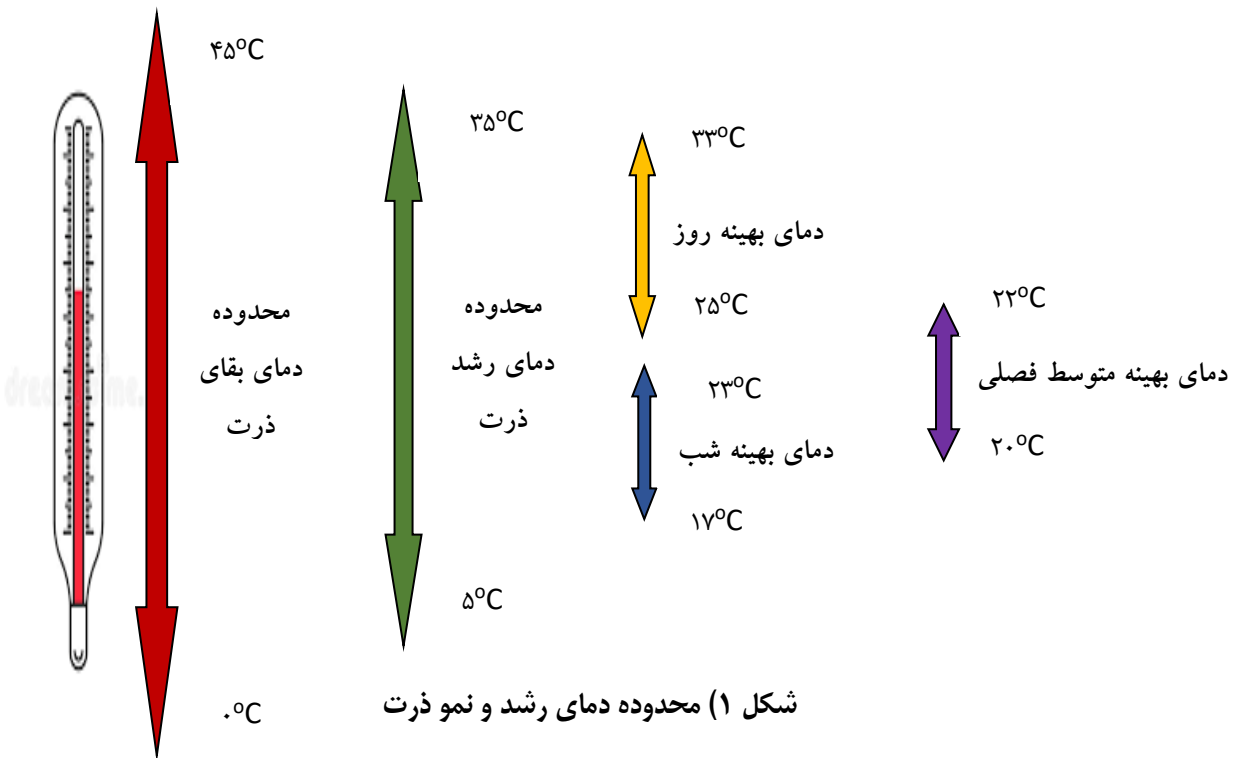




شرکت توسعه کشت ذرت

نیاز حرارتی ذرت

ذرت در مع محدوده دمایی بین صفر درجه سانتیگراد تا بیش از ۴۵ درجه سانتیگراد می‌تواند زنده بماند. محدودیت‌های رشد ذرت با شروع درجه حرارت نزدیک به ۵ درجه و تا نزدیک به ۳۵ درجه سانتیگراد تا حدودی کمتر است. در ذرت دمای مطلوب برای رشد بین روز و شب و همچنین کل فصل رشد متفاوت است. به عنوان مثال، در ساعات روشنایی روز، محدوده مطلوب بین ۲۵-۳۳ درجه سانتیگراد است در حالی که درجه حرارت مطلوب شب بین ۱۷-۲۳ درجه سانتیگراد است. با این حال، متوسط دمای مطلوب برای کل فصل رشد محصول بین ۲۰-۲۲ درجه سانتیگراد است. این روابط در شکل ۱ نشان داده شده است.



ذرت در خاک حدود ۱۰ درجه سانتیگراد جوانه زده و رشد می‌کند، اما تاریخ کاشت بهاره معمولاً زمانی شروع می‌شود که میانگین دمای هوا به ۱۲ درجه سانتیگراد برسد و دمای خاک در عمق بذر برای رشد گیاهچه مناسب باشد. خلاف تصور معمول، بیشترین خطر کاشت زودرس، جوانه زنی ضعیف ناشی از دمای زیر نرمال است و نه یخزدگی گیاهچه. متداول ترین تنش تحمیل شده در این زمان، دمای سرد خاک است. زیرا نقطه رشد در زیر سطح خاک باقی بوده و تا چند روز پس از ظهور گیاهچه از آسیب مصون هستند. البته در این زمان، احتمال دمای یخبندان نیز بسیار کم است.

تنش گرمایی در هنگام تشکیل بلال، تلقیح و پر شدن دانه در بلال به طور معمول برای تولید ذرت مضر است. در شرایط عدم آبیاری ذرت (دیم)، معمولاً هنگامی که درجه حرارت هوا از ۳۲ درجه سانتیگراد در طی مراحل تاسل دهی و پر شدن دانه بیشتر شود، تنش گرمایی شروع میشود. بازده حداقل و حداکثر دمای آستانه در مراحل مختلف رشد و نمو ذرت در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول (۱) آستانه دمایی مراحل مختلف رشد ذرت در شرایط غیر تنش آبی

| مرحله رشد | آستانه دمای حداقل (°C) | آستانه دمای حداکثر (°C) | علائم |
|---------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| کاشت تا ظهور گیاهچه | ۱۰ ± ۲.۲ | ۴۰ ± ۲.۱ | کاهش شدید سرعت رشد |
| کاشت تا تاسل دهی | ۹ ± ۲.۷ | ۳۹ ± ۰.۶ | رشد غیر طبیعی تاسل |
| گرده افشانی | ۸ ± ۰.۵ | ۳۷ ± ۱.۴ | گرده افشانی ناموفق |
| پر شدن دانه | ۸ ± ۲ | ۳۶ ± ۱.۴ | کاهش تولید نشاسه و قند |
| کل دوره رشد ذرت | ۶ ± ۱.۱ | ۴۲ ± ۳.۳ | بازدهی کم گیاه |

درجه روز رشد

از نظر تاریخی، برای طبقه بندی رسیدگی هیبرید ذرت از تعداد روزهای کاشت تا برداشت استفاده شده است. اما در سالهای اخیر، رسیدگی بذور هیبرید ذرت اغلب توسط درجه روز رشد (GDD) یا واحدهای گرمایی ذرت (CHU) تعیین می‌شود. مفهوم درجه روز رشد از تجمع میانگین دمای روزانه منهای دمای پایه ذرت (۸ درجه سانتیگراد) حاصل می‌شود.
در این مفهوم:

* یک دمای پایه وجود دارد که کمتر از آن گیاه ذرت رشد نمی‌کند و یا رشد آن خیلی کند است.

* با افزایش دما از دمای پایه، سرعت رشد ذرت افزایش می‌یابد.

به عنوان مثال، اگر متوسط درجه حرارت روزانه در یک منطقه در نیمه اردیبهشت ماه و زمان کشت ذرت، ۲۰ درجه سانتیگراد باشد (میانگین دمای ۲۰ برابر با ۲۵ درجه دمای حداکثر و ۱۵ درجه دمای حداقل تقسیم بر ۲)، بنابراین، ۲۰ منهای ۸ درجه (دمای پایه) = ۱۲ درجه روز رشد برای ذرت در این روز در نظر گرفته می‌شود.

اگر در همین منطقه در نیمه مردادماه که میانگین دما گرم‌تر و در حدود ۳۴ درجه (میانگین دمای ۳۴ برابر با ۴۴ درجه دمای روز و ۲۴ درجه دمای شب تقسیم بر ۲) باشد. بنابراین، ۳۴ منهای ۸ درجه (دمای پایه) = ۲۴ درجه روز رشد برای ذرت در این روز وجود دارد. از نظر درجه روز رشد، میزان رشد ذرت در این منطقه در نیمه مرداد نسبت به نیمه اردیبهشت، دو برابر بیشتر است زیرا در نیمه اردیبهشت ۱۲ درجه روز رشد و در نیمه مرداد ۲۴ درجه روز رشد ثبت شده است. البته فرمول درجه روز رشد ذکر شده در بالا به صورت ساده بیان شده و برای محاسبه درجه روز رشد ذرت در یک منطقه مراحل رشد ذرت طی می‌شود. با آگاهی از میزان درجه روز رشد ذرت میتوان مراحل کاشت تا برداشت را در هر منطقه پیش بینی و برنامه ریزی نمود. سازمان خواربار جهانی دامنه درجه روز رشد کلی برای انواع ذرت را به صورت جدول ۲ ارائه نموده است.

جدول ۲) مقدار درجه روز رشد مراحل رشد ذرت بر اساس اطلاعات فائو

| | |
|------------------------|---|
| زمان کاشت تا جوانه زنی | ۶۰ تا ۱۰۰ درجه روز رشد (GDD) |
| زمان کاشت تا شروع پیری | کاشت تا جوانه زنی + ۱۱۵۰ تا ۱۵۰۰ درجه روز رشد |
| زمان کاشت تا رسیدگی | کاشت تا جوانه زنی + ۱۴۵۰ تا ۱۸۵۰ درجه روز رشد |
| زمان کاشت تا گلدهی | کاشت تا جوانه زنی + ۶۰۰ تا ۹۰۰ درجه روز رشد |
| طول دوره گلدهی | ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه روز رشد |
| دمای پایه ذرت | ۸ °C |

تاثیر گرمایش زمین بر عملکرد ذرت

نزدیک به ۲۰ درصد از کالری دریافتی جهانی از منابع غذایی مختلف را ذرت تأمین می‌کند. علاوه بر این، ذرت به یک کالای مهم صنعتی تبدیل شده است. با این وجود وقوع دمای بالا و پایین در طول دوره رشد پایداری عملکرد گیاه ذرت را تهدید می‌کند. تغییرات آب و هوایی و گرمایش زمین، می‌تواند عملکرد جهانی ذرت و کیفیت دانه را کاهش دهد. زیرا ذرت برای عملکرد مطلوب به دمای مطلوب نیاز دارد. گیاه ذرت به تنش گرمایی بیش از ۳۰ درجه سانتیگراد برای مدت طولانی حساس بوده و تنش گرمایی طولانی مدت موجب کاهش شدید عملکرد دانه می‌شود. یکی از همه گیرترین تأثیرات تغییرات اقلیمی، افزایش دمای کره زمین است. اکثر قریب به اتفاق گزارش‌ها نشان داده‌اند که استرس گرمایی ناشی از افزایش دما بیش از هر چیز باعث کاهش عملکرد جهانی محصولات عمده غذایی می‌شود. تلاش برای درک بهتر مکانیسم‌های تنش گرمایی در محصولات زراعی و اقدامات جهانی برای کاهش اثرات منفی آن بر عملکرد محصولات آغاز شده است. زیرا فقط یک درجه سانتیگراد افزایش در دمای متوسط فصلی می‌تواند عملکرد اقتصادی محصول ذرت را ۳ تا ۱۳ درصد کاهش دهد.

درجه حرارت بالا در مراحل مهم رشد ممکن است کیفیت دانه‌های ذرت را نیز کاهش دهد. تلقیح حساس‌ترین مرحله به دمای نامناسب است. نوسان از دمای مطلوب باعث ایجاد تنش قابل توجهی در میزان عملکرد دانه می‌شود. به طور کلی استرس گرمایی بر روی ماندگاری گرده‌ها و گرده پذیرگی ابریشم تأثیر منفی می‌گذارد، که منجر به کاهش قابل توجهی در تعداد دانه و عملکرد اقتصادی می‌شود.

آب و دما بر بسیاری از فرآیندهای محصول به طور همزمان از رشد، توسعه، فتوسنتز، تنفس، تعرق، پر شدن دانه و چرخش مواد مغذی تأثیر می‌گذارند. میزان درجه حرارت زیاد یا تنش خشکی به مرحله محصول نیز بستگی دارد. برخی مطالعات نشان داده است که در دوره بحرانی پر شدن دانه، عملکرد ذرت در صورت عدم آبیاری مناسب ممکن است تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در روز، با درجه حرارت ۳۵ درجه سانتیگراد یا بالاتر کاهش یابد (جدول ۳).

جدول ۳) تاثیر تنش گرمایی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد ذرت دانه‌ای

| منطقه / کشور | کاهش عملکرد (%) | دما (°C) | مرحله رشدی |
|--------------|-----------------|----------------------------------|--------------------|
| آمریکا | ۱۳٪ | ۶°C بیش از دمای متوسط برای ۳ روز | ابریشم دهی |
| چین | ۳۱٪ | ۳۵°C | پر شدن دانه |
| آرژانتین | ۱۰ تا ۴۵٪ | ۳۳ تا ۳۶°C | قبل و بعد از گلدهی |
| چین | ۱۴ تا ۱۷٪ | ۳۸°C تا ۳۰°C برای ۱۵ روز | تاسل دهی |
| کمر بند ذرت | ۱۰٪ | ۲۸ تا ۳۲°C | پر شدن دانه |
| آفریقا | ۱ تا ۱۰۷٪ | هر ۱°C بالای ۳۰°C | مراحل زایشی |

اما یک بعد نسبتاً کمتر شناخته شده گرمایش زمین، کاهش عملکرد ناشی از افزایش دمای حداقل (دمای شب) است. زیرا یک افزایش نامتقارن در روند گرم شدن زمین موجب شده دمای شب ۱.۴ برابر دمای روز افزایش یابد. دمای بالای شب از چند طریق بر عملکرد تأثیر می‌گذارد. اول، دمای بالای شب باعث تجمع بیشتر درجه روز رشد می‌شود. با گذشت زمان، این تجمع منجر به سرعت بخشیدن به زمان رشد می‌شود. به بیان دیگر اگر دمای بالای

شب هنگام در مرحله پر شدن دانه اتفاق بیفتد، دوره پر شدن دانه کوتاه می‌شود. دوم، دمای بالای شب منجر به میزان تنفس بالا در شب، زمانی که سیستم فتوسنتز فعال نیست، می‌شود. در نتیجه قندهای گیاه به جای ذخیره، برای تولید انرژی مصرف می‌شوند. این به معنای تولید بیوماس کمتر و کاهش طول ساقه در طول رشد رویشی است. در طی مراحل زایشی، این امر باعث می‌شود که قندهای گیاهی کمتری برای پر شدن دانه وجود داشته باشد و متعاقباً میزان دانه کمتر یا سبکتر باشد. مطالعات نشان داده است که با افزایش ۱ درجه‌ای حرارت متوسط شبانه در طول دوره بحرانی پر شدن دانه، عملکرد محصول بین ۴۰۰ تا ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار افت کرده است.

دمای شبانه می‌تواند بر پتانسیل عملکرد ذرت تأثیر بگذارد. دمای بالای شب (بیش از ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتیگراد) می‌تواند منجر به تنفس بی رویه و کاهش مقدار خالص تجمع ماده خشک در گیاهان شود. مطالعات نشان می‌دهد که درجه حرارت متوسط شبانه بالا، هنگام دانه‌بندی می‌تواند با کاهش تعداد دانه و وزن دانه، عملکرد ذرت را کاهش دهد. سرعت تنفس گیاهان با افزایش دما به سرعت افزایش می‌یابد، تقریباً با هر ۵ درجه سانتیگراد افزایش، سرعت تنفس دو برابر می‌شود. با افزایش دمای شب، بیشتر قندهای تولید شده توسط فتوسنتز در طول روز از بین می‌روند. از این رو مقدار قند کمتری برای پر کردن دانه‌های در حال توسعه در دسترس است.

در نتیجه عملکرد پتانسیل دانه کاهش می‌یابد. درجه حرارت زیاد در شب باعث تجمع درجه روز رشد بیشتر می‌شود که می‌تواند منجر به زودرس شدن ذرت شود، در حالی که شبهای خنک منجر به تجمع درجه روز رشد کمتری می‌شود که می‌تواند پر شدن دانه را طولانی کرده و باعث تجمع بیشتر ماده خشک و عملکرد دانه بهتر شود.

به عنوان مثال، اگر یک هیبرید ذرت برای رسیدن به بلوغ پس از گلدهی به ۹۰۰ درجه روز رشد نیاز داشته باشد. با میانگین دمای روز ۳۰ درجه سانتیگراد و میانگین دمای شب ۲۰ درجه سانتیگراد، تجمع ۹۰۰ درجه روز رشد (۳۰ بعلاوه ۲۰ تقسیم بر دو منهای ۸ برابر است با ۱۷ درجه روز رشد)، ۵۳ روز تقویمی طول می‌کشد. حال، با دمای روز ۳۰ درجه سانتیگراد و میانگین دمای شب ۱۶ درجه سانتیگراد، رسیدن به همان ۹۰۰ درجه روز رشد (۳۰ بعلاوه ۱۶ تقسیم بر دو منهای ۸ برابر است با ۱۵ درجه روز رشد) ۶۰ روز تقویمی طول می‌کشد. در این مثال، این بدان معناست که با شبهای خنک‌تر، گیاه ذرت هفت روز فرصت بیشتری دارد تا نور را برای فتوسنتز و آب را برای تعرق جذب کنند، که می‌تواند منجر به افزایش عملکرد شود.

به طور کلی، کشاورزان ذرتکار آگاه هستند که دمای بالای شب می‌تواند برای تولید مضر باشد. زیرا ذرت از مناطق مرتفع مرکزی مکزیک سرچشمه گرفته و در طی تکامل خود با شرایط آب و هوایی غالب این منطقه، متشکل از روزهای گرم و شبهای خنک سازگار شده است. با این حال، اثرات دمای بالای شب در فرآیندهای خاص گیاه و اجزای عملکرد به خوبی درک نشده است. به عنوان مثال در سال ۲۰۰۹، بسیاری از کشاورزان در ایالات متحده به رکورد بالای عملکرد دانه ذرت رسیدند. اما، در سال ۲۰۱۰، حتی با وجود بارندگی کافی، عملکرد دانه ذرت بسیار کمتر بود. تفاوت قابل توجه بین این دو فصل رشد دمای شب در دوره گرده افشانی بود. حداقل دمای شبانه در ماه‌های ژوئیه و آگوست ۲۰۰۹ حدود ۳ تا ۵ درجه سانتیگراد کمتر از متوسط حداقل دمای شب در سال ۲۰۱۰ در کمربند ذرت بود.



شکل ۲) متوسط دمای شبانه در کمربند ذرت در سال ۲۰۰۹، ۲۰۱۰ و میانگین ۳۰ ساله

اولین شواهد تجربی مبنی بر اینکه دمای بالای شب می‌تواند بر عملکرد ذرت تأثیر سوء بگذارد از آزمایشی در دانشگاه ایلینوی مشخص شد، در این آزمایش ذرت کاشته شده با دمای متوسط شبانه ۲۹ درجه سانتیگراد ۴۰ درصد دانه کمتری نسبت به ذرت کاشته شده با متوسط دمای شب ۱۸ درجه سانتیگراد تولید کرد (جدول ۴). تحقیقات نشان داده است که کاهش تعداد دانه نیز با دمای بالای شب مرتبط است. همچنین نتایج یک مطالعه نشان داد که سقط دانه در مزارع دارای شب گرم، ۸٪ بیشتر از مزارع شاهد بود. بلالها در مزارع دارای دمای بالای شب، در زمان برداشت به طور متوسط ۳۴ دانه در هر ردیف داشتند، در حالی که در مزارع شاهد ۳۷ دانه در هر ردیف بود. در مطالعه دیگری اثر دما بر پر شدن دانه پس از تثبیت تعداد دانه بررسی شد. نتایج نشان داد که عملکرد دانه در بوته به طور معنی داری تحت تأثیر رژیم دمایی قرار گرفت.

جدول ۴) تأثیر دمای متوسط شبانه در دوره ابریشم دهی تا رسیدگی

| عملکرد دانه ذرت (Kg) | متوسط دمای شبانه (°C) | تیمار |
|----------------------|-----------------------|------------|
| ۱۰۵۴۴ | ۱۸ | هوای طبیعی |
| ۱۰۱۶۷ | ۱۶ | هوای سرد |
| ۶۲۷۶ | ۲۹ | هوای گرم |

چرا شب های گرم باعث کاهش عملکرد ذرت می‌شوند؟

تحقیقات فعلی دو فرضیه را پشتیبانی می‌کند که ممکن است توضیح دهد چرا دمای بالاتر در طول دوره پر شدن دانه، عملکرد را کاهش می‌دهد: الف) میزان تنفس سلولی بالاتر (ب) سرعت رشد فنولوژیکی

الف) میزان تنفس بالاتر

متداولترین توضیح در مورد اثرات مخرب دمای بالای شب بر عملکرد ذرت، افزایش مصرف انرژی به دلیل میزان بالاتر تنفس سلولی در شب است. در تنفس سلولی کربن جذب شده از طریق فتوسنتز، برای حفظ و افزایش بیوماس گیاه مصرف می‌شود. دمای بالاتر باعث افزایش سرعت تنفس سلولی در گیاه ذرت می‌شود و قند کمتری را برای ذخیره به عنوان نشاسته در دانه در دسترس قرار می‌دهد. معمولاً میزان کمتر تنفس نسبت به فتوسنتز برای به

حداکثر رساندن بهره وری در زراعت ذرت و عملکرد دانه مطلوب توصیه شده است. گرچه دمای بالاتر شب بدون شک میزان تنفس ذرت را افزایش می‌دهد، اما تحقیقات به طور کلی نشان می‌دهد که احتمالاً میزان بالاتر تنفس شبانه تأثیر زیادی بر عملکرد ذرت ندارد. زیرا در یک مطالعه در بررسی اثرات افزایش دمای شبانه، مشخص شد، بین مزارع دارای گرمای شبانه و مزارع شاهد، در تنفس شبانه برگهای گیاه ذرت، تفاوت معنی داری نبود. همچنین در مطالعه دیگری، مشخص شد که میزان تنفس برای گیاه تازه ظهور یافته، بالا بوده اما با رشد گیاه، کاهش می‌یابد. از این رو محققان نتیجه گرفتند که افزایش تنفس مرتبط با دمای بالای شب احتمالاً تأثیر عمده‌ای بر عملکرد ذرت ندارد.

تسریع توسعه فنولوژیک

افزایش دمای شبانه زمان مورد نیاز برای رسیدن گیاهان ذرت به بلوغ فیزیولوژیکی را کاهش می‌دهد. کوتاه شدن مدت زمان بین ظهور و بلوغ ابریشم باعث کاهش تعداد روزهایی که گیاه ذرت در حین پر شدن دانه، فتوسنتز انجام داده و انرژی را به عملکرد تبدیل کند، می‌شود. محققان دانشگاه ایالتی آیووا با استفاده از مدل شبیه ساز نشان دادند که درجه حرارت پایین در شب در طول یک ماه گلدهی و ابریشم دهی باعث ۷ تا ۱۲ روز طولانی تر شدن زمان پر شدن دانه می‌شد.

پژوهشگرانی که کوتاه شدن روزهای ظهور ابریشم تا بلوغ فیزیولوژیکی را بررسی کرده‌اند، نشان دادند که مدت دوره پر شدن دانه و عملکرد دانه در بوته هر دو به طور قابل توجهی تحت تأثیر دما قرار گرفتند. در یک مطالعه اخیر در سال ۲۰۱۹ در چین که اختلاف دمای ۲، ۶ و ۱۰ درجه بین دمای روز و شب (۳۰/۳۲، ۲۶/۳۲ و ۲۲/۳۲) مورد بررسی قرار گرفت، مشخص شد که در اختلاف ۱۰ و ۶ درجه بین دمای روز و شب تأثیر معنی داری بر عملکرد دانه ذرت نداشت اما وقتی اختلاف روز و شب به ۲ درجه سانتیگراد رسید (شبهای بسیار گرم) کاهش ۲۳.۸ درصدی در عملکرد و ۲۵.۱ درصدی در تعداد دانه در بلال مشاهده شد. تحقیقات نشان داده است که دمای شب بیش از متوسط، در دوره زایشی می‌تواند عملکرد ذرت را از طریق کاهش تعداد دانه و وزن دانه کاهش دهد. به طور کلی تحقیقات نشان می‌دهد که گرچه درجه حرارت بالاتر در شب بدون شک میزان تنفس ذرت را افزایش می‌دهد، اما توسعه سریع مراحل فنولوژی (زودرس شدن ذرت) احتمالاً مکانیسم اصلی موثر بر افت عملکرد ذرت است. از این رو به نظر میرسد بهترین مناطق کشت ذرت، مناطق دارای حدود ۸ درجه یا بیشتر اختلاف دمای شب و روز و دوره بدون یخبندان طولانی تر است که منجر به تولید قند بیشتر در روز و مصرف کمتر قند در شب در اثر تنفس و تجمع درجه روز رشدکننده و افزایش طول مراحل فنولوژیک خصوصاً مرحله پر شدن دانه خواهد بود.

منابع:

- Badu-Apraku, B., R. B.Huner, and M.Tollenaar.1983. Effect of temperature during grain filling on whole plant and grain yield in maize (*Zea mays* L.). Can. J. Plant Sci. 63:357-363.
- Cantarero, M.G., A.G. Cirilo, and F.H. Andrade.1999. Night temperature at silking affects kernel set in maize. Crop Sci. 39:703-710.
- Elmore, R. 2010. Reduced 2010 corn yield forecasts reflect warm temperatures between silking and dent. Integrated Crop Management. Iowa State University, 9 Oct. 2010.

- Hoefl, R.G., E. D. Nafziger, R.R. Johnson, and S.R. Aldrich. 2000. Modern Corn and Soybean Production. MCSP Publications, Champaign, IL. [see "Climate and Corn" section]
- Lutt, N. M. Jeschke M. and S. D. Strachan. 2016. High Night Temperature Effects on Corn Yield. DuPont Pioneer Agronomy Sciences. Crop Insights, Vol. 26, No.16.
- Peters, D.B., J.W. Pendleton, R.H. Hageman, and C.M. Brown. 1971. Effect of night air temperature on grain yield of corn, wheat, and soybeans. *Agron. J.* 63:809.
- Peters, D.B., J.W. Pendleton, R.H. Hageman, and C.M. Brown. 1971. Effect of night temperature on grain yield of corn, wheat, and soybeans. *Agron. J.* 63:809.
- Quin, F.M. 1981. Night respiration of a maize crop in the lowland humid tropics. *J. of Appl. Ecol.* 18:497-506.1
- Sadok, W. and Jagadish, S.K., 2020. The hidden costs of nighttime warming on yields. *Trends in Plant Science*, 25(7), pp.644-651.
- Wang, Y., Tao, H., Zhang, P., Hou, X., Sheng, D., Tian, B., Wang, P. and Huang, S., 2020. Reduction in seed set upon exposure to high night temperature during flowering in maize. *Physiologia plantarum*, 169(1).
- Waqas, M.A., Wang, X., Zafar, S.A., Noor, M.A., Hussain, H.A., Azher Nawaz, M. and Farooq, M., 2021. Thermal Stresses in Maize: Effects and Management Strategies. *Plants*, 10(2), p.293.

تہہ کنندہ:

دکتر امیر ایاز فرد

شرکت توسعه کشت ذرت