الفصل الثالث

البيئة الحرارية – درجة الحرارة والمحاصيل

توطئة

يسخن الغلاف الجوي من خلال الطاقة الناتجة عن الأشعة الشمسية . ومن ثم تصبح دراسة توزيع الطاقة هي الوسيلة المناسبة لتحليل مسار الاختلافات الحرارية فوق سطح الأرض. مع الأخذ في الاعتبار ، أن البيئة الحرارية يمكن تتبعها على أكثر من مسار ، ويتم التركيز في هذا الفصل على العلاقة بين البيئة الحرارية ونمو المحاصيل .

مقدمة

يعد إنتاج الغذاء أهم الأنشطة البشرية في جميع أنحاء العالم . ويعتبر إنتاج الغذاء هو النشاط البشري الذي يلعب فيه الطقس والمناخ الدور الأهم، إذ يتحكم كل منهما " الطقس والمناخ " في مدى نجاح أو فشل هذا النشاط البشري " الزراعة ". وفي القرن العشرين ، فإن الطفرة السكانية التي لم يشهدها العالم من قبل قد صاحبها ضغطاً متزايداً على القاعدة الزراعية التي تتولي تغذية سكان الأرض ،.وبالرغم من سنوات الجفاف وبعض أحوال الطقس القاسية التي أدت إلى تدمير المحاصيل الزراعية في بعض أجزاء من العالم ، فإن الإنتاج الزراعي – على الأقل المزارع في العروض الوسطى – قد غطت الاحتياجات المتنامية من الغذاء . إن نجاح الزراعة الحديثة على نطاق واسع بسبب ما حققته من أرباح تجارية نتجت عن استخدام سلالات " فصائل " نباتية جديدة واستخدام الأسمدة والمبيدات الحشرية ، فضلاً عن سيادة المناخيات المعتدلة Mild Climates في أغلب تلك السنوات . هذا، وإن كان من المفترض استمرار التأثير في كمية الإنتاج الزراعي من خلال استخدام التطور الجيني Genetic Development ، وتحسين خصائص التربة " مدخلات التربة Soil Inputs " ، فإنه لا توجد أية ضمانات لاستمرار هذا المناخ المرغوب فيه . ومن ثم يصبح الدور الأهم للمناخيين هو فحص وتحليل العلاقة بين المناخ / الزراعة بكل تفاصيلها وخصائصها بهدف فهم واستيعاب هذه العلاقة مما يساعدهم في الحيلولة قدر المستطاع من تعرض النباتات لإضرار بالغة حينما يحدث تغير مفاجئ وسيئ في المناخ .

أن هناك العديد من العوامل البيئية التي تحدد إمكانية نجاح النشاط الزراعي . وفيما يتعلق ببعض المفاهيم مثل المتغيرات المناخية Climatic Variables، الطاقة المتاحة Available Energy، موارد المياه ، فهي ولا شك من أهمها . وعلى أية حال ، فإن التغير الواسع في الاختلاف في درجة حرارة الهواء هو محور التركيز في هذا الفصل .

الأسس العامة

إن التوزيع غير المتكافئ للطاقة الواصلة للأرض بصفة عامة يؤدي إلى تناقص تدريجي في درجة الحرارة باتجاه عام من خط الاستواء إلى القطبين فيما يعرف بانحدار درجة الحرارة Temperature Gradient .

إن علماء الجغرافية الزراعية Plant Geographer قد تبينوا ذلك الانحدار في درجة الحرارة ، ومن ثم حددوا عدداً من النطاقات التي تضم أنواعاً نباتية مختلفة . وتعد الحدود التي أستخدمها العالم كاندولي وهي تلك التي أعتمد عليها Koppen في تصنيفه المناخي ، وهي على النحو التالي :

مجموعات النباتات الفسيولوجية Physiologic Plant Groups	حدود درجة الحرارة بالدرجات الفهرنهيتية Temperature Limits
Megistotherms الحراريات الشديدة	أكثر من ٨٦° ف (٣٠° م)
Megatherms الحرارة المرتفعة	٦٨-٨٦° ف (٢٠ – ٣٠° م)
Xerophiles الجفافيات	٥٩ – ٦٨° ف (١٥ – ٢٠° م)
Mesotherms المعتدلات	٣٢ – ٥٩° ف (صفر – ١٥° م)
Microtherms القطبيات	أقل من ٣٢ ° ف (أقل من الصفر المئوي)

وسواء إن كان النبات يقع أو لا يقع ضمن هذه النطاقات التصنيفية ، فإنه من المفترض أن كل النباتات لها حدودها الحرارية الحدية " الحرجة " Critical Temperature ، كما أن لها حد أقصى وحد أدنى ، وكذلك حد أمثل تنمو خلاله النباتات بدرجة أسرع . وفي الواقع، فإن مثل هذه الحدود يمكن تحديدها بدقة في

بعض الحالات، وان كان استنتاج مثل هذه الدرجات الحدية (أو حتى الحرارة العادية أو المثالية) لا يعد من الأمور السهلة بسبب:

١ – تؤثر العمليات الفسيولوجية تبعاً لمرحلة نمو النبات بشكل أساسي في الاحتياجات الحرارية .

٢ – تختلف درجة الحرارة الحرجة خلال الفترة الزمنية لنمو النبات .

وبالرغم من هذه الصعاب ، فإنه من الممكن ربط توزيع بعض النباتات بالمعطيات الحرارية . وبما أن بعض النباتات تنمو وتتطور وفقاً لحدود درجة الحرارة ، فإن أي اختلاف سواء بالارتفاع أو الانخفاض عن درجة الحرارة الحرجة يصيب النبات بالضرر.إذ يؤدي الارتفاع الشديد في درجة الحرارة Excessive Heat عند ١٣٠ ف (٥٤ م) إلى تدمير مادة البروتوبلازما ، كما ينتج عن حدوث انخفاض طفيف في درجات الحرارة أضراراً بالنباتات . وإن إصابة النبات بمرض سفع الشمس Sun Scald (احتراق النبات واسمراره بسبب شدة الضوء أو ارتفاع درجة الحرارة) ، على سبيل المثال ، وهو مرض يصيب غالباً الأشجار حينما يتعرض القلب Cambium(هي طبقة من النسيج الخلوي اللين واقعة بين لحاء الشجرة وخشبها وهي المسئولة عن انقسام الخلايا في الظلام) إلى الضرر الشديد مما يؤدي إلى قتلها . وتؤدي مثل تلك الإصابات أو أمراض النباتات إلى سرعة تدمير الأشجار من خلال تدمير أعضاء وخلايا النبات . هذا ويؤدي الارتفاع الشديد في درجة الحرارة إلى إحداث أثار تجفيفية في النبات ، كما أن سرعة فقدان الرطوبة يؤدي إلى ذبول النبات Wilting . وتحت تأثير مثل هذه الظروف ، قد يصبح النبات أكثر سخونة ، وتؤدي عملية النتح إلى حدوث عدم توازن في عملية التمثيل الضوئي Photosynthesis والعمليات الأيضية Metabolic ، وقد يؤدي إلى حدوث حالة عدم التوازنImbalance ، ومع تكرارها خلال فترات زمنية قصيرة واستمرارها لمدة طويلة نسبياً ، فإن ذلك يؤدي إلى موت النبات .

هذا وينتج أيضاً عن انخفاض درجة الحرارة هلاكاً للنبات. إذ يؤدي الانخفاض المفاجئ أو السريع في درجات الحرارة {حتى مستوى التجمد }إلى تجمد الخلايا الحية ، وكذلك تجمد الماء بين الخلايا ، وهكذا يتم سحب الماء من المركبات الكيميائية داخل النبات فيما يطلق عليه Dehydration . هذا، والنباتات التي تنمو عادة في ظروف برودة شديدة، يمكن هي الأخرى أن تتعرض للتلف بفعل الصقيع.

وتؤثر فترات الدفء – حتى ولو قصيرة – خلال الفترة الباردة على النتح Transpiration، ولكن هذه الكمية التي تفقد بواسطة النتح لا يتم تعويضها حتى لو عادت درجة الحرارة إلى انخفاضها مرة ثانية ، وينتج عن ذلك حدوث ما يطلق عليه حروق الشتاء Winter Burn . ويوجد العديد من التأثيرات للبرد الشديد أو الدفء على النبات ، وتتأرجح فيما بين الآثار السلبية للتجوية الميكانيكية بفعل طبقة الصقيع المتراكمة على أسطح النباتات إلى حدوث حريق للغطاء النباتي . وسيناقش هذا الفصل كل تلك التأثيرات بالتفصيل.

ويمكن القول بأن درجة الحرارة تحتل الصدارة فيما يتعلق بوضع حدوداً لتوزيعات الغطاء النباتي ، ويسهل وضع عدد من المفاهيم المناخية التي تتيح وضع الحدود المناخية الدائمة للتوزيعات النباتية . وسيبحث هذا الفصل في الصفحات التالية هذه المفاهيم المناخية ، وكيفية الاستفادة منها في وضع الحدود المناخية للأقاليم النباتية

فصل النمو

تنمو المحاصيل على مدار السنة في مناطق قليلة من العالم . وغالباً ما تضع درجة الحرارة حدوداً جازمة ومحددة لمرحلة النمو فيما يطلق عليه فصل النمو Growing Season . ومن أجل المناقشة، فإن فصل النمو هنا يعادل الفترة التي تخلو من الصقيع، وتمتد من آخر مرة حدث فيها الصقيع خلال فصل الربيع إلى أول ظهور للصقيع مرة أخرى. وتعتبر هذه الفترة البينية ذات أهمية واضحة في الولايات المتحدة الأمريكية لنمو العديد من المحاصيل (مثل القطن على سبيل المثال) التي تعتبر حساسة تجاه الآثار المدمرة لموجات الصقيع . وحينما تنحصر الفترة التي تخلو من الصقيع في ٢٠٠ يوماً، فإن فرصة الحصول على عائد جيد من محصول القطن تعتبر ضعيفة جداً. وينطبق ذلك أيضاً حينما يحدث انحرافاً في الخصائص الحرارية لفصل النمو المناسب لنمو محاصيل زراعية بعينها في جهات متفرقة من العالم. وبناءً على ذلك، فإنه من الأهمية بمكان، أن يتم تحديد تواريخ بداية ونهاية فترات الصقيع وفترات الدفء التي تتخلل موسم تساقط وتكون الصقيع وكيفية تكرارها ومدة استمرارها. وفي ولاية ألينوي ، تعد تواريخ الصقيع مهمة جداً بالنسبة لعملية الزراعة ، ولذا تؤخذ كمثال على أهمية تحديد فترات الصقيع . فمتوسط تاريخ حدوث آخر الصقيع في فصل الربيع هو يوم ١٠ أبريل. ويشير هذا التاريخ (لآخر يوم صقيع في الربيع) إلى أن هناك إمكانية بنسبة ٥٠% لحدوث

الصقيع مقابل ٥٠% أخرى لعدم حدوث الصقيع في ذلك اليوم .وبالمثل تماما ، حينما نذكر أن بداية حدوث الصقيع في أليتوي هو يوم ٢٠ أكتوبر ، مما يعني أن تكراره يمكن أن يحدث بنسبة ٥٠% مقابل عدم تكراره بنسبة ٥٠% أيضا [لأن يوم ١٠ أبريل أو ٢٠ أكتوبر هوتاريخ متوسط لتكرار حدوث الصقيع خلال الشهرين] .

وبوضح ، فإن المزارع لا يستطيع أن يغامر ويعتمد على متوسط ذلك التاريخ الذي يحدد بداية أو نهاية حدوث الصقيع حينما يبدأ عملية بذر البذور وبداية موسم الزراعة الفعلية ، لأنه يحتاج إلى المزيد من المعلومات الدقيقة والتفصيلية لكي يعتمد عليها لوضع جدول زراعته . وهذا ما يمكن الحصول عليه من خلال دراسته لاحتمالية حدوث الصقيع. ولتحديد ومعرفة احتمالات ومواقيت حدوث الصقيع ، فإن ذلك يحتاج إلى تواريخ حدوثه خلال عدد كبير من السنوات المتاحة من خلال الرصد المناخي في المحطات المختلفة ، ثم حساب المتوسط والانحراف المعياري لهذه التواريخ ، وتوضيحها بالرسوم البيانية خاصة التوزيع التكراري للظاهرة .

وقد سبقت الإشارة في الفصل الثاني إلى أن المتوسط أو المعدل لأي قيم يشير إلى الفئة المتوسطة بين القيم، ويتم حسابها بجمع القيم المرصودة وقسمتها على عددها . وعليه فإن قيمة المتوسط Mean أو المعدل Average لا توضح المدى (أكبر وأقل قيمة) بين الظاهرة . وعلى سبيل المثال ، إذا كانت القيم (٥-٦-٧) و(١-٦-١١) فإن كلٍ منهما متوسطها رقم ٦ ، وهو رقم يختلف كثيراً عن القيم الأصلية . وعلى هذا فإن معامل التباين Variability يصبح مفيداً عند مقارنة مجموعتين أو أكثر من القيم لأنه يصف كل فئة بين فئات تلك القيم وصفاً خاصاً بها . ولهذا يستخدم الانحراف المعياريStander Deviation .

مقاييس التشتت Measures of Dispersion

إن مقاييس التشتت لا تعطينا إشارة حول تشتت القيم حول المقاييس المركزية. وفيما يتعلق بالدراسات المناخية ، فإن هذا التشتت يظهر بوضوح في حال حساب المدى range أو الانحراف المعياري Stander deviation. ويمكن الحصول على المدى من حساب الفرق بين أعلى قيمة وأقل قيمة .. وحينما يتم تمثيل أكبر وأقل قيمة مع قيمة المتوسط، تتضح إشارات التباين. وعلى سبيل المثال ، إن المتوسط السنوي لدرجة الحرارة في كيتو Quito، اكوادور Ecuador ، يبلغ ٥٩ ° ف ، بينما يبلغ في ناشفيل Nashville وتينيس Tennessee ٥٩,٥ ° ف . ويبلغ المدى الحراري في كيتو درجة واحدة فهرنهيتية (٥٩,٥-٥٨,٥ ° ف)، وفي المقابل يبلغ المدى في ناشفيل ٤٠ ° ف (٧٩,٠-٣٩,٠ ° ف) .وعلى أية حال ، فإن المدى لا يعكس طريقة توزيع البيانات ، بينما يشرحه بوضوح الانحراف المعياري .

مثال : بيانات تواريخ حدوث أول سقوط للصقيع في إحدى مدن ولاية إنديانا لمدة ١١ سنة على النحو التالي : مجموع القيم $\sum X$= ٣٢٩١ المتوسط الحسابي $\bar{X}$ = ٣٢٩١/١١ = ٢٩٩

مربع الفرق بين القيم عن المتوسط $\sum (X-\bar{X})^2$ = ١٣٥٦

ويتم حساب المتوسط $\bar{X}$، ثم حساب الفرق بين كل قيمة عن المتوسط سواء بالسالب أو الموجب، ثم تربيع مجموع هذا الفرق مع إهمال الإشارات، وأخيراً حساب التباين من المعادلة التالية:

$S^2 = \sum (X_i - \bar{X})^2 / N-1$ حيث N = عدد القيم (١١)

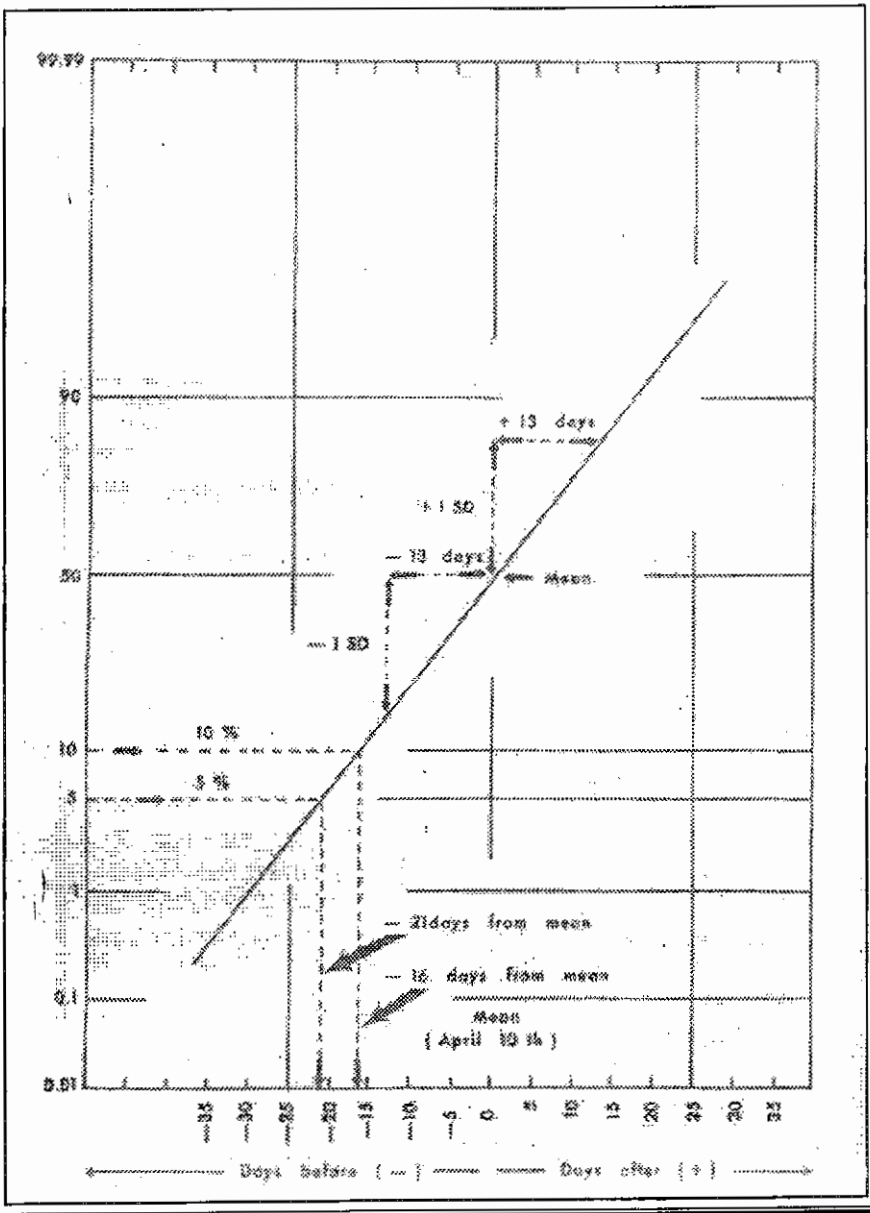
S^2 = التباين = ١٣٥,٦

ثم يتم حساب الانحراف المعياري Sd بالحصول على الجزر التربيعي لقيمة التباين = ١١,٦

ويتضح من قيمة الانحراف المعياري أن ٦٨% من القيم ترتفع أو تنخفض عن قيمة المتوسط، وأن المتوسط يزيد أو يقل عن ضعف الانحراف المعياري في حوالي ٩٥% من القيم.

وعند التطبيق وتحليل النتائج نخلص إلى أنه في تلك المدينة بولاية إنديانا ٩٥% من حدوث أول سقوط للصقيع تقع بين قيمة المتوسط (١١) أو تزيد أو تقل عن ضعف قيمة الانحراف المعياري (١٢) .

شكل (٣-١) رسم بياني مبسط لتوضيح المتوسط والانحراف المعياري



ووفقا لتحليل بيانات التجمد في ولاية أليفي ، حيث كان متوسط آخر يوم حدث فيه التجمد في الشتاء الماضي هو ١٠ أبريل ، وكان تاريخ الانحراف المعياري ١٣ أبريل ، ويشير ذلك إلى أن ٦٨% من بيانات التجمد أنه يحدث خلال الفترة ما بين ٢٨ مارس إلى ٢٣ أبريل (أي ١٣ يوما ± ١٠ أبريل) ، و ٩٥% ما بين ١٥ مارس و ٦ مايو (١٠ أبريل ± ٢٦) .

ويمكن أن تستخدم التواريخ التي يحددها الانحراف المعياري في تقييم احتمالات حدوث التجمد. ويمكن استخدام طريقة التمثيل البياني للاحتمال العاديNormal Probability، وتعد تلك طريقة مفيدة جداً في مثل هذه الحالات. ويوضح شكل (١-٣) الرسم البياني لبيانات التجمد في ولاية أليفي حيث يمثل المحور الأفقي تاريخ حدوث حالات الصقيع، ويمثل المحور الرأسي التوزيع العادي التراكمي Cumulative Normal distribution، ويتم تقسيم هذا المحور الرأسي بنسب مئوية.

إن متوسط تاريخ حدوث الصقيع في فصل الربيع الماضي في ولاية أليفي (١٠ أبريل)، وقد تم تحديده بيانياً على المحور الأفقي . أما الانحراف المعياري (أي رقم ١٣) فيمثل ٦٨% من ذلك التوزيع . وهكذا فإن زيادة قيمة الانحراف المعياري (+١ أي +١٣) يمكن أن يقع في أكثر من ٣٤% بعد المتوسط، وأن انخفاض الانحراف المعياري (-١ أي -١٣) يمكن أن تقع قبل المتوسط بنسبة ٣٤%. ويمكن توصيل تلك النقاط مع خط الاحتمال ومن ثم قراءة القيم . ويمثل خط الرسم البياني ٢٥% احتمالية (أي أن كل نقطة احتمال تكرارها ٤ فرص) أما ٥% تمثل احتمالية (أي أن كل نقطة احتمال تكرارها ٢٠ فرصة) في تاريخ حدوث الصقيع . وباستكمال الرسم البياني يمكن تحديد القيم التالية :

الأيام التي تسبق المتوسط (أقل من المتوسط) والأيام التي تأتي بعد المتوسط (أعلى من المتوسط) واحتمالية حدوثها:

%٧٥	%٥٠	%٢٥	%١٠	%٥
+٩	صفر	-٩	-١٦	-٢١

ويمكن الاعتراض على هذه بالبيانات بأكثر من وسيلة . وعلى سبيل المثال، تحديد تاريخ متوسط التجمد هو يوم ٢٠ أكتوبر، فإن هناك عدد من الفرص يتراوح ما بين ١-١٠ فرصة (١٠%) يمكن أن يحدث فيها التجمد يوم ٤ أكتوبر [المتوسط - ١٦=٢٠-١٦= يوم ٤ أكتوبر)، ولكن هناك ٣ فرص من كل ٤ فرص (٧٥%)يمكن أن يحدث فيها الصقيع يوم ٢٩% (أي المتوسط + ٩ = ٢٠+٩ = يوم ٢٩ أكتوبر)].

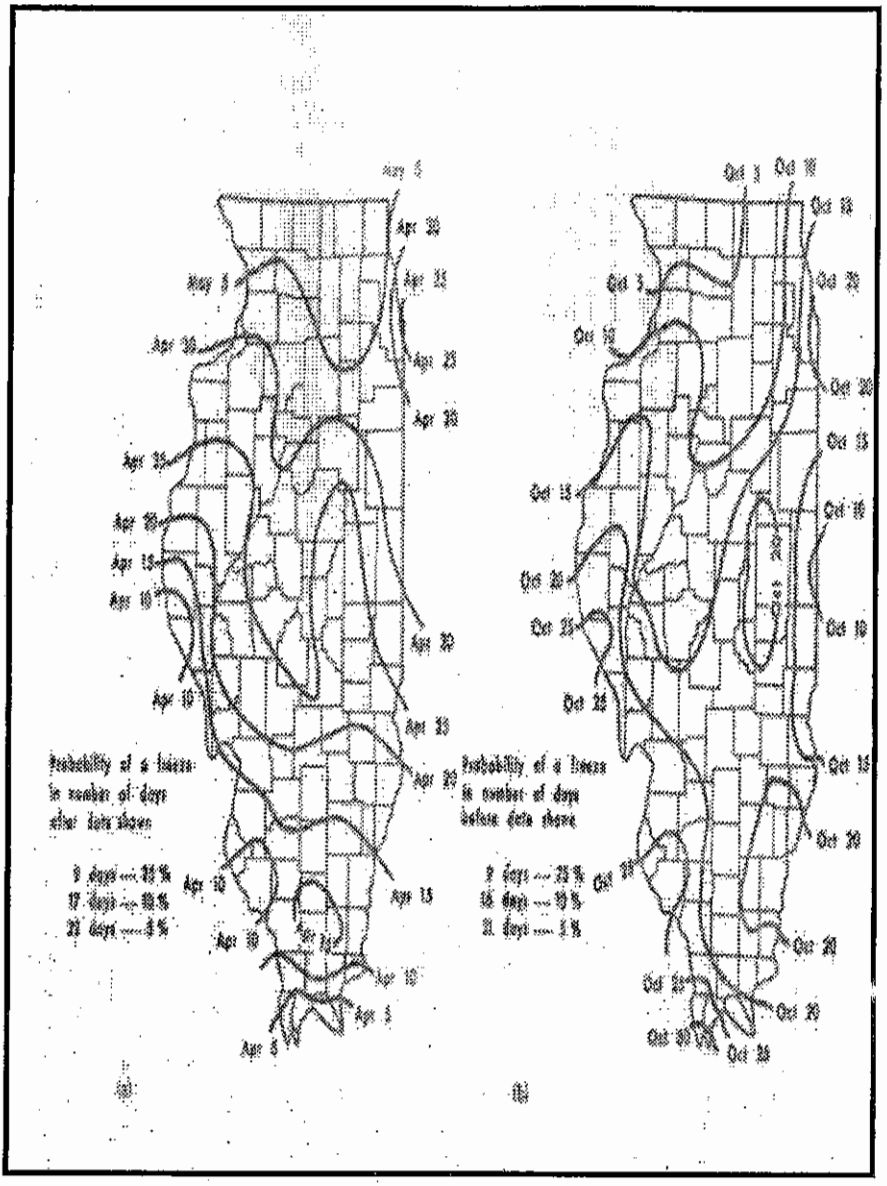
وبتطبيق ذلك التقييم على التجمد وتاريخ احتمالات حدوثه {يمكن الحصول عليها من العديد من الهيئات والوكالات الزراعية Growing Agencies} التي تم تحديدها في الشكل (٣-٢). وبصفة عامة، وكما يتضح في شكل (٣-٣)، أن طول أو مدة فصل النمو Growing Seasonفي غالبية المناطق الزراعية في الولايات المتحدة الأمريكية خلال العديد من السنوات السابقة هي ١٢٠ يوما في ولايات السهول الشمالية Northern Plain States .

أما في الولايات الجبلية Mountain States، فإن طول فصل النمو متغير بوضوح عبر المسافات المحدودة ، ويعكس نماذج شديدة التعقيد . وإن تواريخ (مواقيت) حدوث التجمد الأول والتجمد الأخير على منحدرات الجبال يتدرج بشدة من الشمال إلى الجنوب ، ففي الجزء الشمالي من ولاية كلكتا الشمالية على سبيل المثال ، فإن متوسط التواريخ Average Dates لحدوث الصقيع الأول والأخير تقع في ١٥ سبتمبر و ١ يونيو على التوالي ، ومن ثم تمتد الفترة التي تخلو من الصقيع ١٦٠ يوما .

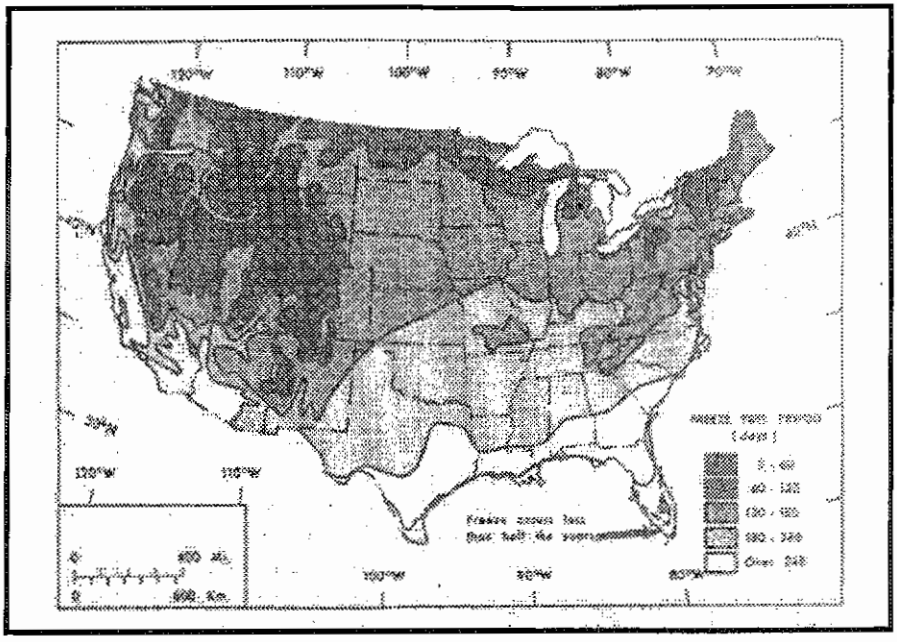
الحدود الحرارية ونمو المحصول Heat Limits and Crop Growth

إن الزراعة في الولايات المتحدة الأمريكية تعد عملاً شديد التنظيم ، إلى درجة ينبغي معها أن تصبح العملية فعالة قدر الإمكان . ولنضرب مثالاً اعتبارياً مثل عبوة حبوب البازلاء في سوبر ماركت . إذ أنه لإنتاج هذه العبوة من حبوب البازلاء بل والملايين منها ، فإن المزارع يجيب عليه زراعتها والاهتمام بها على مدار فصل النمو ، وأن يراعيها حتى تصل إلى مرحلة الحصاد ، ثم يقوم بتعليبها . وقد تظهر بعض المشكلات في أي مرحلة لدرجة لتؤثر سلبيا في الإنتاج . ولنفترض على سبيل المثال ، أن كل مزارع في الساحل الشرقي يزرع البازلاء بمساحات مختلفة في نفس الوقت .

شكل (٣-٢) أ : متوسط التواريخ ب : الصقيع الأول في ولاية أليينوي



شكل (٣-٣) مدة فصل النمو في الولايات المتحدة على اعتبار إنها تتمثل في الفترة الخالية من الصقيع



المصدر : NOAA

وفي وقت الحصاد ، قد يكون عدد المستأجرين للقيام بالأعمال الزراعية غير كافياً ، أو قد تكون آلات الحصاد غير كافية لتحصد البازلاء بتلك المساحات الواسعة في ذات الوقت ، أو قد تكون معامل التعليب غير كافية لاستيعاب إجمالي كمية الإنتاج خلال فترة زمنية محددة . ومن ثم ، يظهر بوضوح ضرورة توزيع العائد الإنتاجي من المحصول على فترة أطول من السنة قدر الإمكان لتفادي الضغط الناتج من ضرورة تجميع وتعليب المحصول من جميع الأراضي الزراعية في جميع الولايات الأمريكية في ذات التوقيت . وهكذا فإن المناخيين يقدمون المعطيات الأساسية والضرورية لجدولة العملية الزراعية برمتها . وأحد أهم هذه المعطيات التي يمكن أن يقدمها علماء المناخ هو استخدام مفهوم الوحدة الحرارية Heat Unit. إذ أن للنباتات احتياجات حرارية لنجاح النمو وهو ما أمكن ملاحظته منذ حوالي ٢٠٠ سنة ماضية . وقد استطاع آبي Abbe سنة ١٩١٦ تطوير هذه الفكرة أو المفهوم لتصبح معبرة عن قيمة محددة . وبشكل أساسي ، فإن نظرية الوحدة

الحرارية Heat Unit Theory تقوم على أساس أن لكل نبات قاعدة حرارية ترتفع أعلى من درجة الحرارة التي تعتمد عليها عملية النمو .

وتعتمد سرعة النمو (معدل النمو) في جزء منها على مقدار درجة الحرارة التي ترتفع فوق ما يمكن اعتباره صفر النمو أو قاعدة النمو، ويمكن التعبير عنها في أيام درجة النمو. وهكذا ، إذا كان للمحصول قاعدة حرارية أساسية تبلغ ٤٢ ف (٥,٦ م) ، ويبلغ المعدل اليومي لدرجة الحرارة ٥٠ ف (١٠ م)، فعندئذٍ يتم تجميع درجة الحرارة خلال ٨ أيام . وأن مقدار درجة الحرارة الذي يرتفع لأكثر من درجة الحرارة على مدار الأيام التي ترتفع فيها درجة الحرارة فوق (٥,٦ م) لتعبر في مجملها عن ما يطلق عليه " حرارة أيام النمو الناجح Growing Degree Days Successive " . ويكون الناتج الإجمالي عند نضج المحصول وهو ما يطلق عليه " معامل البقاء Remainder Index أو المجموع الثابت Summation Constant" . ويعد ذلك بالطبع ، أبسط مفهوم لكون عدد الأيام الافتراضية Number of Assumptions يتضمن (أ) : قيمة المتوسط اليومي لدرجة الحرارة نهاراً وليلاً ولهما نفس الأهمية ، أما (ب) : وتعني نمو النبات وتطوره بسرعة ثابتة خلال فصل النمو ، أما (ج) : وتعني أن الرطوبة الكافية متاحة دائماً ، أما (د) : فتعني أن المعامل لا يؤخذ أو لا يحسب في أثناء تغير فترة التمثيل الضوئي ،وكذلك ساعات الشروق المتغيرة بتغير دوائر العرض والارتفاع فوق سطح البحر . هذا وللتغلب على تلك الاعتراضات ، فإن هناك عدداً متزايداً من الأبحاث المستمرة . وعلى أية حال ، فإن أيةٍ منها لم يحقق أي تحسن ، بينما يبقي المعامل على اعتبار كونه يقدم مؤشراً جيداً وعادلاً لفترة خصوبة النبات . وقد ظهرت أهمية مفهوم الوحدة الحرارية وأهميتها من خلال عدد من المؤسسات التجارية والزراعية. وقد أوضح كلٍ من هولمز Holmes وروبرتسون Robertson فاعلية بعض العناصر وأهميتها ومنها مثلاً ، معدل الإنبات ، وجدولة المحاصيل وغيرها وصولاً لعملية التعليب . وقد لاحظ المؤلف أنه من الصعب زراعة سلسلة من الزراعات المتعاقبة بحيث تتوالى مراحل الإثمار والنضج على فترات متلاحقة. وبما أن نجاح مراحل الزراعة تتناسب مع الوحدات الحرارية المتجمعة، فإنه من المتوقع أن يتم الحصاد بشكل منظم وآمن. وعلى سبيل المثال ، إذا كانت الطاقة الاستيعابية لمصانع تعليب البازلاء تعادل إنتاج هكتار يومياً ، فإن وقت الحصاد قد بات معروفاً من خلال وحدات الحرارة المتجمعة يومياً ، وعندئذٍ

فإن الزراعة يجب أن تتناسب مع الواحدات الحرارية المتجمعة في الربيع . وفي حالة ما إذا كانت الوحدات الحرارية المتجمعة يومياً عند الحصاد قد بلغت ٣٠ وحدة ، وأن الطاقة الاستيعابية للتعليب في وقت الحصاد تبلغ ٦٠ هكتار يومياً ، فعندئذٍ تصبح النسبة بين الحرارة المتجمعة في وقت الحصاد وعدد الهكتارات التي يتم حصادها يومياً هي ١:٢(٣٠:٦٠) . وبناءً عليه ، وبعد تجميع كل وحدة حرارية في وقت الزراعة ، فإنه يقابلها هكتارين يجب زراعتهما ، وعند توفر ١٠ وحدات حرارية متجمعة فإنه يجب زراعة ٢٠ هكتاراً ، وهكذا . وينبغي أن ينعكس هذا الالتزام القاطع بهذا المعدل في لعملية الزراعية بحيث يلزم بتأجيل الزراعة خلال فصل الربيع البارد ، وفي هذه الحالة ، فإن عدد أكبر من الهكتارات يجب زراعتها لتزيد عن الوحدات الحرارية المتجمعة . ويمكن بهذه الوسيلة التنبوء بالوقت التي تصل خلاله مصانع التعبئة إلى حد الانتفاخ .

جدول (٣-٢) حساب الوحدات الحرارية – حساب الحرارة المجتمعة
Accumulated Degree

ويتم حساب الحرارة المتجمعة من المعادلة التالية :

$D = N\,[\sigma\sqrt{N}\,(t-b)+L$ حيث : D = درجة الحرارة المتجمعة

N = عدد أيام الشهر t = المعدل الشهري لدرجة الحرارة بالدرجات الفهرنهيتية

B = درجة الحرارة الأساسية للنبات Plant Base Temperature $=\sigma$ الانحراف المعياري

L = معامل احتمال قيمة H

قيمة $H = \frac{(t-b)}{\sigma\sqrt{N}}$

مثال(أ) : محطة فورت يوكن Fort Yokon في ولاية ألسكا كانت بيانات شهر مايو على النحو التالي:

$D = ٣١\,(٤٣,٤-٤٢,٠)+٠,١٦(١٩,٤٩)=١٤٠$

أي ١٤٠ درجة حرارة يومية وبإجمالي فصلي يبلغ = ١٧٥٥ درجة حرارة بالدرجات الفهرنهيتية

مثال (ب) : أوتاوا في كندا كانت بيانات شهر مايو على النحو التالي :

$$D = ٣١ (٥٤,٧ - ٤٢,٠) + ٠,٣ (٥,٥٦) = ٣٩٤$$

أي ٣٩٤ درجة حرارة يومية وبإجمالي فصلي يبلغ = ٣٤٣٢ درجة حرارة بالدرجات الفهرنهيتية

ويتطلب الحصول على قيمة الوحدات الحرارية، عملاً متواصلاً لتطبيق ببيانات المعادلة وحساب الحرارة اليومية المتجمعة على مدار عدة سنوات. ولمحاولة التغلب على تعقيدات تلك الحسابات ، وضع العالم ثوم Thom ١٩٥٤ معادلة لدرجة الحرارة الشهرية المتجمعة على أساس أنها هي المدخل الرئيس. والمعادلة التي أقترحها ثوم على النحو التالي : [$D = N [\sigma \sqrt{N}(t-b)+L$]

وقد أتضح من قبل تفاصيل هذه المعادلة. وبتطبيقها نحصل على درجة الحرارة المتجمعة للنبات فيما يزيد عن درجة الحرارة الأساسية للنبات على مدار الشهر، ثم تحسب خلال فصل النمو، ليتم تجميعها لتعبر عن الوحدات الحرارية المتاحة للنبات خلال فصل النمو.

تغير درجة الحرارة وإنتاج الحبوب

قد سن الكونجرس الأمريكي في عام ١٩٧٨ القانون رقم ٧٥ ضمن القانون العام ٩٥ – ٣٦٧ ، وقد نشر هذا القانون المعنون بفهم وتنظيم السياسة المناخية وبرامجها A Comprehensive and Coordinated Climate Policy and Program . وقد أبرز هذا القانون أحد أهم المفاهيم التي يجب أن تأخذها الحكومة الأمريكية في الاعتبار وتوليها الاهتمام والدراسة الواجبتين ألا وهي التغير المناخي .

وقد يبدو مستغرباً أن البرنامج الحكومي يجب أن يتعامل مع جوانب وموضوعات بحثية ظلت لفترات طويلة محل اهتمام الباحثين الأكاديميين فقط . وعلى أية حال ، وفقاً للمعطيات التكنولوجية التي يعيشها المجتمع المدني حالياً ، فقد

بدا واضحا أن تعديل المناخ الذي نعتبره من الأمور العادية يمكن أن يصبح ذو أهمية عظمى وعلى درجة عالية من الأهمية والخطورة على حدٍ سواء . وقد ظهر ذلك جلي من خلال سلسلة الأزمات الاقتصادية والمعاناة البشرية التي حدثت خلال شتاء ١٩٧٧/٧٦ حينما حدث "التجمد الكبير Big Freeze"، وكذلك خلال شتاء ٧٨ / ١٩٧٩ الذي تميز بالثلوج الكثيفة . وهناك العديد من التوقعات التي وصفت بدقة تأثيرات هذين الشتاءين{ كما سيتضح لاحقا في الفصل الرابع الذي سيعرض بعضها بشيء من التفصيل} . إن تصنيف المناخ القاسيSevere Climate في سياق هذا المحتوى يهدف للتنويه بأن تغير المناخ لم يمثل في ذلك الوقت بؤرة الاهتمام حيث لم يركز في ذلك الفصل على حدوث ذوبان في كتل الجليد البحري أو الجليد القاري.

وعند الأخذ في الاعتبار، أن إل ٤٠ سنة الماضية قد شهدت نمواً مطرداً في عدد سكان العالم ،فقد حدث أيضاً ارتفاع ملحوظ في قدرة المزارع على تلبية الاحتياجات الغذائية لعدد هائل من البشر . وعلى الرغم من كون ذلك يتطلب إضافة كميات ضخمة من الأسمدة وما يتبعها من ارتفاع إنتاجية الأراضي من المحاصيل التي ترتبط بالأحوال المناخية السائدة ، فإن الفرق بين المحصول الوفير Bumper Crop والمحصول الهزيل Mesger Crop دائماً ما يرتبط بالاختلافات في أحوال الطقس .

هذا، وتبدو اختلافات الطقس المؤثرة في إنتاج الغذاء بوضوح في التغير الواسع في الإنتاج الزراعي الروسي حيث يرتبط نقص إنتاج الحبوب بالأحوال الجوية مما يؤدي إلى تزايد الضغط على استيراد الحبوب من الدول المجاورة . وفي الهند وباكستان، قد حدث تأخراً محدوداً في وصول أمطار الرياح الموسمية، ويعني ذلك مسألة حياه أو موت بالنسبة للآلاف من السكان. وحينما يستمر هذا الشذوذ سنة تلو الأخرى، لدرجة يصبح معها هذا الشذوذ هو القاعدة المتحكمة، يصبح شبح تغير المناخ محل الاهتمام الأكبر. وهناك دليلاً واضحاً على النتائج المدمرة لتغير المناخ لتستحوذ على التركيز والاهتمام الأكبر وتشغلنا عن بحث إمكانية حدوث عصر جليدي آخر وتقدم الثلاجات الجليدية لتغطي مساحات قارية جديدة ، وكذلك بالنسبة للدفء المتزايد الذي قد يذيب الغطاءات الجليدية ، وارتفاع مستوى البحر ، وغمر الأراضي الساحلية . وبعيداً عن مثل هذه الأحداث ، فإن الإخفاقات الزراعية قد تقود إلى انتشار واسع للجماعات . وتشير مواد القانون العام رقم (٩٥- ٣٦٧) إلى أن "

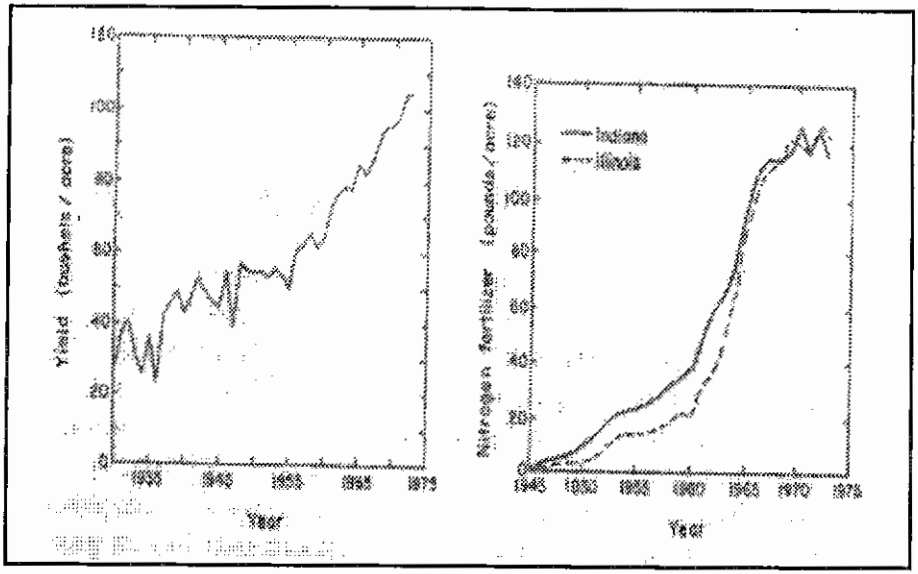
تغير الطقس والمناخ يؤثران في إنتاج الغذاء Weather & Climate Change Affect Food Production، وهذا هو محل الاهتمام الأكبر في هذه المادة من القانون ، خاصة فيما يتعلق بإنتاج الحبوب . هذا ،ويعد السؤال الأهم هنا هو كيف لتغير درجة الحرارة أن يؤثر في إنتاجية الحبوب ؟ ولنأخذ مثالاً على اتجاه درجة الحرارة العالمي نحو التبريد ، فإن ذلك يشير إلى حدوث تغير في الانحدار الحراري Temperature Decline، وربما لا يعد ذلك صحيحاً . أما مخاطر الانحدار الحراري في كمية محصول القمح والذرة في أمريكا الشمالية ، فهو بمثابة نموذجاً صارخاً على هذه العلاقة .

التأثيرات في حزام الذرة في الولايات المتحدة الأمريكية

يرتبط نطاق الذرة في الولايات المتحدة الذي يضم أوهايو ، أنديانا ، أليوي ، وايوا بالمعدل الصيفي لدرجة الحرارة حيث يبلغ ٢٢,٢ °م لشهر يونيو ، ٢٤,٤ °م لشهر يوليو ، ٢٣,٣ ° م لشهر أغسطس . ويبلغ المعدل اليومي لدرجة الحرارة المثالية ٢٢,٢ ° م حيث يرتبط بأعلى إنتاجية لمحصول للذرة ، خاصة مع توفر كمية مطر كافية ، وترتفع إنتاجية الذرة حينما يحدث انخفاضاً طفيفاً في درجة الحرارة اليومية عن ذلك المعدل . ويتراوح المدى المثالي لفصل الصيف بين ١٠ – ٣٠ ° م .

هذا، وبالطبع لا تسود درجة الحرارة المثالية طوال شهور الصيف، إذ أن الطقس الصيفي قد يتغير تماما. إذ أتضح أن محصول الذرة يختلف من سنة إلى أخرى اعتماداً على الظروف السائدة . ويوضح شكل (٣-٤) اتجاه إنتاج محصول الذرة خلال الفترة ١٩٣٠/١٩٧٥ في نطاق حزام الذرة . ويعكس هذا الشكل الزيادة المطردة في محصول الذرة خلال هذه الفترة الزمنية . وتعكس هذه الزيادة تأثير العوامل التكنولوجية خاصة فيما يتعلق بالزيادة في كمية الأسمدة النيتروجينية . وفيما يتعلق بإنتاجية محصول الذرة ، يتضح تأثير عاملين ، الأول : الزيادة المطردة بسبب المدخلات التكنولوجية ، والثاني : الاختلاف من سنة إلى أخرى في اتجاه زيادة المحصول كنتيجة لاختلاف الطقس . وتعكس ذروة الزيادة في المحصول الظروف المثالية بينما يقابلها حدوث الانخفاض في كمية المحصول نتيجة لظروف الطقس غير المناسبة للذرة .

شكل (٣-٤) الاتجاه الصاعد في إنتاجية الذرة نتيجة التوسع في استخدام الأسمدة النيتروجينية في حزام الذرة في ولايات أنديانا ، ألينوي



المصدر: Thompson, ١٩٧٥

ولنفترض مثلاً ، أن معدل درجة الحرارة الصيفي في حزام الذرة قد أنخفض درجة واحدة مئوية بحلول عام ٢٠٠٠. وحين نعترف بحقيقة كون الظروف المثالية للنمو هي أكثر برودة من درجة الحرارة الفعلية ، فإن ذلك يستدعي أن نعترف بأن انخفاضاً في درجة الحرارة سيكون تأثيره إيجابياً في محصول الذرة . هذا وعلى أية حال ، تعد هذه صورة مبسطة لأن انخفاض الحرارة في هذا النطاق الواسع للذرة يعكس بالضرورة حدوث بعض التغيرات في نماذج دورة الغلاف الجوي ، وقد ينعكس هذا في تغيرات طقسية أوسع . وهكذا تصبح تغيرات الطقس مسؤلة عن تغيرات في المحصول ، ومن ثم فإن الآثار الناجمة عن ذلك قد تكون سلبية فيما يتعلق بإنتاجية الذرة .

وبناءً عليه ، فإن القياس على تلك الظروف والتأثيرات المستقبلية لتغير المناخ لا يمكن أن تكون مؤشراً فعلياً لما قد يحدث في المستقبل حينما تحدث بالفعل تلك التغيرات الافتراضية في الطقس والمناخ .

إن العلاقة بين درجة الحرارة وإنتاجية القمح الربيعي، قد حظيت باهتمام أدنى مقارنة بالذرة فيما يتعلق بارتباط الإنتاجية بدرجة الحرارة. هذا ويشير منحنى العلاقة إلى زيادة محصول القمح بمعدلات مختلفة مع ارتفاع درجة الحرارة حتى تبلغ حداً معيناً ، أما بعد ذلك ، فإن ارتفاع درجة الحرارة لأعلى من ذلك الحد يتبعه تناقصاً في محصول القمح .

وعند مقارنته بمحصول الذرة ، فإن إنتاجية القمح في نطاق السهول الوسطى في الولايات المتحدة الأمريكية وكندا لاتظهر زيادة واضحة في المحصول نتيجة الزيادة في استخدام الأسمدة كما أتضح من قبل بالنسبة لمحصول الذرة . ويشبه القمح الربيعي الذرة في كونه يرتبط بشدة باختلافات الطقس، وتحديداً، فإنه يتأثر بوضوح بحدوث انخفاض طفيف في درجة الحرارة في أثناء فصل النمو. وفي الواقع ، قد قدر ثومبسون Thompsonوآخرون الآثار التي يتعرض لها محصول القمح الربيعي تحت تأثير الظروف المختلفة . وتشير البيانات التالية إلى التأثيرات في محصول القمح الربيعي Spring Wheat في ثلاث ولايات أمريكية عند تقدير انخفاض درجة الحرارة مع ثبات حدود المطر الكافية للمحصول على النحو التالي :

التغير في درجة الحرارة	التغير في معدل كمية محصول القمح الربيع صاع / هكتار		
درجة مئوية	داكوتا الشمالية	داكوتا الجنوبية	كانساس
٢,٠°م−	١,١٨+	٠,٤٧+	١,٤٤+
١,٠°م−	٠,٦٨+	٠,٨٧+	٠,٧٤+
٠,٥°م−	٠,٣٦−	٠,٤٧+	٠,٣٧+
الإجمالي	٢٥,٠	٢١,١	٢٥,٩

وتشير أحد التوقعات إلى أن تأثير التبريد في درجة الحرارة سيؤدي إلى زيادة الإنتاجية من محصول القمح الربيعي . ولسوء الحظ ، فإن النتائج غير مبشرة كما أتضح من قبل . أما فيما يتعلق بالذرة فإنه قد كان متوقعاً أن انخفاض درجة الحرارة − في حالة عدم حدوث أي عوارض أخرى− يؤدي إلى زيادة الإنتاجية ، ولكن ذلك لم يحدث فعلياً حيث يمكن أن تحدث عوارض أخرى ، ومن ثم تصبح التغيرات أوسع من كونها تغير في درجة الحرارة . وعند تحليل بعض الشكوك

والعوارض المرتبطة بتغير أحوال الطقس السائدة وتأثيرها في القمح، فقد يتبع ذلك حدوث انخفاض في إنتاجية القمح.

وهناك عامل شديد الأهمية ، ولم يؤخذ في الاعتبار على كونه عاملا مؤشرا ، ألا وهو انخفاض درجة الحرارة خلال موسم نمو القمح الربيعي ، فضلا عن العلاقة بين درجة الحرارة وطول فصل النمو . وتؤدي درجات الحرارة الأبرد بالضرورة إلى تزحزح نطاق القمح الربيعي الكندي نحو الجنوب . وهكذا ، للمرة الثانية ، فإن التوقعات المرغوبة تنتفي في الواقع مع التأثيرات السلبية ، وأنه حتى الآن لا يمكننا التنبوء بكيفية ومستوى الإنتاج مستقبلا . ووفقا لهذا ، فإن الأبحاث الحديثة تتوجه نحو المناخ الذي يعد مجالا غاية في الأهمية والديناميكية أيضا .

وهنا ينبغي التنويه، إلى أن تأثير تغير درجة الحرارة في كمية إنتاج الذرة والقمح في أمريكا الشمالية، ليس تأثيرا سلبيا في مجمله، وكذلك بالنسبة لمناطق أخرى من العالم وبالنسبة لمحاصيل أخرى. ولأهمية هذا الموضوع فسوف يدرس بالتفصيل فيما بعد .

إن العلاقة بين درجة الحرارة وإنتاج المحاصيل قد تم استيعابها وتحليلها منذ سنوات طويلة ماضية. وبالرغم من الدراسات الحديثة التي تركز على العلاقة الارتباطية بين الطاقة / الإنتاجية ، فإن درجة الحرارة هي العامل الأكثر فاعلية في هذه العلاقة . وقد اتضحت أهمية العلاقات المناخية الزراعية Agroclimatic Relationships خاصة فيما يتعلق بطول فصل النمو، والتخطيط لحصاد المحاصيل.

وفيما يتعلق بالاهتمام الراهن، فإنه ينصب على مدى مساهمة التغير في المناخ وتأثيراته في إنتاجية المحاصيل. وهناك ضرورة لإجراء العديد من الدراسات والأبحاث عن البرودة الطفيفة وتأثيراتها في تحديد مدة فصل النمو، فضلاً عن إنتاجية محصول الذرة ومحصول القمح في الولايات المتحدة.

هذا ، وينبغي التوصية بضرورة توجيه المزيد من الدراسات نحو المناخ الزراعي Agroclimatology ، ودراسة التأثيرات الفصلية للطقس في الإنتاجية ، ودور الطقس والمناخ وتأثيراتهما في ضوء تطور الاستخدامات التكنولوجية ، وتقدير التغير المحتمل في المناخ وتأثيره في إنتاجية المحاصيل على أن يتسع ذلك لمسافات واسعة من العالم ولعدة محاصيل متنوعة .