الحرارة

تعتبر الشمس المصدر الوحيد لحرارة جو الأرض وسطحها، ولذلك تعد الحرارة ظاهرة من مظاهر الإشعاع وهي تتبع العلاقات المتبادلة بين الإشعاع الشمسي والإشعاع الأرضي من جهة والخصائص الفيزيائية للأجسام المشعة من جهة أخرى.

فالإشعاع الشمسي الذي يمتصه سطح الأرض يتحول إلى حرارة. وجزء من هذه الحرارة يذهب إلى تسخين الطبقة الجوية الملامسة لسطح الأرض وإلى تبخير الماء الموجود في الطبقة العليا من التربة وفي النباتات، أما باقي الحرارة فينتقل إلى الطبقات السفلية من التربة. وتتغير حرارة الهواء والتربة كلما كان وصول الأشعة الشمسية غير منتظم خلال أيام السنة، وهذا التغير يتراوح أحياناً بحدود واسعة.

إن درجة الحرارة هي من أهم عناصر المناخ وهذا يرجع إلى:

- تأثيرها المباشر وغير المباشر على الظواهر الجوية كافة وتأثيرها المختلف على مظاهر الحياة كلها.
- تحكمها في توزيع المناخ وتوزيع الغطاء النباتي على مناطق الكرة الأرضية، وإضفاء أشكال مميزة لمظاهر سطح الأرض.
- اختلاف درجة الحرارة يؤدّي إلى اختلاف كثافة الهواء وضغطه، وبالتالي يتحرك الهواء من المناطق الأكثر كثافة إلى المناطق الأقل كثافة، كما ينشأ عن عمليات التسخين والتبريد حركات صاعدة وهابطة للهواء، وتتحول الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية تعمل على تحريك جزيئات الهواء.
- ارتباط كمية بخار الماء في الجو بدرجة الحرارة بصورة وثيقة، وما اختلاف كمية الهطول في العالم إلا انعكاسٌ مباشرٌ أو غير مباشر لدرجة الحرارة وذلك للدور الذي تؤديه الحرارة في التبخر وفي حركة الهواء.

💡 عند الحديث عن درجة الحرارة فالمقصود هو درجة حرارة الهواء القريب من سطح الأرض في الظل على مستويات القياس المعتمدة عالمياً في محطات الرصد الجوي، وما عدا ذلك يتم التحديد بشكل واضح (حرارة التربة – الماء – النبات .....).

أهمية الحرارة في النشاط الحيوي للنباتات والحيوانات الزراعية:

تحدث جميع العمليات الفيزيولوجية في النبات من التمثيل الضوئي والتنفس وتبخر الماء وهضم المواد الغذائية في التربة وعمليات فيزيولوجية أخرى في نطاق محدد من درجة الحرارة.

حيث توجد **مجالات حرارية** للنشاط الحيوي عند النباتات: الحد الأدنى البيولوجي والحد الأعلى البيولوجي وتقع بينهما منطقة حرارية مثالية وعند هذه الحرارة يجري تطور النباتات ويتشكل أفضل كثافة للمحصول. تختلف الظروف الحرارية من نبات إلى آخر، فمثلاً الحد الأدنى الحيوي (الصفر البيولوجي) لنمو معظم المحاصيل الشتوية يقع بين 3-5 م° بينما في المحاصيل الصيفية بين 12-15 م°.

تبدي حرارة التربة تأثيراً كبيراً على نمو المجموع الجذري وعلى نشاط الكائنات الحية الدقيقة في التربة، وعلى استغلال النبات للفوسفات والنترات من التربة.

يسبب انخفاض حرارة التربة بشكل كبير تجمد المجموع الجذري وموت خلاياه، وبالتالي موت النبات بالكامل. أما الحرارة المرتفعة في التربة فإنها تسبب فساد درنات البطاطا والحصول على بذور سيئة النوعية، وكذلك ارتفاع حرارة الهواء المحيط بالنبات تزيد من فقد الماء عند النبات وتعرضه للجفاف والذبول وهذا يؤدي إلى خفض الإنتاج الزراعي.

كما يرتبط انتشار الآفات وأثرها الضار على المزروعات بعلاقة وثيقة مع النظام الحراري.

تحدد الظروف الحرارية حالة وسلوك وإنتاجية الحيوانات الزراعية بصورة كبيرة. فمثلاً الطقس الحار يرهق الأغنام ويعرقل تناول العلف. ولهذا السبب تتخذ التدابير لحماية الحيوانات من الحر عند الطقس الحار في ظروف التربية بالطريقة الحرة. وكذلك انخفاض حرارة الهواء في فترة جز الأغنام له تأثير خطير.

إنَّ دراسة طبيعة النظام الحراري للتربة والطبقة الجوية الملامسة للأرض له أهمية كبيرة في إدارة الإنتاج الزراعي بصورة علمية وصحيحة.

طرق انتقال الحرارة:

تنتقل الحرارة في الغلاف الجوي والتربة والنبات عبر ثلاث آليات رئيسية، وغالباً ما تعمل معاً.

أ- الإشعاع Radiation:

هو عملية انتقال الحرارة على شكل موجات دون الحاجة إلى وسط ليتم الانتقال فيه (ينتقل في الفراغ).

فمثلاً، أشعة الشمس تصل سطح الأرض على شكل موجات تنتقل عبر الفراغ المحيط بالشمس، وعندما نقف بقرب جسم حار فإننا نشعر بموجات حارة نتيجة الأشعة الحارة التي يشعها هذا الجسم الحار. وكذلك الأرض تصدر أشعة طويلة الموجة (تحت الحمراء) تساهم في زيادة حرارة الجو. وبالتالي يأخذ الجو حرارته من الشمس والأرض معاً.

ب- التوصيل Conduction:

هو عملية انتقال الحرارة خلال وسط نتيجة التماس بين الجزيئات الدقيقة المكونة لهذا الوسط (دون انتقال المادة نفسها).

فمثلاً إذا سخنا طرف قضيب من المعدن فإن النهاية الثانية من هذا القضيب سوف تسخن بسبب انتقال الحرارة عن طريق الجزيئات المكونة له.

وهنا تنتقل الطاقة الحرارية من الأجسام الحارة إلى الأجسام الباردة بصورة مستمرة حتى تتساوى حرارتهما، ولا يمكن أن يحدث العكس بقوة ذاتية.

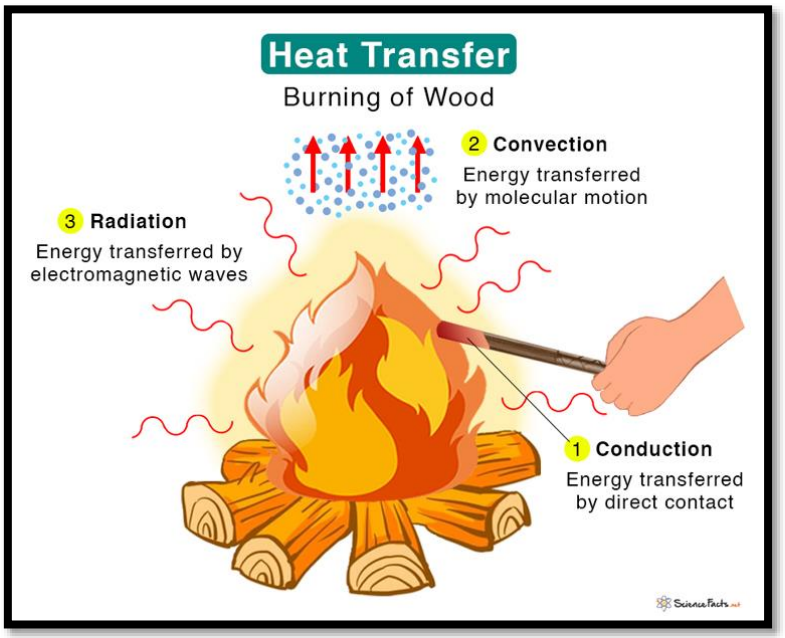
بالطريقة تنتقل الحرارة بين سطح الأرض والهواء الملامس لها. فإذا كانت درجة حرارة سطح التربة أعلى من درجة حرارة الهواء الملامس لها فإنها تفقد جزء من حرارتها لتسخنه، وبالعكس إذا كان الهواء أعلى حرارة من سطح الأرض (كما يحدث في ساعات الليل) فإن الحرارة تنتقل من الهواء إلى التربة ونظراً لأن الهواء ذو ناقلية رديئة لذلك فإن التوصيل الحراري في الهواء يكون شديد البطء.

💡 تعتمد سرعة التوصيل في التربة على الحرارة النوعية للتربة (الرطوبة – المسامية – المادة العضوية....).

جـ- الحمل Convection:

وهو انتقال الحرارة نتيجة انتقال المادة المسخنة نفسها (تيارات الحمل).

نتيجة التسخين غير المنتظم لمناطق مختلفة من سطح الأرض تنتقل جزيئات الهواء عمودياً، وهكذا نجد الهواء الأكثر حرارة والأقل كثافة يتصاعد نحو الأعلى متمدداً مصطحباً معه الحرارة التي اكتسبها من سطح الأرض ليحل بدلاً منه الهواء البارد الذي يسخن بدوره ليرتفع أيضاً نحو الأعلى وهكذا يتكون تيار صاعد من الهواء.



الشكل (1) يوضح طرق انتقال الحرارة

التغيرات الذاتية (الأديباتيكية) للحرارة:

يقصد به اختلاف درجة الحرارة لكتلة هوائية دون زيادة أو نقصان في كمية الحرارة الموجودة فيها نتيجة لتمددها أو انضغاطها.

من المعلوم أن تمدد الغازات يؤدي إلى اتساع حجمها وانخفاض ضغطها ومن ثم انخفاض درجة الحرارة فيها، بينما يؤدي انضغاط الغازات أو الهواء إلى ارتفاع درجة حرارتها.

وهناك نوعان من هذه التغيرات:

أ. التبريد الذاتي:

هو عبارة عن انخفاض درجة حرارة كتلة من الهواء نتيجة تمددها ويتعلق هذا التبريد بطبيعة الكتلة الهوائية إن كانت جافة أو مشبعة بالرطوبة.

يبلغ معدل التناقص في الكتلة الهوائية الجافة 3° درجات مئوية لكل 300 م ارتفاع، بينما يبلغ في الكتلة الهوائية الرطبة 1.5° درجة مئوية لكل 300 م ارتفاع.

ب. التسخين الذاتي:

هو عبارة عن ارتفاع درجة حرارة كتلة هوائية نتيجة تقلصها أو انضغاطها.

كما هو الحال عند هبوط كتلة هوائية من مستويات عليا إلى مستويات أخفض مما يؤدي لانضغاطه وبالتالي تسخنه بمعدل 1° درجة مئوية لكل 100 م ارتفاع. وهي عملية ديناميكية صرفة.

الانقلاب الحراري:

في الظروف الطبيعية للغلاف الجوي في طبقة التروبوسفير (Troposphere)، تنخفض درجة الحرارة بزيادة الارتفاع بمعدل 6.5 درجة مئوية/كم وهو ما يُعرف بـ **معدل التناقص الحراري الطبيعي.**

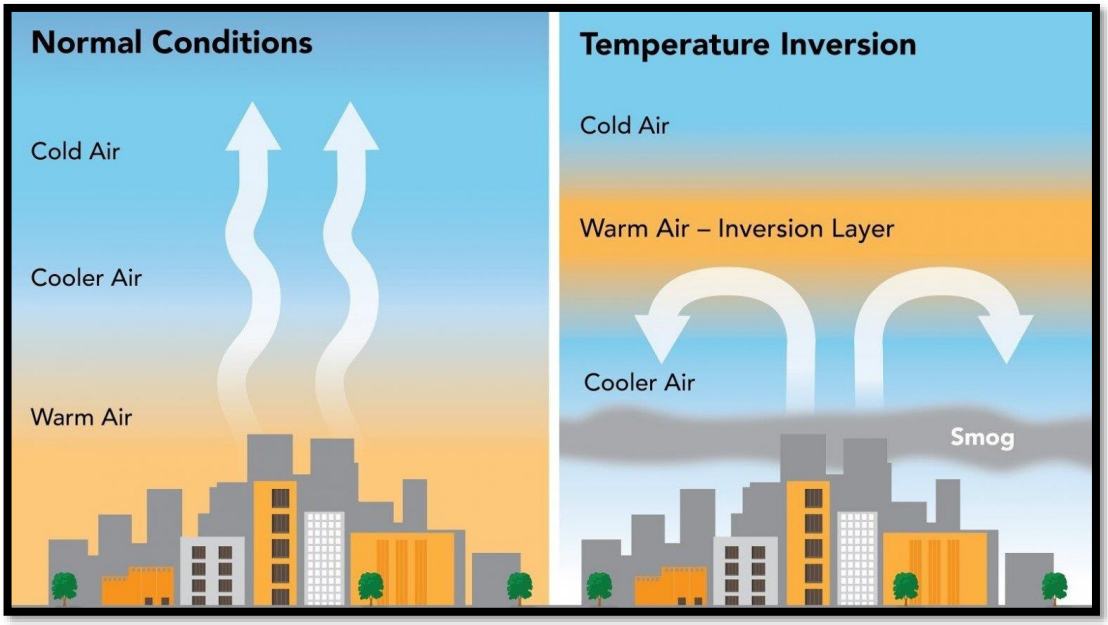
الانقلاب الحراري (Inversion) هو حالة معاكسة، حيث **ترتفع درجة حرارة الهواء مع زيادة الارتفاع** (أي يصبح الهواء البارد قريباً من سطح الأرض والهواء الأدفأ أعلاه). هذا الوضع يؤدي إلى **استقرار شديد في الغلاف الجوي** ويمنع حركة الهواء الرأسية (الحمل الحراري).

أنواع الانقلاب الحراري:

يقسم إلى نوعين حسب الارتفاع عن سطح الأرض:

أ. الانقلاب الحراري السطحي: وهو الانقلاب الذي لا يتعدى في حدوده الألف متر عن سطح الأرض ونميز منه: الانقلاب الحراري الإشعاعي، الانقلاب الحراري التضاريسي وانقلاب التآفق.

ب. الانقلاب الحراري العلوي: يحدث في طبقات الهواء التي يزيد ارتفاعها عن 1000 متر عن سطح الأرض في طبقة التربوسفير وله عدة أشكال منها: الانقلاب الحراري السيكلوني (منخفض جوي)، الانقلاب الحراري الأنتيسيكلوني (مرتفع جوي) والانقلاب الحراري العلوي الحركي.



الشكل (2) يوضح الانقلاب الحراري

أسباب الانقلاب الحراري:

1. زيادة التشعع في الليالي الصافية تؤدي إلى برودة الأرض التي تفقد حرارتها بسرعة مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الهواء الأرضي الذي يلامسها وبذلك تبقى طبقات الهواء التي تعلوها ذات درجة حرارة مرتفعة عن درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض.
2. في حال التقاء كتلتين هوائيتين مختلفتين في درجة الحرارة فإن الكتلة الهوائية الأقل حرارة تهبط لأسفل الكتلة الهوائية ذات الحرارة المرتفعة لأن الهواء البارد ذو كثافة أكبر بحيث يحتل مكان الهواء الأسخن الذي يرتفع إلى الأعلى.
3. يحدث الانقلاب الحراري في حال مرور هواء ساخن فوق منطقة باردة.
4. يحدث الانقلاب الحراري فوق قمة السحب.
5. يحدث الانقلاب الحراري في المنطقة الفاصلة بين التربوسفير والستراتوسفير(تربوبوز) وكذلك في المنطقة الفاصلة بين الميزوسفير والتيرموسفير (الترموبوز).
6. يحدث الانقلاب الحراري في المرتفعات الحبلية فإن الهواء البارد الأكثر كثافة يزحف نحو الوديان ويتراكم فيها.

الصقيع Frost:

يعرف الصفيع بأنه ظاهرة مناخية مرتبطة بانخفاض درجة الحرارة إلى ما دون نقطة تجمد الماء. يعتبر الصقيع ظاهرة خطرة تهدد الإنتاج الزراعي، ليس له ميعاد ثابت أو مؤكد ودرجات شدته متفاوتة من سنة لأخرى، وبالتالي يوجد صعوبة في التحكم فيه. لذلك تحسب فترة النمو للمزروعات على أساس الفترة الخالية من الصقيع. ما يهمنا من الصقيع هو انخفاض درجة الحرارة إلى أقل من عتبة حساسية النبات والتي لا يستطيع النبات تحمله دون ضرر ملموس عليه.

أنواع الصقيع:

حسب شدة الصقيع وما يتركه من آثار على سطح الأرض والنباتات يمكن تمييز الأنواع التالية من الصقيع:

أ- الصقيع الأبيض:

سمي بذلك نظراً لما يتركه من بلورات ثلجية بيضاء على أوراق النباتات وأفرعها والأسطح التي يلامسها. كما يعرف بالريف السوري بـ (الملحة) لكونه يشبه ملح الطعام.

ويمثله الصقيع الذي يحدث في الليالي الصافية والساكنة الرياح ذات الجو الجاف حيث الرطوبة النسبية فيها منخفضة فتظهر البلورات الثلجية بمجرد انخفاض درجة الحرارة إلى ما دون الصفر المئوي.

ويطلق أيضاً على هذا النوع من الصقيع اسم الصقيع الإشعاعي للأشعة الناتجة عن النشاطات اليومية لدرجة الحرارة. وتتوقف شدته على التباين الحراري الكبير بين درجة حرارة النهار والليل، وتزداد خطورته مع تزايد هذا الفرق.

ويحدث هذا النوع من الصقيع في فصل الربيع، ولذلك يطلق عليه الصقيع الربيعي أي من نهاية شباط وحتى نهاية نيسان تبعاً للتفاوت البيئي في البلاد. ويرافق هذا النوع من الصقيع المرتفعات الجوية التي تمتاز بصفاء الجو واستقراره مع وجود الهواء البارد قليل الرطوبة أو الجاف، وقد يرافقه الانقلاب الحراري في الجو.

ب- الصقيع الأسود:

وقد سمي بالصقيع الأسود نظراً لما يتركه من لون أسود على الأعضاء النباتية التي أصابها بعد مروره. يأتي هذا النوع من الصقيع مع توافد الكتل الهوائية الباردة، وترافقه الرياح وتنخفض درجة الحرارة إلى ما دون (0) درجة مئوية. وإن الرياح الشديدة البرودة في الأساس في قساوة هذا النوع من الصقيع على النباتات والزراعات القائمة. وإن الفترة التي يستمر فيها هذا النوع والانخفاض يتوقف عليها درجات الضرر والتأثير.

ويقع هذا الصقيع في الشتاء ويطلق عليه (الصقيع الشتوي)، عندما يكون شديداً لا تنفع معه المقاومة. ولحسن الحظ تكون الأشجار والنباتات المعمرة في حالة سكون وقت قدومه. وتتأثر فقط الأشجار دائمة الخضرة وخاصة الزيتون كما حدث في صقيع 1973 في أقضية حلب.

وعندما تكون الرياح المرافقة خفيفة تقل نسبة الأضرار التي يحدثها وعندئذ يمكن التدخل والتخفيف من ضرره. وقد يؤثر هذا الصقيع على التربة فيفتتها ويشققها ويؤثر في المجموع الجذري بدرجة أساسية.

جـ- الصقيع المختلط:

وهو الصقيع الناتج عن كتلتين هوائيتين مختلفتين وتشكل الصقيع اليومي من النوع الأول ويحدث في فصل الخريف ولذلك يطلق عليه أيضاً (الصقيع الخريفي). وتكون خطورته في قدومه مبكراً. وقد أدى الصقيع الخريفي في الغاب إلى خسارة كبيرة حيث أثر على الأقطان المزروعة بصورة مبكرة (4-8) تشرين الأول.

ملاحظة: لا توجد حدود فاصلة بين أنواع الصقيع ولكنها ذكرت للتمايز أولاً وللطابع الغالب عليها ثانياً.

آلية تأثير الصقيع على النبات:

تختلف درجة تأثير الصقيع على النباتات حسب عدة عوامل: شدة الصقيع ومدة استمراره، فترة حدوث الصقيع أي حسب طور نمو النبات، نوع النبات وصنفه، كمية ونوع الأسمدة المضافة له في حال وجودها.

يكون ضرر الصقيع على النباتات في حده الأدنى عندما تكون النباتات في طور السكون والضرر الأكبر عندما تكون في فترة الإزهار.

في فترة النشاط الحيوي للنبات تزداد نسبة الماء في الخلية النباتية بشكل كبير على حساب السكريات والدهون والبروتينات في الخلية وبالتالي فإن درجة حرارة قريبة من 0 م° تؤدي إلى تجمد الماء في الخلية وتحوله إلى بلورات تمزق جدار الخلية. أما في فترة سكون النبات فيحدث العكس حيث تزداد نسبة السكريات والدهون والبروتينات في الخلية على حساب الماء الذي تصبح نسبته قليلة جداً وبالتالي فإن تجمد الماء السائل في الخلية يتطلب درجة حرارة منخفضة نسبياً.

عتبة المقاومة:

عتبة مقاومة الصقيع (أو عتبة تحمل الصقيع) بأنها أخفض درجة حرارة يمكن أن يتحملها النبات أو المحصول دون أن يتعرض لأضرار فيزيولوجية أو تلف في أنسجته .

بمجرد انخفاض درجة حرارة الوسط المحيط أو أجزاء النبات عن هذه القيمة (العتبة)، يبدأ حدوث ما يُعرف بـ "الضريب" أو تلف المزروعات .

تتوقف عتبة الصقيع على النقاط الأساسية:

1. اختلاف النوع والصنف: تختلف هذه العتبة بشكل كبير بين المحاصيل المختلفة؛ فما يعتبر درجة حرارة قاتلة لنبات استوائي قد يكون طبيعياً لنباتات المناطق الباردة.
2. مرحلة النمو: تتغير حساسية النبات للصقيع حسب طور حياته، حيث تكون **الأزهار والبراعم الزهرية** والثمار الصغيرة أكثر حساسية (عتبة مقاومتها أعلى أي تتأثر عند درجات حرارة قريبة من الصفر) مقارنة بالأغصان أو الجذور.
3. الحالة الفيزيولوجية للنبات: النباتات القوية والمسمدة جيداً (خاصة بالبوتاسيوم) تمتلك عتبة مقاومة أفضل (تتحمل درجات حرارة أكثر انخفاضاً) مقارنة بالنباتات الضعيفة أو المصابة.

4. المدة والشدة: لا تعتمد الأضرار فقط على بلوغ العتبة بل على مدة بقاء الحرارة دون تلك القيمة، فكلما طالت فترة الصقيع زاد احتمال عدم قدرة النبات على التحمل.

إن مستوى عتبة المقاومة يتعلق بالحالة الفيزيولوجية وبشروط البرودة أي انخفاض الحرارة. فمثلاً ازهار التفاح يصيبها الصقيع في سنة على درجة -2 م° ، وفي سنة أخرى على درجة -3 م° حيث أن نمط الصقيع ليس واحداً في كل سنة كما وأن سرعة النمو مختلفة وكذلك قد تكون ظروف التغذية متفاوتة.

ويوضح الجدول رقم (1) درجات خطورة الصقيع ويظهر لنا أن عتبة الصقيع تبدأ دائماً تحت الصفر خصوصاً وأن أغلب أنواع الفاكهة والخضراوات تتأثر ما بين الدرجتين -1 حتى -6 م°.

تختلف درجات الصقيع من محصول إلى آخر اختلافاً بيناً، وكذلك نوعية تأثيرها على الثمار الصغيرة والثمار العاقدة أو العاقدة حديثاً فالأزهار فالبراعم الزهرية.

وتستعمل نماذج مختلفة من المزدوجات الحرارية ومقياس الرطوبة وأجهزة التنبيه للتنبؤ عن لحظة وقوع الصقيع. وقد تمتد في حالات الإصابة الشديدة إلى الأوراق والأغصان الصغيرة التي هي على درجة كبيرة من المقاومة ضد أي تأثير.

جدول (1) عتبة المقاومة لصقيع بعض المزروعات والأشجار المثمرة (درجة مئوية)

المحصول	الثمار	الأزهار	البراعم الزهرية
المشمش	1-	2-	2.5-
التفاح	2-	2-	3.5-
الدراق	1.1-	2-	3.5-
الأجاص	1.1-	2.2-	3.9-
الكرز	1-	2.2-	2.2
العنب	2-	2.5-	3-
القطن	1-	2-	2-
البندورة	2-		
البطاطا	1-		
الفاصولياء	1- إلى 2-		
الفول	3- إلى 4-		

وتبين نتيجة لدراسات حقلية مخبرية متواصلة أنه من الصعب تحديد عتبة الصقيع بشكل دقيق، وأنه حتى الآن تعتمد على التجربة ولم تحدد بصورة جلية واضحة. ولكن يمكننا القول بأنه يجب التحضير للصقيع، وأن تكون الأجهزة على أهبة الاستعداد، وإذا وصلت درجة الحرارة إلى -1°م واستمرت لأكثر من نصف ساعة فيجب أن يبدأ بالمقاومة حتى يمكن الوصول إلى درجة الحرارة المنخفضة بأقصى سرعة ممكنة.

مقاومة الصقيع:

يمكن مقاومة الصقيع بإحدى الطرق التالية:

1. التهوية: وذلك بوضع مراوح خاصة في الحقل لتحريك ومزج طبقات الهواء مع بعضها.
2. الري بالرذاذ: يعمل رذاذ الماء المنتشر وبخار الماء المتشكل في طبقة الهواء القريبة من سطح الأرض على امتصاص الأشعة تحت الحمراء الصادرة من سطح الأرض والغطاء النباتي وبالتالي منع حدوث الصقيع أو تخفيف شدته بشكل كبير. وفي حال حدوثه فإن الماء الذي يغطي الأعضاء النباتية سوف يتجمد مشكلاً طبقة عازلة تقي النبات من ضرر درجات الحرارة المنخفضة جداً.
3. التدخين: الهدف منه الحصول على كمية كبيرة من الدخان وذلك بالحرق غير الكامل للبقايا والمخلفات النباتية في أوعية خاصة أو استخدام مزيج بترولي خاص لهذا الغرض. الدخان الناتج يمتص الأشعة طويلة الموجة الصادرة من السطح وبالتالي يمنع حدوث الصقيع.
4. زراعة أصناف مقاومة للصقيع وإجراء عمليات خدمة صحيحة للنباتات (التقليم – التربية على العالي - ....).
5. استخدام منظمات النمو التي تؤخر بداية النمو والنشاط النباتي لمدة قد تزيد عن 20 يوماً، تعطي هذه الطريقة نتائج جيدة لمكافحة الصقيع الربيعي المتأخر.

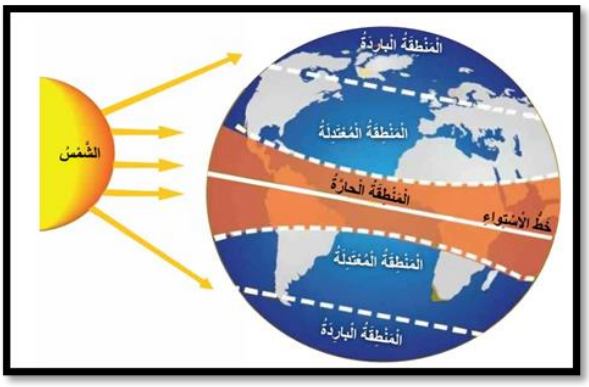
العوامل المؤثرة على درجة الحرارة:

تختلف درجة الحرارة من مكان إلى آخر على سطح الكرة الأرضية، وهذا يعود إلى العوامل التالية:

أ. خطوط العرض Latitude:

يعد خط العرض من أهم العوامل المؤثرة في درجة الحرارة. تتوقف كمية الحرارة التي تكتسبها منطقة ما على شدة الإشعاع الشمسي الوارد، وعلى طول فترة الإضاءة، وهذا كله مرتبط بدرجة عرض المكان. فكلما ابتعدنا عن خط الاستواء باتجاه القطبين الشمالي والجنوبي قل ارتفاع الشمس فوق الأفق، وكلما ابتعدنا عن المدار سقطت أشعة الشمس مائلة على سطح الأرض، أي قلت كمية الحرارة الناشئة عنها. إذ من المعروف أنَّ الأشعة التي تسقط مائلة على سطح ما، ترفع درجة حرارته إلى درجة أقل مما لوكان سقوطها عليه عمودياً. هذا إلى جانب تأثير سمك طبقة الجو التي تقطعها الأشعة والتي تزداد حتى تصل الأشعة إلى المنطقة القطبية. **لهذا يمكننا أن نلاحظ أن على سطح الأرض:**

- منطقة حارة (استوائية ومدارية) تقع في خطوط العرض المنخفضة.
- منطقتين معتدلتين (واحدة في كل نصف من الكرة الأرضية) تقعان في خطوط العرض المتوسطة.
- منطقتين باردتين تمتدان حول القطبين.



الشكل (3) توزع المناطق الحرارية حسب خط العرض

ب. التضاريس Relief:

تتصف الأرض بعدم تجانس سطحها حيث نجد تعاقب للسهول والجبال والهضاب والوديان. **تنخفض** درجة الحرارة مع الارتفاع عن سطح البحر ولذلك فإن الجبال تشكل جزراً حرارية باردة، في حين تكون السهول والوديان أكثر حرارة بوجه عام من الجبال. وتؤدي واجهة المظهر التضاريسي دوراً هاماً في التأثير على درجة الحرارة، فالواجهات المعرَّضة مباشرة لأشعة الشمس تكون أكثر تلقياً للإشعاع الشمسي، وبالتالي أكثر حرارة من الواجهات الواقعة في منأى عن الأشعة الشمسية (السفوح المعاكسة) **أي** الجنوب والغرب أكثر تلقياً للحرارة من الشمال والشرق.

ج. نوع السطح Surface type:

تؤثّر طبيعة سطح الأرض (اليابسة – الماء) على سرعة تغير درجة حرارته. والفرق كبير بين البحر والبر حيث يسخن ويبرد الماء ببطء وبمدة أطول من المدة التي يسخن أو يبرد بها البر وذلك يعود للعوامل التالية:

- تخترق الأشعة الشمسية الماء لعمق أكبر من اليابسة.
- قسم من الطاقة الحرارية التي يمتصها الماء تصرف على التبخر.
- تنتقل الحرارة في المسطحات المائية إلى عمق كبير نتيجة الحركة المستمرة للماء بينما تسخين اليابسة يقتصر على الطبقة السطحية.
- الحرارة النوعية للماء **أكبر** منها لليابسة (الحرارة النوعية لليابسة 0.6 من الحرارة النوعية للماء) وبالتالي فإن الماء يمتص ضعف الطاقة الحرارية كي ترتفع درجة حرارته إلى نفس الدرجة التي ترتفع إليها حرارة اليابسة.
- اختلاف طبيعة سطح اليابسة من صحارى جرداء إلى مناطق زراعية أو مراعي أو غابات وما ينتج عنه من تباين في نسبة العاكسية (الألبيدو) ونسبة بخار الماء في الهواء وما تحويه طبقة التربة السطحية من ماء يؤدي إلى اختلاف درجة حرارة السطح.

د. فصول السنة Seasonal effect:

ينتج عن دوران الأرض حول الشمس اختلاف في ميل الأشعة التي تسقط على نقطة ما من الأرض خلال العام. فعند ما توجه الأرض نحو الشمس نصفها الشمالي تسقط الأشعة مائلة على النصف الجنوبي ويكون النهار أطول شمالاً وبذلك يكون الفصل حاراً، والعكس يكون في النصف الجنوبي وبذلك يكون الفصل بارداً. وبعد مضي ستة أشهر تنعكس الحال فيسود الصيف في نصف الكرة الجنوبي والشتاء في نصفها الشمالي.

ولذا نميز من حيث اختلاف درجة الحرارة أثناء السنة ثلاثة أنواع من المناطق:

1. المنطقة الاستوائية والمدارية: حيث يكون طول النهار ثابتاً تقريبا على مدار السنة وتسقط أشعة الشمس دوماً بصورة شاقولية أو قريبة منها. وتختلف الحرارة قليلاً أثناء السنة والفرق بين الفصول غير واضح تماماً.
2. المناطق المعتدلة: حيث يزداد اختلاف ارتفاع الشمس فوق الأفق كما يزداد اختلاف طول النهار بمقدار ما تبعد هذه لمناطق عن خط الاستواء وتتميز الفصول بشكل واضح.
3. المناطق القطبية: حيث يسود الليل تقريباً طوال مدة الشتاء ويسود النهار طوال مدة الصيف تقريباً، وذلك بسبب نور الشمس الوهاج من بدء الغروب إلى الشروق، والذي يجعل فترة الليل مضيئة رغم غياب قرص الشمس تحت الأفق. وبما أن أشعة الشمس تكون على درجة كبيرة من الميل فإن الصيف يكون بارداً والشتاء جليدياً شديد البرودة.

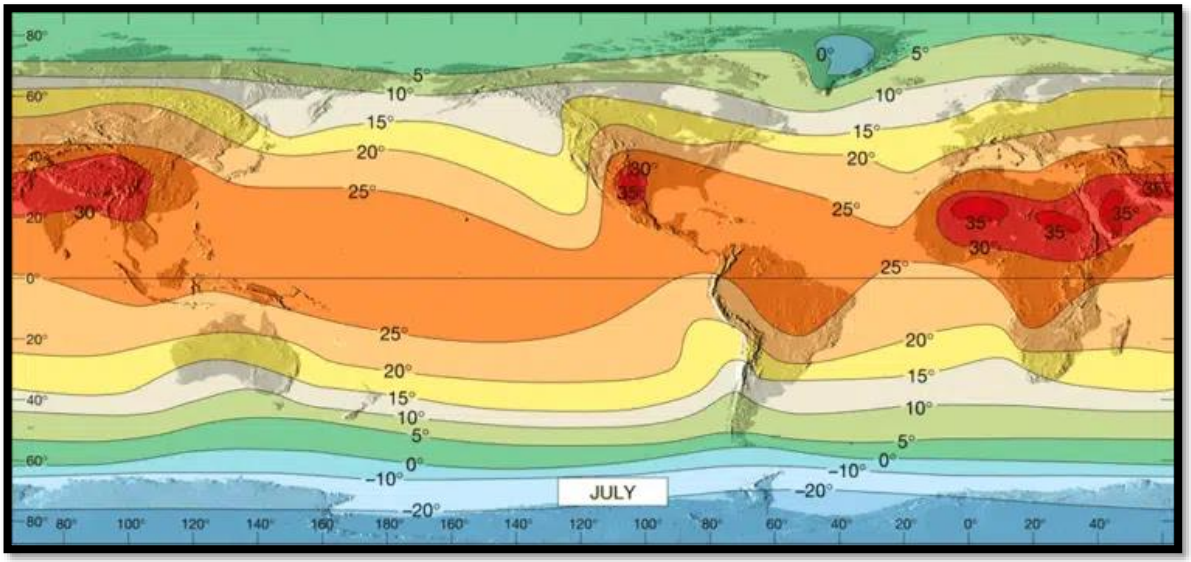
هـ الارتفاع عن سطح البحر Altitude:

تنخفض درجة حرارة الهواء مع الارتفاع عن سطح الأرض. ويسمى تغير الحرارة لكل 100 متر ارتفاعاً بالتدرج الحراري العمودي Vertical temperature gradient. ويتوقف هذا التغير في التدرج الحراري العمودي بالعلاقة مع الوقت في السنة والوقت من اليوم ومع الارتفاع. حيث يبلغ التدرج الحراري العمودي وسطياً في طبقة التروبوسفير 0.5-0.6 ْم/100 متر، ويكون موجباً إذا تناقصت الحرارة مع الارتفاع وسالباً إذا زادت مع الارتفاع.

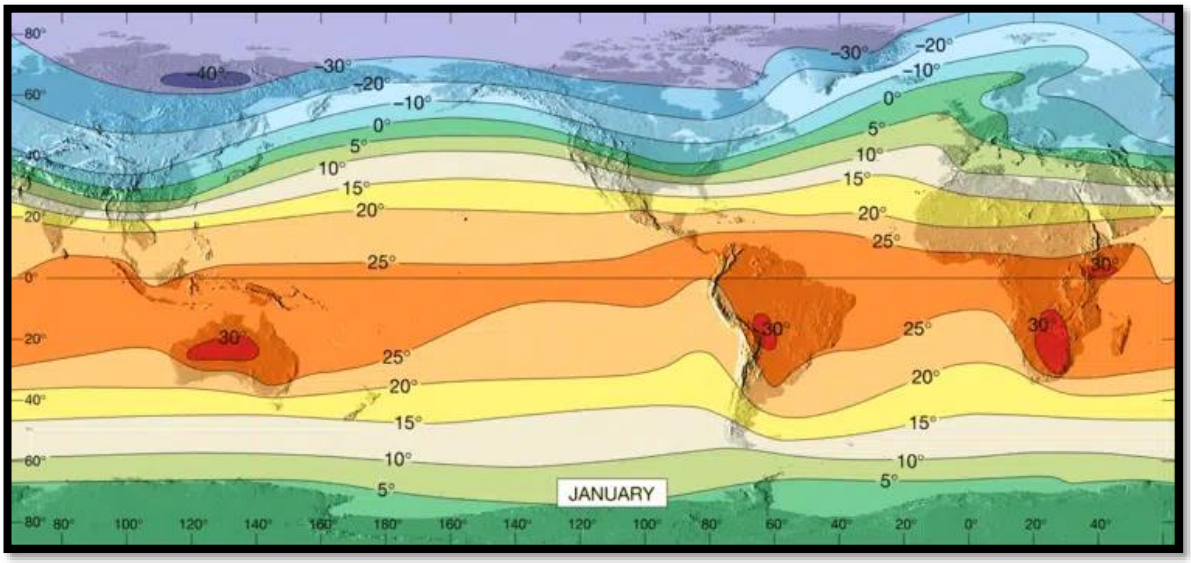
خطوط درجات الحرارة المتساوية Isotherms:

وهي خطوط ترسم على الخرائط تربط بين المناطق ذات درجات الحرارة المتساوية أو مجموع درجات الحرارة والتي يمكن عن طريقها معرفة توزع الحرارة فوق منطقة معينة أو على سطح الكرة الأرضية. تستعمل لتقييم الظروف الحرارية للأرض، ولهذا ترسم خرائط متوسط درجات الحرارة السنوية، ودرجات الحرارة لأحر وأبرد شهر، وتوزع درجات الحرارة العظمى والصغرى ومجموع درجات الحرارة.....إلخ.

ودرجات الحرارة التي تدل عليها هذه الخرائط هي درجات حرارة **معدّلة** وليست درجات الحرارة الفعلية، حيث يراعى في تعديل الدرجات أن يستبعد عامل الارتفاع ويتم النظر إلى جميع المناطق كما لو أنها تقع جميعا على مستوى سطح البحر.



شكل (4) خارطة خطوط درجة الحرارة المتساوية لشهر تموز لسطح الكرة الأرضية



شكل (5) خارطة خطوط الحرارة المتساوية لشهر كانون الثاني لسطح الكرة الأرضية

ويلاحظ من الشكلين رقم (4-5) انتقال خطوط درجات الحرارة المرتفعة من نصف الكرة الشمالي في شهر تموز إلى نصف الكرة الجنوبي في شهر كانون الثاني تبعاً لتغير وضع الأرض بالنسبة للشمس أثناء الفصلين. وواضح أيضاً أن درجة حرارة 35 م° هي أعلى متوسط يحدث خلال شهر تموز، بينما –30م°هي أخفض متوسط للحرارة يحدث في شهر كانون الثاني.

<u>ويتبين من هذه الخرائط أن</u>: خطوط الحرارة المتساوية متقاربة في بعض المناطق ومتباعدة في بعضها الآخر مما يدل على اختلاف معدل درجات الحرارة في الاتجاه الأفقي أيضاً. ويطلق على معدل التغير

الأفقي في درجة لحرارة التدرج الحراري الأفقي Horizental temperature gradient. ويلاحظ أن هذه الخطوط تكون متباعدة ومستقيمة تقريباً في نصف الكرة الجنوبي حيث تسود المحيطات، وأن معظم التعرج يحدث عندما تمر هذه الخطوط من القارات إلى البحار. وتنحرف هذه الخطوط باتجاه القطبين خلال فصل الشتاء عندما تنتقل من اليابسة إلى البحر، وتنحرف نحو خط الاستواء خلال فصل الصيف. إن سبب هذا الانحراف يعود إلى كون البحر أدفأ من البر في فصل الشتاء وأبرد منه في فصل الصيف. ويؤثر على هذا التعرج أيضاً تيارات البحر الدافئة والباردة.

أما في شهر تموز (الصيف) فيحدث عكس الحالتين السابقتين في كلا الطرفين. ومن الطبيعي أن أعلى اختلاف بين حرارة الصيف والشتاء يحصل فوق القارات حيث تصبح حارة نسبياً في الصيف وباردة نسبياً في الشتاء وهذا واضح في أواسط قارة آسيا.

المسار اليومي والسنوي لحرارة الهواء:

يتم تحديد المسارات اليومية والسنوية لحرارة الهواء في الطبقة القريبة من سطح الأرض بالاعتماد على قيم الحرارة على ارتفاع 2 م. ويرتبط مسار الحرارة بشكل أساسي بمسار الحرارة المقابل لسطح الأرض. وتتحدد خصائص مسار حرارة الهواء بقيمة الحدية أي بأعلى وأدنى درجة حرارة (الحرارة العظمى والحرارة الصغرى). والفرق بين هاتين الحرارتين يسمى المدى الحراري اليومي. وعندما يكون مسار الحرارة اليومي طبيعياً فإن أدنى درجة حرارة تلاحظ قبل شروق الشمس أما أعلى درجة حرارة فتسجل بعد 2-3 ساعات من منتصف النهار.

وكثيراً ما يختل التغير اليومي لحرارة الهواء عن طريق تدفق الكتل الهوائية الدافئة والباردة، فمثلاً إذا حدث تدفق الهواء البارد نهاراً فإن حرارة الهواء يمكن أن تصبح في ساعات النهار أقل من الليل السابق.

ويمكن تعريف المدى الحراري اليومي Diurnal range بأنه الفرق بين درجتي الحرارة العظمى والصغرى اليومية. ويلاحظ بأن المدى الحراري اليومي للهواء أقل من المدى الحراري لسطح التربة. حيث يصادف أكبر مدى حراري في المناطق الصحراوية المدارية وشبه المدارية ويتجاوز المدى الحراري 20م°خلال العام كله. ويشكل المدى الحراري اليومي في المدارين خلال العام 12 م° تقريباً. ويلاحظ أقل مدى حراري في خطوط العرض المعتدلة شتاء وأكبر مدى حراري صيفاً. وكذلك يكون المدى الحراري أكبر في الأيام الصافية من الأيام الغائمة.

المدى الحراري اليومي للهواء فوق المحيطات يساوي وسطياً 2-3 م°، وفي عمق القارات يساوي 20-22م°. ويتوقف المدى الحراري في اليابسة على التضاريس:

- المدى الحراري للوديان المغلقة والمنخفضات > المدى الحراري فوق قمم التلال، حيث يلاحظ خلط الهواء أشد.
- ينخفض المدى الحراري اليومي مع زيادة الارتفاع عن مستوى البحر.

ويسمى الفرق بين متوسط درجات الحرارة الشهرية لأحر شهر وأبرد شهر في السنة بالمدى الحراري السنوي Annual range. ويسمى الفرق بين درجة الحرارة المطلقة العظمى ودرجة الحرارة المطلقة الصغرى خلال العام بالمدى الحراري السنوي المطلق (أي بين أعلى حرارة وأخفض حرارة تلاحظ خلال العام). ويتوقف المدى الحراري السنوي للهواء في المكان المدروس على:

- خطوط العرض الجغرافية.
- البعد عن البحر.
- ارتفاع المكان.
- المسار السنوي لدرجة التغييم.

صفات النظام الحراري:

عند تقييم النظام الحراري لمنطقة ما لأهداف زراعية أو أهداف أخرى يفضل الاعتماد على خصائص النظام الحراري للمنطقة والتي تعكسه بشكل دقيق الظروف الحرارية للمنطقة وأهمها:

آ- متوسطات الحرارة Mean temperature:

يعرف المتوسط اليومي للحرارة Mean daily temperature بأنه المتوسط الحسابي لدرجات الحرارة في جميع فترات الرصد. حيث تقاس حرارة الهواء في الوقت الحالي في محطات الأرصاد الجوية / 8 / مرات يومياً. فعندما نجمع نتائج هذه القياسات ونقسم المجموع على / 8 / نحصل على المتوسط اليومي لحرارة الهواء.

- المتوسط الشهري للحرارة Mean monthly temperature: هو المتوسط الحسابي لمتوسطات الحرارة اليومية في جميع أيام الشهر.
- المتوسط السنوي للحرارة Average annual temperature: هو المتوسط الحسابي لمتوسطات الحرارة اليومية أو الشهرية خلال العام.

ب- الحرارة العظمى والصغرى، والمدى الحراري:

بمعرفة قيم الحرارة العظمى والدنيا والمدى الحراري نحصل على تصور ملموس حيث أن هذه الخصائص تغطي النقص الذي تعطيه معطيات درجة الحرارة المتوسطة.

فمثلاً عندما نعلم الحد الأدنى لدرجة الحرارة في بعض الشهور يمكن أن نحكم على ظروف التشتية للمحاصيل الشتوية والأشجار المثمرة، وعلى فترات انتهاء الصقيع في الربيع وبدايته في الخريف.

تؤدي المعطيات عن درجة الحرارة العظمى دوراً هاماً في معرفة كثرة تكرار الفترات مرتفعة الحرارة شتاء، وعدد الأيام الشديدة الحرارة التي تعيق نمو النباتات وترهق الحيوانات صيفاً بسبب الحر، وإمكانية تضرر المحاصيل في فترة امتلاء الحبوب .... إلخ.

ويعبر المدى الحراري اليومي والسنوي عن قارية المناخ، ويعتبر المدى الحراري اليومي للطبقة السفلية من الغلاف الجوي دليلاً هاماً للنظام الحراري في الحقول الزراعية.

جـ- التراكمات الحرارية (مجاميع الحرارة):

استخدم مجموع درجات الحرارة في الأرصاد الزراعية بصورة واسعة كدليل يعبر عن الوحدات النسبية لكمية الحرارة في المكان المدروس خلال فترة معينة. وأدخل مجموع درجات الحرارة عن طريق ريميور عام 1734 م كدليل الحاجة الإجمالية للنبات من الحرارة.

وقد بين بوديكو وجود علاقة وثيقة بين مجموع درجات الحرارة النشطة (التي أعلى من 10 م°) والمجموع السنوي لمحصلة الإشعاع. وبالتالي سمحت دراسة توزع مجموع درجات الحرارة النشطة أعلى من 10 م° في الكرة الأرضية إلى ضبط المصادر الحرارية في المناطق المختلفة لأهداف زراعية.

ويستخدم أيضاً للتعبير عن حاجة النبات للحرارة بمجاميع الحرارة الفعالة، وهي عبارة عن متوسطات الحرارة اليومية التي استبعدت منها قيم صفر النمو للمحصول، ويختلف صفر النمو من نبات إلى آخر كما يختلف من مرحلة تطورية إلى أخرى، فمثلاً صفر النمو للقمح 5 م° في المراحل الأولى (حتى استطالة الساق) بينما يأخذ القيمة 10 م° للمراحل الأخيرة بالنسبة للأقماح الطرية و12 م° بالنسبة للأقماح القاسية.

إن صفر النمو في الوقت الحالي معروف بالنسبة لمعظم أنواع النباتات، فمثلاً للذرة قيمته 10 م° وللقطن 12 – 15 م° بحسب الأصناف ولجوز الهند 18 م° .... الخ.

يتم حساب التراكم الحراري النشط بأخذ كامل متوسط الحرارة اليومي إذا كانت قيمته أكبر من 10 م° ويهمل إذا كان أقل. أما التراكم الفعال فيحسب بأخذ الفروقات اليومية بين متوسط الحرارة اليومية وصفر النمو للمحصول خلال المرحلة المدروسة.

الميزان الحراري Heat balance:

يعبر الميزان الحراري للطبقة الفعالة من الأرض عن الحسابات العامة للطاقة في هذه الطبقة. ويقصد بالطبقة الفعالة هي تلك الطبقة التي تتعرض حرارتها لتغيرات يومية وسنوية. ويدخل في معادلة التوازن الحراري للجزء المضيء من الأيام المكونات التالية:

- محصلة الإشعاع Rn.
- التدفق الحراري في التربة G.
- التدفق الحراري في الهواء أو الحرارة الحساسية H.
- صرف الطاقة (الحرارة) على التبخر LE، حيث L حرارة التبخر الكامنة (تساوي تقريباً 2520 x 10^3 جول / كغ)، و E التبخر لفترة حسابية.

إذاً تعتمد معادلة الميزان الحراري على القاعدة الفيزيائية الأساسية **لحفظ الطاقة** Conservation of energy وتصبح بالشكل التالي:

$$Rn = G + H + LE$$

ويمكن حساب أو قياس مكونات معادلة الميزان الحراري كل على حدة. مع الأخذ بعين الاعتبار أن كل الأشعة التي تصل إلى سطح الأرض موجبة (+) وكل الأشعة التي تصدر عن سطح الأرض سالبة (-) والتبخر موجب بينما التكاثف سالب.

ان وحدة قياس الطاقة هي حريرة/ سم^2/ يوم أو لانكلي/يوم، وتعتبر معادلة الميزان الحراري معادلة تقريبية تنطبق على أي فترة زمنية من ثانية حتى مليون سنة حيث تتجاهل هذه المعادلة بعض المكونات التي قد تكون ضرورية ومهمة لمنطقة معينة وزمن محدد.

حرارة الغطاء النباتي:

يمكن أن تكون الحرارة ضمن النباتات غير الحرارة فوقها أو الحرارة في الحقل الخالي من النباتات. إذاً يوجد اختلاف حراري بين المساحات العارية والأراضي المزروعة. فيلاحظ في الزراعات الكثيفة التظليل التام للتربة، وبالتالي تعد طبقة الأوراق العلوية هي الطبقة الفعالة. ولذلك نرى درجة الحرارة العظمى نهاراً في الطبقة العلوية من الأوراق، ويحدث الانقلاب في داخل المزروعات.

وتعتبر طبقة الأوراق العلوية في الليالي الصافية طبقة مشعة، وهي تقوم بتبريد الأوراق المتوضعة في الأسفل بشدة، وعند الصقيع الخريفي تتضرر في الدور الأول.

وإذا كانت درجة تظليل التربة من قبل الغطاء النباتي تشكل أقل من 50%، فإن توزع الحرارة رأسياً في المزروعات يختلف قليلاً عن توزعه فوق الحقل بدون غطاء نباتي. وفي هذه الحالة تعد أعلى طبقة من التربة هي الطبقة الفعالة، ولذلك يسجل الحد الأعلى والحد الأدنى في المسار اليومي للحرارة على سطح التربة. أي أن الغطاء النباتي يختص بمراحل أولية لتطور النباتات أو بزراعات نامية بصورة عمودية من الأوراق الضيقة الموجهة تقريباً والتي تسمح للأشعة الشمسية بالنفاذ بصورة جيدة في ساعات منتصف النهار والإشعاع الحراري ليلاً في الكرة الأرضية.

تختلف النباتات بتركيب أوراقها وتوضعها على الساق ومساحتها واتجاهها الفراغي وارتفاع التوضع... إلخ، وجميع هذه الخواص تؤثر في النظام الحراري للنباتات.

وعند قياس حرارة الهواء في المزروعات والغراس يجب أن تجرى بدون الإضرار بالغطاء النباتي، ولذلك من الضروري الحصول على أجهزة تقيس الحرارة عن بعد ذات قسم مستقبل صغير الحجم. لكن في النباتات ذات السوق الغليظة كعباد الشمس والذرة الصفراء والقنب يستعمل ترمومترات عادية. وتقاس أيضاً درجة الحرارة وسط النباتات بمقياس رطوبة الهواء.

إن حرارة أوراق النباتات التي تقع في الظل تكون قريبة عادة من حرارة الهواء. ودرجة حرارة الأوراق غير الواقعة في الظل عندما تكون السماء صافية تكون عادة أعلى بـ 1-2˚ م من حرارة الهواء. ويستخدم لقياس حرارة الأوراق والهواء ترمومتر كهربائي بآن واحد.

أهمية حساب النظام الحراري للتربة والهواء في الإنتاج الزراعي:

تعتبر حرارة الوسط المحيط أحد العوامل الأساسية في النشاط الحيوي للنباتات والحيوانات. ولذلك فإن قياسها مهم لجميع فروع الإنتاج الزراعي وخاصة إنتاج المحاصيل. ومن أجل توزيع الأصناف والهجن الجديدة من المحاصيل الزراعية يجب معرفة حدود درجات الحرارة التي تسمح بنموها ودرجات الحرارة المثالية للنمو وإنتاج المحصول، ومعرفة مجموع درجات الحرارة الفعالة من بدء الزراعة وحتى النضج ومدى توفرها في ظروف المنطقة.

إن المعطيات عن النظام الحراري للتربة والهواء ضرورية أيضاً لتقدير المواعيد المثلى للزراعة والجني، وتقييم حالة المحاصيل الشتوية والثمرية في فترة الشتاء، وصنع النظام المثالي للاستثمار في البيوت البلاستيكية، وتوزيع المحاصيل المحبة للحرارة في المناطق المثلى التي تؤمن احتياجاتها، وحل سلسلة من المسائل الأخرى.