الحرارة تحته فالمعروف ان بعض اصناف الحنطة الشتوية في

المناطق الباردة تحت الغطاء الثلجي تتحمل انخفاض درجة الحرارة للجو مقدارها - ٤٠ درجة مئوي بينما لا تتحمل اكثر من -٣٠ درجة مئوي بدون غطاء ثلجي.

علاقة درجة الحرارة بالمحاصيل الحقلية:

لكل محصول مدى حرارى معين يعيش ضمنه ففي درجة الحرارة العظمى ودرجة الحرارة الصغرى تكون فعاليات النبات على اقلها وفي درجة الحرارة المثلى لذلك المحصول يكون نموه على افضله واذا تجاوزت درجتي الحرارة الصغرى والعظمى حديهما فان نمو المحصول يكون على اقله او يتوقف. ومما تجدر الاشارة اليه ان درجتي الحرارة الصغرى والعظمى، ليست بالضرورة هما الدرجتان اللتان يحصل عندهما للنبات الموت فمثلا درجة ٣٥ م لمحصول ما هي الدرجة التي يتوقف نمو المحصول عندها ولكن درجة ٤٠ م هي الدرجة المميتة اذا استمرت لفترة معينة.

وتختلف درجات الحرارة الصغرى والمثلى والعظمى باختلاف المحاصيل والاصناف واطوار النمو. والجدول التالي يوضح ذلك.

جدول يبين درجات الحرارة الصغرى والمثلي والعظمي لإنبات المحاصيل المهمة.

المحصول	الصغرى	المثلى	العظمى	عدد الايام للانبات في درجة ١٩م
الحنطة	٤	٢٥	٣٢ – ٣٠	١,٧٥
الشعير	٤	٢٠	٣٠ – ٢٨	١,٧٥
الشوفان	٤ – ٥	٢٥	٣٠	٢,٠
الشيلم	١ – ٢	٢٥	٣٠	١,٠
العدس	٤ – ٥	٣٠	٣٦	١,٧٥
الكتان	٢ – ٣	٢٥	٣٠	٢,٠
الرز	١٠ – ١٢	٣٠ – ٣٢	٣٦ – ٣٨	–
الذرة الصفراء	٨ – ١٠	٣٢ – ٣٥	٤٠ – ٤٤	٣,٠
الذرة البيضاء	٨ – ١٠	٣٢ – ٣٥	٤٠	٤,٠
النفل الاحمر	١	٣٠	٣٧	١,٠
الجت	١	٣٠	٣٧	٢,٠
البنجر السكري	٤ – ٥	٢٥	٣٠ – ٢٨	٣,٢٥
التبغ	١٣ – ١٤	٢٨	٣٥	٦,٢٥

ان درجة الحرارة المثلى لنمو معظم محاصيل المنطقة المعتدلة تتراوح من (٢٤-٢٩) م والعظمى من (٣٥-٤٠) م فللذرة الصفراء مثلا درجة الحرارة الصغرى لكي يحصل نمو ملحوظ هي ١٠ م والمثلي (٣٠- ٣٥) م والعظمى ٤٥م.

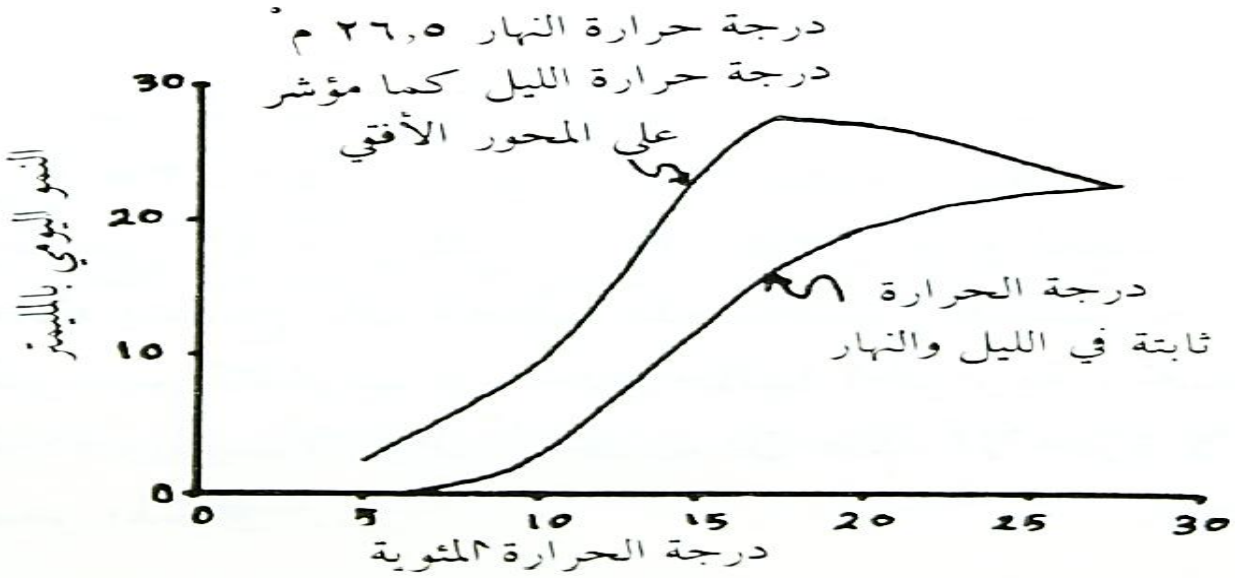
ومن الجدول اعلاه يتضح بان معظم المحاصيل الشتوية كالحنطة والشعير والشيلم والعدس والبرسيم تتقارب في احتياجاتها الحرارية وتختلف عن المحاصيل الصيفية كالذرة الصفراء والبيضاء والرز حيث ان هذه الاخيرة لا تتحمل انخفاض درجة الحرارة الى الصفر المئوي.

اهمية التغير في درجات الحرارة وتأثيرها على العمليات الفسلجية للمحاصيل:

لا يمكن للمحاصيل الحقلية ان تعطي أفضل انتاج لها في درجة حرارة ثابتة خلال فصل نموها ، بل تحتاج الى درجات حرارة معينة خلال كل طور من أطوار حياتها (الشكل التالي) فبذور بعض الاصناف تعرض لفترة برودة لكسر ظاهرة السبات فيها فمن الأمور المعروفة هي عملية الارتباع Vernalization حيث تعرض البذور الى درجة حرارة منخفضة لغرض التبكير بالتزهير والنضج. وهناك أمثلة على تأثير درجة حرارة التربة في تحديد نمو المحصول فقد وجد ان بزوغ البادرات للقطن يبكر ونموها يسرع اذا كان موعد الزراعة عندما تكون درجة حرارة التربة (١٦ - ٢١) م على عمق (٢٠) سم ولدة (١٠) ايام واذا كانت حرارة التربة اقل من ١٦ فان بزوغ البادرات يحتاج الى (١٤) يوماً بدلا من خمسة أيام والى ٩ ايام إذا زادت درجة حرارة التربة على (١٦) م. أما بالنسبة لقصب السكر فقد وجد ان درجة الحرارة لإنبات العقل بعد الزراعة هي (٢١) م والمثلي (٣٢ - ٣٧) م وعند ما تجاوز درجة الحرارة (٣٨) فان النمو يصبح محدودا، وقد اظهرت التجارب ان انخفاضي درجة الحرارة للتربة من (٢٦) م الي (٢٢) م يتأخر الانبات للقصب السكري بمقدار ١٠ أيام.

ويمكن تلخيص تأثير درجات الحرارة على العمليات الفسلجية للمحاصيل بما يلى:

١- التنفس - يزداد التنفس بارتفاع درجة الحرارة حتى تصبح عملية التنفس هدامة للنبات في درجات الحرارة العالية.



شكل يبين مقارنة نمو ساق نبات الطماطة تحت درجة حرارة ثابتة ومتغيرة

٢- النتح - يزداد النتح كذلك بارتفاع درجة الحرارة حتى تصل درجة الحرارة حداً يفقد النبات فيها كمية كبيرة من الماء ويتعرض الى الذبول الدائم ثم يموت وخاصة عندما تكون التربة جافة. وقد وجد ان عملية النتح تستمر كلما كان. هناك فرق بين درجة حرارة الورقة ودرجة حرارة الهواء المحيط بها، وقد وجد بأن درجة الحرارة تؤثر على نسبة النتح في الثغور إلى طبقة الكيوتكل ، ففي درجات الحرارة العالية يكون النتح من طبقة الكيوتكل اكثر مما هو عليه في الثغور ، ففي عباد الشمس مثلا وجد في درجة حرارة ٤٩ م ان سرعة النتح خلال الليل تصل الى ٩١٪ من النتح اليومي حتى ولو كانت الثغور مغلقة ليلا.

٣- التركيب الضوئي - يحدث التركيب الضوئي في مدى واسع من درجات الحرارة في الظروف الاعتيادية بالنسبة لمختلف النباتات فبعض اصناف السرو مثلا تستطيع ان تقوم بعملية التركيب الضوئي حتى في درجة حرارة ٣٠ مئوي تحت الصفر بينما في النباتات الصحراوية يحصل التركيب الضوئي لغاية ٤٩ م فاكثر.

ان عملية التركيب الضوئي تزداد بارتفاع درجة الحرارة حتى تصل الدرجة المثلى ثم تنخفض بعد ان تصل درجة الحرارة العظمى. ان درجة الحرارة المؤثرة في عملية التركيب الضوئي هي ما كانت بين ٢١ - ٣٨ م .

٤- الامتصاص- تقل قدرة النبات على الامتصاص بانخفاض درجة الحرارة فقد وجدان انخفاض درجة الحرارة من ٢٥ م الى الصفر المئوي تصبح لزوجة الماء ضعف ما هي عليه وتقل الحركة الجزيئية وبذلك تقل قابلية التربة على تجهيز النبات بالماء. وان افضل حرارة لامتصاص الماء من التربة هي نحو ٣٠م أو اكثر والجدول التالي يوضح تأثير درجات الحرارة المختلفة على كمية الماء الممتصة من التربة.

وجد ان نبات القطن في درجة ١٠ يمتص ٢٠٪ فقط من الماء الذي يمتصه في درجه ٢٥م. وقد اشارت الابحاث الى ان انخفاض درجة الحرارة للتربة تسبب نقصاً واضحاً في امتصاص الماء منها فيحصل ذبول للنباتات. وهذا ما يطلق عليه بالذبول الفسيولوجي وهي ظاهرة عدم قدرة النبات على امتصاص الماء من التربة رغم تواجده فيها. وقد لوحظ من دراسة نبات قصب السكر انه إذا انخفضت درجة حرارة الجذور ما بين ١٩-٢٥ م فأن امتصاص الفسفور من التربة يقل الى الثلث وامتصاص النتروجين يقل الى النصف.

جدول يبين تأثير درجات الحرارة على سرعة امتصاص الماء من التربة.

درجة الحرارة المئوية	كمية الماء الممتصة ملغم/ سم مربع/ ساعة
صفر	٧.٢
٨.٢	٩٦.٦
٣٤.٠	١٣٢.٢
٣٤.٨	١٧١.٨

٥- لزوجة البروتوبلازم – ان انخفاض درجة الحرارة يسبب زيادة في لزوجة البروتوبلازم في خلايا الجذور وهذا له تأثير على انتشار الماء من التربة الى خلايا الجذور عن طريق البشرة فالخشب فالاوعية الناقلة، ولهذا السبب فالجذور المتجمدة لا يتنقل الماء خلالها. اما ارتفاع درجة الحرارة فله تأثير معاكس حيث يقلل من لزوجة البروتوبلازم لكن في درجات الحرارة المرتفعة يتخثر البروتوبلازم وتموت الخلايا.

٦- النمو هو حصيلة عمليات كيمياوية وفسلجية متعددة تحصل في النبات. ويستمر النمو مع ارتفاع درجة الحرارة ويتبع هذا الاتجاه بالنسقب للتركيب الضوئي حتى درجة الحرارة المثلى. وقد وجد بأن درجة الحرارة المثلى للتزهير وعقد الثمار هي أعلى من درجة الحرارة المثلى للنمو الخضري لنفس النبات. ففي قصب السكر مثلا عندما تكون درجة الحرارة ليلاً ١٤ م يقل النمو الى النصف بالمقارنة مع درجة حرارة الليل اذا كانت ١٧ م.

اضرار درجات الحرارة المرتفعة على المحاصيل الحقلية:

تحدث اضرار مختلفة ومؤثرة على المحاصيل نتيجة تعرضها الى درجات حرارة مرتفعة ويزداد هذا التأثير بطول المدة وشدة الحرارة التي يتعرض لها المحصول، ان درجة الحرارة المميتة لمعظم الخلايا في نباتات المحاصيل هي ما بين ٥٠-٦٠ م ومع هذا فأنها تختلف حسب الصنف وعمر النسيج وفترة التعرض للحرارة.

وتتحمل النباتات حرارة مختلفة حسب اطوار حياتها فقد وجد ان بادرات الذرة الصفراء التي يتراوح اعمارها بين ١٠–١٤ يوما من بزوغها عندما عرضت الى درجة حرارة ٥٥ م ورطوبة نسبية ٢٥-٣٠ ٪ لمدة خمس ساعات كانت أكثر مقاومة لارتفاع درجة الحرارة مما في المراحل الاخرى المتقدمة في العمر. وفي دراسة اخرى اجريت rye grassالمعمرة فقد حشدت النباتات على الارتفاع ٢,٥-٣,٥ سم ثم عرضت الى اربعة درجات حرارة مختلفة فوجد بان النمو الجديد يكون علي اشده بين درجتي ١٦ - ٢١م واقله عندما ارتفعت درجة الحرارة الى ٢٧-٣٢م.

ويمكن تعليل سبب قلة نمو النباتات في درجات الحرارة المرتفعة الى استنفاذ الكاربوهيدرات المخزونة مما يؤدي الي بطء نمو الاوراق وتكوينها وكذلك في اعادة تكوين وتعويض الاوراق التي حشت من النباتات.

ان تأثيرات درجات الحرارة المرتفعة غير المباشرة تشمل سرعة التنفس بالمقارنة مع عملية التركيب الضوئي مما تسبب استنزاف للمواد الغذائية المخزونة في النبات واذا صاحب ارتفاع درجة الحرارة هذه هبوب رياح جافة فأنها تسبب في زيادة في النتح وفقدان الماء من النبات وبالتالي جفاف الاوراق وتساقطها وهذا طبعاً سوف يقلل من عملية التركيب الضوئي.

تكيف النبات لتقليل تأثير الحرارة المرتفعة:

لدى النباتات وسائل وتحصل فيها تكيفات تساعدها على تحمل وتقليل تأثير الحرارة المرتفعة منها ما يلي:

١- ازدياد عملية النتح حيث انها تعمل على تخفيض درجة حرارة النبات.

٢- تأخذ الاوراق وضعاً عموديا وبزاوية حادة على الساق فيقلل ذلك من درجة الحرارة التي تتعرض لها الاوراق بمقدار ٣-٥م.

٣- تتميز النباتات المتكيفة لارتفاع درجة الحرارة بوجود زغب يغطي الاوراق والساق فيقلل من تأثير درجات الحرارة المرتفعة.

٤- وجود طبقة شمعية تغطي الاوراق والساق، وهذه الطبقة تعمل كعازل كما ان لونها الابيض يقلل من امتصاص الحرارة.

٥- وجود طبقة فلينية تغطي السيقان فتعمل كعازل يقلل من تأثير الحرارة المباشرة على الانسجة التي تحتها من اللحاء. والكامبيوم (الطبقة المولدة) وهذه الظاهرة واضحة في اشجار النباتات المتكيفة لارتفاع درجات الحرارة.

٦- انخفاض كمية الماء في البروتوبلازم – يرى بعض العلماء بان المقاومة لارتفاع درجة الحرارة تعتمد على صفات معينة في البروتوبلازم وان هناك تشابه في هذه الصفات بين النباتات المقاومة للحرارة او الجفاف وتلك المقاومة للانجماد حيث ان الانسجة ذات المحتوى القليل من الماء تستطيع ان تتحمل ارتفاع درجة الحرارة اكثر من ذات المحتوى الماء الاكثر. ويمكن ادخال صفة المقاومة المؤقتة للحرارة في النباتات بتعريضها بصورة تدريجية الى عملية تقليل الماء منها (Dehydration process). وعلى هذا الاساس فان البذور الجافة تكون اكثر مقاومة للحرارة المرتفعة من الانسجة الحضرية.

اضرار درجات الحرارة المنخفضة على المحاصيل الحلقية:

تحدث اضرار كثيرة للنباتات نتيجة تعرضها الى درجات حرارة منخفضة جدا. وأهم هذه الاضرار.

١- الاختناق Suffocation

ان الكثير من المحاصيل الشتوية كالحبوب ونباتات المراعي في المناطق الباردة تبقى حية لفترة ما بعد ان تغطيها الثلوج. فاذا بقيت هذه النباتات تحت الغطاء الثلجي لفترة طويلة فأنها تتعرض للاختناق والموت بسبب قلة توفر الاوكسجين لها.

٢- الجفاف الوظيفي Physiological drought:

تحصل هذه الظاهرة عندما تكون عملية النتح سريعة وامتصاص الماء من التربة بطيء بحيث لا يعوض المفقود بالنتح. وتحدث هذه الظاهرة عندما يكون الخريف دافئاً فالزيادة في عملية النتح التي يعقبها انخفاض مفاجئ في درجات الحرارة مع وجود نقص في رطوبة التربة يجعل ماء التربة يتجمد وبهذا يقل امتصاص الماء منها من قبل النباتات وهذا ما يعرف بالجفاف الفسيولوجي.

٣- الرفع Heaving:

يحصل الرفع عندما تتجمد المياه في التربة ويأخذ الماء الحر في التربة شكل خيوط ثلجية تتجه بصورة عمودية على سطح التربة فيحدث ضغط على سطح التربة فيؤدى هذا الضغط الى رفع النباتات من اماكنها ويحصل تلف للجذور وربما موت للنباتات.

٤- التجمد Freezing:

وتتميز هذه الظاهرة بان تحصل بلورات ثلجية في داخل الخلايا النباتية وفي المسافات البينية وتموت النباتات نتيجة لانجماد الانسجة وتلفها وتحصل هذه الحالة في المناطق ذات درجات الحرارة المنخفضة جداً.

٥- الصقيع Chilling:

ويحصل الضرر للمحاصيل عندما تنخفض درجة الحرارة فوق درجة الانجماد بقليل جدا. وقد قسمت المحاصيل الحقلية حسب تحملها للصقيع الى المجاميع التالية:

١- مجموعة محاصيل تقتل اذا تعرضت للصقيع لمدة ٦٠ ساعة لدرجة حرارة بين ٠,٥ و ٥,٠ درجة مئوي مثل الرز والقطن، الحمص ولوبيا العلف.

٢- مجموعة محاصيل يمكن ان تستعيد نموها بعد تعرضها للظروف السابقة مثل الحشيش السوداني وبعض طرز فستق الحقل.

٣- مجموعة محاصيل لا تتأثر كثيرا بالصقيع مثل الذرة الصفراء والذرة البيضاء وطرز من فستق الحقل.

٤- مجموعة محاصيل تتأثر بتعرضها لفترة طويلة للصقيع ولكنها تستعيد نموها مثال فول الصويا.

٥- مجموعة محاصيل لا تتأثر مطلقاً بالصقيع مثل عباد الشمس والكتان.

وتمتاز المحاصيل ذات المقاومة لدرجات الحرارة المنخفضة بما يلي:

أ - ارتفاع تركيز السكر في العصير الخلوي نتيجة لتحول النشأ الى سكر وبذلك تنخفض نقطة التجمد كما يقل فقدان الماء بالنتح.

ب - زيادة الضغط الأزموزى في العصير الخلوي نتيجة لزيادة تركيز السكر فيها.

ج - ازدياد نفاذية الغشاء الخلوي.

د - زيادة في البروتين الذائب في الخلايا وزيادة في الماء غير الحرفي في الخلايا أما من ناحية الشكل الخارجي للنبات، فان النباتات المقاومة لدرجات الحرارة المنخفضة تمتاز بأنها ذات أوراق صغيرة سميكة مغطاة بطبقة من الكيوتين وتكون النباتات

مفترشة وقد لوحظت هذه الظاهرة في محاصيل الحنطة والشعير والشوفان الشتوية ذات المقاومة للبرودة. كذلك تمتاز بأن جذورها كثيرة التفرع ونمو النباتات بطيئاً.

كفاءة درجة الحرارة Temperature efficiency .

تزداد سرعة التفاعلات الكيمياوية والعمليات الوظيفية كلما زادت درجة الحرارة وبالتالي يزداد النمو في النبات وفي الحقيقة فان النمو يتحدد بعوامل بيئية متعددة لذلك فان درجة الحرارة وحدها ليست العامل الوحيد لإعطاء فكرة حقيقية عن عملية نمو المحصول ونجاحه في المنطقة.

وهناك عدة طرق تستعمل لتقدير كفاءة درجة الحرارة وعلاقتها بتوزيع المحاصيل ونجاحها في المناطق منها:

طول موسم النمو Length of growing season

معرفة طول موسم النمو هي من أبسط الطرق وأقدمها التي تستعمل في تقدير القيمة الفعلية للحرارة وتأثيرها على توزيع المحاصيل ونجاحها في المنطقة التي تزرع فيها. وموسم النمو هو معدل الفترة بين اخر انجماد مميت للنبات في الربيع وأول انجماد في الخريف. فهذه الفترة اعتبرت هي المحددة لطول فصل النمو. ان طول الفترة الخالية من الانجماد (frost free period) هذه تعطي فكرة عن نوع المحاصيل التي يمكن ان تنجح في المنطقة. فالمنطقة التي تكون فيها هذه الفترة قصيرة لا يمكن ان تزرع فيها الا محاصيل محدودة مبكرة ملائمة لتلك المنطقة. وقد اوضحMartin، Leonard and Stamp (1976). بان الفترة الخالية من الانجماد التي تكون أقل من ١٢٥ يوما تعتبر محددة لإنتاج معظم المحاصيل الحقلية. فالحنطة والشعير والشوفان تنضج خلال فترة خالية من الانجماد اقصر مما تحتاجه الذرة الصفراء والذرة البيضاء. أما القطن فيحتاج الى فترة خالية من الانجماد ٢٠٠ يوماً. وبعض المحاصيل

اذا تعرضت للانجماد فأنها تتلف الى حد ما كما هو الحال في الذرة الصفراء والذرة البيضاء.

الحرارة المتجمعة Temperature summation

وهي مجموع درجات الحرارة فوق درجة الحرارة الاساس (Base temperature) التي تكون فيها الفعالية الحيوية للنبات صفرا. وقد اعتبرت درجة ٤٠ ف اي (٤،٤ م) هي الدرجة التي تكون فيها الفعالية الحيوية صفراً. ويمكن على هذا الاساس حساب درجات الحرارة المتجمعة ليوم او شهر او لأية فترة زمنية. كالاتي: لو كان معدل درجة الحرارة ليوم ما هو ٢٢ م فتكون الحرارة المتجمعة عندئذ لذلك اليوم هي ٢٢ ــ ٤,٤ ويساوي ١٥,٦ م ومجموع درجات الحرارة لبقية الأيام التي تزيد على ٤،٤ م يمثل الحرارة المتجمعة لفصل النمو لذلك المحصول مثلاً. وبمعرفة درجة الحرارة المتجمعة يمكن معرفة فترة نمو الاصناف المختلفة من المحاصيل في تلك المنطقة ومن عيوب هذه الطريقة انها لا تأخذ بنظر الاعتبار شدة الحرارة وفترتها بنظر الاعتبار ورغم ذلك فقد وجدت هذه الطريقة مجالا جيداً في استعمالها.

نظام الوحدات الحرارية Heat unit System

ان اي محصول لكي يصل مرحلة من النمو لا بد ان يستلم كمية معينة من الحرارة بغض النظر عن الفترة الزمنية التي يحتاجها لاستلام تلك الوحدات الحرارية. ان مجموع درجات الحرارة فوق درجة الحرارة الاساسية التي تبدأ عندها الفعالية الحيوية هي القاعدة التي تعتمد عليها هذه الطريقة ودرجة الحرارة الأساس (Base temperature) قد حسبت اعتمادا على نتائج التجارب لمحاصيل مختلفة فوجدت بانها ٤,٤ م للحنطة والشوفان والشعير و ١٠ م للذرة الصفراء و ١٦,٦ م للقطن. وعدد الوحدات لأي يوم يكون بطرح معدل درجة الحرارة الاساس للمحصول من درجة

الحرارة لذلك اليوم وبجمع درجات الحرارة هذه نحصل على عدد الوحدات الحرارية لأية فترة كانت من الزراعة وحتى النضج لذلك المحصول. وقد وجدت هذه الطريقة أهمية بالغة في استعمالها في جني المحاصيل لأغراض التعليب للخضروات خاصة وقد جربت بكثرة على محصول البزاليا. وتتجلى اهمية استعمال نظام الوحدات الحرارية في النواحي التالية:

١- تمييز موسم النمو للأصناف المختلفة للمحاصيل.

٢- التنبؤ بموعد النضج.

٣- تنظيم عمليات حصاد الحصول.

٤ - السيطرة على النوعية للمحصول.