بهاره سازی گندم پاییزه

نویسنده:
دکتر سیدکمیل سیدشوربلال
متخصص زراعت

۱۳۹۸

سرشناسه	:	سیدشوربلال، سیدکمیل، ۱۳۶۴ -
عنوان و نام پدیدآور	:	بهاره سازی گندم پاییزه/ نویسنده سید کمیل سید شوربلال
مشخصات نشر	:	اصفهان : هرمان، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	:	
شابک	:	
وضعیت فهرست نویسی	:	
موضوع	:	
موضوع	:	
رده بندی کنگره	:	
رده بندی دیویی	:	
شماره کتابشناسی ملی	:	

انتشارات هرمان (۰۹۱۳۱۱۷۲۶۴۲)

نام کتاب:

بهاره سازی گندم پاییزه

نویسنده: **دکتر سیدکمیل سیدشوربلال**

نوبت چاپ: **اول**

مدیر تولید:

سال چاپ:

سیدمحمدرضا سمسارزاده

۱۳۹۸

صفحه آرا: **دانیال نصراصفهانی**

تیراژ: **۱۰۰۰ جلد**

طراح جلد: **دانیال نصراصفهانی**

قیمت: **۹۰۰۰۰۰ ریال**

پایگاه اینترنتی:

شماره استاندارد بین المللی کتاب:

www.iranpub.com

۹۷۸-۶۲۲-۶۹۰۲-۳۸-۰

«کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر محفوظ و مخصوص پدیدآورنده است»

پیشگفتار

مقابله و کنترل اثرات سوء گرمایش جهانی بر تولید محصولات کشاورزی، به ویژه در شرایط خشک و نیمه خشک، یک سوال مهم در ذهن ما ایجاد می‌کند که باید توسط کار تحقیقاتی مورد توجه قرار گیرد. در کشور ما ایران و به خصوص مناطق مرکزی آن که چندسالی است به دلیل نبود منابع آبی یا کمبود آن یا فراهم شدن منابع آبی در زمانی به غیر از زمان مناسب کشت گندم پاییزه، کشاورزان، بهره‌برداران، کارشناسان و محققین بخش کشاورزی را با مشکل بزرگی مواجه کرده است. بدین صورت که کشت گندم پاییزه در بهار با همان عملکرد به یکی از معضلات روز کشاورزان و محققین این بخش بدل شده است. لذا ارائه راهکاری جهت کشت گندم در خارج از فصل پاییز با عملکرد قابل قبول از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گندم بالاترین سهم را در کل سطح اراضی زیر کشت کشور به خود اختصاص داده است و یک کالای تجاری بین المللی به شمار می‌آید، زیرا بالغ بر یک پنجم تولید آن در جهان مبادله می‌شود. تولید گندم در سال ۲۰۱٦ نسبت به ۲۰۱۵ با کاهش ۱/٤ درصد (۱۰/۱ میلیون تن) مواجه شده است که علت کاهش عملکرد در اروپا، کاهش سطح زیر کشت و در آفریقا خشکی آب و هوا برآورد شده است. در آسیا، تولید گندم در سال ۲۰۱٦ نسبت به سال ۲۰۱۵ با کاهش عملکرد ۲/٦ درصد مواجه شده است که علت اصلی آن خشکسالی می‌باشد. در سالیان اخیر کاهش عملکرد گندم پاییزه بدلیل خشکسالی بسیار مشهود بوده است و با توجه به نبود منبع مناسب در زمینه بهاره سازی گندم پاییزه بر آن شدم تا در کتاب حاضر برای اولین بار بهاره سازی گندم پاییزه و روش‌های مختلف بهاره سازی بر پایه تنظیم کننده‌های رشد گیاهی و جدیدترین آزمایشات صورت گرفته توسط اینجانب و سایر محققین را در اختیار کشاورزان، دانشجویان و محققان کشور قرار دهم تا با توجه به نیاز کشور به این غله مهم کمک به افزایش سطح کشت و عملکرد آن در هکتار شود. ضمن تشکر و قدردانی از همه خوانندگان

عزیز، تقاضا دارم تا در صورت مواجهه با اشکالاتی از نظر علمی، تفسیر یا تشریح نکات و یا اصول نگارش و تایپ به اطلاع اینجانب[1] برسانند.

سیدکمیل سیدشوربلال
زمستان ۱۳۹۸

1. komeil_shourbalal@hotmail.com

تقدیم به:

همه کسانی که خالصانه، صادقانه و دلسوزانه برای سربلندی ایران تلاش می نمایند.

پدرم

مادرم

خواهرم

و خواهرزاده عزیزم ویانا

که نامشان سربلندی

دعایشان راه گشای تمام درب های بسته

وجودشان توان پیمودن سختی های ارزشمند زندگی است

فهرست مطالب

فصل اول ۹

مقدمه و کلیات ۱۰

تاریخچه و مبدأ گندم ۱۰

اهمیت گندم ۱۱

اهمیت گندم در ایران ۱۲

خصوصیات گیاهی گندم ۱۶

مراحل نمو گندم ۲۱

جوانه زنی و رشد گیاهچه (مراحل ۰۰ تا ۱۹) ۲۴

پنجه زنی (مراحل ۲۰ تا ۲۹) ۲۴

رشد ساقه (مراحل ۳۰ تا ۳۹) ۲۵

مرحله تورم سنبله (مراحل ۴۰ تا ۴۹) ۲۶

خروج گل آذین یا سنبله‌دهی (مراحل ۵۰ تا ۵۹) ۲۷

گرده افشانی یا گلدهی ۲۷

سازگاری ۳۰

فصل دوم ۳۲

تنظیم کننده های رشد گیاهی ۳۳

جیبرلین ۳۵

بیان عمومی جیبرلین ۳۵

ساختار جیبرلین ۳۵

استفاده تجاری جیبرلین ۳۶

بیوسنتز جیبرلین‌ها ۳۷

جیبرلین‌های باند (الحاقی) ۴۲

انتقال جیبرلین‌ها ۴۳

پاسخ گیاهان به جیبرلین ۴۴

الف: رشد ساقه ۴۴

ب: بولتینگ و تشکیل گل در گیاهان روز بلند ٤٤
پ: القای جوانه زنی و تولید آنزیم در طی جوانه زنی ٤٦
ت: شکستن خواب و رشد جوانه‌های خفته ٤٧
ث: رشد و تنظیم میوه ٤٧
ج: مالت جو ٤٨
مکانیسم عمل جیبرلین‌ها ٤٨
الف: جیبرلین و رشد طولی ساقه ٤٨
ب: جیبرلین و سنتز RNA و پروتئین ٥٢
پ: اتصال جیبرلین: محل احتمالی گیرنده جیبرلین ٥٥
ت: تنظیم چرخه سلولی در مریستم میانی با جیبرلین ٥٦
ج: تنظیم بیان ژن α-آمیلاز ٥٦
روش‌های زیست سنجی در جیبرلین ٥٩
سیتوکنین ٦٠
طبیعت سیتوکنین‌ها ٦٠
تاریخچه سیتوکنین‌ها ٦٠
نقش سیتوکنین‌ها ٦١
ساختار سیتوکنین‌ها ٦١
سیتوکنین‌ها در tRNA ٦٤
بیوسنتز سیتوکنین‌ها ٦٦

فصل سوم ٦٩

بهاره سازی و گلدهی ٧٠
مکان بهاره سازی ٧٢
الزامات بهاره سازی ٧٢
مکانیسم بهاره سازی ٧٣
اهمیت بهاره سازی ٧٤
بهاره سازی گندم پاییزه ٧٤
اهمیت بهاره سازی در گندم پاییزه در ایران ٧٧

نقش جیبرلین ها در بهاره سازی..... ۷۸
تأثیر جیبرلین ها در بهاره سازی ۷۹
تأثیر سیتوکنین ها در بهاره سازی ۸٤
تأثیر سرمادهی مرطوب بذور در بهاره سازی..... ۸٦
فصل چهارم..... ۸۹
اثر استفاده از تنظیم کننده های رشد گیاهی در بهاره سازی گندم پاییزه..... ۹۰
مقدمه..... ۹۱
مواد و روش ها..... ۹۲
نتایج ۹۹
طول ریشه..... ۹۹
ارتفاع بوته..... ۱۰۰
وزن خشک خوشه ۱۰۱
عملکرد دانه در هکتار..... ۱۰۲
درصد نیتروژن دانه..... ۱۰۳
درصد ایندکس گلوتن..... ۱۰٤
درصد رطوبت دانه..... ۱۰٤
بحث..... ۱۰۵
طول ریشه..... ۱۰۵
ارتفاع بوته..... ۱۰٦
وزن خشک خوشه ۱۰۷
عملکرد دانه در هکتار..... ۱۰۸
درصد نیتروژن دانه..... ۱۱۰
درصد ایندکس گلوتن..... ۱۱۰
درصد رطوبت دانه..... ۱۱۱
نتیجه گیری..... ۱۱۳

فصل اول

مقدمه و کلیات

تاریخچه و مبدأ گندم[1]

اسناد و پژوهش های باستان شناسان نشان دادند که از قدیم الایام استفاده از غلات به ویژه گندم، به عنوان غذا برای انسان همواره معمول بوده است. قدمت گندم را به ۱۵–۱۰ هزار سال قبل از میلاد مسیح در خاورمیانه و به خصوص فلات ایران نسبت می‌هند. حدس زده می‌شودکه اولین محل استفاده گندم باید در دجله و فرات باشد. کاوش‌های

1. Triticum aestivum

اولیه باستان شناسان نشان می‌دهد که کشاورزی حدود ٤٥٠٠ سال قبل از میلاد در رود نیل متداول بوده است، اما اخیراً مشخص شده است که کشاورزی به جز در مصر در نقاط دیگر دنیا نیز معمول بوده است.

اولین آثار برداشت گندم و جو حدود ۱۵۰۰۰ سال قبل در کباوا و نهالورن فلسطین پیدا شده است. قدیمی‌ترین بقایای اهلی شده گیاهی و حیوانی در حفاری های بزمرد و تپه‌های علی‌کش در جلگه دهلران در ایران به دست آمده است. در این منطقه دو گونه گندم و دو گونه جو اهلی شده را پیدا کردند و تصور می‌شود این گونه‌ها در زمین‌هایی مورد کشت و کار قرار می‌گرفته‌اند که قبلاً آنها را به این منظور تهیه کرده‌اند.

اهمیت گندم

گندم سابقه‌ای طولانی در زندگی و تکامل تمدن بشر در خاورمیانه و اروپا داشته است. گندم مهمترین غله‌ایست که در سطح جهان کشت می‌شود و یکی از سازگارترین غلات است به گونه‌ای که در محدوده گسترده از شرایط آب و هوایی قابل کشت است. غلات درحدود ٦٣ ٪ جیره غذایی روزانه‌ی خانوار های ایرانی را تشکیل می‌دهند، که از این مقدار نزدیک به ٤٩ ٪ انرژی خانوارها روزانه از نان تأمین می‌گردد، لذا می‌توان گفت که گندم یکی از مهم‌ترین غلات است. گندم مهمترین غذای اصلی برای ۲ میلیارد (٣٦٪) از جمعیت جهان می‌باشد. گندم به عنوان ضروری‌ترین و حیاتی‌ترین محصول کشاورزی جهان، ارزش راهبردی زیادی داشته و به عنوان ابزاری سیاسی در روابط بین الملل به کار می‌رود. حتی می‌توان از آن برای اعمال فشارهای سیاسی بر کشورهای نیازمند جهان سوم نیز استفاده کرد. همچنین گندم یک کالای تجاری بین المللی به شمار می‌آید، زیرا بالغ بر یک پنجم تولید آن در جهان مبادله می‌شود. در کشورهای صنعتی روند مصرف این محصول به منظور خوراک دام رو به افزایش است در حالی که در کشورهای در حال توسعه عمدتاً مصرف انسانی دارد و تقاضای واردات آنها به منظور برآورد نیازهایشان روز به روز در حال افزایش است. گفتنی است که برخی از کشورها وارد کننده گندم، خود نیز

تولید کننده این محصول هستند. تولید گندم در سال ۲۰۱٦ نسبت به ۲۰۱۵ با کاهش ۱/٤ درصد (۱۰/۱ میلیون تن) مواجه شده است که علت کاهش عملکرد در اروپا، کاهش سطح زیر کشت و در آفریقا خشکی آب و هوا برآورد شده است. در آسیا، تولید گندم در سال ۲۰۱٦ نسبت به سال ۲۰۱۵ با کاهش عملکرد ۲/٦ درصد مواجه شده است که علت اصلی آن خشکسالی می‌باشد (فائو[1]، ۲۰۱٦). گندم بالاترین سهم را در کل سطح اراضی زیر کشت کشور به خود اختصاص داده است. سرانه مصرف نان در ایران نزدیک به ۵۰۰ گرم و سالانه بیش از ۱۵٦ کیلوگرم (۱۳۰ کیلوگرم در مناطق شهری و ۲۰۰ کیلو در مناطق روستایی) است و می‌توان گفت که به استثناء چند کشور آفریقایی، ایران در رتبه نخست کشورهایی قرار دارد که نان غذای اصلی آنها به شمار می‌آید.

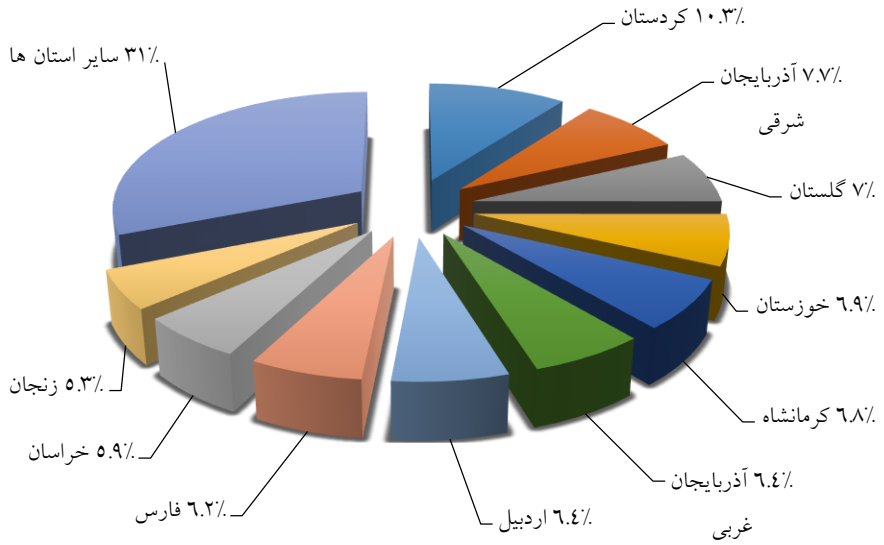
اهمیت گندم در ایران

در سال زراعی ۹٤-۱۳۹۳، سطح برداشت گندم در کل کشور حدود ۵/۷ میلیون هکتار برآورد شده که معادل ۵۰/۲٤ درصد از کل سطح محصولات زراعی و ۷۱/۸٦ درصد از کل سطح غلات کشور می‌باشد که اراضی آبی ۳۹/۱۵ درصد و اراضی دیم ٦۰/۸۵ درصد است. استان کردستان با دارا بودن ۱۰/۲۵ درصد از کل سطح برداشت گندم، بیشترین سطح را در کشور به خود اختصاص داده است. پس از آن استان های آذربایجان شرقی با ۷/۷۵، گلستان با ٦/۹۸، خوزستان با ٦/۸۹، آذربایجان غربی با ٦/٤۵ و اردبیل با ٦/۳٦ درصد از کل اراضی گندم کشور مقام های دوم تا هفتم را به خود اختصاص داده‌اند. به عبارت دیگر بیش از نیمی (۵۱/۵۱ درصد) از اراضی گندم در این هفت استان برداشت شده است. کمترین سطح برداشت با ۹۱۰۰ هکتار (۰/۱٦ درصد) از اراضی گندم کشور متعلق به استان قم می‌باشد (نمودار ۱-۱). میزان تولید گندم کشور حدود ۱۱/۵ میلیون تن برآورد شده که معادل ۱٤/۹٦ درصد از کل تولید محصولات زراعی و ٦۳/۱۷ درصد از کل تولید غلات کشور است و تولید آبی ٦۸/۵ درصد و تولید دیم ۳۱/۵ درصد است.

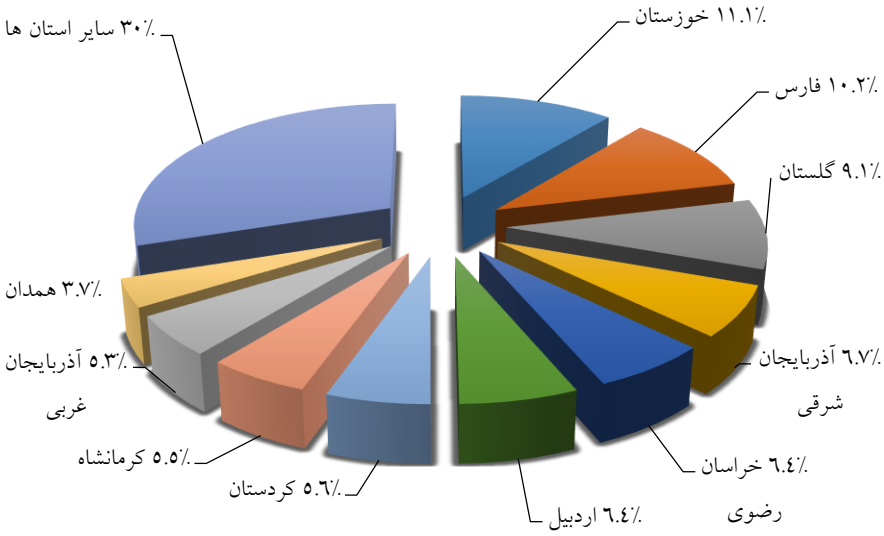
1. Food and Agricultural Organization (FAO)

استان خوزستان با ۱۱/۰۸ درصد تولید گندم کشور در جایگاه نخست تولید این محصول قرار گرفته است و استان های فارس با ۱۰/۱۹، گلستان با ۹/۰۷، آذربایجان شرقی با ٦/۷۳، خراسان رضوی با ٦/٤۳، اردبیل با ٦/۳۷ و کردستان با ۵/٦۵ درصد از تولید گندم کشور در مقام های دوم تا هفتم قرار دارند. شایان ذکر است که ۵۵/۵۲ درصد از کل میزان تولید گندم کشور مربوط به هفت استان مذکور می‌باشد و سایر استان ها ٤٤/٤۸ درصد بیشتر نبوده است. در بین استان های کشور استان گیلان با تولید ۱۲/۷۲ هزار تن (۰/۱۱ درصد) در رتبه آخر تولید گندم قرار گرفته است (نمودار ۱-۲). عملکرد گندم آبی کشور ۳۵۲٦ کیلوگرم در هکتار و عملکرد گندم دیم ۱۰٤٤ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. بیشترین عملکرد گندم آبی با ۵٤٦۲ کیلوگرم در هکتار متعلق به استان البرز و کمترین آن با ۱۵٦۸ کیلوگرم در هکتار به استان گیلان تعلق دارد. بیشترین عملکرد گندم دیم (بین استان هایی که گندم دیم کاشته اند) با ۲۷۱۹ کیلوگرم در هکتار متعلق به استان البرز و وکمترین آن با ۳٤۵ کیلوگرم در هکتار به استان کهگیلویه و بویراحمد تعلق دارد (جدول ۱-۱).

نمودار ۱-۱ درصد توزیع سطح محصول گندم در استان های کشور
(آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳)



نمودار ۱-۲ درصد توزیع میزان تولید محصول گندم در استان های کشور
(آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳)



جدول ۱-۱ برآورد سطح، میزان و عملکرد در هکتار محصول گندم **به تفکیک استان (آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳)**

((واحد: هکتار- تن- کیلوگرم))

نام استان	سطح(هکتار)			تولید(تن)			عملکرد(کیلوگرم)	
	آبی	دیم	جمع	آبی	دیم	جمع	آبی	دیم
آذربایجان شرقی	۸۶۰۶۶	۳۵۶۷۵۷	۴۴۲۸۲۳	۳۱۵۹۹۷	۴۵۹۰۰۳	۷۷۵۰۰۰	۳۶۷۱/۶	۱۲۸۶/۶
آذربایجان غربی	۸۲۷۸۰	۲۸۵۷۲۷	۳۶۸۵۰۷	۲۶۸۸۶۵	۳۴۳۳۰۶	۶۱۲۱۷۱	۳۲۴۸	۱۲۰۱/۵
اردبیل	۸۱۷۴۷	۲۸۱۹۰۵	۳۶۳۶۵۲	۳۰۶۱۲۱	۴۲۸۰۸۵	۷۳۴۲۰۶	۳۷۷۴/۷	۱۵۱۸/۵
اصفهان	۵۸۵۰۰	۱۷۰۰۰	۷۵۴۹۹	۲۲۵۱۸۴	۱۴۹۳۳	۲۴۰۱۱۷	۳۸۴۹/۳	۸۷۸/۵
البرز	۱۰۹۸۸	۷۸۵	۱۱۷۷۳	۶۰۰۱۳	۲۱۳۴	۶۲۱۴۷	۵۴۶۱/۷	۲۷۱۹/۴
ایلام	۴۷۰۵۵	۸۴۰۰۰	۱۳۱۰۵۴	۱۴۴۹۰۳	۵۳۰۶۱	۱۹۷۹۶۴	۳۰۷۹/۵	۶۳۱/۷
بوشهر	۱۹۷۴۸	۰	۱۹۷۴۸	۴۱۴۷۳	۰	۴۱۴۷۳	۲۱۰۰/۱	–
تهران	۴۰۷۵۰	۱۲۵۰	۴۲۰۰۰	۱۹۷۰۷۹	۱۱۱۰	۱۹۸۱۸۹	۴۸۳۶/۳	۸۸۸/۲
چهارمهال و بختیاری	۲۵۰۰۰	۳۸۲۰۰	۶۳۲۰۰	۷۷۷۲۶	۳۹۵۸۸	۱۱۷۳۱۴	۳۱۰۹	۱۰۳۶/۴
خراسان جنوبی	۲۰۶۶۱	۲۰۲۱	۲۲۸۶۲	۵۲۴۹۴	۹۴۱	۵۳۴۳۵	۲۵۴۰/۷	۴۲۷/۴
خراسان رضوی	۱۸۱۴۰۲	۱۵۸۵۰۱	۳۳۹۹۰۴	۶۵۵۵۱۴	۸۵۶۹۳	۷۴۱۲۰۷	۳۶۱۳/۶	۵۴۰/۶
خراسان شمالی	۵۴۹۹۹	۸۵۰۰۰	۱۳۹۹۹۹	۱۶۲۸۵۵	۶۳۷۶۰	۲۲۶۶۱۵	۲۹۶۱	۷۵۰/۱
خوزستان	۳۵۹۹۹۹	۳۴۰۰۰	۳۹۳۹۹۹	۱۲۵۱۸۴۷	۲۴۷۹۳	۱۲۷۶۶۴۰	۳۴۷۷/۴	۷۲۹/۲
زنجان	۲۰۰۵۰	۲۸۵۰۰۰	۳۰۵۰۵۰	۸۰۲۰۰	۱۹۹۵۰۰	۲۹۷۷۰۰	۴۰۰۰	۷۰۰
سمنان	۲۵۹۲۹	۶۳۰۰	۳۲۲۳۰	۸۰۵۱۵	۵۱۹۲	۸۵۷۰۷	۳۱۰۵/۲	۸۲۴/۱
سیستان و بلوچستان	۸۷۵۵۷	۱۷۵	۸۷۷۳۳	۱۸۳۵۴۷	۱۸۴	۱۸۳۷۳۱	۲۰۹۶/۳	۱۰۵۷/۱
فارس	۲۷۶۵۵۲	۷۸۹۷۷	۳۵۵۵۲۹	۱۱۰۴۳۱۴	۶۹۳۹۵	۱۱۷۳۷۰۹	۳۹۹۳/۲	۸۷۸/۷
قزوین	۶۶۰۰۰	۹۱۰۰۰	۱۵۶۹۹۹	۲۴۷۰۱۹	۶۸۲۶۱	۳۱۵۲۸۰	۳۷۴۲/۷	۷۵۰/۱
قم	۸۰۷۲	۱۰۲۸	۹۱۰۰	۳۲۰۶۵	۱۳۹۲	۳۳۴۵۷	۳۹۷۲/۶	۱۳۵۴/۱
کردستان	۳۵۶۵۵	۵۵۰۴۵۶	۵۸۶۱۱۱	۱۴۰۳۵۱	۵۱۰۵۱۰	۶۵۰۸۶۱	۳۹۳۶/۳	۹۲۷/۴
کرمان	۴۷۰۰۰	۰	۴۷۰۰۰	۱۷۳۹۵۸	۰	۱۷۳۹۵۸	۳۷۰۱/۲	–
کرمانشاه	۹۷۳۷۰	۲۹۳۱۲۵	۳۹۰۴۹۵	۴۱۰۹۵۰	۲۱۹۸۸۵	۶۳۰۸۳۵	۴۲۲۰/۵	۷۵۰/۱
کهکیلویه و بویراحمد	۲۴۲۰۰	۸۲۸۰۰	۱۰۷۰۰۰	۶۹۲۶۸	۲۸۶۰۳	۹۷۸۷۱	۲۸۶۲/۳	۳۴۵/۵
گلستان	۱۷۲۱۸۷	۲۲۶۹۷۹	۳۹۹۱۶۶	۵۲۷۹۵۲	۵۱۶۷۶۰	۱۰۴۴۷۱۲	۳۰۶۶/۲	۲۲۷۶/۷
گیلان	۱۳۴	۱۰۴۳۵	۱۰۵۶۹	۲۱۰	۱۲۵۰۵	۱۲۷۱۵	۱۵۶۸/۲	۱۱۹۸/۴
لرستان	۶۰۹۵۴	۱۴۱۹۷۶	۲۰۲۹۳۰	۲۰۱۵۴۰	۱۷۹۷۸۷	۳۸۱۳۲۷	۳۳۰۶/۴	۱۲۶۶/۳
مازندران	۳۸۰۹۹	۲۸۶۰۰	۶۶۶۹۹	۱۶۰۴۴۴	۴۹۹۶۷	۲۱۰۴۱۱	۴۲۱۱/۲	۱۷۴۷/۱
مرکزی	۵۷۰۰۰	۱۴۵۰۰۰	۲۰۲۰۰۰	۲۲۵۰۳۶	۱۲۱۶۴۷	۳۴۶۶۸۳	۳۹۴۸	۸۳۹
هرمزگان	۱۲۲۷۸	۰	۱۲۲۷۸	۴۷۳۴۱	۰	۴۷۳۴۱	۳۸۵۵/۹	–
همدان	۸۸۳۰۰	۱۹۰۵۱۱	۲۷۸۸۱۱	۲۹۶۳۱۶	۱۲۹۷۴۴	۴۲۶۰۶۰	۳۳۵۵/۸	۶۸۱
یزد	۱۳۳۲۵	۰	۱۳۳۲۵	۴۰۲۱۹	۰	۴۰۲۱۹	۳۰۱۸/۳	–
جنوب استان کرمان	۳۷۵۷۲	۰	۳۷۵۷۲	۱۱۱۲۶۰	۰	۱۱۱۲۶۰	۳,۲۹۶۱	–
کل کشور	۲۲۳۷۹۳۱	۳۴۷۷۶۸۵	۵۷۱۵۶۱۶	۷۸۹۲۵۷۷	۳۶۲۹۷۴۱	۱۱۵۲۲۳۱۸	۳۵۲۶/۷	۱۰۴۳/۷

خصوصیات گیاهی گندم

گندم گیاهی است یکساله، علفی و تک لپه از خانواده غلات[1] و جنس *Triticum* و دارای گونه‌های بسیار زیادی است. ریشه‌های گندم افشان و سطحی‌اند و دارای ریشه‌های اصلی و فرعی می‌باشد. ریشه‌های بذری (شکل ۱-۱) در ناحیه‌ای نزدیک به گره سپر رشد می‌کنند و همراه با ریشه چه، سیستم ریشه اولیه یا ریشه‌های بذری را به وجود می‌آورند. ریشه‌های طوقه‌ای پس از استقرار طوقه در مکان نهایی خود، از گره‌های ساقه اصلی و گره های زیر خاک پنجه ها به وجود می‌آیند. ریشه‌های طوقه‌ای ضخیم‌تر از ریشه‌های بذری می‌باشند. ریشه‌های طوقه‌ای در آغاز رشد و بسته به گره‌ای که از آن به وجود می‌آیند، کم و بیش به حالت افقی و تا فاصله ۱۵ الی ۲۰ سانتیمتری به اطراف یا در سمت فاصله ردیف‌های کاشت رشد می‌کنند، اما گسترش آنها در سمت بوته‌های مجاور کمتر است. ریشه‌ها پس از تکمیل رشد کمی افقی و مایل، به طور عمودی و تا عمق ۱ تا ۲ متری در خاک‌های عمیق، نفوذ پذیر و مرطوب نفوذ می‌کنند. ریشه‌ها موجب جذب آب و مواد غذایی و تثبیت گیاه در خاک در مراحل مختلف رشدی شده و نسبت به افزایش سن و دوره رشد گیاه در خاک گسترش و توسعه می‌یابند.

شکل ۱-۱ ریشه های بذری در گندم (عکس از مؤلف)

ساقه گندم مانند تمام تیره غلات بندبند، توخالی و استوانه‌ای شکل است به طوری که شکل استوانه‌ای و وجود دسته‌های فیبر در آن موجب استحکام ساقه شده و این ویژگی

1. Poaceae

تا حدودی ساقه را در مقابل ورس (خوابیدگی[1]) مقاوم می‌نماید (شکل ۱-۲). علاوه بر ساقه اصلی اغلب ارقام گندم دارای ساقه های ثانویه هستند که اصطلاحاً پنجه نامیده می‌شود (شکل ۱-۳). محل گره‌ها در ساقه توپر و مغزدار می‌باشد. ساختمان گره‌ها نیز از طرف دیگر به استحکام ساقه کمک کرده و از ورس جلوگیری می‌نماید. ارتفاع، رنگ و ضخامت ساقه نیز در ارقام مختلف تغییر می‌نماید (شکل ۱-٤).

شکل ۱-۲
ساقه گندم

شکل ۱-۳ پنچه زنی در گندم
(عکس از مؤلف)

شکل ۱-٤
گره در گندم

در شرایط محیطی مناسب، در گندم پاییزه ۱۱ تا ۱۵ برگ و در گندم بهاره ۵ تا ۷ برگ روی ساقه اصلی به وجود می‌آید. توزیع برگ‌ها بر روی ساقه به صورت مارپیچ است. هر برگ از دو قسمت نیام و تیغه باریک و بلند که به منزله پهنک برگ می‌باشد تشکیل شده است. طول پهنک برگ روی ساقه اصلی حدود ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتر و عرض آن ۰/۵ تا ۲ سانتیمتر متغیر است. پایین‌ترین برگ از بقیه کوتاه‌تر است و دارای پهنکی است که در هر طرف رگبرگ اصلی حدود ۱ سانتیمتر عرض دارد و این عرض را تا طول زیادی حفظ می‌کند و رأس آن گرد است. در برگ‌های بالاتر به تدریج از عرض منطقه فوقانی پهنک کاسته می‌شود. به طوری که برگ پرچم از حدود یک سوم طول قاعده شروع به باریک شدن می‌کند و نوک آن تیز است. اندازه برگ روی هر پنجه تابعی از درجه آن پنجه است. طول برگ‌ها از پایین به طرف بالا افزایش می‌یابد ولی از یک یا دو برگ زیر برگ پرچم شروع به کوتاه شدن می‌کنند. به طوری که برگ پرچم کوتاه‌ترین

1. Lodging

برگ است. اما عرض برگ‌ها از پایین ساقه به طرف بالا زیاد می‌شود. به طوری که برگ پرچم عریض‌ترین برگ در ساقه است. نیام که به منزله دمبرگ است ساقه را به صورت غلافی در بین دو گره در بر گرفته و به استحکام ساقه کمک می‌کند (شکل ۱-۵).

شکل۱-۵ برگ در گندم

در حد فاصل برگ و دمبرگ زوایدی زبانه مانند به نام زبانک[1] و گوشوارک[2] وجود دارد (شکل ۱-٦). زبانک از محل اتصال برگ به دمبرگ خارج شده و حدود ۲ میلیمتر طول دارد و شفاف و بی‌رنگ است. گوشوارک از دو زبانه تشکیل شده و قسمتی از ساقه را احاطه می کند و دارای کرک‌های ریزی می‌باشد. به هر حال، برگ‌های پایینی بوته تأمین کننده مواد غذایی مورد نیاز برای رشد ریشه، برگ‌های جدید و پنجه‌ها می باشند.

1. Ligul
2. Stipule

شکل ۱-٦ زبانک (سمت راست) و گوشوارک (سمت چپ) در گندم

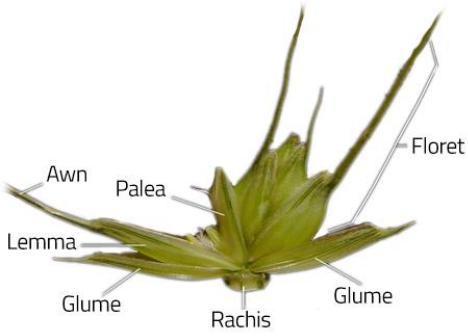
گل‌آذین گندم به صورت یک سنبله انتهایی است. در هر سنبله پتانسیل فرم گیری ۲۰ تا ۳۰ سنبلچه وجود دارد. سنبلچه‌ها به صورت منفرد در هر گره و به صورت متناوب در دو سمت محور زیگزاگ سنبله توزیع شده‌اند (شکل ۱-۷).

شکل ۱-۷ سنبله در گندم (عکس از مؤلف)

در هر سنبلچه میانی پتانسیل تشکیل ۸ تا ۱۲ گل وجود دارد. در سنبلچه‌های پایینی و بالایی پتانسیل تشکیل شش تا هشت بنیان گل وجود دارد. گل‌ها بدون پایه بوده و به طور متناوب در دو سمت محور سنبلچه قرار گرفته اند. پایین‌ترین گل بزرگترین و بالغ‌ترین آنها است. در هر سنبلچه حداقل دو تا چهار گل و به ندرت تا شش گل به دانه قابل برداشت تبدیل می‌شود (شکل ۱-۸).

شکل۱-۸ گل در گندم

هر گلچه شامل یک مادگی یا تخمدان تک سلولی و سه پرچم است. سنبلچه توسط دو زائده مقعر به نام پوشه[1] پوشیده شده و در آن ۳ تا ۵ گل وجود دارد و هر گل توسط دو عضو به نام پوشینه[2] از اطراف احاطه گردیده است. بعلاوه در اطراف هر پرچم و مادگی سه زائده کوچک به نام پوشینک[3] وجود دارد (شکل ۱-۹).



شکل۱-۹ اجزای گل در گندم

شکل۱-۱۰ دانه در گندم

دانه گندم مانند سایر غلات، یک میوه خشک ناشکوفا و تک دانه (گندمه) می‌باشد. دانه در گندم نان تقریباً تخم مرغی شکل و طول آن بسته به شرایط تولید، رقم و مکان در سنبله و سنبلچه بین ٤ تا ۱۰ میلیمتر و قطر آن ۳ تا ۵ میلیمتر است. دانه در سمت شکمی دارای شیار بین دو لَپ و در تمام طول می‌باشد. دانه گندم شامل پوسته میوه، پوسته حقیقی دانه، لایه خورش، اندوسپرم و جنین است (شکل ۱-۱۰).

1. Glume
2. Glumelle
3. Glimellule

مراحل نمو[1] گندم

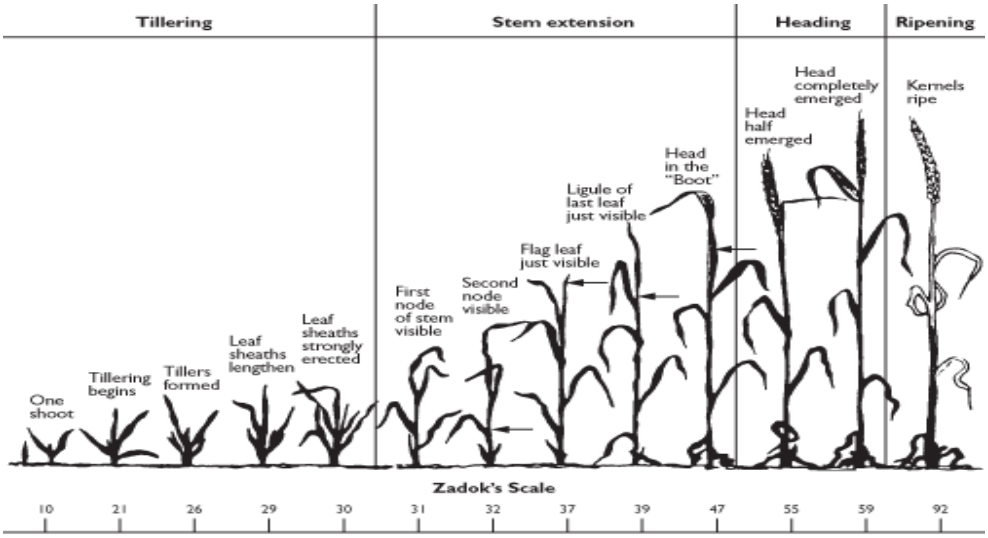
مراحل رشد و نمو در زمانی است که تغییرات فیزیکی قابل تشخیص در گیاه دیده شود. نیاز به شناسایی چنین مراحلی برای محققان بسیار مهم است، به دلیل اینکه آنها با تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در گیاهان همراه‌اند که هر آزمایش بر روی آنها تأثیر می‌گذارد. نمونه‌هایی از این تغییرات شامل ساقه‌دهی، تورم سنبله، خوشه رفتن، گل‌دهی، پُرشدن دانه، رسیدگی و غیره می‌باشد. بسیاری از فعالیت‌های مدیریت زراعی مانند استفاده از کودهای شیمیایی، آفت کش‌ها، علف کش‌ها و آبیاری بر اساس مراحل نموی تعیین می‌شود. بنابراین فهم درست از مراحل نمو یکی از موضوعات اساسی در یک برنامه تحقیقاتی موفق در گیاه است.

برای توصیف مراحل نموی در گندم، چندین سیستم تعریف شده است. سیستم زادوکس (Zadoks) شایع‌ترین سیستم مورد پذیرش در بین جوامع علمی می‌باشد که شامل یک کد دو عددی است. اولین عدد به مراحل اصلی نمو (۰-۹، جوانه زنی تا رسیدن) و عدد دوم بخش‌های فرعی مراحل اصلی را به ما نشان می‌دهد. علاوه بر سیستم زادوکس سیستم های هان[2] و فیکس- لارج به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم هان بر اساس مراحل تولید برگ در جهت نمو با استفاده از طول برگ جدید نسبت به برگ قبلی توصیف می‌شود. سیستم فیکس-لارج[3] به صورت عددی مراحل اصلی نمو مانند پنجه زنی تا رسیدگی را شناسایی می‌کند، اما فقدان بخش فرعی که توسط سیستم زادوکس ارائه شده، کمتر مشخص می‌باشد. ارتباط بین سیستم زادوکس و فیکس- لارج ایجاد شده است. جدول ۱-۱ مراحل نمو را بر اساس سیستم زادوکس نشان می‌دهد.

مراحل اصلی نموی گندم بر اساس کُدبندی زادوکس و همکاران[4] به شرح زیر می‌باشد (شکل ۱-۱۱).

1. Growth Stage
2. Haun
3. Feeks-Larg
4. Zadoks et al

۱. جوانه‌زنی (Germination)
۲. رشد گیاهچه (leaf development)
۳. پنجه‌زنی (Tillering)
٤. رشد ساقه (Stem elongation)
۵. مرحله تورم سنبله (Booting)
٦. خروج گل‌آذین یا سنبله‌دهی(Inflorescence emergence or Heading)
۷. گرده افشانی یا گلدهی (Flowering or Anthesis)
۸. مرحله شیری (Milk development)
۹. مرحله خمیری (Dough development)
۱۰. رسیدگی (Ripening)



شکل ۱-۱۱ کُدبندی مراحل نمو و رشد غلات ریز دانه بر اساس مقیاس زادوکس و همکاران (۱۹۷٤)

جدول ۱-۲ سیستم مقیاس زادکس برای توصیف مراحل نمو گندم

مراحل رشد	شرح مراحل	مراحل رشد	شرح مراحل
جوانه زنی		**خروج گل آذین**	
۰۳	جوانه زنی و تورم دانه	۵۱	خروج اولین سنبلچه از غلاف برگ پرچم
۰۵	خروج ریشه چه از بذر	۵۵	خروج نیمی از گل آذین
۰۷	خروج کلئوپتیل از بذر	۵۹	خروج کامل گل آذین
۰۹	نوک برگ رد رأس کلئوپتیل	**گلدهی**	
رشد گیاهچه		٦١	شروع گرده افشانی
۱۰	خروج اولین برگ از کلئوپتیل	٦٥	اواسط گرده افشانی
۱۱	باز شدن برگ اول	٦٩	تکمیل گرده افشانی
۱۳	باز شدن برگ سوم	مرحله شیری	
۱۵	باز شدن برگ پنجم	۷۱	دانه رسیده آبدار
۱۹	باز شدن ۹ برگ یا بیشتر	۷۳	اوایل شیری
پنجه زنی		۷۵	اواسط شیری
۲۰	فقط ساقه اصلی	۷۷	اواخر شیری
۲۱	ساقه اصلی و یک پنجه	مرحله خمیری	
۲۳	ساقه اصلی و سه پنجه	۸۳	اوایل خمیری
۲۵	ساقه اصلی و پنج پنجه	۸۵	خمیری نرم
۲۹	ساقه اصلی و نه پنجه یا بیشتر	۸۷	خمیری سخت
رشد ساقه		رسیدگی	
۳۰	ساقه کاذب (یک سانتیمتر)	۹۱	دانه سخت (با فشار ناخن به سختی نصف می شود)
۳۱	تشخیص اولین گره	۹۲	دانه سخت (ناخن فرو نمی رود)
۳۲	تشخیص دومین گره	۹۳	دانه ها در اواسط روز توسط پوشش احاطه نمی گردند
۳۳	تشخیص سومین گره		
۳۷	شروع خروج برگ پرچم		
۳۹	برگ پرچم به طور کامل قابل رویت		
تورم سنبله			
٤١	گسترش غلاف برگ پرچم		
٤٣	مشاهده تورم غلاف برگ پرچم		
٤٥	تورم کامل غلاف برگ پرچم		
٤٧	باز شدن غلاف برگ پرچم		

جوانه زنی و رشد گیاهچه (مراحل ۰۰ تا ۱۹)

سیستم زادوکس از مرحله صفر شروع می‌شود (گندم در حال رشد). مرحله بذر خشک تا ظهور کولئوپتیل و تشکیل اولین برگ در رأس آن است. سپس مرحله رشد گیاهچه (GS1) اتفاق می‌افتد و با تشکیل برگ شروع می‌شود. هر چهار یا پنج روز یک برگ و معمولاً تا نه برگ یا بیشتر در مجموع تولید می‌شود. به طور معمول می‌توان نمونه‌های برگ را برای استخراج DNA در مرحله سه برگی شروع کرد تا اطمینان حاصل شود مقدار زیادی از گیاه را حذف نکرده‌اید. سبز شدن برای یک رقم خاص زمانی است که ۵۰ درصد بذرها در نقاط مختلف کاشت مزرعه ظهور کرده‌اند(شکل ۱-۱۲). سبز شدن بذر تا حد زیادی به عمق کاشت دانه، انرژی جوانه‌زنی و مقدار مواد غذایی موجود در آندوسپرم بستگی دارد. بنابراین عمق مناسب کاشت بذر و قابلیت جوانه زنی بذر از اقدامات مهم برای سبز شدن بذور در مزرعه می‌باشد.

شکل ۱-۱۲ سبز شدن بذور در مزرعه (عکس از مؤلف)

پنجه زنی (مراحل ۲۰ تا ۲۹)

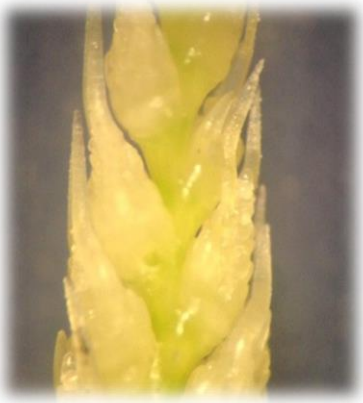
پنجه‌ها ساقه‌های جانبی هستند که بر روی ساقه اصلی گیاه ظاهر می‌شود. پس از ظهور پنجمین پنجه ممکن است پنجه های بیشتری تولید شوند. به این مرحله پنجه‌زنی گفته می‌شود (GS2). هر پنجه دارای پتانسیل تولید سنبله است، به همین دلیل مدیریت

تولید پنجه در زمینه عملکرد دانه بسیار مهم است. اغلب سه پنجه در بوته تولید می‌شود، اما در انواع خاصی تا نه پنجه نیز تولید می‌شود. هر پنجه اضافی نشان دهنده یک زیر مجموعه در مراحل پنجه‌زنی است (شکل ۱-۱۳). نکته مهم این است که توجه داشته باشید که رشد سنبله در مرحله پنجه‌زنی اتفاق می‌افتد و پس از تکمیل تشکیل آن، ساقه شروع به بلند شدن می‌کند. این امر منجر به مرحله رشد ساقه می‌شود (GS3).

شکل ۱-۱۳ پنجه زنی در گندم

رشد ساقه (مراحل ۳۰ تا ۳۹)

سنبلچه انتهایی (GS30) مرحله‌ای است که در آن سنبله نهایی را می‌توان به شکل یک سنبله در پایه پنجه مشاهده کرد (شکل ۱-۱٤). تعیین مرحله سنبلچه انتهایی بسیار دشوار است و به باز کردن پنجه نیاز است. در گندم پاییزه رشد طولی ساقه نیازمند طی شدن یک دوره سرما است که مدت آن ۳۰ تا ٤٥ روز در دمای ۰-۵ درجه سانتیگراد می‌باشد. نکته قابل توجه این است که برای اولین بار در این کتاب به ترکیبات فیتوهورمونی لازم برای طی کردن دوره بهاره سازی بدون نیاز به طی کردن دوره سرما اشاره شده است. مرحله (GS31) را می توان لمس اولین گره بر روی ساقه اصلی (ارتفاع آن بیش از یک سانتیمتر) در نظر گرفت که به راحتی با چشم غیر مسلح رویت می‌شود. مشاهده هر گره روی ساقه اصلی را یک زیر مجموعه جدید در مراحل رشد ساقه در نظر می‌گیرند.



شکل ۱-۱٤ مرحله سنبلچه انتهایی (عکس از مؤلف)

مرحله تورم سنبله (مراحل ۴۰ تا ۴۹)

وقتی که برگ پرچم کاملاً قابل مشاهده است، مرحله تورم سنبله (GS4) شروع می‌شود. در مرحله (GS41) آثار بزرگ شدن گل آذین در قاعده غلاف برگ پرچم قابل مشاهده است. با رسیدن رأس سنبله به نزدیکی یقه برگ پرچم مرحله تورم سنبله (GS49) تکمیل می‌شود (شکل ۱-۱۵).

شکل۱-۱۵ مرحله ورم سنبله

خروج گل آذین یا سنبله‌دهی (مراحل ۵۰ تا ۵۹)

همانطور که ساقه هم چنان رشد می‌کند، سنبلچه از برگ پرچم خارج شده که این مرحله شروع سنبله دهی (GS5) است. اخته کردن[1] گندم برای خود گرده افشانی[2] در اصلاح در این مرحله صورت می‌پذیرد. زیر مجموعه‌های این مرحله را با شمارش خروج سنبلچه می‌توان تعیین کرد. به عنوان مثال زمانی که ۵۰ درصد سنبلچه‌ها از غلاف برگ پرچم خارج شده‌اند را مرحله (GS55) گویند (شکل ۱-۱۶).

شکل ۱-۱۶ سنبله دهی (عکس از مؤلف)

گرده افشانی یا گلدهی

مرحله گلدهی (GS6) بعد از سنبله‌دهی شروع می‌شود، وقتی که دانه گرده توسط بساک آزاد می‌شود. با این حال، برخی ارقام می‌توانند شروع به گل دادن کنند درحالیکه سنبلچه به طور کامل از غلاف برگ پرچم خارج نشده است. گرده افشانی در گندم از اواسط سنبلچه آغاز شده و بعد از چند روز به پایان می‌رسد. دوره گرده افشانی بین ۳ تا ٤ روز در مزرعه طول می‌کشد. این مرحله بسیار مهم می‌باشد زیرا زمانی که بساک دانه گرده را

1. Emasculation
2. Self-pollination

رها می‌کند گلچه شروع به خارج شدن می‌کند. در این مرحله فیزیولوژیکی بساک به شدت تحت تأثیر دما قرار می‌گیرد (شکل ۱-۱۷).

مرحله شیری

مرحله شیری (GS7) زمانی شروع می‌شود که گلدهی کامل شده است و مرحله اولیه شکل گیری دانه می‌باشد. این مراحل به اوایل، اواسط و اواخر شیری تقسیم می‌شود. شروع توسعه آندوسپرم یک مایع آبکی شیری رنگ که در مراحل بعدی به سمت جامد شدن می‌رود. اندازه دانه در این مرحله به سرعت افزایش می‌یابد. این مرحله یک تا دو هفته بعد از گرده افشانی در مزرعه مشاهده می‌شود.

مرحله خمیری

مرحله خمیری (GS8) مرحله ای است که طی آن بیشتر وزن خشک دانه (پروتئین و نشاسته) تجمع می‌یابد. مرحله خمیری سخت نشان دهنده دستیابی به حداکثر وزن خشک با حدود ۳۰ درصد رطوبت دانه است. این مرحله به عنوان بلوغ فیزیولوژیکی دانه در گندم شناخته می‌شود (شکل ۱-۱۸).

شکل۱-۱۸ مرحله خمیری دانه در گندم

شکل ۱-۱۷ گرده افشانی در گندم

رسیدگی

در مرحله رسیدگی کامل (GS93) دانه سخت و با ناخن خط نمی‌گیرد. در نهایت رطوبت دانه به ۱۳ تا ١٤ درصد کاهش می‌یابد که به این مرحله رسیدگی گفته می‌شود و دانه برای برداشت با کمباین مناسب است (شکل ۱-۱۹).

شکل۱-۱۹ برداشت با کمباین (عکس از مؤلف)

سازگاری

در سطح جهانی گندم در حد فاصل عرض جغرافیایی کمتر از ٦٦ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی (مدار قطب شمال) در شمال فنلاند و آلاسکا تا مدار رأس السرطان (عرض جغرافیایی ۲۳ درجه شمالی) و در حد فاصل مدار رأس الجدی (عرض جغرافیایی ۲۳ درجه جنوبی) تا عرض جغرافیایی حدود ۵۰ درجه جنوبی (در آرژانتین) کاشته می‌شود. اما گندم سازگاری بهتری به عرض های جغرافیایی بالا (۲۸ تا ۵۰ درجه شمالی و ۲۵ تا ٤۰ درجه جنوبی) دارد. از نظر ارتفاع از سطح دریا، از صفر (در بسیاری از نقاط جهان و ایران) تا حدود ٤۵۰۰ متر (در تبت) کشت می‌گردد. گندم تقریباً در تمام نواحی ایران و از سطح دریا تا ارتفاع کمتر از ۳۰۰۰ متر (بسته به عرض جغرافیایی) و در طیف وسیعی از اقلیم‌ها کشت می‌شود. گندم از نظر واکنش به طول روز در گروه گیاهان روز بلند قرار می‌گیرد. ارقام بسیار حساس به طول روز در فتوپریود ۲۰ ساعت یا بیشتر در وضعیت اشباع قرار دارند. پیدایش حداقل یک برگ در بوته برای شروع واکنش به طول روز در گندم ضروری شناخته شده است. همچنین گندم از نظر سازگاری به دما در گروه گیاهان سرمادوست قرار گرفته دارد. دمای حدود ۲۰ درجه سانتی گراد برای رشد گندم در شرایط آزمایشگاهی و میانگین دمای شبانه روزی هوا در حدود ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتیگراد در شرایط مزرعه مناسب است. باد ملایم با رطوبت متوسط برای رشد گیاه مطلوب است و بادهای شدی موجب خوابیدگی می‌گردند. وقوع بادهای داغ و خشک، حتی برای مدت کوتاه، از مرحله شروع سنبله مستور تا اواخر مرحله شیری می‌تواند موجب کاهش تعداد دانه در سنبله گردد که به حالت بادزدگی موسوم است. در اثر این حالت، بخش فوقانی سنبله خشک و سفید می‌گردد. اما بعید به نظر می رسد که در اقلیم‌های ایران چنین بادهایی در مرحله سنبله مستور تا اواخر مرحله شیری وزیده شود. نیاز به دانه گندم و میزان عملکرد آن در خاک های معمول زراعی در حدی است که بافت خاک به عنوان عامل محدود کننده تولید گندم و تخصیص اراضی به آن منظور نمی‌سازد. اما خاک‌هایی با بافت درشت مثل شن لومی و شنی به دلیل ضعف عناصر غذایی و پایینی ظرفیت آبگیری و

خاک‌هایی با بافت خیلی ریز مثل رس سیلتی و رسی به دلیل محدودیت تهویه و کمی نفوذ پذیری مطلوب نیستند. گندم از گیاهان نسبتاً مقاوم به شوری محسوب می‌شود و از این نظر در میان غلات بعد از جو قرار گرفته است. گندم به خشکی مقاوم است اما بیشترین رشد و عملکرد دانه وقتی به دست می‌آید که از دوران رشد سریع بهار تا پایان مرحله خمیری نرم هنگامی آبیاری شود که پتانسیل آب در خاک به ۰/۵- اتمسفر رسیده باشد. مقاومت گندم به کمبود اکسیژن و زیادی گاز کربنیک در خاک و بالایی سفره آب زیرزمینی در مقایسه با سایر گیاهان متوسط است. اما مقاومت ارقام مختلف به آب ایستادگی متفاوت است.

فصل دوم

تنظیم کننده های رشد گیاهی[1]

همه ما می‌دانیم که گیاهان نور، آب، اکسیژن و مواد غذایی را برای رشد و توسعه نیاز دارند. همه این فاکتورها به عنوان عامل بیرونی مهم هستند. در حالیکه عوامل بیرونی مهم هستند، آیا می‌دانید که رشد گیاهان به عوامل درونی نیز بستگی دارد؟ عوامل درونی مانند ژن‌های درون سلولی[2] یا مواد شیمیایی بین سلولی[3] اند. این مواد شیمیایی را تنظیم کننده‌های رشد گیاهی می‌نامند. تنظیم کننده‌های رشد گیاهی مواد شیمیایی متعددی هستند که عمیقاً بر رشد و تمایز در سلول های گیاهی، بافت‌ها و اندام‌های گیاهی تأثیر گذارند. تنظیم کننده های شیمیایی به عنوان پیام رسان های شیمیایی[4] برای برقراری ارتباط بین

1. Plant Growth Regulation
2. Intracellular
3. Intercellular
4. Chemical messengers

سلول‌ها عمل می‌کنند. تنظیم کننده‌های رشد گیاهی می‌توانند ترکیبات شیمیایی متنوعی از جمله گازها (اتیلن)، ترپن‌ها (جیبرلین‌ها) یا مشتقات کارتنوئید (آبسیزیک اسید) باشند. آنها همچنین به عنوان ماده رشد گیاهی[1]، فیتوهورمون‌ها[2] و یا هورمون‌های گیاهی[3] شناخته می‌شوند. تنظیم کننده‌های رشد گیاهی بر اساس تأثیر به بخش های زیر تقسیم می‌شوند.

- **پیش برنده‌های رشد گیاهی[4]**: این گروه از تنظیم کننده‌های رشد گیاهی پیش برنده توسعه و تقسیم سلولی، گلدهی، جوانه‌زنی و تشکیل دانه می‌باشند. اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکنین‌ها در این گروه قرار داند.
- **مهار کننده رشد گیاهی[5]**: این مواد باعث کاهش رشد و تسریع در خواب و ریزش[6] در گیاهان می‌شوند و شامل اتیلن و آبسیزیک اسیداند.

علاوه بر پنج گروه اصلی تنظیم کننده رشد گیاهی، گاهی اوقات گروه‌های دیگری در تنظیم رشد گیاهی مؤثر می‌باشند که شامل براسینواستروییدها، پلی آمین‌ها و جاسمونات‌ها می‌باشند. در این کتاب ما دو گروه از تنظیم کننده های رشد گیاهی شامل جیبرلین‌ها و سیتوکنین‌ها و اثرات آنها بر روی بهاره سازی را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

به طور کلی ماده‌ای از نظر فیزیولوژیکی تنظیم کننده رشد طبیعی در گیاهان محسوب می شود که دارای سه ویژگی زیر باشد.

- محل ساخته شدن و محل اثر آن در گیاه مشخص باشد.
- با غلظت کم اثرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ماده در گیاه ظاهر شود.
- واکنش‌های غیرقابل برگشت تحت تأثیر ماده ایجاد شود.

1. Plant Growth Substances
2. Phytohormones
3. Plant hormone
4. Plant Growth Promoters
5. Plant Growth Inhibitors
6. Abscission

جیبرلین

بیان عمومی جیبرلین

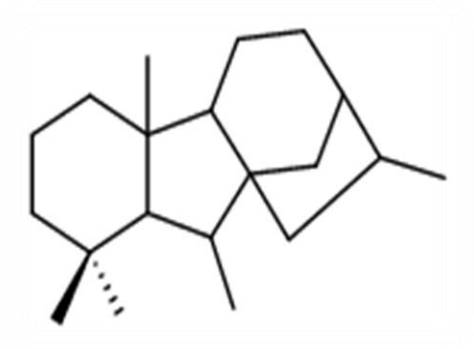
جیبرلین‌ها دارای انواع هورمون‌های گیاهی و قارچی می‌باشند. در حالیکه نقش آن در توسعه قارچی به وضوح درک نشده است، در گیاهان به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. جیبرلین در ابتدا توسط دانشمندان ژاپنی که بر روی بیماری فوزاریوم[1] برنج در دهه ۱۹۳۰ مطاله می‌کردند، مورد توجه قرار گرفت. این قارچ در مراحل کامل جنسی به نام *Gibberella fujikuroi* شناسایی و خالص سازی شد. دانشمندان بعد از استعمال خارجی آن بر روی گیاهان سالم، متوجه شدند که اثرات مشابهی با گیاهان آلوده داشت. آزمایشات بیشتر در دهه های ۱۹٤۰ و ۱۹۵۰ در آمریکا عملکردهای بیشتری از جیبرلین را نشان داد. جیبرلین‌ها توانایی غلبه بر خواب در بذر، گسترش طول ساقه و ترقیب تقسیم سلولی را دارند و دارای نقش‌های هورمونی و سیگنالی در فرآیندهای پیری و باروری می‌باشند.

ساختار جیبرلین

جیبرلین‌ها در نقاط مختلف گیاه تولید می‌شوند. بیش از ۱۰۰ نوع جیبرلین تاکنون کشف شده است. همه آنها اسیدی بوده و شماره گذاری آنها به ترتیب GA_1،GA_2، GA_3 و... گزارش شده است. جیبرلین‌ها در بسیاری از بخش‌های گیاه تولید می‌شوند (میوه‌ها، دانه‌ها، جوانه‌ها و برگ‌های جوان) اما تمرکز آنها در ریشه‌ها بیشتر می‌باشد. هر چند که ریشه‌ها یکی از منابع غنی جیبرلین در گیاه هستند ولی این هورمون‌ها از نظر تشدید رشد ریشه اثری ندارند و از ریشه به سایر اندام های گیاه منتقل می‌شوند. جیبرلیک اسید ۳ (GA_3) شناخته شده‌ترین جیبرلین است، زیرا اولین جیبرلین کشف شده می‌باشد. جیبرلیک اسید ٤ (GA_4) و جیبرلیک اسید ۷ (GA_7) نیز دارای اهمیت بالایی هستند زیرا پیش ماده های حد واسط جیبرلیک اسید ۳ می باشند و در کشت بافت نیز از آنها استفاده می‌شود

1. Fusarium miliform

و نسبت به جیبرلیک اسید ۳ فعالیت بیولوژیکی متفاوتی دارند. جیبرلین‌ها یک خانواده شیمیایی گسترده بر اساس ساختار حلقه جیبان[1] (شکل ۲-۱) می‌باشند. جیبرلین‌ها از نظر شیمیایی دی‌ترپنوئید[2] هستند. ساختار شیمیایی آن مانند ویتامین A و ویتامین E است. سایر جیبرلین‌ها دارای یک ساختار پایه یکسان می‌باشند اما گروه‌های مختلفی به آنها متصل می‌شوند. این گروه‌ها بر اساس نحوه عمل در بافت‌های مختلف، ویژگی‌های متنوع و منحصر به فردی دارند.



شکل ۲-۱ حلقه جیبان

استفاده تجاری جیبرلین

به صورت تجاری، جیبرلین‌ها از قارچ‌ها و نه از گیاهان استخراج می‌شوند. گیاهان جیبرلین بسیار کمی تولید می‌کنند و استخراج آن دشوار است. جیبرلین‌هایی که از قارچ‌ها تولید می‌شوند باعث جوانه‌زنی و افزایش طول میانگره می‌شوند. اما هنوز این موضوع به اثبات نرسیده است. استعمال جیبرلین در انگور باعث بی‌دانه شدن آن می‌شود. در حالیکه مقدار آب و قند ذخیره شده در میوه افزایش می‌یابد و این برای تاکستان‌های انگور فوق العاده می‌باشد و می‌تواند برداشت را به طور قابل توجهی افزایش دهد. از دیگر مزایای استفاده از جیبرلین افزایش رشد برنج‌های نیمه کوتاه بعد از استعمال خارجی جیبرلین

1. Ent-gibberellan
2. Diterpenoid

می‌باشد. همچنین در برخی منابع جیبرلین جایگزین دوره سرما در گیاهانی است که به یک دوره سرما برای گلدهی نیاز دارند.

بیوسنتز جیبرلین‌ها

جیبرلین‌ها چرخه دی‌ترپنوئید[1] یا تراایزوپرنوئید[2] هستند. در بیوسنتز جیبرلین‌ها درک صحیح مسیر اصلی سنتز ایزوپرنوئیدها[3] بسیار مهم است. همه اتم‌های کربن از ایزوپرن[4] (C_5H_8) استات مشتق شده‌اند. ۵ کربن ایزوپرن (مونومر) شامل ۲ کربن از گروه کربوکسینیل[5] (COOH) استات[6] و ۳ کربن از گروه متیل[7] (CH_3) کربن استات است. اولین گام تشکیل اسید استیک[8] فعال است، یعنی استیل کوآنزیم آ[9] (CoA) استری شده و ATP[10] در این واکنش دخیل است (شکل ۲-۲).

$$CH_3COOH + CoA\text{-}SH + ATP \longrightarrow CH_3CO\text{-}SCoA + AMP + PP_i$$

Acetic acid Coenzyme A Acetyl CoA

شکل ۲-۲ تشکیل اسید استیک

۳ مولکول استیل کوآنزیم آ تولید شده در ۲ واکنش تجمعی متوالی شرکت می‌کنند (شکل ۲-۳).

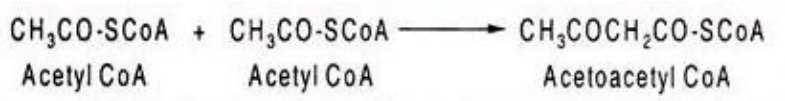
$$3CH_3COOH + 3CoA\text{-}SH + 3ATP \longrightarrow 3CH_3CO\text{-}SCoA + 3AMP + 3PP_i$$

Acetic acid Acetyl CoA

شکل ۲-۳

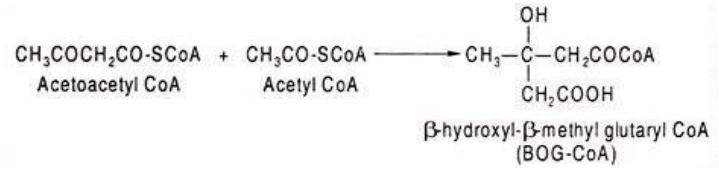
1. Diterpenoid
2. Tetraisoprenoid
3. Isoprenoid
4. Isoprene
5. Carboxyl
6. Acetate
7. Methyl
8. Acetic acid
9. Acetyl CoA
10. Adenosine triphosphate

اولین واکنش: دو استیل کوآنزیم آ (CoA) با هم ترکیب شده و استواستیل کوآنزیم آ[1] تشکیل می‌شود (شکل ۲-٤).



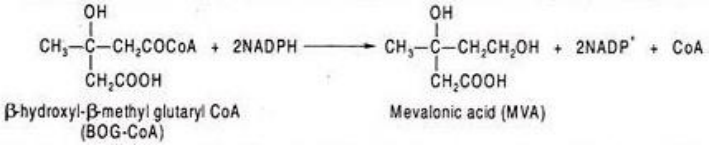
شکل ۲-٤

دومین واکنش: استواستیل کوآنزیم آ با یک استیل کوآنزیم آ (CoA) دیگر ترکیب می‌شود و بی هیدروکسی بی متیل گلوتاریل کوآنزیم آ[2] را به وجود می‌آورند (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵ بی هیدروکسی بی متیل گلوتاریل کوآنزیم آ

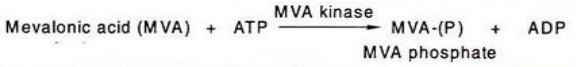
گام بعدی تبدیل β-Hydroxy β-methylglutaryl-CoA به موالونیک اسید (MVA) است. این شامل احیاء β-Hydroxy β-methylglutaryl-CoA در ۲ مرحله با NADPH[3] می‌باشد و موالونیک اسید[4] تشکیل می‌شود (شکل ۲-٦).



شکل ۲-٦ موالونیک اسید

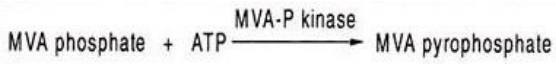
سپس موالونیک اسید تحت تأثیر آنزیم کیناز موالونیک اسید[5] و با حضور ATP فسفریله[6] می‌شود (شکل ۲-۷).

1. Acetoacetyl CoA
2. β-Hydroxy β-methylglutaryl-CoA
3. Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate
4. Mevalonic acid
5. MVA kinase
6. phosphorylated



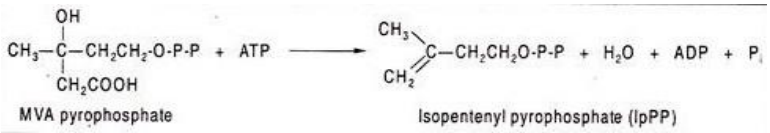
شکل ۲-۷ موالونیک اسید فسفات

در مرحله دوم، موالونیک اسید فسفات دوباره با آنزیم موالونیک اسید کیناز فسفریله شده و پیرو فسفات موالونیک اسید[1] (MVA-PP) را تولید می‌کند (شکل ۲-۸).



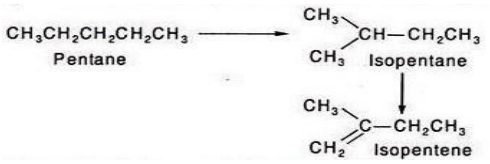
شکل ۲-۸ پیرو فسفات موالونیک اسید

در مرحله بعدی، گروه کربوکسیل پیرو فسفات موالونیک اسید (MVA-PP)را به صورت گازکربنیک (CO_2) از دست داده و همزمان با از دست دادن آب، تولید ایزوپنتنیل پیرو فسفات[2] (IpPP) می‌کند (شکل ۲-۹).



شکل ۲-۹ ایزوپنتنیل پیرو فسفات (IpPP)

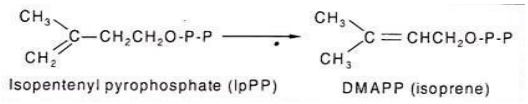
در این مرحله، ATP انرژی لازم برای انجام واکنش را فراهم می‌کند و پنتان به دو ایزوپنتن[3] تبدیل می‌شود (شکل ۲-۱۰).



شکل ۲- ۱۰ و تبدیل پنتان به دو ایزوپنتن

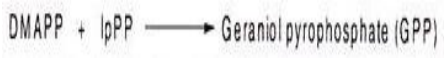
1. MVA pyrophosphate
2. Isopentenyl pyrophosphate
3. Isopentene

سپس ایزوپنتینیل پیرو فسفات (IpPP) تحت تأثیر آنزیم ایزوپنتینیل پیروفسفات ایزومراز (IpPP isomerase) به دی متیل آلیل پیروفسفات[1] (DMAPP) تبدیل می‌شود (شکل ۲-۱۱).



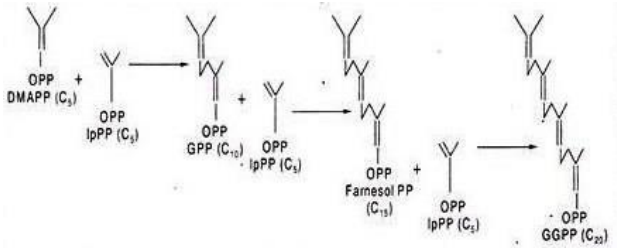
شکل ۲-۱۱ دی متیل آلیل پیروفسفات

یک مولکول دی متیل آلیل پیروفسفات (DMAPP) به عنوان یک پذیرنده مولکول ایزوپنتینیل پیرو فسفات (IpPP) عمل کرده و با حذف پیروفسفات (PP) تشکیل یک مولکول دی ایزوپرنوئید الکل پیرو فسفات[2] یا ژرانیل پیرو فسفات[3] (GPP) که یک مونوترپن است می‌دهد (شکل ۲-۱۲).



شکل ۲-۱۲ ژرانیل پیرو فسفات

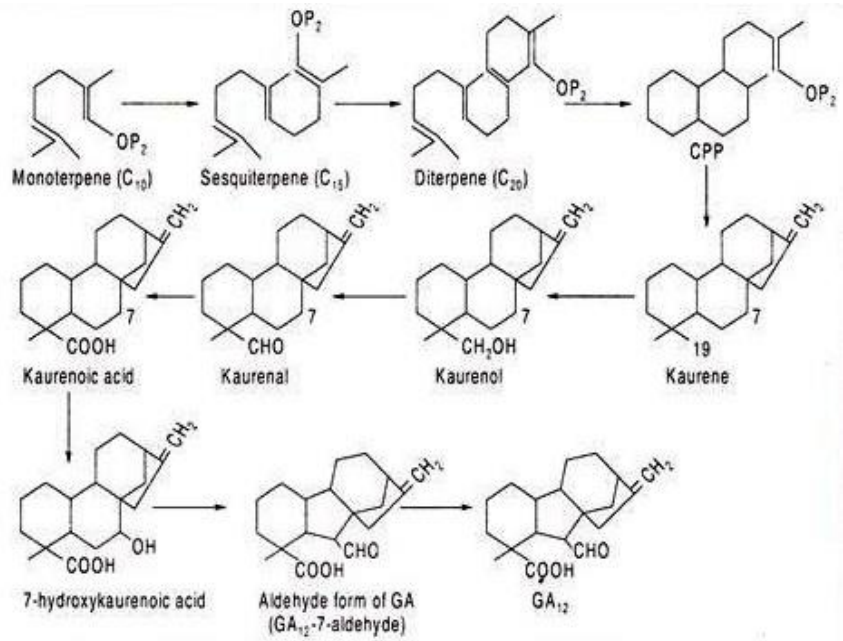
رشد بیشتر زنجیره پلی ایزوپرن با اضافه کردن واحد های ایزوپنتینیل پیرو فسفات (IpPP) افزایش یافته و فارنزول پیروفسفات[4] (پلیمری متشکل از ۳ ایزوپرن) از ژرانیل پیرو فسفات (GPP) به وجود می‌آید. سپس، فارنزول پیروفسفات با یک ایزوپنتینیل پیرو فسفات (IpPP) دیگر ترکیب و ژرانیل ژرانیول پیرو فسفات[5] (GGPP) را تشکیل می‌دهد (شکل ۲-۱۳).



شکل ۲-۱۳ ژرانیل ژرانیول پیرو فسفات (GGPP)

1. Dimethylallyl pyrophosphate
2. Diisoprenoid alcohol pyrophosphate
3. Geraniol pyrophosphate
4. Farnesol pyrophosphate
5. Geranyl geraniol pyrophosphate

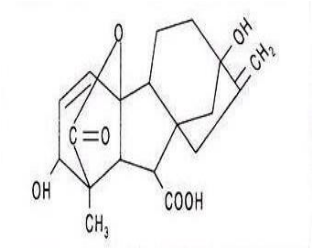
در مرحله بعد، ژرانیل ژرانیول پیروفسفات (GGPP) تا اندازه ای تشکیل یک حلقه داده که کوپالیل پیرو فسفات[1] (CPP) نام دارد. در مرحله بعد، کوپالیل پیرو فسفات (CPP) تبدیل به یک حلقه کامل می‌شود. کوپالیل پیروفسفات (CPP) در نهایت به کائورون[2] تبدیل می‌شود. کائورون ماده اساسی برای تشکیل تمام جیبرلین‌ها می‌باشد. کائورین به طور مکرر تبدیل به کائورول[3] شده و کائورول به کائورونیک اسید[4] تبدیل می‌شود. در کربن شماره ۷ در موقعیت حلقه ۲ کائورونیک اسید، یک گروه هیدروکسیل (OH) متصل شده و تشکیل ۷- هیدرکسی کائورونیک اسید[5] را می‌دهد. سپس با انقباض حلقه در کائورون با پدیده اکستروژن[6] کربن شماده ۷ به شکل (CHO) نمایان شده و جیبرلین برای اولین بار به فرم آلدئید GA_{12} مشاهده می‌گردد (شکل ۲-۱٤).



شکل ۲-۱٤ مسیر سنتز جیبرلیک اسید ۱۲ (GA_{12}) از مونوترپن

1. Copalyl pyrophosphate
2. kaurene
3. kaurenol
4. kaurenoic acid
5.7-hydroxykaurenoic acid
6. extrusion

در تشکیل جیبرلیک اسید ۳ (GA_3)، پل لاکتونی[1] بین کربن شماره ۱۹ و ۲۰ وجود دارد (شکل ۲-۱۵). در این مولکول دو پیوند دوتایی غیراشباع، یکی بین کربن شماره ۱ و ۲ و دیگری بین کربن شماره ۱۶ و ۱۷ به وجود می‌آید. دو گروه هیدروکسیل (OH) در کربن شماره ۳ و ۱۳ وجود دارد. ترکیباتی مانند جیبرلیک اسید ۳ که در آنها یک پل لاکتونی تشکیل می شود، به ترکیبات ۱۹ کربنه (C_{19}) معروفند. در حالیکه گروه بزرگی از جیبرلین‌ها وجود دارند که دارای ۲۰ کربن (C_{20}) در ساختارشان می‌باشند.



شکل ۲-۱۵ جیبرلیک اسید ۳ (GA_3)

در طرح بیوژنیک فرض می‌شود اولین جیبرلین‌ها از جیبرلین آلدئید در قارچ‌ها و گیاهان عالی تشکیل می‌شود. تفاوت عمده بین جیبرلین قارچ‌ها و گیاهان عالی به حضور یا عدم حضور گروه هیدروکسیل (OH) در موقعیت کربن های شماره ۳ و ۱۳ بستگی دارد. در گیاهان عالی دو مسیر وجود دارد، در حالیکه تنها یک مسیر در قارچ ها وجود دارد. یکی از مسیرهای گیاهان عالی با قارچ‌ها مشابه می‌باشد، که در این مسیر هیدروکسیله شدن در کربن شماره ۳ اتفاق می‌اُفتد. مسیر دیگر که منحصر به گیاهان عالی می‌باشد، در آن هیدروکسیله شدن در موقعیت کربن شماره ۱۳ اتفاق می‌اُفتد.

جیبرلین‌های باند (الحاقی)

چندین ماده جیبرلین مانند به صورت محدود و به طور خاص در دانه‌ها و میوه‌ها یافت می‌شود. در مقابل با جیبرلین‌های معمولی، این مواد را نمی‌توان از محلول‌های آبی اسیدی شده با اتیل استات استخراج کرد، اما می‌توان با n-بوتانول استخراج کرد. اضافه

1. lactone bridge

کردن این مواد با اسید، قلیا یا آنزیم مانند فیسین[1]، منجر به آزاد شدن جیبرلین‌های معمولی کمتر قطبی می‌شود. این مواد محلول در آب، محلول در بوتانول یا جیبرلین‌های باند نامیده می‌شوند. برخی از نویسندگان وجود باندهای پروتئین–جیبرلین را پیشنهاد کرده‌اند. دیگر فرم‌های قطبی جیبرلین در گیاهان عالی به صورت ترکیبات گلوکوز مضاعف[2] شناسایی شده درحالیکه، جیبرلین استیل[3] از جیبرلا جدا شده است. چنینGA-glucosideهایی، گلوکوزیل استرها[4] و دیگر اتصالات جیبرلین، جیبرلین‌های کونژوگه[5] نامیده می‌شود. جیبرلین‌های الحاقی در تنظیمات رشد غیر فعال هستند، اما در اثر هیدرولیز فعال می‌شوند. عملکرد ذخیره سازی را می‌توان به فرم‌های الحاقی که توسط تبدیل بین جیبرلین‌های آزاد و الحاقی در طول توسعه و جوانه‌زنی بذر نشان داده شده است، نسبت داد. در طی توسعه دانه بخشی از جیبرلین آزاد به فرم الحاقی تبدیل می‌شود، درحالیکه در طی جوانه‌زنی اولیه بخشی از جیبرلین الحاقی به آزاد تبدیل می‌شود. یکی دیگر از عملکردها ممکن است مرتبط با انتقال جیبرلین باشد. جیبرلین‌های الحاقی ممکن است نشان دهنده ذخیره سازی جیبرلین‌ها برای انتقال به بافت‌هایی که نیازمند هورمون هستند باشد.

انتقال جیبرلین‌ها

جیبرلین‌ها در کل سیستم (آوند چوبی و آبکش) منتقل می‌شوند. انتقال جیبرلین‌ها همراه با جریان شیره پرورده[6] یا آب، نمک و سایر ترکیبات آلی در گیاه اتفاق می‌اُفتد. به طور کلی حرکت جیبرلین در مقایسه با انتقال اکسین غیر قطبی است. در چند مورد انتقال قطبی گزارش شده است، اما چنین حرکت قطبی ممکن است واقعاً به دلیل حرکت از یک منبع به یک مرکز رشد و نه به دلیل حرکت قطبی باشد.

1. Ficin
2. Conjugates of glucose
3. Acetyl GA
4. Glucosyl esters
5. Conjugated GAs
6. Assimilates

پاسخ گیاهان به جیبرلین

الف: رشد ساقه

جیبرلین‌ها به دلیل اثرات قابل توجه در گیاهان سالم شناخته شده‌اند. با اعمال جیبرلین بر روی گیاهان سالم افزایش طول ساقه به طور قابل توجهی مشاهده شد. این اثر در گیاهان روزت و کوتوله به مراتب بیشتر باعث افزایش طول ساقه شد. افزایش طول ساقه بر اثر اعمال جیبرلین بر اساس کشیدگی سلول و نه تقسیم سلولی گزارش شده است. با این حال باید توجه داشت که رشد طولی ساقه ناشی از اعمال جیبرلین می‌تواند با افزایش تقسیم سلولی نیز همراه باشد. در بررسی گیاهان روزت و ساقه دار در بخش مریستم زیر آپیکال[1] نشان داده شد که اعمال جیبرلین در هر دو مورد تعداد سلول و اندازه سلول افزایش یافت.

ب: بولتینگ و تشکیل گل در گیاهان روز بلند

از تمام هورمون‌های گیاهی تنها جیبرلین‌ها به طور مؤثر باعث گل‌انگیزی در انواع مختلف گیاهان می‌شوند. به طور کلی گیاهان روز بلند[2] (LDP) و گیاهانی که برای گلدهی نیاز به یک دوره سرما دارند، هنگامیکه در شرایط غیرالقایی نگهداری می‌شوند، به استعمال خارجی جیبرلین‌ها پاسخ مثبت می‌دهند، درحالیکه گیاهان روز کوتاه[3] (SDP) و گیاهان روز بی‌تفاوت[4] (DNP) اینگونه نیستند. گیاهان روز بلند و گیاهانی که برای گلدهی نیاز به یک دوره سرما دارند، در شرایط غیرالقایی به صورت روزت رشد می‌کنند و برای انتقال به وضعیت القایی با استعمال جیبرلین در شرایط غیر القایی ابتدا رشد طولی ساقه (بولتینگ) و سپس گل انگیزی تحریک می‌شود. در گیاهان روز بلند تحریک گلدهی بر اثر استعمال خارجی جیبرلین، از طریق تأثیر بر رشد طولی ساقه و نه سنتز هورمون گلدهی

1. sub-apical meristem
2. Long-day plants
3. Short-day plants
4. Day-nutral plants

است. همچنین آنتون لانگ[1] در بررسی این موضوع شواهدی علیه اثر مستقیم جیبرلین در گلدهی ارائه کرد.

به طور کلی:

- گل‌انگیزی را با استعمال خارجی جیبرلین در گیاهان روز بلند و گیاهانی که برای گلدهی نیاز به یک دوره سرما دارند می‌توان تحریک کرد.
- استعمال خارجی جیبرلین در گیاهان روز بلند و گیاهانی که برای گلدهی نیاز به یک دوره سرما دارند در شرایط غیر القایی معمولاً به رشد گیاه منجر می‌شود، درحالیکه در گیاهان روز بلند ساقه دار تأثیری ندارد.
- بیشترین تأثیر جیبرلین برای رشد طولی ساقه، استعمال آن در رأس ساقه گزارش شده و این درحالی است که در برگ باعث القای نوری[2] می‌شود.
- استعمال خارجی جیبرلین در گیاهان روز بلند که تحت شرایط روز کوتاه (غیرالقایی) قرار گرفته‌اند، ابتدا رشد طولی ساقه و سپس گل انگیزی را تحریک می‌کند.
- همبستگی بین سطح‌های مختلف استعمال خارجی جیبرلین در رشد طولی ساقه بیشتر از گل انگیزی مشاهده شده است.
- استفاده از مهارکننده‌های بیوسنتز جیبرلین می‌تواند رشد طولی ساقه را در گیاهان روز بلند متوقف کند ولی بر روی گل‌انگیزی در طی دوره القای نوری تأثیر چندانی ندارد.

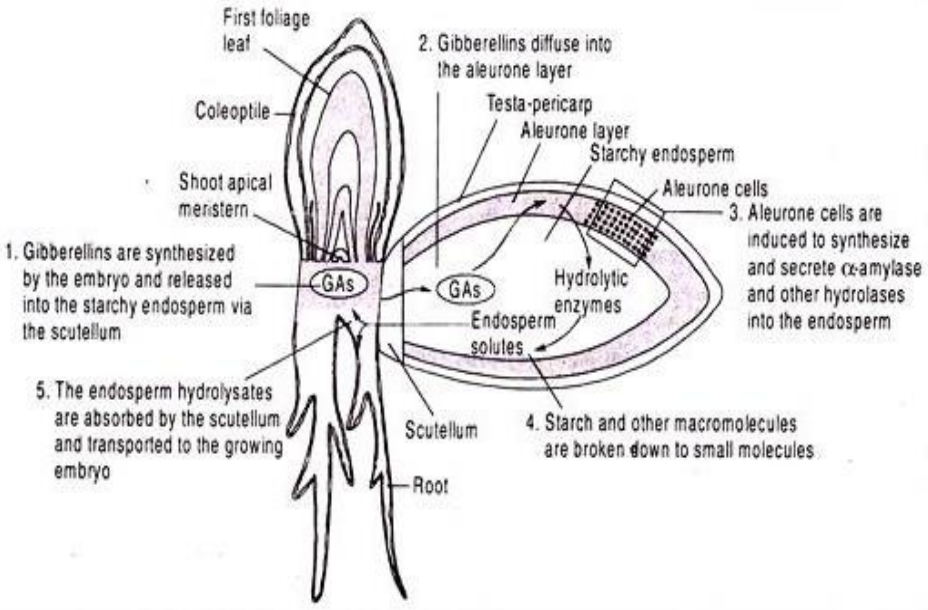
تأثیر جیبرلین به طور مستقیم در انتقال گل‌انگیزی در بسیاری از گیاهان روز بلند و گیاهانی که برای گلدهی نیاز به یک دوره سرما دارند ثابت شده است، با این حال

1. Anton long
2. Photo-induction

آزمایش بر روی گیاه گل داوودی نشان داد که استعمال خارجی جیبرلین از طریق تولید محرک‌های رشد نیز عمل می‌کند.

پ: القای جوانه زنی و تولید آنزیم در طی جوانه زنی

از بین تمام هورمون‌های رشد، جیبرلین‌ها به طور مداوم جوانه‌زنی را افزایش می‌دهند و در بسیاری فرآیندهای دانه تأثیر مثبتی دارند. جیبرلین‌ها می‌توانند جوانه‌زنی را در دانه‌هایی که به طور معمول نیاز به دمای سرد[1] یا نور برای القاء جوانه‌زنی دارند، ایجاد کنند. استعمال خارجی جیبرلین‌ها می‌تواند حداقل بخشی از نیاز نوری یا سرما را در چنین دانه‌هایی تأمین کند. در طی جوانه‌زنی دانه غلات، نشاسته و دیگر ذخایر غذایی پیچیده موجود در بخش ذخیره‌سازی، به عنوان مثال آندوسپرم دانه در حال تبدیل به ترکیبات ساده است (شکل ۲-۱۶). در دهه ۱۹۶۰، پالگ[2] در استرالیا و وارنر[3] در آمریکا مقرر داشتن که جیبرلین‌ها می‌توانند این تبدیل را تحریک کنند.



شکل ۲-۱۶ رابطه بین تولید جیبرلین و سنتز آنزیم‌های هیدرولیتیک و انتشار در جوانه‌زدن دانه جو

1. Stratification
2. Paleg
3. Varner

دانه غلات حاوی دو قسمت است، جنین بخش زنده و آندوسپرم بخش غیر زنده و غیر متابولیکی آن است. آندوسپرم توسط یک یا دو لایه به نام لایه آلورون[1] احاطه شده است. در طی جوانه‌زدن دانه غلات، آنزیم‌های هیدرولیتیک[2] به ویژه آلفا آمیلاز در لایه آلورون تشکیل و در آندوسپرم ترشح می‌شوند که باعث هیدرولیز در آن می‌شود. هنگامیکه جنین در حال خروج از دانه است، سلول‌های آلورون قادر به تولید آلفا آمیلاز نیستند که این امر نشان می‌دهد که جنین محل تولید جیبرلین‌هاست که به سلول‌های آلورون منتقل می‌شوند و در آن آنزیم‌های هیدرولیتیکی سنتز و به آندوسپرم نشاسته‌ای منتقل می‌شوند. انکوباسون[3] لایه‌های آلورون جدا شده در محیط‌های حاوی غلظت مشخص جیبرلین به طور گسترده‌ای به عنوان الگویی برای درک عمومی هورمون در گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ت: شکستن خواب و رشد جوانه‌های خفته

جوانه درختان خزان کننده معمولاً در زمستان به خواب می‌روند و رشد آنها تا شروع بهار متوقف می‌شود. خواب جوانه‌ها بعد از یک دوره سرما، طول روز و یا نور قرمز بر طرف می‌شود. در این شرایط، افزایش جیبرلین اتفاق می‌اُفتد. استعمال خارجی جیبرلین می‌تواند خواب بذر و جوانه را برطرف و جایگزین دمای پایین، طول روز و نور قرمز شود.

ث: رشد و تنظیم میوه

رشد و تنظیم میوه در تعدادی از درختان خزان کننده مانند سیب و گلابی و برخی از انواع مرکبات با استعمال خارجی جیبرلین یا ترکیب جیبرلین با اکسین تحریک می‌شود. همچنین از جیبرلین برای افزایش اندازه کیفیت میوه روی انواع انگورهای بدون هسته

1. Aleurone layer
2. Hydrolitic enzymes
3. Incubation

استفاده می‌شود. تحقیقات نشان داد استفاده از جیبرلین‌ها افزایش حرکت کربوهیدرات‌ها به میوه در حال رشد را موجب می‌شود.

ج: مالت جو

جیبرلین‌ها برای افزایش عصاره مالت جو مورد استفاده قرار گرفته‌اند. استفاده از جیبرلین‌ها برای جوانه‌زنی جو، تولید جیبرلین درونی‌زا و سنتز آنزیم هیدرولیتیک و تجزیه دیواره سلولی، پروتئین و نشاسته آندوسپرم را تسریع می‌بخشد.

مکانیسم عمل جیبرلین‌ها

آزمایشاتی در مورد مکانیسم عملکرد جیبرلین در گیاهان عالی در دو مسیر جداگانه انجام پذیرفته است. مسیر اول مربوط به نقش جیبرلین در رشد طولی ساقه دارد. درحالیکه مسیر دیگر با اثرات جیبرلین برای ارتقاء RNA و سنتز پروتئین در بذور جوانه زده و گیاهچه سر و کار دارد.

الف: جیبرلین و رشد طولی ساقه

جیبرلین‌ها اثرات ویژه‌ای در گیاهان سالم ایجاد می‌کنند. که منجر به رشد طولی ساقه می‌گردد و این اثرات در گیاهان روزت و گونه‌های پاکوتاه برجسته‌تر است. یک مثال قابل توجه از رشد طولی ساقه در گیاه برنج[1] کشت شده در آب‌های عمیق یافت می‌شود. برای اینکه ساقه‌های فوقانی گیاه در بالای سطح آب باقی بماند، با بالا رفتن سطح آب، طول میانگره‌ها نیز افزایش می‌یابد. جیبرلین‌ها نقش مهمی در این رشد طولی گره‌ها دارند. چنین تحرک شدیدی از رشد طولی میانگره‌ها در آب‌های عمیق به دلیل افزایش فعالیت تقسیم سلولی در مریستم میان لایه‌ای[2] است.

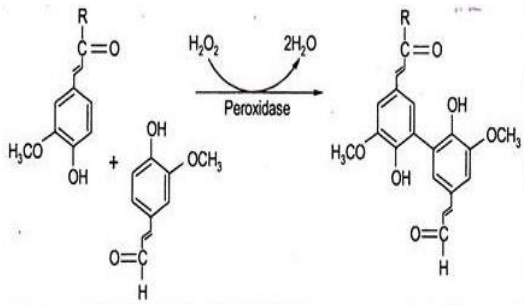
1. *Oryza sativa*
2. Interrcalary meristem

تأثیر جیبرلین بر گسترش ساقه عمدتاً مبتنی بر رشد طولی سلول است. با این حال در مریستم ساقه‌ای، هم میزان تقسیم سلولی و هم اندازه مریستم توسط جیبرلین افزایش می‌یابد که نشان می‌دهد رشد ساقه ناشی از جیبرلین نیز می‌تواند با افزایش تعداد سلول همراه باشد. پیشنهاد شده است که جیبرلین در طی چرخه میتوزی تأثیر داشته است. جیبرلین‌ها مرحله اینترفاز را توسط سنتز DNA در سلول در مرحله G در چرخه سلولی کوتاه می‌کنند. در مطالعات اولیه بر اساس بیوشیمی رشد طولی جیبرلین از نظر فرضیه رشد اسیدی[1] ناشی از افزایش تحریک اکسین مطرح شده است. این فرضیه مبتنی بر افزایش تحریک اسید است و نشان می‌دهد اکسین فعالیت پمپ پروتن متصل به غشاء پلاسمایی را تحریک می‌کند که باعث اسیدی و شُل شدن دیواره سلولی[2] و در نهایت رشد می‌شود. شواهد تجربی اخیر نشان داد جیبرلین‌ها با مکانسم‌هایی غیر از اسیدی شدن دیواره سلولی نیز موجب رشد طولی می‌شوند. مطالعات نشان داد زمان تأخیر قبل از شروع تحریک به رشد با جیبرلین طولانی‌تر از اکسین بود. به عنوان مثال در برنج آبهای عمیق ٤٠ دقیقه بود، درحالیکه در نخود فرنگی ۲ تا ۳ ساعت است. این زمان تأخیر طولانی‌تر اشاره به این نکته دارد که اسیدی شدن دیواره سلولی به عنوان واسط اکسین مکانیسم عملکرد جیبرلین نیست.

تحقیقات نشان داد بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهان توسط کلسیم کنترل می‌شود. بر اساس مطالعات حاضر محلول‌های $Cacl_2$ مانع از افزایش رشد طولی توسط تحریک با جیبرلین می‌شود. مول و جانس[3] (۱۹۸۱) پیشنهاد دادند که حذف یون‌های Ca^{2+} متصل به دیواره سلولی و حرکت یون‌های Ca^{2+} به داخل سیتوزول با تحریک رشد توسط جیبرلین همراه است. قابلیت توسعه پذیری دیواره سلولی به حذف یون‌های Ca^{2+} متصل به دیواره سلولی بستگی دارد، در حالیکه افزایش در غلظت کلسیم سیتوپلاسمی باعث تحریک جریان وزیکول[4] از دستگاه گلژی به دیواره سلولی می‌شود

1. Acid-growth hypothesis
2. Cell-wall loosening
3. Moll and jones
4. Vesicle

که افزایش سرعت سنتز دیواره سلولی و برگشت مواد را در پی دارد و به نوبه خود سرعت رشد طولی سلول را افزایش می‌دهد. مطالعات پیشین نشان داد میزان اتصال گلوکز حاوی کربن ۱۴ در دیواره سلولی در میانگره یولاف بعد از قرار گرفتن در معرض جیبرلین افزایش یافت. علاوه بر افزایش قابلیت کششی دیواره سلولی، جیبرلین‌ها از واکنش‌هایی که باعث سفت شدن دیواره سلولی می‌شود نیز جلوگیری می‌کنند. اجزای دیواره سلولی فنول‌ها[1] مانند فرولیک اسید[2] توسط یک پراکسیداز از دیواره سلولی به دیفرولویل کراس لینک‌ها[3] تبدیل می‌شود که انعطاف پذیری دیواره سلولی را کاهش داده و در نتیجه گسترش آن محدود می‌شود (شکل ۲-۱۷). یافته‌های جدید نشان داد جیبرلین‌ها برای تنظیم توسعه سلولی با مهار فعالیت پراکسیداز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

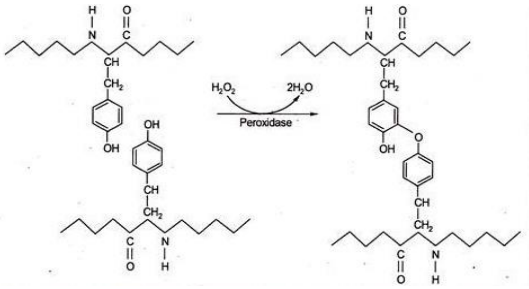


شکل ۲-۱۷ مکانیسم پیشنهادی برای ارتباط استرهای Feruloyl به شکل Difenulate-polysaccharide crosslinks

همچنین پراکسیداز تبدیل فنول‌های محلول در آب به کینون‌های آبگریز[4] را کاتالیز می‌کند. جیبرلین‌ها فعالیت پراکسیدازها را مهار می‌کنند که منجر به کاهش آبگریزی دیواره سلولی شده و افزایش قابلیت انعطاف پذیری و شُل شدن دیواره سلولی با آنزیم‌های هیدرولیتیک را موجب می‌شوند (شکل ۲-۱۸). پراکسیدازها همچنین تشکیل شبکه‌ای از پروتئین اکستنسین[5] دیواره سلولی را کنترل می‌کنند. مهار پراکسیداز توسط جیبرلین منجر

1. Phenolie
2. Ferulic acid
3. Diferuloyl crosslinks
4. Hydropobic quinons
5. Extensin

به شُل شدن شبکه اکستنسین[۱] می‌شود. یکی دیگر از مکانیسم‌های احتمالی که جیبرلین کنترل رشد طولی آن را انجام می‌دهد، از طریق تنظیم چوبی شدن[۲] دیواره سلولی است. آنزیم فنیل آلانین آمونیاک لیاز[۳] (PAL) تولید پیش سازهای فنیل پروپانوئید[۴] اسید فولیک و لیگنین را کنترل می‌کند.



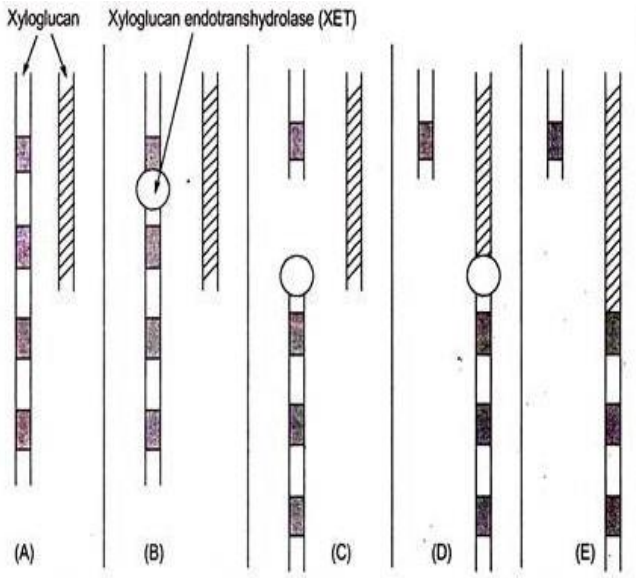
شکل ۲–۱۸ مکانیسم پیشنهادی برای تشکیل Isodityrosyl باقیمانده که مولکول‌های متقابل دارند

هنگامیکه رشد نور مهار می‌شود، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیاک لیاز (PAL) زیاد است. در مقابل، جیبرلین فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیاک لیاز (PAL) را کاهش می‌دهد که منجر به سرعت بالای رشد طولی می‌شود. در مطالعه ای در مورد تأثیر جیبرلین بر رشد طولی ساقه، ارتباط تنگاتنگی ما بین افزایش تحریک جیبرلین و فعالیت آنزیم گزیلوگلوکان اندوترانس گلیکوزیلاز[۵] (XET) در بسیاری از بافت‌ها مشاهده شد. آنزیم گزیلوگلوکان اندوترانس گلیکوزیلاز (XET) آنزیمی است که گزیلوگلوکان را به صورت درونی هیدرولیز کرده و به یکی از انتهای مولکول گزیلوگلوکان پذیرنده منتقل می‌کند. بنابراین آنزیم گزیلوگلوکان اندوترانس گلیکوزیلاز (XET) توانایی بازسازی مولکولی در ماتریکس دیواره سلولی که باعث توسعه سلولی می‌شود را دارد. همچنین مطالعات نشان داد که اکسین فعالیت آنزیم گزیلوگلوکان اندوترانس گلیکوزیلاز (XET) را افزایش نمی‌دهد. بنابراین این اثر مختص به جیبرلین‌ها می‌باشد. احتمال دیگر این است که آنزیم

۱. اکستین ها خانواده‌ای از گلیکوپروتئین‌های غنی شده از هیدروکسی پرولین (HRGPs) در دیواره سلولی می‌باشند.

2. Lignification
3. Phenylalanine ammonia lyase
4. Phenylpropanoid
5. Xyloglucan endotransglycosylase

گزیلوگلوکان اندوترانس گلیکوزیلاز (XET) نفوذ به داخل دیواره سلولی را تسهیل می‌بخشد. اکسپنسن‌ها[1] پروتئین‌های دیواره سلولی هستند که باعث شُل شدن دیواره سلولی در pH اسیدی با تضعیف پیوندهای هیدروژن بین پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی می‌شوند. بنابراین هر دو اکسپنسین ها و آنزیم گزیلوگلوکان اندوترانس گلیکوزیلاز (XET) ممکن است برای افزایش تحریک پذیری جیبرلین‌ها مورد نیاز باشد (شکل ۲-۱۹).



شکل ۲-۱۹ اثر جیبرلین بر رشد طولی ساقه، (A) دو زنجیره گزیلوگلوکان نشان داده شده است، (B) XET به وسط یک گزیلوگلوکان متصل شده است، (C) آن را قطع می‌کند، (D) یک قسمت را به انتهای گزیلوگلوکان دوم منتقل می‌کند، (E) در نتیجه یک گزیلوگلوکان کوتاهتر و دیگری بلندتر می‌شود

ب: جیبرلین و سنتز RNA و پروتئین

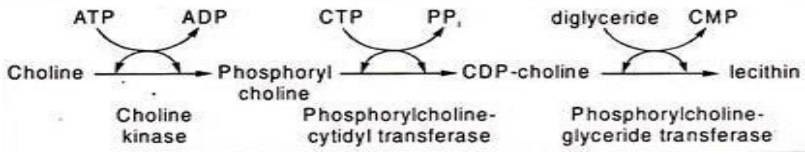
عموماً هورمون‌های گیاهی بر روی RNA و سنتز پروتئین تأثیر گذارند. تحقیقات بر در مورد پاسخ آلورون غلات به جیبرلین به ویژه با استناد به سنتز α-آمیلاز[2] نقش مهمی

1. Expansins
2. α-amylase

در درک ما از عملکرد جیبرلین در سلول‌های گیاهی داشته است. لایه‌های آلورون[1] جدا شده در محیط‌های حاوی غلظت مشخص جیبرلین به طور گسترده‌ای به عنوان یک سیستم نمونه برای مطالعه پایه مولکولی فعالیت هورمون در گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. مشهده شده است جیبرلین یا از جنین موجود در دانه‌های سالم و یا به صورت لایه‌های جدا شده، اضافه می‌شود. در نتیجه، سلول آلورون برای سنتز و ترشح تعداد زیادی آنزیم‌های هیدرولیتیک به ویژه α–آمیلاز تحریک می‌شود. این آنزیم‌ها وظیفه تجهیز ذخایر آندوسپرم را دارند که با تولیدات ساده، رشد گیاهچه را فراهم می‌سازد.

در اوایل سال ۱۹۶۰، پالگ[2] در استرالیا و یومو[3] در ژاپن کشف کردند که جیبرلین علاوه بر جنین آندوسپرم می‌تواند جایگزین در شروع شکست خواب بذور شود. پس از آن محققین در آزمایشگاه وارنر توانستند لایه آلورون را از آندوسپرم نشاسته ای جدا کنند. هنگامیکه لایه آلورون جدا شده با جیبرلین و حاوی Ca^{2+} انکوبه شد، طیف وسیعی از آنزیم‌های هیدرولیتیک تولید شدند که ۶۰ تا ۷۰ درصد آنها توسط α–آمیلاز ساخته شده است. پس از سنتز، بیشتر آنزیم‌ها به جز آنهایی که در سنتز چربی درگیر هستند، در محیط ترشح می‌شوند. تحقیقات اساسی برای آشکار ساختن مکانیسم مولکولی منجر به سنتز پروتئین و ساختارهایی که ترشح این پروتئین‌ها را انجام می‌دهند، آغاز شد. جیبرلین‌ها نشان دادند که بر دو آنزیم مسیر CDP–کولین[4] و بیوسنتز لسیتین[5] تأثیر گذارند، که این امر نشان دهنده نقش آنها در سنتز غشاء است (شکل ۲–۲۰). کولین کیناز[6]، اولین آنزیم این مسیر افزایش نمی‌یابد اما فسفوریل کولین_سیتیدیل ترانسفراز[7] و فسفوریل کولین_گلیسرید ترانسفراز[8] پس از استعمال جیبرلین افزایش می‌یابند.

1. Aleurone
2. Paleg
3. Yomo
4. CDP_choline
5. Lecithin biosynthesis
6. Choline kinase
7. phosphorylcholine-cytidyl transferase
8. phosphorylcholine-glyceride transferase



شکل ۲- ۲۰ بیوسنتز لسیتین

شبکه آندوپلاسمی[1] (ER) محل سنتز α-آمیلاز است و سنتز RNA برای سنتز آنزیم آنزیم محرک جیبرلین ضروری است و در ترشح آن نیز نقش دارد. درحالیکه بعداً نشان داده شد که احتمالاً هیچ شبکه آندوپلاسمی اضافی سنتز نشده است، اما در پاسخ به تیمار با جیبرلین سازماندهی مجدد قبلی در شبکه آندوپلاسمی موجود بود.

جیبرلین باعث سرکوب ژن‌ها در سنتز α-آمیلاز و برای سنتز RNA جدید سنتز آنزیم محرک جیبرلین ضروری است. مهار کننده‌های سنتز RNA باعث مهار سنتز α-آمیلاز و poly-(A)-rich RNA مربوط به mRNA اختصاصی برای آنزیم α-آمیلاز در بافت‌های تحت تیمار با جیبرلین می‌شوند. بنابراین استدلال شده که جیبرلین ممکن است باعث افزایش عمومی RNA قابل ترجمه نگردد، بلکه باعث فعال شدن برخی از RNAها مانند α-amylase mRNA گردد. اوینس و وارنر[2] مشاهده کردند که پس از تیمار با جیبرلین سنتز ریبوزوم‌ها[3] وجود دارد که همراه با تجمع ریبوزوم منجر به تشکیل پلی ریبوزوم[4] می‌شود و این پلی ریبوزوم‌ها به شبکه آندوپلاسمی که در آن پروتئین‌های جدید سنتز می‌شوند وصل شده‌اند.

مشاهده شده است که مهارکننده‌های سنتز پروتئین مانند سیکلوهگزامید[5] از القای تحریک جیبرلین ناشی از هیدرولاز[6] جلوگیری می‌کنند. که این امر نشان می‌دهد تولید آنزیم ناشی از سنتز پروتئین از نو صورت می‌پذیرد. اکنون مشخص شده است که جیبرلین‌هایی به صورت اختصاصی سنتز mRNA را انجام می‌دهند که با تشکیل پلی ریبوزوم و سنتز مجدد از هیدرولاز خاص، همراه اند. بنابراین جیبرلین به طور مستقیم در

1. Endoplasmic reticulum
2. Evins and Varner
3. rRNA
4. Polyribosome
5. Cycloheximide
6. Hydrolase

سطح رونویسی در طول سنتز mRNA عمل می‌کند، درحالیکه تأثیر آن در ترجمه mRNAهای جدید ممکن است غیر مستقیم باشد.

پ: اتصال جیبرلین[1]: محل احتمالی گیرنده جیبرلین

نظریه جدید در مورد نحوه عمل هورمون‌ها وجود یک پروتئین گیرنده در سطح سلول و یا در داخل سیتوپلاسم، حرکت و ارتباط پیچیده گیرنده هورمون به هسته و تشکیل mRNA و ترجمه پروتئین در سیتوپلاسم را بیان می‌کند. شواهد اخیر نشان می‌دهد گیرنده جیبرلین در قسمت بیرونی غشاء پلاسمایی متمرکز شده است. برخی آزمایشات نشان دادند ورود جیبرلین به سلول برای فعالیت آن ضروری نمی‌باشد و پروتئین‌های غشایی ممکن است در رخداد سیگنال‌های اولیه جیبرلین در سلول آلورون دخیل باشد. شواهد اخیر نشان داد گیرنده‌های جیبرلین در سطح غشاء پلاسمایی متمرکز شده‌اند. برخی از آنالوگ‌های جیبرلین سنتز شده در غشاء غیر قابل نفوذ، قادر به عبور از غشاء نیستند. با این حال، اینها وقتی فعال می‌شوند که به پروتوپلاست‌های آلورون اضافه شونن، که این موضوع نشان دهنده آن است که ورود به سلول برای فعالیت جیبرلین ضروری نمی‌باشد. در آزمایشی گیلروی و جونز[2] با تزریق جیبرلیک اسید ۳ به پروتوپلاست آلورون جو هیچ اثری مشاهده نکردند. در مقابل، هنگامیکه پروتوپلاست در جیبرلیک اسید ۳ غوطه‌ور شدند، هورمون باعث تولید α-آمیلاز شد. بنابراین دریافتند که جیبرلین فقط در قسمت بیرونی غشاء پلاسمایی وجود دارد. همچنین، می‌توان نتیجه گرفت که پروتئین‌های غشایی ممکن است در رخداد سیگنال‌های اولیه جیبرلین در سلول آلورون نقش داشته باشد.

1. GA Binding
2. Gilroy and Jones

ت: تنظیم چرخه سلولی در مریستم میانی[1] با جیبرلین

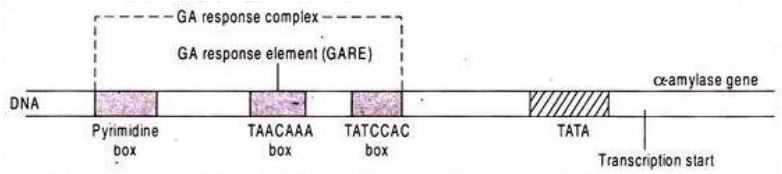
میانگره‌های برنج در آب‌های عمیق به طور چشمگیری در پاسخ به غوطه‌وری افزایش می‌یابد. این افزایش در جوان‌ترین میانگره بالایی گره رخ می‌دهد. انتقال بین مراحل مختلف چرخه سلولی توسط پروتئین کینازهای وابسته به سیکلین[2] (CDKs) تنظیم می‌شود. ساوتر و همکاران[3] (۱۹۹۵) در آزمایشی در حضور یا عدم حضور جیبرلین، نسخه برداری دو ژن (CDK2) یا چرخه سلولی دو ژن را با رمزگذاری پروتئین کینازهای وابسته به سیکلین در آب‌های عمیق در برنج اندازه گیری کردند. نتایج نشان داد بیان یکی از ژن‌های CDK2 پس از یک ساعت تیمار با جیبرلین همراه با بیان دو ژن مربوط به سیکلین میتوزی افزایش یافت. بنابراین، جیبرلین تقسیم سلولی را با یک پروتئین کیناز CDK2 و همچنین سیکلین لازم برای ورود به میتوز را افزایش می‌دهد.

ج: تنظیم بیان ژن α-آمیلاز

اکنون مشخص شده که جیبرلین سنتز α-آمیلاز را در سلول آلورون غلات در حال جوانه‌زنی تحریک می‌کند. جیبرلین در جنین باعث رونویسی از ژن α-آمیلاز mRNA می‌شود. در یک مطالعه بر روی پاسخ جیبرلین به ژن α-آمیلاز، نقشه منطقه پروموتور[4] ژن α-آمیلاز بررسی شد. این مطالعه نشان داد چندین المان پروموتور ژن پاسخ جیبرلین را به خود اختصاص می‌دهد. یک توالی خاص TAACAAA باکس به عنوان المان پاسخ جیبرلین GARE نامگذاری شد. دومین توالی درگیر در بیان ژن محرک جیبرلین TATCCAC باکس می‌باشد. علاوه براین، یک توالی سوم C/TCTTTTC/T معروف به پیریمیدین[5] باکس ممکن است برای پاسخ کامل جیبرلین مورد نیاز باشد. این سه توالی با هم به عنوان مجموعه پاسخ جیبرلین GARC شناخته شده‌اند. فاکتورهای رونویسی خاص

1. Intercalary meristem
2. Cyclin-dependent protein kinases
3. Sauter et al
4. Promoter
5. Pyrimidine

مرتبط با GARC با فاکتورهای رونویسی در TATA باکس (به دلیل فراوانی نوکلئوتید[1]) تعامل دارند. این مناطق، مکان احتمال فاکتورهای رونویسی خاص برای بیان ژن α-آمیلاز هستند (شکل ۲-۲۱).



شکل ۲-۲۱ چندین المان پروموتور پاسخ گویی جیبرلین، نقشه ناحیه پروموتور ژن α-آمیلاز نشان دهنده کمپلکس پاسخ TATA باکس و محل شروع سنتز

در حال حاضر اعتقاد بر این است که جیبرلین‌ها مقدار فعالیت پروموتور یک پروتئین را افزایش می‌دهند که با اتصال به یک توالی تنظیمی ژن α-آمیلاز mRNA را فعال می‌کند. پیشنهاد شده است که پروتئین MYB یک فاکتور رونویسی است که به کمپلکس[2] پاسخ جیبرلین پروموتور α-آمیلاز متصل می‌شود. شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد پروتئین‌های MYB فاکتورهای رونویسی هستند که رشد و نمو را تنظیم می‌کند. سنتز پروتئین MYB توسط جیبرلین (GA-MYB) القاء می‌شود. این پروتئین تنظیم کننده (GA-MYB) بعد از اتصال به المان پاسخ جیبرلین TAACAAA پروموتور ژن α-آمیلاز، سنتز α-آمیلاز mRNA را تحریک می‌کند. متعاقباً، طی دوره جوانه زنی دانه غلات آنزیم α-آمیلاز را ترجمه می‌کند. بنابراین، جیبرلین بیان ژن GA-MYB را تحریک می‌کند و پروتئین MYB به عنوان تنظیم کننده رونویسی از ژن α-آمیلاز عمل می‌کند.

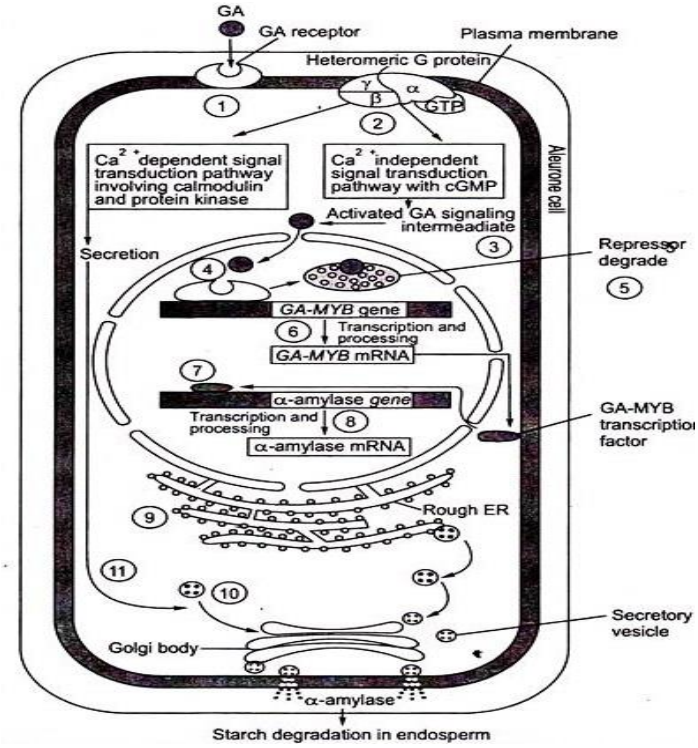
در طول یک دوره زمانی مطالعه برای القاء GA-MYB mRNA و α-amylase mRNA توسط جیبرلین صورت گرفت. نتایج تحقیق نشان داد تولید GA-MYB mRNA قبل از α-amylase mRNA بود. این یافته‌ها نشان داد GA-MYB نقش یک ژن پاسخ زود هنگام جیبرلین که ژن α-آمیلاز را نسخه برداری می‌کند، دارد.

1. Nucleotides
2. Complex

انتقال سیگنال‌های جیبرلین که منجر به سنتز α-آمیلاز و ترشح آن به صورت زیر می‌شود:

۱. جیبرلین تولید شده در محور جنینی به یک گیرنده سطح سلول آلورون متصل می‌شود.
۲. کمپلکس گیرنده جیبرلین با پروتئین G هتروتریمریک[1] در تعامل بوده و دو انتقال به واسطه ژن‌ها[2] جداگانه صورت می‌پذیرد.
۳. یک مسیر وابسته به Ca^{2+}، شامل cGMP برای فعال کردن یک سیگنال واسط که به پروتئین بازدارنده[3] DELLA در هسته متصل می‌شود.
۴. هنگام اتصال به سیگنال جیبرلین پروتئین بازدارنده تخریب می‌شود.
۵. غیر فعال شدن پروتئین بازدارنده DELLA اجازه می‌دهد تا بیان ژن MYB و سایر ژن‌ها از طرسق رونویسی، ترجمه و پردازش صورت پذیرد.
۶. پروتئین MYB که به تازگی سنتز شده است وارد هسته می‌شود و به ژن پروموتور برای α-آمیلاز و سایر آنزیم‌های هیدرولیتیک متصل می‌شود.
۷. رونویسی از α-آمیلاز و سایر ژن‌های آنزیم هیدرولیتیکی فعال می‌شود.
۸. α-آمیلاز و سایر آنزیم‌ها در شبکه آندوپلاسمی زبر سنتز می‌شوند.
۹. پروتئین‌های سنتز شده از طریق دستگاه گلژی ترشح می‌شوند.
۱۰. ترشح نیاز به تحریک جیبرلین از طریق مسیر انتقال سیگنال وابسته به کالمودولین کلسیم[4] (پروتئین تنظیم کننده کلسیم) دارد (شکل ۲-۲۲).

1. Heterotrimeric
2. Transduction
3. Repressor protein
4. Ca2+ -Calmodulin



شکل ۲-۲۲ مدلی برای القاء سنتز α-آمیلاز در سلول‌های جو توسط جیبرلین. یک مسیر مستقل از کلسیم برای رونویسی α-آمیلاز و یک مسیر وابسته به کلسیم که منجر به ترشح α-آمیلاز می‌شود

روش‌های زیست سنجی در جیبرلین

پاسخ‌های فیزیولوژیکی مشخص ناشی از جیبرلین ها عبارتند از:

۱. افزایش رشد طولی میانگره یا غلاف برگ در گیاهان روز کوتاه
۲. رشد طولی محور زیر لپه[1]
۳. القای آمیلاز و احتمالاً سایر هیدرولازها در جوانه‌زنی بذور غلات
٤. کاهش دوره رشد در برخی گیاهان روز بلند[2]

1. Hypocotyl
2. Long day plant

گزینه‌های ۱، ۲ و ۳ به طور گسترده‌ای در روش‌های زیست سنجی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سیتوکنین[1]

طبیعت سیتوکنین‌ها

سیتوکنین‌ها ترکیباتی با ساختار شبیه آدنین می‌باشند که در ترویج تقسیم سلولی نقش دارند. حدود ۲۰۰ نوع سیتوکنین طبیعی و مصنوعی تاکنون توسط گیاهشناسان شناسایی شده است. سیتوکنین‌ها تقریباً در تمام گیاهان عالی و همچنین خزه‌ها، قارچ‌ها، باکتری‌ها و نیز در tRNA بسیاری از پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها یافت می‌شود. اکثر سیتوکنین‌ها در ناحیه مریستم ریشه تولید می‌شوند. به عبارت دیگر، غلظت سیتوکنین‌ها در مناطق مریستمی گیاه و مناطقی که پتانسیل رشد مداوم دارند مانند ریشه، برگ‌های جوان، میوه های در حال رشد و دانه‌ها، بیشتر است.

تاریخچه سیتوکنین‌ها

گوتنبرگ هابرلنت (۱۹۱۳) کشف کرد که ترکیب موجود در آوند آبکش توانایی تحریک تقسیم سلولی را دارد. یوهانس ون اووربیک (۱۹٤۱) کشف کرد که شیره آندوسپرم در نارگیل نیز این توانایی را دارد. او همچنین نشان داد که انواع مختلفی از گونه‌های گیاهی دارای ترکیباتی بودند که باعث تحریک تقسیم سلولی می‌شوند. جابلونسکی و اسکوگ (۱۹٥٤) کارهای هابرلنت را گسترش دادند و دریافتند که بافت‌های آوندی حاوی ترکیباتی‌اند که محرک تقسیم سلولی می‌باشند. اولین سیتوکنین از اسپرم شاه ماهی توسط میلر و همکارانش (۱۹٥٥) جدا شد. این ترکیب به دلیل توانایی آن در تحریک تقسیم سلولی به نام کینتین نام گذاری شد. هال و دروف (۱۹٥٥) گزارش کردند که کینتین

1. Cytokinin

می تواند از محصولات تخریب DNA شکل گیرد. اولین سیتوکنین طبیعی توسط میلر (۱۹۶۱) از گیاه ذرت جدا شد و بعداً زآتین[1] نامیده شد. تقریباً همزمان با میلر، لتام (۱۹۶۳) یک گزارش از زآتین به عنوان ماده محرک تقسیم سلولی ارائه داد و بعدها خواص شیمیایی آن را شرح داد. از آن زمان بسیاری از سیتوکنین‌های طبیعی که در طبیعت یافت شدند، شناسایی و جداسازی شده‌اند و این ترکیبات در تمام گونه‌های گیاهی به یک شکل یا با اشکال متفاوت یافت می‌شوند.

نقش سیتوکنین‌ها

برخی از اثرات شناخته شده فیزیولوژیکی ناشی از سیتوکنین‌ها به شرح زیر می‌باشد. پاسخ بسته به نوع سیتوکنین و گونه گیاهی متفاوت است .

- تحریک تقسیم سلولی
- تحریک مورفوژنز (آغازش ساقه، تشکیل جوانه) در کشت بافت
- تحریک رشد جوانه‌های جانبی در چیرگی انتهایی[2]
- تحریک رشد برگ‌ها از طریق بزرگ شدن سلول
- در برخی گونه ها افزایش باز شدن روزنه ها[3]
- تحریک تبدیل اتیوپلاست[4] به کلروپلاست[5] از طریق تحریک سنتز کلروفیل

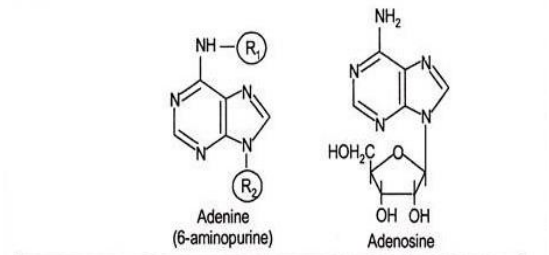
ساختار سیتوکنین‌ها

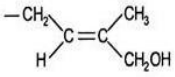
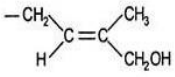
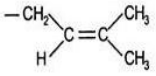
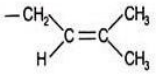
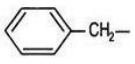
اسگوگ، استرانگ و میلر تعریف سیتوکنین را پیشنهاد کرده‌اند. این ترکیبی است که علاوه بر فعالیت های دیگر باعث تقسیم سلولی[6] در گیاهان می‌شود. به عنوان مثال تقسیم سلولی در اندام‌های مختلف رشد گیاهی که غلظت بهینه از اکسین دارند، صورت

1. Zeatin
2. Apical dominance
3. Stomatal opening
4. Etioplasts
5. Chloroplasts
6. Cytokinesis

می‌پذیرد. نام کینین برای اولین برای پیش برنده تقسیم سلولی گیاه مورد استفاده قرار گرفت. اما این نام منجر به سردرگمی با اصطلاح مشابهی که فیزیولوژیست‌های گیاهی به کار می‌بردند، شد. بنابراین سیتوکنین جایگزین کینین شد. تمام سیتوکنین‌های طبیعی به عنوان پورین جایگزین شده‌اند. روش معمول نام گذاری سیتوکنین‌ها این است که آن را به عنوان جایگزین ٦- آمینوپورین[1] یا N^6- جایگزین شده آدنین بیان می‌کنند. در سال ۱۹۵۲، میلر نخستین عامل القاء تقسیم سلولی را از DNA اسپرم شاه ماهی در اتوکلاو جدا کرد و آنها را کینتین نام گذاری و به عنوان ٦ (فورفوریل آمینو) پورین[2] شناسایی کرد. بعداً مشخص شد که کینتین جزء طبیعی DNA نیست، بلکه محصول فروپاشی آن است. کینتین مصنوعی نیز به عنوان یک پیش برنده قوی در تقسیم سلولی است. درسال ۱۹٦۳، لتام ٦-(٤-هیدروکسی-۳-متیل بوت-ترانس-۲-انیل آمینو) پورین[3] را از دانه نابالغ ذرت جدا نمود و زآتین[4] نامید. سیتوکنین‌های دیگر از همان منبع (مانند ریبوساید زآتین[5] و مشتقات ۵-فسفات آن با یک یا چند گروه فسفات دیگر مثل ریبوتاید زآتین[6]) شناسایی شده‌اند. زآتین و ریبوساید زآتین هر دو در پلیت‌های کشت قارچ مایکوریزا ***Rhizopogon roseolus*** شناسایی شده‌اند. دی هیدرو زآتین[7] با زنجیره جانبی اشباع شده از گیاهان عالی شناخته شد. سایر سیتوکنین‌های فعال در گیاهان به طور گسترده هستند از N^6 ، N^6- دی متیل آلیل پورین[8] یا N^6 (Δ^2- ایزوپنتینیل) آدنین[9] (i^6ADE) و ریبوسیل از N^6 (Δ^2- ایزوپنتینیل) آدنوزین[10] مشتق شده است (شکل۲-۲۳).

1. 6-amino purine
2. 6-(furfurylamino) purine
3. 6-(4-hydroxy-3-methylbut-trans-2-enylamino) purine
4. Zeatin
5. Zeatin riboside
6. Zeatin ribotide
7. Dihydrozeatin
8. N6-dimethylallyIaminopurine
9. N6 (Δ2– isopentenyl) adenine
10. Ribosyl derivative N6 (Δ2-isopentenyl) adenosine



Name	Substitution at	
	R_1	R_2
Kinetin	(furfuryl)	—H
Zeatin		—H
Zeatin riboside		Ribofuranosyl
Isopentenyl adenine (i^6Ade)		—H
Isopentenyl adenosine (i^6A)		Ribofuranosyl
6-Benzyladenine (BA)		—H

شکل ۲-۲۳ نام شیمیایی، اختصارات و ساختار برخی از سیتوکنین‌ها

به نظر می‌رسد که فیلترهای محیط کشت باکتریایی مانند عامل بیماری بدشکلی ساقه گیاه[1] (*Corynebacterium fasciens*) و گال طوقه[2] (*Agrobacterium tumefasciens*) با هر دو سیتوکنین i^6ADE و i^6A سنتز شده است. یکی دیگر از سیتوکنین‌ها ۲-متیل تیو-N^6-(Δ^2-ایزوپنتینیل) آدنوزین[3] (ms^2i^6A) که از مخمر شناسایی شده است. پس از کینتین، تعداد زیادی از ترکیبات مشابه از جمله آنهایی که قبلاً ذکر شد، با جایگزینی زنجیره جانبی N^6با گروه های مختلف سنتز شده است. سیتوکنین مصنوعی

1. Fasciation disease
2. Crown gall
3. 2-methylthio-N6 (Δ2-isopentenyl) adenosine

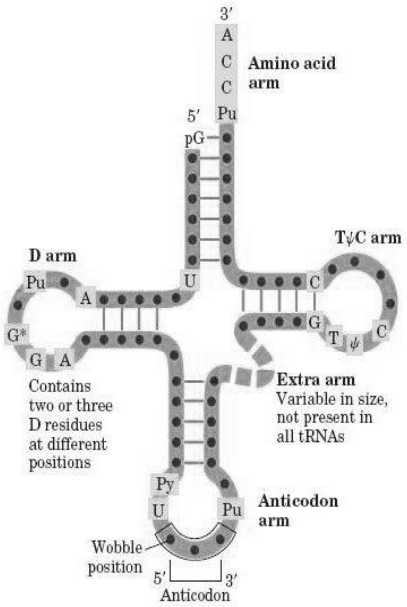
بسیار فعال شامل ٦-بنزیل آمینوپورین[1] (BA_6) و بنزیل آدنین[2] (BA) که همراه با کینتین عمدتاً در آزمایشات آزمایشگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. جایگزینی در موقعیت های دیگر هسته پورین به طور کلی منجر به ترکیبات با فعالیت زیستی پایین می‌شود.

سیتوکنین‌ها در tRNA

سیتوکنین‌ها اجزای ساختاری RNA ناقل[3] (tRNA) موجود در اندام هایی هستند که از باکتری‌ها به انسان منتقل می‌شوند، درحالیکه در RNA ریبوزومی[4] (rRNA) وجود ندارند. چنین آدنین‌هایی جایگزین به عنوان یک پایه بلافاصله مجاور آنتی کدون[5] از انواع tRNA های مختلف مانند tRNA سرین[6] ($tRNA^{ser}$)، فنیل آلانین[7] tRNA ($tRNA^{Phe}$)، تیروزین[8] tRN ($tRNA^{tyr}$)، لوسین[9] tRNA ($tRNA^{leu}$) و تعدادی دیگر از اسیدهای آمینه خاص قرار می گیرد. یک سیتوکنین با tRNA مربوط به هر کدون با حرف اول U همراه است. از سوی دیگر، tRNA هایی که کدون را با حروف اولی غیر از U ترجمه کنند، فعالیتی از خود نشان نمی‌دهند (شکل۲-۲٤).

1. 6-(benzyl amino) purine
2. Benzyl adenine
3. Transfer RNA
4. ribosomal RNA
5. Anticodon
6. Serine tRNA
7. Phenylalanine tRNA
8. Tyrosine tRNA
9. Leucine tRNA

A= آدنین
C= سیتیدین
G= گوآنین
U= اوراسیل
T= تیامیدین
Pu= پروین نوکائوزید
Py= پیرمیدین نوکلئوزید



شکل۲-۲٤ اتصال اسیدهای آمینه به tRNA

از آنجاییکه tRNA های خاصی حاوی سیتوکنین هستند، می‌توان انتظار داشت که برگشت tRNA به منظور فراهم آوردن منبع از سیتوکنین آزاد باشد. با این حال، تردید است که آیا $tRNA_s$ با پایه فعال سیتوکنین قادر به پاسخگویی به نیاز از هورمون سیتوکنین در گیاه است. برخی از استدلال ها در حمایت از این فرضیه مطرح شده است که سیتوکنین‌های tRNA نباید به عنوان سیتوکنین‌های عاملی در نظر گرفته شوند. اولاً در کشت بافت که نیاز به سیتوکنین‌های خارجی برای رشد و تکثیر است، انتظار می‌رود حاوی سیتوکنین درون tRNA باشند. ثانیاً برخی از سیتوکنین‌هایی که در ترکیبات آزاد در گیاه یافت می‌شوند در tRNA متفاوتی یافت نمی‌شوند. ثالثاً زآتین مانند سیتوکنین در tRNA گیاه آرایش سیس[1] روی زنجیره جانبی دارد، درحالیکه اکثر سیتوکنین‌های فعال دارای آرایش ترانس[2] هستند. این شواهد حاکی از آن است که منبع اصلی سیتوکنین نیست.

1. Cis-configuration
2. Trans-configuration

انتقال سیتوکنین‌ها

هنگامیکه سیتوکنین‌ها روی برگ اعمال می‌شوند، تنها اثرات موضعی آنها قابل مشاهده است. به همین ترتیب، سیتوکنین های تولید شده در میوه‌ها و دانه‌ها هیچ حرکت ظاهری نشان نمی‌دهند. چنین مشاهداتی نشان می‌دهد که هورمون در گیاه بی‌حرکت است. از سوی دیگر، سیتوکنین‌های حاضر در عصاره آوند چوبی اثبات می‌کند که هورمون‌های سنتز شده در ریشه به شکل قطبی در ساقه در حرکت‌اند و بنابراین رشد گیاه را تنظیم می‌کنند. ممکن است که در طی دوره‌های رشد، سیتوکنین‌ها در مریستم ساقه و ریشه سنتز شوند. همچنین شواهد نشان می‌دهد که انتقال در فواصل طولانی تنها در مورد ریشه امکان پذیر است، درحالیکه سیتوکنین‌های تولید شده در مریستم ساقه به بافتی نزدیک به محل تولید، توزیع می‌شوند. سیتوکنین منتقل شده از ریشه به ساقه ریبوساید زآتین نام دارد. پس از رسیدن به برگ، برخی از این ریبوساید زآتین ها یا به پایه آزاد که دارای فعالیت‌های هورمونی و یا به سیتوکنین گلوکوزیدها تبدیل می‌شوند. این گلوکوزیدها فاقد فعالیت های هورمونی‌اند، زیرا اینها اغلب درون سلول ها دفع می‌شوند و برای عملکرد فیزیولوژیکی قابل دسترس نیستند.

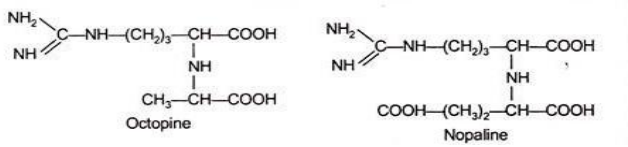
بیوسنتز سیتوکنین‌ها

دو مکانیسم برای بیوسنتز سیتوکنین، یکی به سیتوکنین tRNA منتهی شده و دیگری برای آزاد سازی سیتوکنین پیشنهاد شده است. از آنجاییکه tRNA های خاصی حاوی سیتوکنین هستند، سنتز و جابجایی tRNA امکان ساخت سیتوکنین آزاد را فراهم می‌کند. شواهد نشان می‌دهد که بیوسنتز با استفاده از tRNA ممکن است منبع اصلی سیتوکنین در گیاه نباشد. بنابراین، بعید به نظر می‌رسد که مقدار قابل توجهی از هورمون سیتوکنین آزاد در گیاهان از تخریب tRNA حاصل شود. همچنین شواهدی وجود دارد که سیتوکنین آزاد در سنتز سیتوکنین های tRNA دخالت نمی‌کنند. بر عکس، tRNA ها ابتدا توسط روش معمول ساخته شده و سپس به مولکول نهایی tRNA پلیمریزه می‌شود. بعد از این،

گروه های ایزوپنتنیل از ایزوپنتنیل پیرو فسفات[1] (IpPP) توسط آنزیم شناخته شده‌ای به نام پرنیل ترانسفراز[2] که متعلق به یک گروه از آنزیم‌هایی است که برای سنتز سایر ترکیبات ایزوپرنوئید[3] مورد نیاز است، منتقل می‌شوند. پرنیل ترانسفراز که سیتوکنین tRNA را تولید می‌کند از AMP[4] آزاد به عنوان سوبسترا استفاده نمی‌کند. بلکه دارای خواصی است که توالی پایه خاصی را در مولکول tRNA تشخیص دهد و گروه ایزوپنتنیل را به آدنوزین مجاور به انتهای 3′ آنتی کدون انتقال می‌دهد. سیتوکنین های آزاد به شیوه‌های مختلفی ساخته می‌شوند. برای سنتز مستقیم سیتوکنین‌های آزاد، یک آنزیم به نام AMP ایزوپنتنیل ترانسفراز[5] که به عنوان سیتوکنین سنتتاز[6] شناخته می‌شود، تبدیل AMP-5 و ایزوپنتنیل پیرو فسفات را به i^6ADE کاتالیز[7] می‌کند. همچنین مشاهده شد که سیتوکنین سینتتاز درگیر در سنتز سیتوکنین های آزاد نیز نوعی پرنیل ترانسفراز است اما ترانسفرازی نیست که درسنتز سیتوکنین های tRNA دخیل است. اگرچه i^6ADE یا مشتقات ریبوتاید آن سیتوکنین‌های اصلی در گیاهان عالی نیست، اما می‌توان آن را به راحتی به زآتین و سایر سیتوکنین‌های بزرگ تبدیل کرد. مشاهده شده است در گیاهانی که پس از آلودگی توسط باکتری *Agrobacterium tumefaciens* در بیماری تومور گال طوقه تولید می‌شوند، بدون افزودن اکسین یا سیتوکنین می‌توانند در محیط کشت، رشد کنند. این ثابت می‌کند که تومور گال طوقه حاوی مقادیر قابل توجهی از هر دو هورمون گیاهی اکسین و سیتوکنین است. آگروباکتریوم حاوی یک کروموزوم DNsA[8] بزرگ دایره‌ای شکل شناخته شده به نام پلاسمید[9] Ti است. در زمان آلودگی، بخش کوچکی از پلاسمید Ti، به عنوان T-DNA شناخته می‌شود، به DNA هسته کروموزوم سلول گیاه میزبان افزوده می‌شود. ژن‌های لازم برای بیوسنتز، اکسین و سیتوکنین توسط T-DNA باکتری منتقل می‌شود. تنها پس از تبدیل

1. Isopentenyl pyrophosphate
2. Prenyl transferase
3. Isoprenoid
4. Adenosine monophosphate
5. AMP isopentenyl transferase
6. Cytokinin synthase
7. Catalyzes
8. Deoxyribonucleic acid
9. Ti plasmid

گال طوقه، یک نوع خاص از نیتروژن به نام اپین‌ها[1] در گیاهان تولید شده و جالب است بدانید که اپین‌ها (شکل ۲-۲٤) فقط برای تغذیه باکتری ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و برای گیاهان قابل استفاده نمی‌باشند. T-DNA حاوی تعدادی ژن برای بیوسنتز هورمون است. ما می‌دانیم که آنزیم ایزوپنتنیل ترانسفراز، گروه ایزوپنتنیل را از IpPP به AMP انتقال می‌دهد. تا سیتوکنین ایزوپنتنیل آدنین ریبوتاید[2] را تشکیل دهد. این آنزیم ترانسفراز توسط ژن ایزوپنتنیل ترانسفراز (ipt) که یکی از ژن‌های T-DNA است، رمز گذاری می‌شود. علاوه بر این، حاوی دو ژن است که آنزیم‌هایی را که در مسیر تبدیل تریپتوفان به IAA رمز گذاری می‌کند.



شکل ۲-۲٤ دو اپین، اکتوپین و نوپالین که فقط در گال طوقه هستند.

1. Opines
2. Isopentenyl adenine ribotide

فصل سوم

بهاره سازی[1] و گلدهی

همانطور که می‌دانیم نور تأثیر عمیقی بر گیاهان دارد و بسیاری از فرآیندهای بیولوژیکی مهم مانند فتوسنتز[2]، فتوتروپیسم[3] (نورگرایی[4])، تنفس نوری[5]، فتوپریودیسم[6] و غیره را انجام می‌دهد. تأثیر نور در گلدهی بسیار جالب است اما همه گیاهان به آن پاسخ یکسان نمی‌دهند و گلدهی با تیمارهای فتوپریودیک صورت می‌گیرد. همانند نور، دما نیز در رشد گیاه، خواب و گادهی تأثیر بسزایی دارد. بیشتر فرآیندهای متابولیک با دمایی که در محیط حاکم است، تنظیم می‌شود. با این حال تأثیر دما در القای رشد اندام‌های زایشی بسیار جالب است.

1. Vernalization
2. Photosynthesis
3. Phototropism

٤. فتوتروپیسم عبارت است از خم شدن گیاه به سوی جهتی که میزان نور بیشتری وجود دار.

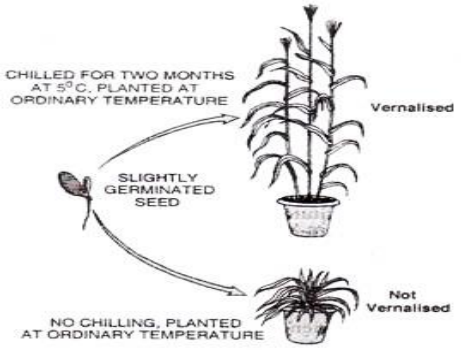
5. Photorespiration
6. Photoperiodism

همانطور که قبلاً ذکر شد، گیاهان دارای چرخه‌های مختلف رشد رویشی[۱]، گلدهی[۲] و میوه‌دهی[۳] هستند. بسیاری از گیاهان قبل از اینکه در دمای پایین قرار بگیرند، وارد مرحله زایشی نمی‌شوند. این گیاهان در طول فصل گرم رشد رویشی می‌نمایند، در زمستان دمای پایین را دریافت می‌نمایند و پس از آن وارد مرحله زایشی می‌شوند. نیاز به دمای پایین برای گیاه مانع از رشد زایشی در فصل پاییز می‌گردد. در نتیجه به گیاه اجازه رشد رویشی قبل از زایشی را می‌دهد. این پدیده در برخی گیاهان پاییزه (گندم، جو و چاودار) برخی گیاهان دوساله (کلم، چغندرقند و هویج) و برخی گیاهان چند ساله (گل داوودی) مشاهده می‌شود. گیاهان زمستانه دارای ارقام بهاره نیز هستند. ارقام بهاره در بهار کشت می‌شوند و در پایان فصل رشد گل و میوه می‌دهند. اگر ارقام پاییزه به طور مشابه در بهار کشت شود، این ارقام در پایان فصل رشد قادر به گلدهی و تولید میوه نیستند. این ارقام در پاییز کاشته می‌شوند به شکل گیاهچه زمستان گذرانی می‌کنند و رشد آنها در بهار از سر گرفته می‌شود و در پایان فصل رشد گل و میوه می‌دهند.

از زمانی که گاسنر[۴] در آمریکا این پدیده را کشف کرد تعداد زیادی از گیاهان که نیاز بهاره سازی دارند شناسایی شده و مطالعات دقیقی درباره رفتار این گونه گیاهان انجام گرفت. اولین بار آزمایشات بهاره سازی تحت نظارت لیسنکو[۵] (۱۹۲۸) در اتحادیه جماهیر شوروی صورت پذیرفت. لیسنکو نشان داد که گیاهان یک‌ساله و دوساله که نیازمند سرما برای گلدهی هستند را می‌توان با قرار دادن در درجه حرارت پایین در گیاهچه یا مرطوب کردن بذور، گلدهی در آنها را تحریک نمود. وی این اثر سرما را بهاره سازی خواند، بنابراین بهاره سازی فرآیندی برای کوتاه شدن مرحله رویشی و تسریع در فرآیند زایشی با تیمار سرما است. در اتحاد جماهیر شوروی این پدیده را یروویزاسیون[۶] یا لیزنکوئیسم[۷]

1. Vegetative growth
2. Flowering
3. Fruiting
4. Gassner
5. Lysenkov
6. Yerrovization
7. Lysenkoism

نامیدند. پس از کلیپرت[1] که این پدیده را گزارش نمود کارهای تحقیقاتی گسترده‌ای در زمینه بهاره سازی انجام گرفت. در میان بسیاری از گیاهان چاودار[2] (گیاه روز کوتاه) اولین گیاهی بود که برای آزمایش استفاده شد (شکل۳-۱).



شکل۳-۱ اثر بهاره سازی در گیاه چاودار

مکان بهاره سازی

تحریک بهاره سازی تنها توسط سلول‌های مریستمی (مریستم انتهایی، مریستم ریشه، رشد برگ‌ها، جنین و...) صورت می‌گیرد.

الزامات بهاره سازی

۱. دمای پایین: درجه حرارت مناسب برای بهاره سازی معمولاً بین ۰ تا ۵ درجه سانتیگراد است. تیمار با دمای پایین نبایستی بلافاصله با دمای بالا (حدود ٤٠ درجه سانتیگراد) همراه شود، بدلیل اینکه اثر بهاره سازی را از بین می‌برد که به این پدیده فرا بهاره سازی[3] می‌گویند.
۲. دوره تیمار با درجه حرارت پایین: از چند ساعت تا چند روز متغیر است.
۳. فعالیت تقسیم سلولی: بهاره سازی در بذور خشک رخ نمی‌دهد. بذرها باید جوانه زده شوند تا در آنها جنین فعال شود. برای این کار ابتدا بذور قبل از قرار گرفتن

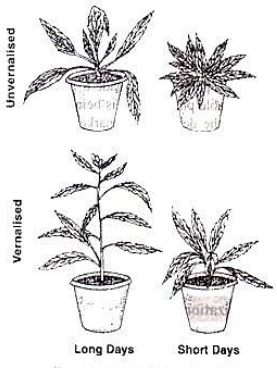
1. Klippert
2. Secale montanum
3. De_vernalization

در معرض هوای سرد باید خیسانده شوند. در همه گیاهان یک مریستم فعال نیاز است.

٤. آب: آب‌پوشی[1] مناسب پروتوپلاسمی برای تحریک بهاره سازی لازم است.
٥. تنفس هوازی[2]
٦. تغذیه مناسب

مکانیسم بهاره سازی

محرک دریافت شده، توسط سلول‌های تقسیم کننده فعال در مریستم انتهایی ساقه و ریشه به کل گیاه منتقل می‌شود و گیاه را برای گلدهی آماده می‌کند. محرک به عنوان بهاره سازی نامگذاری می‌شود. در برخی از گیاهان دمای پایین با جیبرلین جایگزین می‌شود. بهاره سازی گیاه را برای مرحله گلدهی آماده می‌کند. با این حال، فتوپریودیسم[3] نه تنها گیاه را برای گلدهی آماده می‌کند بلکه موجب گلدهی نیز می‌شود. به عنوان مثال، بنگ دانه یا بذرالبنج[4] یک گیاه روز بلند است که برای ورود به مرحله گلدهی نیازمند یک دوره سرما می‌باشد. در صورت فراهم نشدن یکی از دو مورد دمای پایین یا فتوپریودیسم گیاه به گل نمی‌رود (شکل ۳-۲).



شکل۳-۲ اثر بهاره سازی و فتوپریودیسم در گیاه بنگ دانه

1. Hydration
2. Aerobic respiration
۳. عکس العمل گیاه نسبت به طول دوره ی تابش نور خورشید که بدون در نظر گرفتن شدت نور بوده و این تابش به صورت متوالی می‌باشد.
4. *Hyoscyamus* niger

اهمیت بهاره سازی

۱. بهاره سازی می‌تواند دوره رشد رویشی گیاه را کوتاه کند و باعث سریع در ریشه‌زایی شود. این مورد نه تنها در مورد گیاهان دوساله بلکه در مورد گیاهان یکساله مانند غلات (گندم، جو، برنج، ارزن و پنبه) نیز صدق می‌کند.
۲. باعث افزایش عملکرد، مقاومت در برابر سرما و بیماری می‌شود.
۳. چروکیدگی دانه[1] در تریتیکاله را می‌توان با بهاره سازی بر طرف نمود.

بهاره سازی گندم پاییزه

همانطور که می‌دانیم گندم برای انتقال از مرحله رویشی به زایشی نیازمند یک دوره سرما است. قرار گرفتن در معرض هوای سرد (به عنوان مثال زمستان) یک انطباق مفید برای گونه‌های گیاهی است که در فصل بهار گل می‌دهند. این انطباق به عنوان بهاره سازی شناخته می‌شود (کوآرد[2]، ۱۹۶۰؛ هاید و سانزتبی[3]، ۲۰۱۵). از نظر کوآرد ۱۹۶۰، بهاره سازی را می‌توان استفاده یا تسریع در توانایی گلدهی توسط یک تیمار سرمایی بیان نمود و این اقدام در وحله اول قابل مشاهده نیست اما به نظر می‌رسد پس از آغازش گل نمایان می‌شود.

همچنین قرار گرفتن بوته‌های ارقام پاییزه گندم در دماهای صفر تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد موجب تغییرات بیوشیمیایی در سلول‌های مریستم انتهایی شده و آن را برای دریافت تحریکات فتوپریودی و یا حاصل از تجع دما جهت انتقال از فاز رویشی به زایشی آماده می‌سازد. این فرآیند را بهاره شدن[4] می‌نامند. فرآیند بهاره سازی در جوانه‌ها صورت گرفته و از این رو بذور خیس شده، گیاهچه های جوان، بذور در حال تشکیل و نابالغ در روی گیاه مادری و حتی کالوس های حاصل از کشت بافت جنین قابل بهاره کردن هستند

1. Kernal wrinkles
2. Chouard
3. Heide and Sønsteby
4. Vernalization

(گاردنر[1] و همکاران، ۱۹۹۰؛ نواک[2] و همکاران، ۲۰۱٤). بهاره سازی معمولاً در دمای کمتر از ۸ درجه سانتیگراد رخ می دهد. اثر عمده بهاره سازی کوتاه شدن طول مدت مرحله تولید آغازش گل است (گریفیث[3] و همکاران، ۱۹۸۵). تغییر از مرحله رویشی به زایشی نشانه یک انتقال بزرگ در چرخه مراحل نموی گیاه است.

در بسیاری از گونه های گیاهی انتقال حالت مریستم از رویشی به زایشی برگشت ناپذیر است. بنابراین زمان بندی مناسب این انتقال برای تولید مثل موفق بسیار مهم است. با تکامل توسعه گندم در دهه های اخیر، مشاهده شده است که بخشی از مراحل نموی توسعه گندم برای تولید عملکرد دانه مهم‌تر است (اسلیفر و ساوین[4]، ۱۹۹۱؛ رود ریگوئز[5] و همکاران، ۲۰۱٤). در مرحله ما بین انتقال از حالت رویشی به زایشی تا سنبلچه انتهایی[6] و از این مرحله تا مرحله بارورشدن[7] که مشخص کننده رشد سریع سنبله و طویل شدن ساقه[8] است، از اهمیت ویژه‌ای در تولید عملکرد دانه برخوردار است. در این مرحله یک رابطه قوی مابین بیوماس سنبله در مرحله گرده افشانی و تعداد دانه در متر مربع وجود دارد، که تعیین کننده پتانسیل عملکرد دانه می‌باشد. تجمع ماده خشک در سنبله را می‌توان با افزایش طول این دوره تا زمان گرده افشانی بدون گسترش چرخه کل گیاه افزایش داد. امکان دستکاری در طول این مرحله بدون تأثیر در مراحل دیگر توسط هالوران و پنل[9] (۱۹۸۲) پیشنهاد و توسط وایت کورچ و اسلیفر[10] (۲۰۰۱) تأیید شد. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که تغییر طول این مرحله می‌تواند تعداد دانه و عملکرد دانه را تغییر دهد. عوامل مؤثر بر فرآیند بهاره سازی شامل شدت و مدت سرما، روش سرمادهی، ژنوتیپ، مرحله نمو و هورمون های رشد می‌باشند.

1. Gardner et al
2. Nowak et al
3. Griffiths et al
4. Slafer and Rawson
5. Rodrigues et al
6. Terminal spikelet
7. Anthesis
8. Stem elongation
9. Halloran and Pennel
10. Whitechurch and Slafer

تریتون[1] و همکاران (۲۰۱۲) از عوامل کاهش عملکرد در گندم می‌تواند کاهش در تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله، ارتفاع بوته، طول سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک باشد. بررسی‌های متعدد نشان داده است که ارقام بر اساس نتایج زمستانه غلات بعد از قرار گرفتن در مقابل سرمای بهاره سازی تعداد نهایی برگ کاهش می‌یابد و سپس به نقطه ای می‌رسد که بعد از آن تعداد نهایی برگ ثابت می‌ماند که آن محدوده را به عنوان محدوده تکمیل بهاره سازی می‌نامند (فولر[2] و همکاران ۱۹۹٦). نتایج آزمایشات جهانبخش گده کهریز و همکاران (۱۳۸۸) نشان داد که در گندم رقم شایان زمانی که در معرض دمای پایین قرار نگیرد برای رسیدن به فاز زایشی تعداد برگ زیادی (۲٤ برگ) تولید می‌کند و مدت زمان طولانی‌تری برای رسیدن به فاز زایشی نیاز دارد ولی با قرار گرفتن در دمای پایین تعداد برگ‌های خود را به نصف (۱۲ برگ) کاهش داده و با گذراندن ٤۲ روز دوره بهاره سازی سریعتر وارد فاز زایشی می‌گردد. این پاسخ رقم زمستانه شایان نشان می‌دهد که دارای نیاز بهاره سازی بالایی است و دیرتر وارد فاز زایشی می‌شود و در نتیجه زمان بیان ژن مقاومت به سرما که در دوره رشد رویشی است، بیشتر بوده و باعث مقاومت بیشتر این رقم به سرما می‌گردد. نتایج آزمایش شریفی و مشهدی (۱۳۸۲) بر روی گندم ارقام سبلان و سرداری نشان داد که بهاره سازی در این ارقام نیازی کیفی است به گونه ای که سنبله دهی رقم سبلان در تاریخ کاشت ششم و هفتم (طول مدت بهاره سازی به ترتیب ۱۷ و صفر) و سنبله‌دهی رقم سرداری در تاریخ کاشت هفتم (بدون طی دوره بهاره سازی) علیرغم ۱۲۰ روز نمو در درجه حرارت‌های بالاتر از ۱۸ درجه سانتیگراد رخ نداد. تأثیر عدم تکمیل نیاز بهاره سازی بر تأخیر و یا عدم گلدهی برخی ارقام پاییزه به تأیید سایر محققین نیز رسیده است (کرنز[3] و همکاران ۱۹۹۱).

1. Trethowan et al
2. Fowler
3. Krenzer et al

اهمیت بهاره سازی در گندم پاییزه در ایران

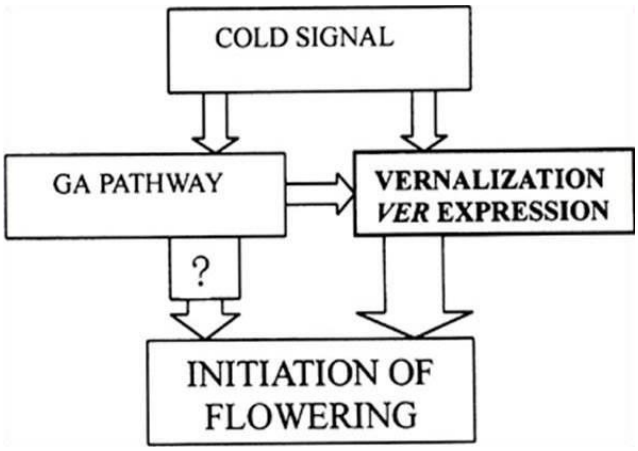
در کشور ایران و به خصوص مناطق مرکزی آن که چند سالی است به دلیل نبود منابع آبی یا کمبود آن یا فراهم شدن منابع آبی در زمانی به غیر از زمان مناسب کشت محصولات زراعی پاییزه (گندم پاییزه)، کشاورزان، بهره برداران، کارشناسان و محققین بخش کشاورزی را با مشکل بزرگی مواجه کرده است. بدین صورت که کشت غلات پاییزه (گندم پاییزه) در بهار با همان عملکرد و کیفیت پروتئین به یکی از معضلات روز کشاورزان و محققین این بخش بدل شده است. درست است که گندم بهاره را می‌توان در بهار و گندم پاییزه را در پاییز کشت کرد اما نکته قابل توجه این است که گندم بهاره را در مناطقی کشت می‌کنند که غالباً گندم پاییزه نمی‌تواند در برابر سرمای زمستانه آن مناطق، مقاومت کند (نه در مناطق مرکزی ایران) و عملکرد گندم بهاره نسبت به پاییزه بسیار پایین‌تر است. مشکل دیگر در بحث گندم های بهاره طول مدت رشد آنهاست که کاشت از اواخر زمستان در اصفهان و اوایل بهار در مناطق مرکزی ایران (به دلیل بارندگی و ممانعت از ورود ادوات برای تسطیح و کشت) و برداشت از اواخر تیر تا اواخر مرداد صورت می‌پذیرد و به طبع فرصت لازم برای کشت دوم را از کشاورزان می‌گیرد در نتیجه کشاورزان رغبتی به کشت آن از خود در سال های اخیر نشان نداده‌اند. در مقابل میزان ازت در گندم‌های بهاره اغلب بالاتر از گندم پاییزه بوده و علت آن را می‌توان در کوتاه تر بودن زمان رشد در گندم‌های بهاره دانست که در نتیجه فرصت ذخیره زیاد نشاسته در آنها محدود و بنابراین درصد پروتئین افزایش می‌یابد که به کیفیت نانوایی آن می‌افزاید. مطالعات متعدد نقش فرآیندهای متابولیک در طول دوره پر شدن دانه را مورد بررسی قرار داد (لیمین و فولر[1]، ۲۰۰۲). با این حال نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته بر روی بهاره سازی در گیاه حاکی از آن است که یک روش کمی که پیشرفت در طول فرآیند بهاره سازی با استفاده از روش تیمار دمایی را نشان دهد مشخص نمی‌باشد. اکثر مطالعات صورت گرفته در گذشته در استفاده از هورمون‌ها برای تحریک ساقه دهی یا بهاره سازی

1. Limin and Fowler

در محیط های هیدروپنیک گال و مارشال (۱۹۷۳) یا در آزمایشگاه مانند خیس کردن بذور برای جوانه زنی در کاغذ صافی پریرا و همکاران (۲۰۰۲) و یا در گلخانه پینتوس و آبراهام (۱۹۹٦) بوده است.

نقش جیبرلین ها در بهاره سازی

بسیاری از گیاهان که نیاز به یک دوره سرما دارند برای القا گل نیازمند تیمار فتوپریودیک[1] نیز می‌باشند، که بدون آن بهاره سازی اتفاق نمی‌افتد. اگر چنین گیاهانی را با جیبرلین تیمار کنیم، بدون اینکه گیاه نیاز به سرما یا فتوپریودیک داشته باشد، گل می‌دهند. در نتیجه جیبرلین نه تنها جایگزین بهاره سازی می‌شود بلکه جایگزین فتوپریودیک نیز می‌شود. در بعضی گونه‌های گیاهی برای پاسخ مناسب به جیبرلین گیاه باید در حالت روزت (مانند گندم و جو پاییزه) باشد (شکل ۳-۳). سرمادهی بیان ژن VER203 را فعال می‌کند. جیبرلین همچنین بیان ژن VER203 را القا می‌کند. بنابراین جیبرلین می‌تواند تا حدودی جایگزین دوره سرما برای گیاهانی شود که برای شروع مرحله زایشی نیاز به یک دوره سرما دارند.



شکل ۳-۳ آغازش گل

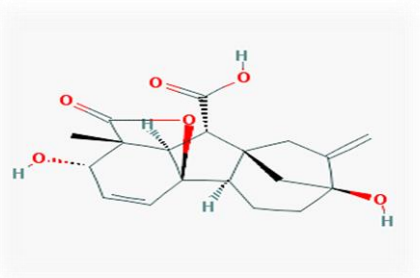
۱. واکنش به طول روز

تأثیر جیبرلین ها در بهاره سازی

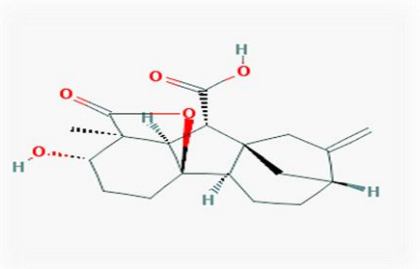
جیبرلین ها گروهی از هورمون های گیاهی هستند که باعث تحریک رشد در بخش‌های هوایی گیاه مخصوصاً ساقه می‌شوند و تنها گروه هورمون‌های گیاهی هستند که می‌توان آنها را بیش از آنکه از طریق فعالیت‌های بیولوژیکی شناخت، بر اساس ساختمان شیمیایی تعریف کرد. جیبرلین ها از نظر ساختمان شیمیایی دی ترپنوئید[1] هستند و لذا در خانواده کلروفیل و کاروتن قرار می‌گیرند. بخش عمده جیبرلین از اسکلتی اختصاصی به نام جیبان[2] تشکیل شده است و گروه COOH- آزاد در آن قرار می‌گیرد. جیبرلین‌های زیست فعال فرآیندهای متعدد بیولوژیکی شامل جوانه زنی، توسعه برگ، رشد طولی ساقه و شروع و توسعه اندام زایشی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (ژیانگنن[3]، ۲۰۱۳). مشتقات جیبرلیک اسید جایگزین شیمیایی مناسبی برای بهاره سازی هستند. سنتز برخی مواد ناشناخته به نام ورنالین[4] در طول بهاره سازی به روشنی نشان داده شده است. جیبرلین‌ها دارای انواع مختلفی در یک طیف وسیعی هستند که با شماره گذاری به صورت GA_1،GA_2، GA_3 و... مشخص می‌شوند. در بین جیبرلین‌ها، جیبرلیک اسید ۳ (GA_3)، (شکل ۳-٤) به علت وجود دائمی در تخمیرهای میکروبی و فعالیت زیاد در گیاهان از همه فراوانتر است. جیبرلیک اسید ٤ (شکل ۳-۵) و جیبرلیک اسید ۷ (شکل ۳-٦) نیز دارای اهمیت زیادی هستند زیرا پیش ماده‌های حد واسط جیبرلیک اسید ۳ می باشند و نسبت به جیبرلیک اسید ۳ فعالیت بیولوژیکی متفاوتی دارند. رویش و جوانه زنی دانه‌ها و رشد بسیاری از جوانه‌ها در گروهی از گیاهان که نیاز به گذراندن سرما دارند، مشاهده شده است که در مواردی هورمون‌های جیبرلین می توانند جایگزین دوره سرما در گیاهان ذکر شده شوند. هورمون جیبرلین علاوه بر اینکه از نظر عمل اثرات گسترده ای را نشان می‌دهند، از نظر غلظت نیز دارای طیف وسیعی هستند. این هورمون‌ها در هر غلظتی در

1. Diterpenoid
2. Gibban
3. Xiangnan
4. Vernalin

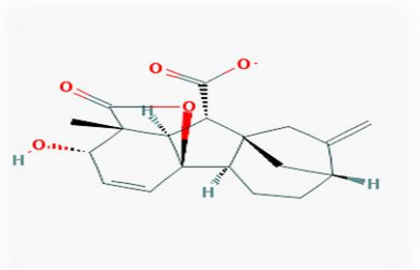
گیاه (غیر از ریشه) دارای تحریک کنندگی هستند. گسترده ترین طیف فعالیت هورمون‌های جیبرلین مربوط به جیبرلیک اسید ۳ و بعد از آن جیبرلیک اسید ۷ می‌باشد. اثر هورمون‌های جیبرلین در افزایش طول ساقه گیاه متفاوت است و بستگی به نوع گیاه و یا محل اثر هورمون در گیاه دارد.



شکل ۳-٤ ساختار شیمیایی اسید جیبرلیک ۳



شکل ۳-٥ ساختار شیمیایی اسید جیبرلیک ٤



شکل ۳-٦ ساختار شیمیایی اسید جیبرلیک ۷

بسیاری از جیبرلین‌های موجود در نمو دانه، در آندوسپرم تستا و درون پریکارپ قرار دارند. سطوح بالای جیبرلین در زمان نمو دانه در هنگام بلوغ است به طوری که دانه خشک معمولاً حاوی سطوح پایینی جیبرلین‌اند و پیش اندازی بذور گندم می‌تواند سطح جیبرلین دانه قبل از جوانه‌زنی را افزایش داده و جایگزین مناسبی برای دوره سرما باشد. بعد از جوانه‌زنی سطح جیبرلین با افزایش غلظت جیبرلیک اسید ۱ در جو افزایش یافت، گرچه مقادیر کمی جیبرلین‌های GA_3، GA_{34}، GA_{99} نیز وجود داشت. بر اساس نتایج ژنگ و فولر[1] (۲۰۱۱) استفاده از جیبرلین می‌تواند ظرفیت فتوسنتزی، تعداد دانه و به تأخیر انداختن پیری برگ را افزایش دهد. که این امر می‌تواند به علت تأثیر جیبرلین‌ها در توسعه رشد طولی ساقه و رشد طولی میان گره در غلات باشد. جیبرلین های موثر در اکثر گونه ها جیبرلیک اسید ۱، جیبرلیک اسید ۳، جیبرلیک اسید ٤، جیبرلیک اسید ٥ و جیبرلیک اسید ۷ می‌باشد. گر چه حضور جیبرلین برای رشد طولی ساقه اولیه و رشد مجدد ساقه کافی است اما نمو گل تنها در پنجه هایی که جیبرلین و بهاره سازی با هم وجود دارند رخ می‌دهد (پیرس[2] و همکاران، ۲۰۱۳).

نتایج آزمایش عبدالحمید و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد محلول پاشی جیبرلیک اسید ۳ تغییراتی را در مراحل رشدی ایجاد می‌کند، به عنوان مثال ارتفاع بوته در کنگر فرنگی در بهاره سازی با جیبرلیک اسید۳ افزایش قابل توجهی یافت، در حالی که تعداد برگ در بوته با افزایش غلظت از صفر تا ٤٠ پی پی ام افزایش یافت. اثر تحریک جیبرلیک اسید ۳ بر ارتفاع بوته به علت طویل شدن سلول و تقسیم سلولی است. نتایج آزمایشات مشابه ال بسیونی[3] (۲۰۰۳) نشان داد محلول پاشی جیبرلیک اسید ۳ در تمام مراحل رشدی اثر یکسانی در تعداد برگ ندارد. پان[4] و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که استفاده از تنظیم کننده‌های رشد گیاهی اثرات قابل توجهی بر کیفیت دانه دارد. غلظت پروتئین و وزن دانه فرآیند اساسی تعیین کننده تجمع پروتئین، تا حد زیادی، تعیین کننده کیفیت دانه‌های گندم

1. Zang and Flower
2. Pearce et al
3. El–Bassiouny
4. Pan et al

بود. استعمال خارجی جیبرلیک اسید ۳ محتوای پروتئینی محلول در دانه را به میزان قابل توجهی افزایش داد (یانگ[1] و همکاران، ۲۰۱۳). بر اساس نتایج اسکندری وشکوه فر (۲۰۱۵) حداکثر تعداد سنبله در متر مربع در گندم در زمان مصرف هورمون جیبرلین با غلظت ۲۲۵ پی پی ام (۱۰٤۵ سنبله) و ۱۵۰ پی پی ام (۹۹۱ سنبله)، هر دو تفاوت قابل توجهی با تیمار شاهد (۹۷۸ سنبله) نشان داد. در حالی که تیمار جیبرلین هیچ تأثیری بر وزن هزار دانه ندارد، حداکثر وزن هزار دانه (۳٦ گرم) در سطوح مختلف هورمون و حداقل وزن هزار دانه (۳۵ گرم) در تیمار شاهد بدست آمد. همچنین تفاوت معنی داری بین رقم چمران (۳۸ گرم)، واریناک (۳٤ گرم) و ستاره (۳۵ گرم) وجود داشت. استفاده از هورمون جیبرلیک اسید با غلظت ۲۵۰ پی پی ام در رقم چمران نسبت به استفاده از این هورمون با غلظت ۱۵۰ پی پی ام منجر به افزیش عملکرد دانه گردید. نتایج آزمایش پاولیستا[2] و همکاران (۲۰۱٤) نشان داد که محلول پاشی جیبرلیک اسید ۳ با غلظت ۵۰۰ پی پی ام در آبان ماه باعث افزایش ارتفاع بوته گندم پاییزه شد. همچنین محلول پاشی جیبرلیک اسید ۳ با غلظت ٤۰۰۰ پی پی ام بر روی بذر نیز باعث افزایش ارتفاع بوته گندم پاییزه شد. نتایج آزمایش واردل و اسکوگ[3] (۱۹٦۹) نشان داد که کاربرد جیبرلین به بافت ساقه به شدت مانع تشکیل جوانه می‌شود، اما در غلظت های پایین در جایی که تشکیل جوانه صورت می‌گیرد نسبت جوانه گل به جوانه رویشی تغییر نمی‌کند. هنگامی که جیبرلین در جوانه جوان گل تأمین شود به طریق قابل توجهی به توسعه گل‌ها می‌انجامد.

بر اساس نتایج داهانایاکه و گاوی[4] (۱۹۹۹) اثر جیبرلیک اسید ۳ به طور مداوم باعث کاهش زمان گلدهی و افزایش ارتفاع ساقه می‌شود و تأثیر محلول پاشی جیبرلیک اسید ۳ با غلظت ٤۰ پی پی ام همیشه بیشتر از ۱۰ پی پی ام می‌باشد. براساس نتایج پاسام[5] و همکاران (۲۰۰۸) محلول پاشی جیبرلیک اسید بر روی گیاه کاهو با غلظت ۳۰ پی پی

1. Yang et al
2. Pavlista et al
3. Wardell and Skoog
4. Dahanayake and Galwey
5. Passam et al

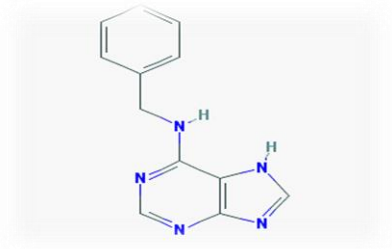
ام باعث افزایش ارتفاع ساقه‌های گلدهنده به نسبت ۲۵، ۳۶، ٤۰ درصد بیشتر از تیمار شاهد شد. تیمار گیاه کاهو توسط جیبرلیک اسید ۳ در مرحله روزت (۸ برگی) نه تنها کمک به افزایش ارقام کاهو پیچ می‌کند، بلکه باعث افزایش عملکرد نیز می‌شود (هارنیگون[1]، ۱۹٦۰). محلول پاشی با جیبرلین بر روی گیاه *L. perenne* باعث تسریع نمو گلدهی تنها زمانیکه بهاره سازی انجام شده باشد امکان پذیر بود (مک‌میلان[2] و همکاران، ۲۰۰۵). استفاده از جیبرلیک اسید ۳ باعث تسریع گلدهی در گیاهان در مدت زمان بهاره سازی می‌شود. همچنین مشاهده شده که استفاده از جیبرلیک اسید ۱ تا جیبرلیک اسید ۹ نیز باعث افزایش گلدهی در گیاه (*A. thaliana*) می‌شود (ناپ زین[3]، ۱۹٦۹). فرناندز[4] و همکاران (۱۹۹۷) نشان دادند دمای پایین و استفاده از جیبرلین باعث افزایش دسترسی مواد مغذی در رأس[5] شد، احتمالاً برای این رخ می‌دهد که میزان کربوهیدرات در سطح آستانه حداقل در رأس به وسیله بهاره سازی تولید می‌شود. این افزایش مواد مغذی در مورد دمای پایین به تولید برگ‌های جدید نزدیک به رأس و در مورد جیبرلین از تأثیر این هورمون در سرعت بخشیدن فعالیت مخزن در اندام‌های خاص صورت می پذیرد. هاند[6] (۱۹۹۸) مشاهده کرد که کاربرد جیبرلیک اسید٤+ جیبرلیک اسید۷ به صورت محلول پاشی در گیاهانی که ۲ تا ٤ هفته در دمای پایین قرار گرفته بودند موجب آغازش برگ آنها شد. بنابراین این ایده که جیبرلین باعث سرعت بخشیدن به آغازیدن برگ در شرایط بهاره سازی می‌شود تایید شد (بویج[7]، ۱۹۸۵).

1. Harrington
2. Macmillan et al
3. Napp-Zinn
4. Fernandez et al
5. Apex
6. Hand
7. Booij

تأثیر سیتوکنین ها در بهاره سازی

سیتوکنین‌ها[1] یا کینتین‌ها[2] یا کینین‌ها[3] گروهی از هورمون‌های گیاهی هستند که محرک رشد بوده و در بسیاری از مراحل فیزیولوژیکی در گیاه مؤثرند اما مهمترین اثر آنها تحریک تقسیم سلولی است. کینتین به صورت طبیعی وجود ندارد ولی اولین بار از DNA اسپرم شاه ماهی گرفته شد. مشاهداتی که در رابطه با اثر سیتوکنین‌ها بر گیاه کامل با قطعات جدا کشت گیاه انجام شده مشخص کننده آن است که غلظت‌های مختلف این هورمون می‌تواند اثرات محرک و یا بازدارنده رشد داشته باشد.

مثلاً غلظت های $۱۰^{-۶}$ و $۱۰^{-۷}$ مولار سیتوکنین باعث تحرک رشد ریشه و غلظت‌های $۱۰^{-۸}$ و $۱۰^{-۱۱}$ مولار آن باعث تحریک رشد ساقه گیاه آفتاب گردان می‌شود. هورمون سیتوکنین علاوه بر آنکه در تقسیم سلولی مؤثرند در تمایز نیز دارای نقش مؤثری می‌باشند. هورمون سیتوکنین از تخریب کلروفیل جلوگیری می‌کند، جذب اسیدهای آمینه و نگهداری پروتئین را در گیاه تقویت می‌نمایند و با تحریک تقسیم سلولی از پیری گیاهان جلوگیری می‌کند. هورمون ٦- بنزیل آدنین (شکل ۳-۷) یا ٦- بنزیل آمینوپورین (BAP) اولین سیتوکنین مصنوعی می‌باشد. این هورمون یک مهار کننده کیناز در گیاهان است، که موجب رشد و توسعه گیاه، تنظیم گلدهی و تحریک میوه‌دهی با تحریک تقسیم سلولی می‌شود (سدیکی[4] و همکاران، ۲۰۱۱).



شکل ۳-۷ ساختار شیمیایی بنزیل آدنین ٦

1. Cytokinins
2. Kinetins
3. Kinins
4. Siddiqui

سیتوکنین‌ها هورمون‌های گیاهی هستند که بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و رشدی در گیاه از جمله عملکرد دانه را کنترل می‌کنند. برای اطمینان از انتقال به موقع بین مراحل رشد رویشی و زایشی گیاهان سیگنال‌های کامل کننده را از مسیرهای تنظیمی متعدد که توسط نظارت و پاسخگویی به نشانه‌های محیطی متفاوت است دریافت می‌کنند. در گندم، دوره نوری و بهاره سازی با سیگنال‌های فصلی کنترل می‌شوند و تعاملات آنها به خوبی شناخته شده است. بر اساس نتایج کاستا[1] و همکاران (۲۰۱۵) محلول پاشی جیبرلیک اسید ٤+ جیبرلیک اسید ۷+ بنزیل آدنین با غلظت ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در گیاه جاتروفا کارکس[2] باعث پیچش و ریزش برگ شد که نشان دهنده اثرات سمی در این غلظت می‌باشد. افزایش وزن خشک دانه در زمان کاربرد جیبرلیک اسید ٤+ جیبرلیک اسید ۷+ بنزیل آدنین این فرضیه که جیبرلین و سیتوکنین می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد دانه داشته باشد را تقویت کرد.

در آزمایشی برنر[3] و همکاران (۱۹۸۹) نشان دادند افزایش وزن خشک بذر در نتیجه افزایش غلظت جیبرلیک اسید ٤+ جیبرلیک اسید ۷+ بنزیل آدنین می‌تواند به علت جذب جیبرلین و سیتوکنین توسط دانه باشد. بر اساس نتایج لین[4] (۱۹۹٤) مشاهده شد که محلول پاشی بنزیل آدنین با غلظت ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر بعد از اعمال تیمار با دمای پایین باعث افزایش تعداد گل در گل ارکیده شد. بر اساس آزمایشات ژنگ[5] (۲۰۱٦) مشاهده شد محلول پاشی بنزیل آدنین ٦ به میزان ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش تعداد دانه در سنبله شد. نتایج آزمایش پاولیستا و همکاران (۲۰۱٤) نشان داد که اضافه کردن بنزیل آدنین ٦ با غلظت های ۱۲۵ تا ۵۰۰ پی پی ام اثر مضری بر ارتفاع گیاه ندارد، در حالی که غلظت ۲۰۰۰ پی پی ام اثر مضر بر وزن بوته، عملکرد دانه و ارتفاع بوته گندم پاییزه داشت. از آنجاییکه تنظیم کننده‌های رشد گیاهی مانند بنزیل آدنین ٦ باعث جوانه

1. Costa et al
2. Jatropha curcas
3. Brenner
4. Lin
5. Zheng

زنی از طریق تحریک تقسیم سلولی می‌شود ترکیب بنزیل آدنین ٦ با جیبرلیک اسید ۳ باعث افزایش تولید پنجه و ارتقاء رشد ساقه شد. هال ۱۹۷۳، افزایش درصد پروتئین دانه گندم تحت تیمار با کینتین (شکل ۳-۸) را گزارش کرد، در دانه‌های ترکیب شده با کینتین نشان داد که کینتین میزان بالای سنتز پروتئین را حفظ کرده بود.

شکل ۳-۸ ساختار شیمیایی کینتین

تأثیر سرمادهی مرطوب بذور در بهاره سازی

گندم پاییزه برای انتقال از مرحله رویشی به زایشی نیازمند یک دوره سرما است. همانطور که قبلاً اشاره شد قرار گرفتن در معرض هوای سرد (به عنوان مثال زمستان) یک انطباق مفید برای گونه‌های گیاهی است که در فصل بهار گل می‌دهند. زمانیکه کشت گندم پاییزه در بهار صورت گیرد ما باید به صورت مصنوعی این نیاز را برطرف کنیم. که یکی از روش های آن به صورت سرمادهی مرطوب بذور در آزمایشگاه است. عملیات آزمایشگاهی سرمادهی مرطوب بذور، بدین صورت است که ابتدا بذور در آب خیسانده و بعد از آن درون پاکت‌های پلاستیکی که از قبل استریلیزه شده باشند قرار گرفته و سپس بذرها با قارچکش تیمار شده و به مدت ۳۰ روز در دمای ٤-۲ درجه سانتی گراد در یخچال نگهداری می‌شود. نتایج مطالعات مختلف نشان داد که در بهاره سازی گندم، تیمارهای سرمادهی به مدت ۲۰، ۲۵ و ۳۰ روز بی‌اثر بودند، اما سرمادهی به مدت ۳۵ روز مؤثر و ٤۰ روز مطلوب بود. تیمار سرمادهی به مدت ٤۵ روز باعث (فرا بهاره سازی)

کاهش اثر بهاره سازی شد (دررا و الیسون[1] ۱۹۷٤). بر اساس نتایج فرناندز و همکاران (۱۹۷۸) در بهاره سازی گندم تیمار سرمادهی + کینتین یک اثر هم افزایی دارد، بدین صورت که تیمار ۳۰ روز سرمادهی + ۵ پی پی ام کینتین آثار مطلوبی دارد. از سوی دیگر، با بالا بردن مقدار دوز کینتین و کاهش تیمار سرمادهی، صفر پی پی ام کینتین + ٤۰ روز سرمادهی، ۵ پی پی ام کینتین + ۳۰ روز سرمادهی، ۲۰ پی پی ام کینتین + ۲۵ روز سرمادهی، ۱۰۰ پی پی ام کینتین + ۲۰ روز سرمادهی بهاره سازی گندم انجام شد. بهترین نتیجه در بهاره سازی گندم زمانی است که طول مدت سرمادهی ۳۰ روز و غلظت کینتین ۵ پی پی ام باشد، اما ۳۵ روز تیمار سرمادهی + کینتین اثر منفی دارد. همچنین مشاهده شد که ٤۰ روز تیمار سرمادهی + کینتین با غلظت‌های ۰ تا ۱۰۰ پی پی ام باعث توقف این روند می‌شود. نتایج مطالعات مختلف نشان داد که در بهاره سازی گندم، تیمارهای سرمادهی به مدت ۲۰، ۲۵ و ۳۰ روز بی‌اثر بودند، اما سرمادهی به مدت ۳۵ روز مؤثر و ٤۰ روز مطلوب بود.

1. Derera and Ellison

فصل چهارم

اثر استفاده از تنظیم کننده های رشد گیاهی در بهاره سازی گندم پاییزه

بر اساس تحقیقات گسترده اینجانب طی سالیان گذشته بر روی بهاره سازی گندم پاییزه در استان‌های اصفهان و مرکزی بر آن شدم که شرح کاملی از یکی از مقالات خود را برای اولین بار به زبان فارسی در این کتاب به طور مفصل منتشر نمایم. همچنین مقاله‌ای به زبان انگلیسی و در مجله The Journal of Cleaner Production در سال ۲۰۱۹ به چاپ رسیده است که در صورت نیاز محققین و کارشناسان، توسط ایمیل ارسال می‌نمایم. باشد که این اثر راه را برای سایر محققین که بر روی بهاره سازی در کشور کار می‌کنند باز گشاید.

اثر استفاده از تنظیم کننده های رشد گیاهی در بهاره سازی گندم پاییزه در شرایط خشکسالی

مقدمه

یکی از مشکلات به وجود آمده در مناطق مرکزی ایران و به خصوص شرق استان اصفهان کمبود منابع آبی برای کشت گندم پاییزه، این محصول استراتژیک کشور می‌باشد. مشکل اساسی زمانی رخ می‌دهد که آب در زمان مناسب برای کشت گندم پاییزه فراهم نبوده و در نتیجه کشت این محصول در این مناطق با مشکل روبه رو خواهد شد. گندم یکی از پرطرفدارترین غلات در سراسر جهان و در طیف گسترده‌ای از شرایط آب و هوایی، حاصلخیزی خاک و ارتفاعات کشت می‌شود (بوشاک، ۱۹۹۸). بر اساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، تولید گندم در سال ۲۰۱٦ نسبت به ۲۰۱۵ با کاهش ۱/٤ درصد (۱۰/۱ میلیون تن) مواجه شده است که علت کاهش عملکرد در اروپا، کاهش سطح زیر کشت و در آفریقا خشکی آب و هوا برآورد شده است. در آسیا، تولید گندم در سال ۲۰۱٦ نسبت به سال ۲۰۱۵ با کاهش عملکرد ۲/٦ درصد مواجه شده است که علت اصلی آن خشکسالی می‌باشد (فائو، ۲۰۱٦). همانطور که می‌دانیم گندم برای انتقال از مرحله رویشی به زایشی نیازمند یک دوره سرما است. قرار گرفتن در معرض هوای سرد (به عنوان مثال زمستان) یک انطباق مفید برای گونه‌های گیاهی است که در فصل بهار گل می‌دهند. این انطباق به عنوان بهاره سازی شناخته می‌شود (کوآرد، ۱۹٦۰؛ هاید و سانزتبی، ۲۰۱۵). بهاره سازی را می‌توان استفاده یا تسریع در توانایی گل‌دهی توسط یک تیمار سرمایی بیان نمود (کوآرد، ۱۹٦۰) و این اقدام در وحله اول قابل مشاهده نیست اما به نظر می‌رسد پس از آغازش گل نمایان می‌شود. فرآیند بهاره سازی در جوانه‌ها صورت گرفته و از این رو بذور خیس شده، گیاهچه‌های جوان، بذور در حال تشکیل و نابالغ در روی گیاه مادری و حتی کالوس های حاصل از کشت بافت جنین قابل بهاره کردن هستند نواک و همکاران، ۲۰۱٤). بهاره سازی معمولاً در دمای کمتر از ۸ درجه

سانتیگراد رخ می‌دهد (آماسینو، ۲۰۰٤). با تکامل توسعه گندم در دهه‌های اخیر، مشاهده شده است که بخشی از مراحل نموی توسعه گندم برای تولید عملکرد دانه مهم‌تر می‌باشد. مرحله ما بین انتقال از حالت رویشی به زایشی تا سنبلچه انتهایی و از این مرحله تا مرحله بارور شدن که مشخص کننده رشد سریع سنبله و طویل شدن ساقه است، از اهمیت ویژه‌ای در تولید عملکرد دانه برخوردار است. در این مرحله یک رابطه قوی ما بین بیوماس سنبله در مرحله گرده افشانی و تعداد دانه در متر مربع وجود دارد که تعیین کننده پتانسیل عملکرد دانه می‌باشد. عوامل مؤثر بر فرآیند بهاره سازی شامل شدت و مدت سرما، روش سرمادهی، ژنوتیپ، مرحله نمو و تنظیم کننده های رشد می باشند (احمد، ۲۰۱۱). تنظیم کننده‌های رشد گیاهی (PGRs) برای اصلاح معماری گیاه مورد استفاده قرار گرفته اند (آن، ۲۰۱٦). جیبرلین‌ها و سیتوکنین‌ها فرآیندهای مختلف رشد و نمو را در گیاهان کنترل می‌کنند. سیتوکنین‌ها در طی آغازیدن ساقه و کنترل فعالیت مریستم عمل می‌کنند. جیبرلین‌های زیست فعال (GAs) فرآیندهای متعدد بیولوژیکی شامل جوانه‌زنی، توسعه برگ، رشد طولی ساقه و شروع و توسعه اندام زایشی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (ژیانگنن، ۲۰۱۳). در بین جیبرلین‌ها، GA_3 به علت وجود دائمی در تخمیرهای میکروبی و فعالیت زیاد در گیاهان از همه فراوانتر است. مشتقات جیبرلیک اسید جایگزین شیمیایی مناسبی برای بهاره سازی هستند (باراباس و چپلی، ۱۹۷۸). در این مطالعه، اثر تنظیم کننده‌های رشد گیاهی در طی دوره بهاره سازی گندم پاییزه بررسی شد.

مواد و روش ها

این آزمایش در سال زراعی ۲۰۱۷-۲۰۱٦ در پژوهشکده دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ٤۷ دقیقه و ۵۳/۱۳۰ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ٤۰ دقیقه و ۱۵/۷۲۹ ثانیه و ارتفاع ۱۵۵۲/۹ متر از سطح دریا انجام شد. اقلیم منطقه بر اساس تقسیم بندی کوپن خشک بسیار گرم با تابستان های گرم و خشک و زمستان های نیمه سرد با میانگین بارش و درجه حرارت سالیانه به ترتیب ۱۲۵ میلی متر و ۱۵/٦ درجه سانتیگراد می‌باشد. خاک محل آزمایش

دارای بافت رسی لومی از سری خاک‌های اصفهان می‌باشد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ٤-١ آورده شده است.

جدول ٤-١ مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 4-1
Physical and chemical properties of the experimental field.

EC (dS/m)	pH	O.C. (%)	Total N (%)	Avai.P(mg/kg)	Avai.K(mg/kg)	Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)
3.23	7.85	0.14	0.11	65	910	12.6	39.6	47.8

EC: electrical conductivity, O.C.: organic carbon, Avai: available.

این آزمایش به صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ٤ تکرار انجام شد. تیمار اصلی شامل P_1 کشت پاییزه، P_2 کشت بهاره بدون پیش انداز، P_3 کشت بهاره با پیش اندازی با ترکیب ۱۰۰ پی پی ام جیبرلیک اسید ۳+ ۱۰۰ پی پی ام جیبرلیک اسید ٤+ ۱۰۰ پی پی ام جیبرلیک اسید ۷ (GA_{3+4+7})، P_4 کشت بهاره با پیش اندازی با ترکیب ۱۰۰ پی پی ام جیبرلیک اسید ۳+ ۱۰۰ پی پی ام جیبرلیک اسید ٤+ ۱۰۰ پی پی ام جیبرلیک اسید ۷+ ۱۰۰ پی پی ام کینتین+ ۵۰ پی پی ام بنزیل آدنین ٦ (GA_{3+4+7}+Kinetin+BA_6)، P_5 کشت بهاره با سرمادهی مرطوب بذور و تیمارهای فرعی شامل S_1 بدون محلول پاشی به عنوان شاهد، S_2 محلول پاشی با آب، S_3 محلول پاشی با ترکیب ۱۰۰ پی پی ام جیبرلیک اسید ۳+ ۱۰۰ پی پی ام جیبرلیک اسید ۷ (GA_{3+7})، S_4 محلول پاشی با ترکیب ۱۰۰ پی پی ام جیبرلیک اسید ٤+ ۱۰۰ پی پی ام جیبرلیک اسید ۷ (GA_{4+7})، S_5 محلول پاشی با ۵۰ پی پی ام بنزیل آدنین ٦ (BA_6)، S_6 محلول پاشی با ۲۰۰ پی پی ام کینتین (Kinetin)، S_7 محلول پاشی با ترکیب ۱۰۰ پی پی ام جیبرلیک اسید ۳+ ۱۰۰ پی پی ام جیبرلیک اسید ۷+ ۵۰ پی پی ام بنزیل آدنین ٦ (GA_{3+7}+BA_6)، S_8 محلول پاشی با ترکیب ۱۰۰ پی پی ام جیبرلیک اسید ٤+ ۱۰۰ پی پی ام جیبرلیک اسید ۷+ ۵۰ پی پی ام بنزیل آدنین ٦ (GA_{4+7}+BA_6)، S_9 محلول پاشی با ترکیب ۱۰۰ پی پی ام جیبرلیک اسید ۳+ ۱۰۰ پی پی ام جیبرلیک اسید ۷+ ۲۰۰ پی پی ام کینتین (GA_{3+7}+Kinetin) و S_{10} محلول پاشی با ترکیب ۱۰۰ پی پی ام جیبرلیک اسید

٤+ ۱۰۰ پی پی ام جیبرلیک اسید ۷+ ۲۰۰ پی پی ام کینتین (GA_{4+7}+Kinetin) بود. تیمارهای مورد آزمایش در جدول ٤-۲ آورده شده است.

جدول ٤-۲ تیمارهای مورد آزمایش

Table 4-2
treatments

Treatment	Priming	Spraying	Dosage in one liter
P_1S_1	Autumn planting	Control without Spraying	control without spraying
P_1S_2	Autumn planting	Spraying with Water	Spraying with water
P_1S_3	Autumn planting	GA_{3+7}	Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$)
P_1S_4	Autumn planting	GA_{4+7}	Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$)
P_1S_5	Autumn planting	BA_6	Spraying with ($50_{mg/l}$)
P_1S_6	Autumn planting	Kinetin	Spraying with ($200_{mg/l}$)
P_1S_7	Autumn planting	GA_{3+7}+ BA_6	Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$)
P_1S_8	Autumn planting	GA_{4+7}+ BA_6	Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$)
P_1S_9	Autumn planting	GA_{3+7}+ Kinetin	Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$200_{mg/l}$)
P_1S_{10}	Autumn planting	GA_{4+7}+ Kinetin	Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$200_{mg/l}$)
P_2S_1	spring planting without priming	Control without Spraying	control without spraying
P_2S_2	spring planting without priming	Spraying with Water	Spraying with water
P_2S_3	spring planting without priming	GA_{3+7}	Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$)
P_2S_4	spring planting without priming	GA_{4+7}	Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$)
P_2S_5	spring planting without priming	BA_6	Spraying with ($50_{mg/l}$)
P_2S6	spring planting without priming	Kinetin	Spraying with ($200_{mg/l}$)
P_2S_7	spring planting without priming	GA_{3+7}+ BA_6	Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$)
P_2S_8	spring planting without priming	GA_{4+7}+ BA	Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$)
P_2S_9	spring planting without priming	GA_{3+7}+ Kinetin	Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$200_{mg/l}$)
P_2S_{10}	spring planting without priming	GA_{4+7}+ Kinetin	Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$200_{mg/l}$)
P_3S_1	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7})	control without spraying	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$) and control without spraying
P_3S_2	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7})	water	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$) and Spraying with water
P_3S_3	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7})	GA_{3+7}	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$) and Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$)
P_3S_4	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7})	GA_{4+7}	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$) and Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$)
P_3S_5	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7})	BA_6	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$) and Spraying with ($50_{mg/l}$)
P_3S_6	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7})	Kinetin	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$) and Spraying with ($200_{mg/l}$)
P_3S_7	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7})	GA_{3+7}+ BA_6	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$) and Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$)
P_3S_8	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7})	GA_{4+7}+ BA	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$) and Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$)
P_3S_9	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7})	GA_{3+7}+ Kinetin	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$) and Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$200_{mg/l}$)
P_3S_{10}	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7})	GA_{4+7}+ Kinetin	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$) and Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$200_{mg/l+}$)
P_4S_1	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7}+Kinetin+ BA_6)	Control without Spraying	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$) and control without spraying
P_4S_2	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7}+Kinetin+ BA_6)	Spraying with Water	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$) and Spraying with water
P_4S_3	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7}+Kinetin+ BA_6)	GA_{3+7}	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$) and Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$)
P_4S_4	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7}+Kinetin+ BA_6)	GA_{4+7}	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$) and Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$)

P_4S_5	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7}+Kinetin+ BA_6)	BA_6	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$) and Spraying with ($50_{mg/l}$)
P_4S_6	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7}+Kinetin+ BA_6)	Kinetin	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$) and Spraying with ($200_{mg/l}$)
P_4S_7	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7}+Kinetin+ BA_6)	GA_{3+7}+ BA_6	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$) and Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$)
P_4S_8	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7}+Kinetin+ BA_6)	GA_{4+7}+ BA	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$) and Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$)
P_4S_9	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7}+Kinetin+ BA_6)	GA_{3+7}+ Kinetin	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$) and Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$200_{mg/l}$)
P_4S_{10}	Spring planting with priming using (GA_{3+4+7}+Kinetin+ BA_6)	GA_{4+7}+ Kinetin	Priming with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$) and Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$200_{mg/l}$)
P_5S_1	Spring planting using the stratification (wet chilling) of the seeds	Control without Spraying	control without spraying
P_5S_2	Spring planting using the stratification (wet chilling) of the seeds	Spraying with Water	Spraying with water
P_5S_3	Spring planting using the stratification (wet chilling) of the seeds	GA_{3+7}	Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$)
P_5S_4	Spring planting using the stratification (wet chilling) of the seeds	GA_{4+7}	Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$)
P_5S_5	Spring planting using the stratification (wet chilling) of the seeds	BA_6	Spraying with ($50_{mg/l}$)
P_5S_6	Spring planting using the stratification (wet chilling) of the seeds	Kinetin	Spraying with ($200_{mg/l}$)
P_5S_7	Spring planting using the stratification (wet chilling) of the seeds	GA_{3+7}+ BA_6	Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$)
P_5S_8	Spring planting using the stratification (wet chilling) of the seeds	GA_{4+7}+ BA	Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$50_{mg/l}$)
P_5S_9	Spring planting using the stratification (wet chilling) of the seeds	GA_{3+7}+ Kinetin	Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$200_{mg/l}$)
P_5S_{10}	Spring planting using the stratification (wet chilling) of the seeds	GA_{4+7}+ Kinetin	Spraying with ($100_{mg/l}$+$100_{mg/l}$+$200_{mg/l}$)

جهت انجام آزمایش قطعه زمینی به مساحت ۱۵٤۰ متر مربع (۲۲×۷۰) انتخاب گردید. عملیات تهیه زمین طبق عملیات رایج و توصیه شده در منطقه صورت گرفت به این صورت که زمین محل آزمایش در سال قبل به صورت آیش بوده که در اواخر تابستان ۹۵ زمین تا عمق ۳۰ سانتی متر توسط گاوآهن برگردان دار شخم زده شده و به کمک سیکلوتیلر کلوخه‌ها خرد و در نهایت تسطیح زمین انجام گردید. به منظور تقویت زمین و تأمین عناصر مورد نیاز گیاه و با توجه به نتیجه آزمایش کودی خاک، مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل (شرکت ارکان شیمی جنوب) و ۱۰۰ کیلوگرم

در هکتار کود اوره ٤٦ درصد نیتروزن خالص (شرکت پتروشیمی پردیس) قبل از کاشت به زمین داده شد. بعد از پیاده کردن نقشه کشت (هر لاین در یک کرت فرعی به طول چهار متر با چهار خط به فاصله ۲۰ سانتی متر بود)، عملیات کشت گندم پاییزه با دست در تاریخ ۱۳۹۵/۰۸/۱۰ در تیمار کشت در پاییز و در تاریخ ۹۵/۱۲/۰۱ در تیمار های کشت در بهار انجام گرفت. رقم مورد استفاده در این آزمایش رقم میهن (با شجره Bkt/90-Zhong 87) و تاریخ کاشت پاییزه ۱۰ آبان و تاریخ کاشت بهاره ۱ اسفند بود. عملیات آزمایشگاهی شامل سرمادهی مرطوب بذور، بدین صورت انجام گرفت که ابتدا بذور به مدت ۱۸ساعت در آب خیسانده و درون پاکت های پلاستیکی که از قبل استریلیزه شده بودند به مدت ۳۰ روز در دمای ٤ درجه سانتی گراد قرار گرفت (شکل٤-۳). پیش اندازی در تیمارهای P_3 و P_4 بدین صورت انجام گرفت که بذور به مدت ۸ ساعت در محلول هورمون‌های به ترتیب پیش اندازی با (GA_{3+4+7}) و پیش اندازی با (GA_{3+4+7}+Kinetin+BA_6) خیسانده (شکل٤-٤) و سپس بذور را در روی زمین پهن کرده شد تا خشک شوند (شکل٤-٥) و بذرها قبل از کاشت با قارچکش تبوکونازول[1] ۲٪ (شرکت بهاور شیمی) به نسبت ۲ در هزار علیه سیاهک و قارچ‌های خاکزی تیمار شد (شکل٤-٦).

شکل٤-۳ سرمادهی بذور

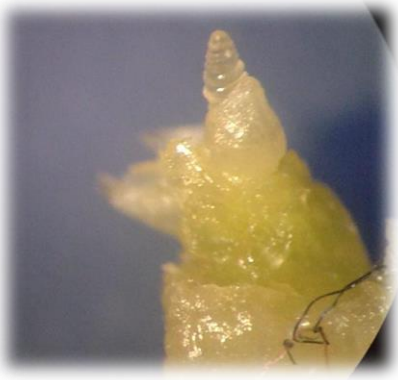
شکل٤-٤ پیش اندازی بذور با هورمون

1. Tebaconazol 2% DS

شکل٤-٥ سرمادهی بذور

شکل٤-٦ ضد عفونی بذور با قارچکش قبل از کاشت

عملیات داشت شامل آبیاری، اعمال تیمارهای محلول پاشی ، مبارزه با آفات، مبارزه با علف‌های هرز، اعمال کود ازته سرک بود. آبیاری اول بلافاصله پس از کاشت انجام گرفت. سایر آبیاری ها بر اساس نیاز گیاه و میزان بارندگی در طول فصل رشد انجام گرفت که عمدتاً به فاصله هفت تا ده روز صورت گرفت. روش آبیاری به صورت غرقابی بود. کود ازته به مقدار ٦٠ کیلوگرم در هکتار اوره با طویل شدن ساقه‌ها در اوایل بهار و ۳۰ کیلوگرم در زمان خوشه‌دهی به زمین داده شد. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ از علفکش توفوردی+ ام سی پی آ[1] (شرکت گیاه) به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار استفاده گردید. در طول اجرای طرح آفت و بیماری در مزرعه مشاهده نشد. در زمان اجرای طرح محلول پاشی فیتوهورمون‌ها در مرحله برجستگی دوگانه[2] در گندم پاییزه (در شرایط مزرعه ای ٤ تا ٦ برگی) انجام گرفت (شکل ٤-٧).



1. 2,4-D + MCPA 67.5% SL
2. Double ridge

شکل٤-٧ مرحله برجستگی دوگانه در گندم پاییزه

محلول پاشی توسط سمپاش پشتی بدون موتور با فشار متناوب (کتابی) انجام شد. نمونه برداری توسط یک کوآدرات ۱×۱ متر مربع صورت گرفت و نمونه ها در پاکت های کاغذی با نوشتن کد برای هر یک گذاشته شد. بعد از اندازه گیری صفات مورفولوژیکی پاکت‌ها درون آون ۷۵ درجه سانتیگراد به مدت ۷۲ ساعت گذاشته و توسط یک ترازوی دیجیتال با حساسیت یک صدم اندازه گیری و نتایج به دست آمده نوشته شد. طول ریشه، ارتفاع بوته، طول سنبله، وزن خشک خوشه، عملکرد دانه در هکتار، درصد نیتروژن دانه، درصد ایندکس گلوتن و درصد رطوبت دانه با رعایت حاشیه در هر کرت آزمایشی اندازه گیری شد. برای اندازه گیری طول ریشه، ارتفاع بوته و طول سنبله تعداد ۱۰ بوته در هر کرت آزمایشی به صورت تصادفی انتخاب و ارتفاع ریشه بر حسب سانتیمتر نوشته و میانگین گرفته شده ثبت شد. وزن خشک خوشه ۲۰ عدد خوشه گندم در هر تیمار آزمایشی به صورت تصادفی انتخاب و نمونه برداری انجام شد. بعد از انجام نمونه برداری خوشه‌ها جدا و درون پاکت قرار داده شد و به مدت ۷۲ ساعت در آون ۷۵ درجه قرار گرفت و توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک صدم اندازه گیری وزن خشک خوشه انجام شد. عملکرد دانه هر کرت آزمایشی برداشت و پس از توزین آن به تن در هکتار تبدیل گردید. درصد نیتروژن دانه از طریق روش کجلدال[1] محاسبه شد. روش اندازه گیری ایندکس گلوتن بر اساس استاندارد ملی شماره ٤٢٩٧ بود. درصد رطوبت دانه بر اساس استاندارد مرجع AACC 44-14a انجام شد. درصد رطوبت نمونه توسط فرمول زیر محاسبه می گردد:

درصد رطوبت دانه = گرم رطوبت از دست رفته / وزن نمونه x ۱۰۰

آنالیزهای آماری با استفاده از نرم افزار MSTAT-C مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند و میانگین‌ها، در صورت معنی‌دار بودن اثر عامل آزمایشی، بر اساس آزمون چند

1. Kjeldahl

دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه گردیدند. جهت رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده گردید.

نتایج

طول ریشه

اثر پیش اندازی، محلول پاشی و اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاش بر طول ریشه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گندم پاییزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٤-٣). اثر پیش اندازی نشان داد بیشترین طول ریشه مربوط به تیمار کشت پاییزه (۱۱/۷۵ سانتیمتر) و کمترین طول ریشه در تیمار کشت بهاره با سرمادهی مرطوب بذور (۸/۰٦ سانتیمتر) مشاهده گردید (جدول ٤-٤). اثر محلول پاشی نشان داد که بیشترین طول ریشه مربوط به تیمار محلول پاشی با ترکیب GA_{4+7} (۱۱/۷۵ سانتیمتر) و کمترین طول ریشه در تیمار محلول پاشی با آب (۸/۸۵ سانتیمتر) بود (جدول ٤-٤). اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاشی نشان داد که بیشترین طول ریشه مربوط به تیمار کشت پاییزه+ محلول پاشی با ترکیب GA_{4+7}+BA_6 (۱۵/۷۵ سانتیمتر) بوده و کمترین طول ریشه در تیمار کشت بهاره بدون پیش اندازی+ محلول پاشی با آب (٦/۲۵ سانتیمتر) مشاهده شد (جدول ٤-٥).

جدول ٤-٣ نتایج تجزیه واریانس

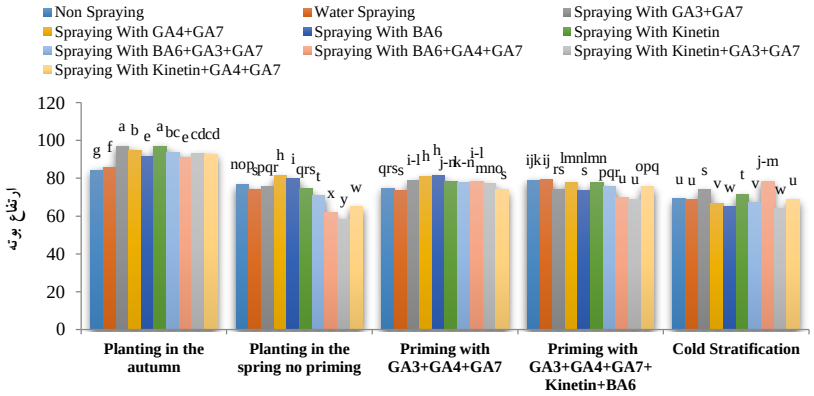
Table 4-3
Analysis of variance indicating the effects of priming and spraying treatments on different wheat yield and yield components.

S.V.	d.f.	RL	PH	SDW	GY	NP	GIP	MP
Rep.	3	0.018^{ns}	0.893^{ns}	0.006^{ns}	0.056^{ns}	0.017^{ns}	0.005^{ns}	0.004**
Priming (P)	4	63.392**	3217.550**	16.866**	200.508**	1.875**	1408.229**	0.317**
Error A	12	0.206	0.560	0.013	0.038	0.015	0.010	0.001
Spraying (S)	9	15.861**	126.411**	1.425**	31.036**	0.074**	299.452**	0.095**
P * S	36	15.279**	86.114**	2.072**	20.061**	0.145**	271.392**	0.360**
Error B	135	0.220	0.760	0.013	0.025	0.015	0.003	0.0001
C.V. (%)		4.79	1.13	3.28	1.62	4.95	0.15	0.18

S.V.: source of variation, d.f.: degree of freedom, RL: root length, PH: plant height, SDW: *spike dry weight*, GY: percentage, MP: moist percentage, C.V.: coefficient of percentage, GIP: Gluten index grain yield, NP: Nitrogen variation, ns: not significant, * and **: significant at 5 and 1% of probability.

ارتفاع بوته

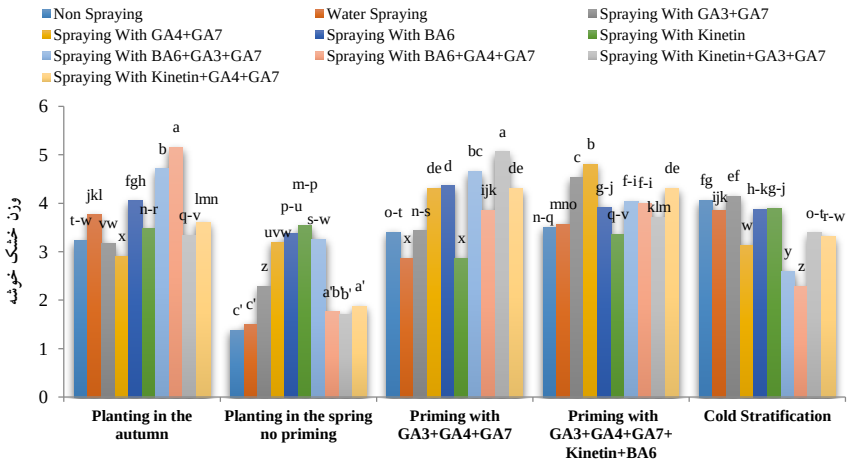
اثر پیش اندازی، محلول پاشی و اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاش بر ارتفاع بوته در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گندم پاییزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٤-٣). اثر پیش اندازی نشان داد بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار کشت پاییزه (۹۳/۱۳ سانتیمتر) و کمترین ارتفاع بوته در تیمار کشت بهاره با سرمادهی مرطوب بذور (۷۵/۰۵ سانتیمتر) مشاهده گردید (جدول ٤-٤). اثر محلول پاشی نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمارهای محلول پاشی با ترکیب GA_{4+7} (۸۰/۳ سانتیمتر) و محلول پاشی با ترکیب GA_{3+7} (۷۹/۸۵ سانتیمتر) و کمترین ارتفاع بوته در تیمار محلول پاشی با ترکیب GA_{3+7}+Kinetin (۷۲/۱۵ سانتیمتر) بود (جدول ٤-٤). اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاشی نشان داد بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمارهای کشت پاییزه+ محلول پاشی با ترکیب GA_{3+7} (۹۷ سانتیمتر) و کشت پاییزه+ محلول پاشی با Kinetin (۹۷ سانتیمتر) بوده (شکل ٤-٨) و کمترین ارتفاع بوته در تیمار کشت بهاره بدون پیش اندازی+ محلول پاشی با ترکیب GA_{3+7}+Kinetin (۵۸/۲۵ سانتیمتر) مشاهده شد (جدول ٤-٥).



شکل ٤-٨ اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاشی بر ارتفاع بوته در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گندم پاییزه

وزن خشک خوشه

اثر پیش اندازی، محلول پاشی و اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاش بر وزن خشک خوشه نمونه برداری در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گندم پاییزه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ٤-٣). اثر پیش اندازی نشان داد که بیشترین وزن خشک خوشه مربوط به تیمار کشت بهاره با پیش اندازی با ترکیب GA_{3+4+7}+Kinetin+BA_6 (۳/۹۷ گرم) و کمترین وزن خشک خوشه در تیمار کشت بهاره بدون پیش اندازی (۲/۳۹ گرم) مشاهده گردید (جدول ٤-٤). اثر محلول پاشی نشان داد بیشترین وزن خشک خوشه مربوط به تیمارهای محلول پاشی با ترکیب BA_6 (۳/۹۱ گرم) و محلول پاشی با ترکیب GA_{3+7}+BA_6 (۳/۸۵ گرم) و کمترین وزن خشک خوشه در تیمارهای محلول پاشی با آب (۳/۱۱ گرم) و بدون محلول پاشی (۳/۱۲ گرم) بود (جدول ٤-٤). اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاشی نشان داد که بیشترین وزن خشک خوشه مربوط به تیمارهای کشت پاییزه+ محلول پاشی با ترکیب GA_{4+7}+BA_6 (۵/۱۵ گرم) و کشت بهاره با پیش اندازی با ترکیب GA_{3+4+7} + محلول پاشی با ترکیب GA_{3+7}+Kinetin (۵/۰٦ گرم) بوده (شکل ٤-۹) و کمترین وزن خشک خوشه در تیمارهای کشت بهاره بدون پیش اندازی+ بدون محلول پاشی (۱/۳۸ گرم) و کشت بهاره بدون پیش اندازی+ محلول پاشی با آب (۱/۵۱ گرم) مشاهده شد (جدول ٤-۵).



شکل ٤-٩ اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاشی بر وزن خشک خوشه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گندم پاییزه

عملکرد دانه در هکتار

اثر پیش اندازی، محلول پاشی و اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاش بر عملکرد دانه در هکتار در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گندم پاییزه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ٤-٣). اثر پیش اندازی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در هکتار مربوط به تیمار کشت بهاره با پیش اندازی با ترکیب GA_{3+4+7}+Kinetin+BA_6 (١١/٩١ تن در هکتار) و کمترین عملکرد دانه در هکتار در تیمار کشت بهاره بدون پیش اندازی (٦/١٧ تن در هکتار) مشاهده گردید (جدول ٤-٤). اثر محلول پاشی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در هکتار مربوط به تیمارهای محلول پاشی با BA_6 (١١/٢٤ تن در هکتار) و محلول پاشی با ترکیب GA_{3+7}+BA_6 (١١/١٥ تن در هکتار) و کمترین عملکرد دانه در هکتار در تیمارهای بدون محلول پاشی (٦/٦٩ تن در هکتار) و محلول پاشی با آب (٦/٧٤ تن در هکتار) بود (جدول ٤-٤). اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاشی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در هکتار مربوط به تیمار کشت پاییزه+ محلول پاشی با ترکیب GA_{4+7}+BA_6 (١٥/١٣ تن در هکتار) بوده و کمترین عملکرد دانه در هکتار در تیمار

کشت بهاره بدون پیش اندازی+ بدون محلول پاشی (۱/۷۹ تن در هکتار) مشاهده شد (جدول ٤-٥).

درصد نیتروژن دانه

اثر پیش اندازی، محلول پاشی و اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاش بر درصد نیتروژن دانه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گندم پاییزه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ٤-٣). اثر پیش اندازی نشان داد که بیشترین درصد نیتروژن دانه مربوط به تیمار کشت بهاره با پیش اندازی با ترکیب GA_{3+4+7}+Kinetin+BA_6 (۲/۷ درصد) و کمترین درصد نیتروژن دانه در تیمار کشت پاییزه (۲/۱٤ درصد) مشاهده گردید (جدول ٤-٤). اثر محلول پاشی نشان داد که کمترین درصد نیتروژن دانه در تیمارهای محلول پاشی با آب (۲/۳۷ درصد) و بدون محلول پاشی (۲/٤٤ درصد) بود (جدول ٤-٤). اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاشی نشان داد که بیشترین درصد نیتروژن دانه مربوط به تیمارهای کشت بهاره بدون پیش اندازی+ محلول پاشی با ترکیب GA_{3+7}+Kinetin (۳ درصد)، کشت بهاره با سرمادهی مرطوب بذور+ بدون محلول پاشی (۳ درصد)، کشت بهاره با پیش اندازی با ترکیب GA_{3+4+7}+Kinetin+BA_6+ محلول پاشی با ترکیب GA_{3+7}+Kinetin (۲/۹ درصد)، کشت بهاره با پیش اندازی با ترکیب GA_{3+4+7}+Kinetin+BA_6+ محلول پاشی با Kinetin (۲/۸٦ درصد) و کشت بهاره بدون پیش اندازی+ محلول پاشی با ترکیب GA_{4+7}+BA_6 (۲/۸۵ درصد) بوده و کمترین درصد نیتروژن دانه در تیمارهای کشت پاییزه+ محلول پاشی با ترکیب GA_{3+7}+BA_6 (۱/۹٤ درصد)، کشت پاییزه+ بدون محلول پاشی (۱/۹٦ درصد)، کشت پاییزه+ محلول پاشی با آب (۱/۹۹ درصد) و کشت پاییزه+ محلول پاشی با ترکیب GA_{3+7} (۲/۱۲ درصد) مشاهده شد (جدول ٤-٥).

درصد ایندکس گلوتن

اثر پیش اندازی، محلول پاشی و اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاش بر درصد ایندکس گلوتن در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گندم پاییزه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ٤-٣). اثر پیش اندازی نشان داد که بیشترین درصد ایندکس گلوتن مربوط به تیمار کشت بهاره با سرمادهی مرطوب بذور (۳۸/۷۸ درصد) و کمترین درصد ایندکس گلوتن در تیمار کشت پاییزه (۲٤/۱۲ درصد) مشاهده گردید (جدول ٤-٤). اثر محلول پاشی نشان داد که بیشترین درصد ایندکس گلوتن مربوط به تیمار محلول پاشی با ترکیب GA_{4+7}+Kinetin (٤۱/۱۳ درصد) و کمترین درصد ایندکس گلوتن در تیمار محلول پاشی با Kinetin (۲۹/٤٤ درصد) بود (جدول ٤-٤). اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاشی نشان داد که بیشترین درصد ایندکس گلوتن مربوط به تیمار کشت بهاره با سرمادهی مرطوب بذور+ محلول پاشی با ترکیب GA_{4+7}+Kinetin (٦۲/۷ درصد) بوده و کمترین درصد ایندکس گلوتن در تیمار کشت پاییزه+ محلول پاشی با BA_6 (۱۳/۹۲ درصد) مشاهده شد (جدول ٤-٥).

جدول ٤-٤ مقایسه میانگین اثر پیش اندازی و محلول پاشی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

Table 4-4
The single effects of different priming and spraying treatments on wheat yield and yield components.

Treatment	RL	PH	SDW	GY	NP	GIP	MP
P_1	11.82a	92.13a	3.74c	10.54c	2.14d	24.12e	8.72c
P_2	9.25c	71.72d	2.39e	6.17e	2.57b	34.72d	8.9a
P_3	10.13b	77.43b	3.91b	11.14b	2.5c	36.42c	8.75b
P_4	9.175c	75.05c	3.97a	11.91a	2.7a	37.83b	8.7d
P_5	8.6d	69.18e	3.46d	9.45d	2.61b	38.78a	8.68d
S_1	8.95de	76.75d	3.12e	7.69f	2.44bc	32.75g	8.69h
S_2	8.85e	76.15e	3.11e	7.74f	2.37c	33.04f	8,72f
S_3	10.3b	79.85ab	3.52c	10.08c	2.49ab	34.72d	8.79b
S_4	11.75a	80.3a	3.67b	10.58b	2.56a	32.85g	8.76d
S_5	10.35b	78.2c	3.91a	11.24a	2.55a	29.91h	8.71g
S_6	9.5c	79.7b	3.43d	10.56b	2.56a	29.42i	8.92a
S_7	9.4c	76.95d	3.85a	11.15a	2.52ab	36.59c	8.72f
S_8	10.35b	75.85e	3.41d	9.81d	2.48ab	40.01b	8.69h
S_9	9.25cd	72.15g	3.44d	9.49e	2.55a	33.31e	8.78c
S_{10}	9.25cd	75.1f	3.48cd	10.08c	2.51ab	41.13a	8.74e

RL: Root length, PH: Plant height, SDW: *spike dry weight*, , GY: grain yield, NP: Nitrogen percentage, GIP: Gluten index percentage, MP: moist percentage. Values in each column followed by the same letter are not statistically different at P ¼ 0.05 using Duncan's multiple range test.

درصد رطوبت دانه

اثر پیش اندازی، محلول پاشی و اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاش بر درصد رطوبت دانه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گندم پاییزه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ٤-٣). اثر پیش اندازی نشان داد که بیشترین درصد رطوبت دانه

مربوط به تیمار کشت بهاره بدون پیش اندازی (۸/۹ درصد) و کمترین درصد رطوبت دانه در تیمارهای کشت بهاره با سرمادهی مرطوب بذور (۸/٦۸ درصد) و کشت بهاره با پیش اندازی با ترکیب GA_{3+4+7}+Kinetin+BA_6 (۸/۷ درصد) مشاهده گردید (جدول ٤-٤). اثر محلول پاشی نشان داد که بیشترین درصد رطوبت دانه مربوط به تیمار محلول پاشی با Kinetin (۸/۹۲ درصد) و کمترین درصد رطوبت دانه در تیمار بدون محلول پاشی (۸/٦۹ درصد) بود (جدول ٤-٤). اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاشی نشان داد که بیشترین درصد رطوبت دانه مربوط به تیمار کشت بهاره با پیش اندازی با ترکیب GA_{3+4+7}+Kinetin+BA_6+ محلول پاشی با Kinetin (۹/۵۲ درصد) بوده و کمترین درصد رطوبت دانه در تیمار کشت بهاره با پیش اندازی با ترکیب GA_{3+4+7}+Kinetin+BA_6+ محلول پاشی با ترکیب GA_{3+7}+BA_6 (۸/۲۳ درصد) مشاهده شد (جدول ٤-۵).

بحث

طول ریشه

میزان نفوذ ریشه در عمق خاک به سن گیاه، حاصلخیزی، میزان رطوبت و شرایط فیزیکی بستگی دارد. سیستم ریشه ای در گندم به صورت افشان است که ریشه‌ها در اطراف و عمق خاک نفوذ می‌کنند و شامل ریشه های بذری[1] و طوقه‌ای می‌باشد. به دلیل آنکه ریشه در زیر زمین پنهان است و اغلب دشوار است که سیستم ریشه‌ای بدون آسیب دیدگی از خاک خارج شود، مطالعه آن مشکل است. با این حال در تحقیقات گذشته بر روی ریشه هویج در بعضی موارد استعمال جیبرلین‌ها اثرات مثبت یا منفی بر طول ریشه داشته است (وانگ[2] و همکاران، ۲۰۱۵). اثر محلول پاشی نشان داد که بیشترین طول ریشه مربوط به تیمار محلول پاشی با ترکیب GA4+7 بود. جیبرلین‌ها در فرآیندهای مختلف در گیاهان دخیل هستند و یک فیتوهورمون تولید شده در ریشه است. جیبرلین‌ها نقش

1. Seminal roots
2. Wang et al

مهمی در تنظیم رشد طولی ریشه دارند و در تقسیم سلولی دخالت دارند (اوبدا توماس[1] و همکاران، ۲۰۰۹). با این حال، نقش جیبرلین‌ها در تنظیم ریشه گیاهان از لحاظ تکنیکی درک نشده است (مالوف[2]، ۲۰۰٤). همچنین اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاشی نشان داد که بیشترین طول ریشه مربوط به تیمار کشت پاییزه با محلول پاشی با ترکیب GA4+7+BA6 بود. در این آزمایش نقش مثبت سیتوکنین در تیمارهای مختلف در ترکیب با جیبرلین‌ها مشاهد شد. بسیاری از مطالعات دیگر نیز نقش مثبت سیتوکنین در رشد اندام‌های گیاهی را مربوط به دُز مصرف، زمان کاربرد و محیط رشد در گونه های مختلف گزارش کردند (کایا[3] و همکاران، ۲۰۱۰).

ارتفاع بوته

ژنتیک ارتفاع بوته گندم بسیار پیچیده است و توسط ژن کاهش ارتفاع (Rht[4]) تعیین می‌شود (بورنر[5] و همکاران، ۱۹۹٦). جیبرلین‌ها هورمون‌هایی هستند که در بسیاری از فرآیندهای رشد و نمو در گیاهان تأثیر دارند (ژیو[6] و همکاران، ۲۰۰٦؛ پنگ[7] و همکاران، ۱۹۹۹) و در تنظیم رشد طولی ساقه بسیار مهم می‌باشند (اولشوفسکی[8] و همکاران، ۲۰۰۲؛ هیدن[9] و فیلیپس، ۲۰۰۰). اثر محلول پاشی نشان داد بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمارهای محلول پاشی با ترکیبات GA_{4+7} و GA_{3+7} بود. جیبرلین‌ها با افزایش در تقسیم سلولی و کشیدگی سلول رشد طولی ساقه را افزایش می‌دهند (ژانگ[10] و همکاران، ۲۰۰٦). همچنین اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاشی نشان داد بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمارهای کشت پاییزه با محلول پاشی با ترکیبات GA_{3+7} و Kinetin بوده است . یافته‌های

1. Ubeda tomas
2. Maloof
3. Kaya et al
4. Reduced height
5. Borner et al
6. Zhu et al
7. Peng et al
8. Olszewski et al
9. Hedden et al
10. Zhang et al

آلن[1] و همکاران (۱۹۵۹) بر روی ٤ رقم گندم نیمه کوتاه و کوتاه نشان داد که محلول پاشی جیبرلین با دُز ۱۰۰ پی پی ام این گندم‌ها را به ارتفاع استاندارد رساند. از آنجاییکه جیبرلین‌ها نقش مهمی در تنظیم طول ساقه و افزایش طول میانگره‌ها در گندم ایفا می‌کنند، در یک آزمایش بر روی دو نوع جیبرلین زیست فعال (جیبرلیک اسید ۳ و جیبرلیک اسید ٤) طول میانگره‌ها بر روی دو هیبرید Ai9 و Jiai8 نسبت به والدین با استفاده از دستگاه GC-MS-SIM بررسی شد که نتایج نشان داد که طول میانگره در هیبرید محتوی جیبرلیک اسید ٤ به میزان قابل توجهی افزایش یافت (ژانگ و همکاران، ۲۰۰٦). پیش اندازی با ترکیب GA_{3+4+7} و محلول پاشی با ترکیبات GA_{4+7} بیشترین ارتفاع بوته را در تیمارهای کشت بهاره گندم پاییزه نشان داد که مطابق با یافته های پاولیستا و همکاران (۲۰۱٤) بود که نشان دادند پیش اندازی بذور گندم با جیبرلین در دُزهای ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ پی پی ام باعث افزایش ارتفاع بوته در ارقامی که با تأخیر ۲ تا ٤ هفته ای نسبت به زمان مناسب کشت، کاشته شده بودند شد و توانستند زمان از دست رفته را جبران کنند. یافته‌های مختلف نیز نشان از حساسیت به جیبرلین در ارتفاع بوته دارد که با نتایج این تحقیق مشابه بود (پاندی[2] و همکاران، ۲۰۱۵؛ تانگ[3] و همکاران، ۲۰۰۹).

وزن خشک خوشه

در انتهای مرحله خمیری سفت تجمع ماده خشک به اتمام رسیده و رسیدگی فیزیولوژیک اتفاق می‌اُفتد. در گندم منطقه مرکزی سنبله نسبت به مناطق بالایی و پایینی آن حداکثر میزان انباشت ماده خشک دانه را دارد (بنگرث[4] و همکاران، ۱۹۸۵).در این مطالعه مشاهده شد اثر پیش اندازی با ترکیب GA_{3+4+7}+Kinetin+BA_6 در کشت بهاره گندم پاییزه بیشترین وزن خشک خوشه را شامل شد. در غلات، سطح بالای جیبرلین در آندوسپرم دانه‌های در حال رشد یافت می‌شود که ممکن است برای تقسیم سلولی فعال

1. Allan et al
2. Pandey et al
3. Tang et al
4. Bangerth et al

در فاز اولیه تنظیم دانه مورد استفاده قرار گیرد (کینگ و ایوانس[1]، ۲۰۰۳: ماوسس[2]، ۱۹۹۱). افزایش محتوای جیبرلین در مرحله اولیه جنینی که در آن رشد سریع جنین اتفاق می‌اُفتد، نشان می‌دهد جیبرلین‌ها انتقال متابولیت‌ها به مخازن فعال مانند دانه‌های در حال رشد را افزایش می‌دهد (کویین و تانگ[3]، ۱۹۸٤). همچنین، شواهد نشان می‌دهد تجمع سیتوکنین در دانه، جزء مهمی از تقسیم سلول های آندوسپرمی است (دیتریش[4] و همکاران، ۱۹۹۵). در نتیجه ترکیب جیبرلین با سیتوکنین‌های مورد نظر در این آزمایش نتیجه مطلوبی در پیش اندازی گندم پاییزه بدون طی کردن دوره سرما را داشت. نتایج این تحقیق در اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاشی نشان داد بیشترین وزن خشک خوشه مربوط به تیمارهای کشت پاییزه با محلول پاشی با ترکیب GA_{4+7}+BA_6 و کشت بهاره با پیش اندازی با ترکیب GA_{3+4+7} با محلول پاشی با ترکیب GA_{3+7}+Kinetin بود. اهمیت استفاده از سیتوکنین‌ها در تشکیل دانه موجب تلاش‌های مختلفی از سوی دانشمندان شد تا تأثیر استعمال خارجی سیتوکنین بر پر شدن دانه را نشان دهند. در مطالعات قبلی، نتایج مختلفی از تأثیر سیتوکنین‌ها مشاهده شد. بدین صورت که در بعضی آزمایشات نتایج مثبت و در برخی نتایج منفی یا بی‌اثر بود (بانووتز[5] و همکاران، ۱۹۹۹؛ کالدیز[6] و همکاران، ۱۹۹۱؛ هرزوگ و گیزلر[7]، ۱۹۷۷). همچنین، بر اساس آزمایشات بنگرت و همکاران (۱۹۸۵) جیبرلین‌ها رابطه مثبت با مرحله پر شدن دانه دارند و در این تحقیق تأثیر مثبت استعمال خارجی سیتوکنین‌ها با جیبرلین‌ها بر وزن خشک خوشه برای اولین بار مشاهده شد.

عملکرد دانه در هکتار

در گندم، دوره نوری و بهاره سازی با سیگنال‌های فصلی کنترل می شوند و تعاملات آنها به خوبی شناخته شده است (تریواسکیس و همکاران، ۲۰۰۷). هورمون‌های

1. King and Evans
2. Mauseth
3. Qin and Tang
4. Dietrich et al
5. Banowetz
6. Caldiz et al
7. Herzog and Geisler

درونی گیاهان نقش مهمی در تعیین قدرت مخزن و وزن دانه طی دوره توسعه دانه دارند (یانگ و همکاران، ۲۰۱٦). اثر پیش اندازی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در هکتار مربوط به تیمار کشت بهاره با پیش اندازی با ترکیب GA3+4+7+Kinetin+BA6 بود. بسیاری از جیبرلین‌های موجود در توسعه[1] در آندوسپرم تستا و درون پریکارپ است. تجمع جیبرلین فعال در رشد دانه‌های گندم و جو، به دلیل افزایش وزن تر و سطح پیک قبل از حداکثر وزن خشک رخ می‌دهد. سطوح بالای جیبرلین در زمان توسعه دانه در هنگام بلوغ است به طوری که دانه خشک معمولاً حاوی سطوح پایینی است. بعد از جوانه زنی سطح جیبرلین ها با افزایش غلظت GA1 در جو افزایش یافت، گرچه مقادیر کمی جیبرلین‌های GA3، GA34، GA99 نیز وجود داشت (جاکوبسن و چندلر[2]، ۱۹۸۷). در این آزمایش نیز تأثیر مثبت جیبرلین در ترکیب با سیتوکنین برای طی کردن دوره بهاره سازی بدون طی کردن زمستان در گندم پاییزه کشت شده در بهار مشاهده شد. اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاشی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در هکتار مربوط به تیمار کشت پاییزه+ محلول پاشی با ترکیب GA4+7+BA6 بود. بر اساس نتایج کاستا و همکاران (۲۰۱۵) افزایش وزن خشک دانه در زمان کاربرد GA4+7+BA این فرضیه که جیبرلین و سیتوکنین می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد دانه داشته باشد را تقویت کرد. استعمال خارجی BA6 با دُز مصرفی ۰/۰۱ گرم در لیتر باعث افزایش عملکرد دانه شد (یانگ و همکاران، ۲۰۱٦). همچنین یافته‌های پاولیستا و همکاران (۲۰۱٤) نشان داد که اضافه کردن BA6 با غلظت ۲۰۰۰ پی پی ام اثر مضر بر عملکرد دانه گندم پاییزه داشت. همچنین، کمترین عملکرد دانه در هکتار در تیمار کشت بهاره بدون پیش اندازی+ بدون محلول پاشی مشاهده شد، که مطابق انتظار بود.

1. development
2. Jacobsen and Chandler

درصد نیتروژن دانه

بیشتر مطالعات صورت گرفته بر روی نیروژن دانه گندم در محیط های کشت آزمایشگاهی (درکر[1] و همکاران، ۱۹۹۷؛ بارنیکس و گیتمن[2]، ۱۹۹۳) و یا در گلدان (بارلو[3] و همکاران، ۱۹۸۳) محیط های تحت کنترل و بر روی ژنوتیپ‌های خاص صورت گرفته بود. اما این آزمایش برای اولین بار در مزرعه و با استفاده از ترکیبات مختلف هورمونی انجام پذیرفت. نتایج آزمایش نشان داد که ترکیبات مختلف جیبرلین‌ها و سیتوکنین‌های مورد آزمایش تأثیر مثبت بر درصد تیتروژن دانه دارد. اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاشی نشان داد که بیشترین درصد نیتروژن دانه مربوط به تیمارهای کشت بهاره بدون پیش اندازی با محلول پاشی با ترکیبات GA_{3+7}+Kinetin و GA_{4+7}+BA_6، کشت بهاره با سرمادهی مرطوب بذور و بدون محلول پاشی و کشت بهاره با پیش اندازی با ترکیب GA_{3+4+7}+Kinetin+BA_6 با محلول پاشی با ترکیبات GA_{3+7}+Kinetin و Kinetin بود. افزایش محتوای پروتئین دانه ممکن است از افزایش ظرفیت دانه به منظور جمع آوری نیتروژن و یا تأمین نیتروژن بیشتر به دانه باشد (ترایبوی[4] و همکاران، ۲۰۰۲). در مقابل، کمترین درصد نیتروژن دانه در تیمارهای کشت پاییزه با محلول پاشی با ترکیبات GA_{3+7}+BA_6، GA_{3+7}، بدون محلول پاشی و محلول پاشی با آب مشاهده شد. در این آزمایش به طور کلی مشاهده شد که ارقامی که در بهار کشت شده اند دارای درصد نیتروژن بالاتری نسبت به تیمار کشت در پاییز بود.

درصد ایندکس گلوتن

گلوتن بخش اصلی پروتئین آرد است که بعد از جذب آب آرد و دریافت انرژی لازم تشکیل می‌شود. این بخش مسئول خواص ویسکوالاستیک خمیر است که در تشکیل

1. Dreccer et al
2. Barneix and Guitman
3. Barlow et al
4. Triboi et al

محصولی متخلخل و سبک نقش دارد. بدلیل عدم حلالیت گلوتن در آب، براحتی می‌توان آن را به شکل تقریباً خالص از سایر اجزاء گندم جدا نمود. شاخص گلوتن معیار تعیین کننده کیفیت گندم به ترتیب ضعیف یا نرم (Gl<30%) متوسط (Gl=30-80%) و یا قوی یا سفت (Gl >80%) است (اوی کونومو[1] و همکاران، ۲۰۱۵). در این تحقیق، بیشترین درصد ایندکس گلوتن مربوط به تیمار کشت بهاره با سرمادهی مرطوب بذور با محلول پاشی با ترکیب GA_{4+7}+Kinetin بود. در مقابل، کمترین درصد ایندکس گلوتن در تیمار کشت پاییزه با محلول پاشی با BA_6 مشاهده شد.

درصد رطوبت دانه

کیفیت دانه گندم با ویژگی های مربوط به وضعیت فیزیکی، عملکرد فیزیولوژیکی و صفات ژنتیکی مشخص می‌شود (اسکاریوت[2] و همکاران، ۲۰۱۸؛ فرر[3] و همکاران، ۲۰۰۶). هورمون‌های گیاهی مانند جیبرلین بر اندازه دانه و کیفیت آرد، گلدهی، رشد و جوانه زنی در گندم تأثیر می‌گذارد. در این تحقیق برای اولین بار تأثیر هورمون‌های رشد گیاهی مانند سه نوع جیبرلین (GA3،GA4،GA7) و دو نوع سیتوکنین (Kinetin،BA6) مورد بررسی قرار گرفت. اگرچه اثرات غلظت جیبرلین‌ها در عملکرد دانه به خوبی شناخته شده است، با این حال اثرات ترکیبی آن بر درصد رطوبت دانه تاکنون بررسی نشده است (ادیس[4] و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین درصد رطوبت دانه مربوط به تیمار کشت بهاره با پیش اندازی با ترکیب GA3+4+7+Kinetin+BA6+ محلول پاشی با Kinetin بود. در مقابل، کمترین درصد رطوبت دانه در تیمار کشت بهاره با پیش اندازی با ترکیب GA3+4+7+Kinetin+BA6 با محلول پاشی با ترکیب GA3+7+BA6 (۸/۲۳ درصد) مشاهده شد. همچنین در تیمار کشت بهاره بدون پیش اندازی مشاهده شد که بیشترین درصد رطوبت دانه در زمان محلول پاشی با ترکیب GA3+7 بدست آمد. تأخیر

1. Oikonomou
2. Scariot et al
3. Farrer et al
4. Addisu et al

در برداشت باعث کاهش کیفیت دانه می‌شود، زیرا دانه‌های تخریب شده با رطوبت نسبی هوا ترکیب و درصد رطوبتشان بالاتر می‌رود (پسک و ویلا[1]، ۲۰۰۳).

1. Peske and Villela

نتیجه گیری

با توجه به مشکلات به وجود آمده در مناطق مرکزی ایران و به خصوص شرق استان اصفهان به دلیل کمبود منابع آبی برای کشت گندم پاییزه، ارائه راهکاری جهت کشت گندم در خارج از فصل پاییز با عملکرد قابل قبول از اهمیت ویژه ای برخوردار بود. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که کشت گندم پاییزه بدون طی کردن دوره بهاری سازی (زمستان) در بهار با استفاده از تنظیم کننده‌های رشد گیاهی و سرمادهی مرطوب بذر امکان پذیر است. با توجه به نتایج بدست آمده پیش اندازی با ترکیب GA_{3+4+7} و محلول پاشی با ترکیبات GA_{4+7} بیشترین ارتفاع بوته را در تیمارهای کشت بهاره گندم پاییزه نشان داد. بیشترین درصد نیتروژن دانه مربوط به تیمارهای کشت بهاره بدون پیش اندازی با محلول پاشی با ترکیبات GA_{3+7}+Kinetin و GA_{4+7}+BA_6، کشت بهاره با سرمادهی مرطوب بذور و بدون محلول پاشی و کشت بهاره با پیش اندازی با ترکیب GA_{3+4+7}+Kinetin+BA_6 با محلول پاشی با ترکیبات GA_{3+7}+Kinetin و Kinetin بود. همچنین، بیشترین درصد ایندکس گلوتن مربوط به تیمار کشت بهاره با سرمادهی مرطوب بذور با محلول پاشی با ترکیب GA_{4+7}+Kinetin بود. نتایج این تحقیق نشان داد استفاده از ترکیب تنظیم کننده‌های رشد گیاهی تأثیر متفاوتی در بهاره سازی گندم پاییزه دارد.

جدول ٤-٥ مقایسه میانگین اثر متقابل پیش اندازی و محلول پاشی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

Table 4-5
The interaction effects of priming and spraying on wheat yield and yield components.

Priming	Spraying	RL	PH	SDW	GY	NP	GIP	MP
P_1	**S_1**	10.75fgh	84.25g	3.23t-w	7.54w	1.96pq	20.51j’	8.5x
P_1	**S_2**	11efg	85.75f	3.76jkl	7.7w	1.99pq	21.2i’	8.53vw
P_1	**S_3**	8.25lm	97a	3.18vw	10.12o	2.12opq	21.72h’	8.95ij
P_1	**S_4**	11.75e	94.75b	2.91x	8.41u	2.15op	28.35b’	8.32b’
P_1	**S_5**	15b	91.75de	4.05fgh	11.89i	2.23no	13.92l’	8.48y
P_1	**S_6**	9.75ij	97a	3.47n-r	10.43n	2.23no	16.09k’	9.25b
P_1	**S_7**	13.5c	93.75bc	4.71b	14.44c	1.94q	31.52y	8.93k
P_1	**S_8**	15.75a	91.25e	5.15a	15.13a	2.2no	22.55g’	8.66r
P_1	**S_9**	11.25ef	93cd	3.33q-v	9.14r	2.2no	26.78d’	9.1d
P_1	**S_{10}**	11.25ef	92.75cd	3.61lmn	10.58mn	2.36j-n	38.54n	8.48y
P_2	**S_1**	7o	76.75nop	1.38c’	1.79d’	2.31l-o	23.89f’	8.84m
P_2	**S_2**	6.25p	73.75s	1.51c’	2.37c’	2.33k-o	24.27e’	8.85l
P_2	**S_3**	9.75ij	75.5pqr	2.28z	6.14y	2.51g-l	38.27o	9.24c
P_2	**S_4**	12.75d	81.5h	3.2uvw	10.09o	2.48h-m	31.62y	8.92k
P_2	**S_5**	7.5mno	79.75i	3.37p-u	9.53q	2.69c-h	38.88m	9.09d
P_2	**S_6**	11.25ef	74.5qrs	3.54m-p	11.09l	2.61d-h	21.93h’	9.01g
P_2	**S_7**	7.5mno	70.75t	3.26s-w	8.87st	2.63d-h	34.89u	8.48y
P_2	**S_8**	10.5gh	61.75x	1.76a’b’	3.77a’	2.85abc	60.95b	8.97h
P_2	**S_9**	9.75ij	58.25y	1.7b’	3.29b’	3a	39.44k	9.07e
P_2	**S_{10}**	10.25hi	64.75w	1.88a’	4.74z	2.29mno	33.07v	8.58t
P_3	**S_1**	11.75e	74.75qrs	3.4o-t	9.77p	2.37i-n	44.16c	8.94j
P_3	**S_2**	11.75e	73.5s	2.86x	8.81t	2.38i-n	44.28c	8.97h
P_3	**S_3**	12.75d	78.75ijkl	3.43n-s	8.55u	2.535f-j	36.44qr	8.46z
P_3	**S_4**	13.25cd	81h	4.3de	11.32jkl	2.7b-g	21.84h’	8.96hi
P_3	**S_5**	11.75e	81.25h	4.36d	11.97hi	2.67c-h	32.53w	8.82n
P_3	**S_6**	7o	78jklmn	2.87x	9.04rst	2.57e-j	36.65q	8.26c’
P_3	**S_7**	8.25lm	77.75klmn	4.66bc	13.31e	2.73b-f	40.57i	9.01g
P_3	**S_8**	9.25jk	78.5ijkl	3.86ijk	11.17kl	2.28no	41.28g	8.52w
P_3	**S_9**	8.25lm	77mno	5.06a	14.82b	2.29mno	38.35no	8.54v
P_3	**S_{10}**	7.25no	73.75s	4.3de	12.61f	2.52g-k	28.05c’	9.05f
P_4	**S_1**	7.5mno	79ijk	3.51n-q	11.21jkl	2.57e-j	36.07s	8.66r
P_4	**S_2**	7.5mno	79.25ij	3.57mno	11.42j	2.577e-i	36.17s	8.69p
P_4	**S_3**	12.75d	74.25rs	4.53c	13.79d	2.53f-j	35.53t	8.56u
P_4	**S_4**	11.75e	77.5lmn	4.81b	13.98d	2.67c-h	41.58f	8.97h
P_4	**S_5**	8.25lm	73.5s	3.92g-j	12.12gh	2.51g-k	37.69p	8.42a’
P_4	**S_6**	9.25jk	77.5lmn	3.35q-v	10.4n	2.86abc	43.03e	9.52a
P_4	**S_7**	9jk	75.5pqr	4.03f-i	12.22g	2.77b-e	36.22rs	8.23d’
P_4	**S_8**	8lmn	69.5u	3.99f-i	11.39jk	2.79bcd	36.45qr	8.47yz
P_4	**S_9**	8lmn	68.75u	3.7klm	10.06o	2.9ab	32.27x	8.52w
P_4	**S_{10}**	9.75ij	75.75opq	4.31de	12.47f	2.79bcd	43.28d	8.94j
P_5	**S_1**	7.75mno	69u	4.06fg	8.15v	3a	39.14l	8.52w
P_5	**S_2**	7.75mno	68.5u	3.85ijk	8.39u	2.57e-i	39.27kl	8.56u
P_5	**S_3**	8lmn	73.75s	4.15ef	11.81i	2.78bcd	41.62f	8.77o
P_5	**S_4**	9.25jk	66.75v	3.13w	9.07rs	2.78bcd	40.85h	8.61s
P_5	**S_5**	9.25jk	64.75w	3.87h-k	10.69m	2.65d-h	26.54d’	8.74o
P_5	**S_6**	10.25hi	71.5t	3.9g-j	11.81i	2.52f-k	29.39a’	8.57tu
P_5	**S_7**	8.75kl	67v	2.6y	6.88x	2.54f-j	39.74j	8.95ij
P_5	**S_8**	8.25lm	78.25jklm	2.28z	7.62w	2.3mno	38.81m	8.84lm
P_5	**S_9**	9jk	63.75w	3.39o-t	10.16o	2.4i-n	29.72z	8.68q
P_5	**S_{10}**	7.75mno	68.5u	3.31r-w	9.99op	2.61d-h	62.7a	8.62s

RL: Root length, PH: Plant height, SDW: *spike dry weight*, GY: grain yield, NP: Nitrogen percentage, GIP: Gluten index percentage, MP: moist percentage. Values in each column followed by the same letter are not statistically different at P ¼ 0.05 using Duncan's multiple range test. The P treatments (P_1-P_5) are P_1 (spring planting without priming) to P_5 (the stratification (wet chilling) of the seeds), and the S treatments (S_1-S_{10}) are S_1 (control without spraying) to S_{10} (GA_4 and GA_7 at 100 $_{mg/l}$ and kinetin at 200 $_{mg/l}$).

Journal of Cleaner Production 219 (2019) 443–450

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Cleaner Production

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jclepro

Shortening vernalization in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) using plant growth regulators and cold stratification

Sayed Komeil Sayed Shourbalal, Ali Soleymani*, Hamid Reza Javanmard

Department of Agronomy and Plant Breeding, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

ARTICLE INFO

Article history:
Received 21 March 2018
Received in revised form
23 December 2018
Accepted 3 February 2019
Available online 5 February 2019

Keywords:
6-Benzyladenine
Gibberellic acid
Grain yield
Kinetin
Priming
Spraying

ABSTRACT

Facing and controlling the adverse effects of global warming on crop production, especially under arid and semi arid conditions is an important question, which must be addressed by research work. This may be achieved by alternating crop phonological properties including the vernalization stage, essential for the vegetative/reproductive transition of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Shortening vernalization, during spring, can be a suitable method for the earlier production of crop plants, especially under stress conditions. Accordingly, it was hypothesized that it is possible to shorten vernalization, using priming (seeds) and spraying (plants) treatments while achieving optimum yield, in winter wheat, under the arid and semi arid conditions of Isfahan, Iran. The objective was to investigate the effects of plant growth regulators including gibberellic acid (GA, 100 mg/l), kinetin (100 and 200 mg/l), 6-benzyl adenine (BA6, 50 mg/l) and cold stratification on shortening vernalization in winter wheat. The research was a split plot experiment on the basis of a completely randomized block design, with four replicates, conducted in 2016. Different traits including number of fertile tillers (NFT), number of grains per spike (NGS), weight of 1000 grains (W1000), number of spikelet per spike (NST), grain yield (GY), protein percentage (PRO), and moist gluten percentage (MGP) were determined. The results indicated that priming and spraying winter wheat with the single or combined use of GA, kinetin and BA6 is the most suitable replacement for vernalization and increasing grain yield, under arid and semi arid conditions. However, priming winter wheat with cold stratification was not as effective, compared with the use of plant growth regulators. The highest grain yield (15.13 t/ha) was resulted by autumn planting + B8 (GA + BA6), followed by spring planting + GA and B9 (14.82 t/ha). Spraying wheat planted in spring (without priming and vernalization) with kinetin + GA3+GA7 (100 mg/l), increased PRO and MGP. The important results of this research work are: 1) planting winter wheat as spring wheat (vernalization not required) resulted in optimum yield amounts by priming and spraying techniques using gibberellins, kinetin and 6-benzyl adenine. This is of significance, with respect to the issue of global warming. 2) Shortening vernalization in winter wheat, which is especially important under arid and semi arid conditions, as the plant is subjected to different stresses including drought. 3) Improving wheat grain quality by the increased rate of protein and gluten. It is possible to plant winter wheat under arid and semi arid conditions using gibberellins, kinetin and benzyl adenine. Such a method results in alleviating the adverse effects of global warming on wheat production. It is also possible to plant winter wheat under different stresses including drought and cold by controlling the vernalization process.

© 2019 Elsevier Ltd. All rights reserved.

منابع

Addisu M, Snape JW, Simmonds JR, Gooding MJ. 2010. Effects of reduced height (Rht) and photoperiod insensitivity (Ppd) alleles on yield of wheat in contrasting production systems. Euphytica, 172: 169-181.

Allan RE, Vogel OA, Craddock Jr JC. 1959. Comparative Response to Gibberellic Acid of Dwarf, Semidwarf, and Standard Short and Tall Winter Wheat Varieties. Agronomy Journal, 51(12): 737-740.

Bangerth F, Aufhammer W, Baum O. 1985. IAA level and dry matter accumulation at different positions within a wheat ear. Physiol Plant, 63: 121-125.

Barlow EWR, Donovan GR, Lee JW. 1983. Water relationships and composition of wheat ears grown in liquid culture: effect of carbon and nitrogen. Aust J Plant Physiol, 10:99–108.

Barneix AJ, Guitman MR. 1993). Leaf regulation of the nitrogen concentration in the grain of wheat plants. J Exp Bot, 44:1607–1612.

Booij R. 1990. Effects of gibberellic acids on time of maturity arid on yield and quality of cauliflower. Neth J. Agric. Sci, 38: 641-651.

Borner A, Plaschke J, Korzun V, Worland AJ. 1996. The Relationships between the Dwarfing Genes of Wheat and Rye. Euphytica, 89: 69-75.

Brenner ML, Schreiber BMN, and Jones RJ. 1989. Hormonal control of assimilate partitioning: regulation in the sink. Acta Hort, 239: 141-148.

Chouard P. 1960. Vernalization and its relations to dormancy. Annual Review of Plant Physiology, 11: 191–238.

Costa AP, Vendeame W, Nietsche S, Crane J, Moore K, Schaffer B. 2015. Branching, fl owering and fruiting of Jatropha curcas treated. Anais da Academia Brasileira de Ciencias, 88(2): 989-998.

Dahanayake SR, and Galwey NW. 1999. Effects of interactions between low-temperature treatments, gibberellin (GA3) and photoperiod on flowering and stem height of spring rape (*Brassica napus var.annua*). Annals of Botany, 84: 321-327.

Derera NF and Ellison FW. 1974. The response of some wheat cultivars to extended vernalization. Cereal Res. Comm, 2: 159-166.

Dietrich JT, Kaminek M, Blevins DG, Reinbott TM, Morris RO. 1995. Changes in cytokinins and cytokinin oxidase activity in developing maize kernels and the effects of exogenous cytokinin on kernel development. Plant Physiology and Biochemistry, 33: 327–336.

Dreccer MF, Grashoff C, Rabbinge R. 1997. source-sink ratio in barley (*Hordeum vulgareL.*) during grain filling: effects on senescence and grain protein concentration. Field Crops Res,49:269–277.

El–Bassiouny RE, Hassan MA. 2003. Effect of gibberellic acid and mixture of micronutrients (nutarmine) on earliness, head yield and pre and post harvest quality of globe artichoke (*Cynara scolymus L.*) J. Agric. Sci. Mansoura Univ, 28(3): 1949-1967.

Farrer D, Weisz R, Heiniger R, Murphy JP, Pate M.H. 2006. Delayed harvest effect on soft red winter wheat in the Southeastern USA. Agron. J, 98: 588-595.

Fernandez JA, Banon S, Franco JA, Gonzalez A, Martinez PF. 1978. Effects of vernalization and exogenous gibberellins on curd induction and carbohydrate levels in the apex of cauliflower (*Brassica oleracea vat. botrytis*). Scientia Horticulturae, 70: 223-230.

Fowler DB, Limin AE, Wang SY, and Ward RW. 1996. Relationship between low-temperature tolerance and vernalization response in wheat and rye. Can. J. Plant Sci, 76:37-42.

Gardner FP, Barnett RD. 1990. Vernalization of wheat cultivars and triticale.Crop Sci, 30: 166-169.

Griffiths FEW, Lyndon RF, Bennett MD. 1985. The effects of vernalization on the growth of the wheat shoot apex. Annals of Botany, 56: 501-511.

Halloran GM, Pennel AL. 1982. Duration and rate of development phases in wheat in two environments. Annals of Botany (London), 49: 115-121.

Hand DJ. 1988. Regulation of curd initiation in the summer cauliflower. PhD Thesis. Univ. of Nottingham, UK.

Harrington JF. 1960. The use of gibberellic acid to induce bolting and increase seed yield of tight-heading lettuce. Proceedings of the American Society for Horticultural Science, 75:476-479.

Hedden P, Phillips AL. 2000. Gibberellin metabolism: new insights revealed by the genes. Trends in Plant Science, 5: 523-530.

Heide OM, Sonsteby A. 2015. Dormancy interferes with flowering in perennial plants with short day regulation of both processes: a mini-review. Agricultural Sciences, 6: 778-782.

Jacobsen JV, Chandler PM. 1987. C3. Gibberellin and Abscisic Acid in Germinating Cereals. Plant Hormones and their Role in Plant Growth and Development. 164-193.

Kaya C, Tuna AL, Okant AB. 2010. Effect of foliar applied kinetin and indole acetic acid on maize plants grown under saline conditions. T urk J Agric For. 34:529–538.

King RW, Evans LT. 2003. Gibberellins and flowering of grasses and cereals: prizing open the lid of the "florigen" black box. Annu Rev Plant Biol, 54: 307-328.

Krenzer EG, Nipp TL, Mcnew RW. 1991. Winter wheat main stem leaf appearance and tiller formation vs. moisture treatment. Agron J, 83: 663-667.

Limin AE, Fowler DB. 2002. Developmental traits affecting low temperature tolerance response in near-isogenic lines for the vernalization locus vrn-a1 in wheat (*Triticum aestivumL. em Thell*). Annals of Botany, 89: 579-585.

Lin YR. 1994. Effect of light, temperature and plant growth regulators on flowering of Phalaenopsis spp. Graduate Institute of Horticulture, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, Master'sthesis.

Macmillan CP, Blindell CA, King RW. 2005. Flowering of the grass *Lolium perenne*: Effects of Vernalization and Long Days on Gibberellin Biosynthesis and Signal. Plant Physiology 138: 1794-1806.

Maloof JN. 2004. Plant development: slowing root growth naturally. Curr Biol, 14(10):R395–6.

Mauseth JD. 1991. Botany: An Introduction to Plant Biology. Saunders, Philadelphia, USA. 18. Morris, C.F., R.J. Anderberg, P.J. Goldmark, M.K. walker-Simons, 1991. Molecular cloning and expression of abscisic acid-responsive genes in embryos of dormant wheat seeds. Plant Physiology, 95: 814-821.

Napp-Zinn K. 1969. *Arabidopsis thaliana L. Heynh*. In: Evans LT (ed) the induction of flowering. macmillan press, melbourne, pp 291–304.

Nowak M, Leśniowska-Nowak J, Zapalska M, Banaszak Z, Kondracka K, Dudziak K, Kowalczyk K. 2014.Analysis of VRN1 gene in triticale and common wheat genetic background. Sci Agric, 71(5):345-355.

Oikonomou NA, Bakalis s, Rahman MS, Krokida MK. 2015. Gluten Index for Wheat Products: Main Variables in Affecting the Value and Nonlinear Regression Model. International Journal of Food Properties, 18:1–11.

Olszewski N, Sun T, Gubler F. 2002. Gibberellins signaling: biosynthesis, catabolism, and response pathways. Plant Cell, 61-80.

Qin, Z, Tang X. 1984. Dynamics of some large biomolecules during the formation of rice endosperm. China Science, 12: 1103-1110.

Pandey M, Singh AK, DePauw RM, Bokore FE, Ellouze W, Knox RE, Cuthbert RD. 2015. Coleoptile length, gibberellin sensitivity, and plant height variation of durum wheat in Canada. Can. J. Plant Sci, 95: 1259-1264.

Pan S, Rasul F, Li W, Tian H, Mo Z, Duan M and Tang X. 2013. Roles of plant growth regulators on yield, grain qualities and antioxidant enzyme activities in super hybrid rice (*Oryza sativa L.).* Rice Journal, 6(9): 1-10.

Passam HC, Koutri A, Karapanos IC. 2008. Comparative effects of chlormequat chloride (CCC) and gibberellic acid (GA3) on the flowering and seed production of lettuce. The European Journal of Plant Science and Biotechnology, 2(1): 91-93.

Pavlista AD, Baltensperger DB, Santra DK, Hergert GW, Knox S. 2014. Gibberellic Acid Promotes Early Growth of Winter Wheat and Rye. American Journal of Plant Sciences, 5: 2984-2996.

Pearce S, Vanzetti L S, Dubcovsky J. 2013. Exogenous Gibberellins Induce Wheat Development Under Short Days Only in the Presence of Vernalization. Plant Physiology, vol. 163, pp. 1433-1445.

Peng J, Richards DE, Hartley NM, Murphy GP, Devos KM, Flintham JE, Beales J, Fish LJ, Worland AJ, Pelica F, Sudhakar D, Christou P, Snape JW, Gale MD, Harberd NP. 1999. "Green revolution" gene encodes mutant gibberellin response modulators. Nature. 400: 256-261.

Peske ST, Villela FA. 2003. Secagem de sementes. Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos. Pelotas: Ed. UFPel, 366-413.

Rodrigues O, Teixeira MCC, Costenaro ER, Vargas L, Damo R. 2014 .Influence of vernalization and photoperiod on the duration of stem elongation and spikelet fertility in wheat. Agricultural Sciences, 5: 1547-1557.

Savin R and Slafer, GA. 1991. Shading Effect on the Yield of an Argentina Wheat Cultivar. Journal of Agricultural Science, 116: 1-7.

Sayed Shourbalal SK, Soleymani A, Javanmard HR. 2019. Shortening Vernalization in Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) Using Plant Growth Regulators and Cold Stratification. Journal of Cleaner Production, 219: 443-450.

Scariot MA, Radünz LL, Dionello RG, Toni JR, Mossi AJ, Júnior FWR. 2017. Quality of wheat grains harvested with different moisture contents and stored in hermetic and conventional system. Journal of Stored Products Research, 75: 29-34.

Siddiqui, MW, Bhattacharjya A, Chakraborty I, Dhua R S. 2011. 6-benzylaminopurine improves shelf life, organoleptic quality, and health-promoting compounds of fresh-cut broccoli florets. Journal of Scientific and Industrial Research, 70(6): 461–465.

Tang N, Jiang Y, He B, Hu Y. 2009. The effects of dwarfing genes (*Rht-B1b*, *Rht-D1b*, and *Rht8*) with different sensitivity to GA_3 on the coleoptile length and plant height of wheat. Agric. Sci. China, 8: 1028-1038.

Trethowan RM, Van Ginkel M, Rajaram S.2002. Progress in breeding wheat for yield and adaptation in global drought affected environments. Crop Science, 42: 1441-1446.

Triboi E, Triboi-Blondel AM. 2002. Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem: invited paper. Eur J Agron, 16:163–186.

Ubeda-Tomas S, Federici F, Casimiro I, Beemster GTS, Bhalerao R, Swarup R, et al. 2009. Gibberellin signaling in the endodermis controls *Arabidopsis* root meristem size. Curr Biol, 19(14):1194–9.

Wang G, Que F, Xu Z, Wang F, Xiong A. 2015. Exogenous gibberellin altered morphology, anatomic and transcriptional regulatory networks of hormones in carrot root and shoot. BMC Plant Biol, 15: 290.

Wardell WL, Skoog F. 1969. Flower formation in excised tobacco stem segments; I. Methodology and effects of plant hormones. Plant Physiol, 44: 1402-1406.

Whitechurch EM, Slafer GA. 2001. Responses to photoperiod before and after jointing in wheat substitution lines. Euphytica, 118: 47-51.

Xiangnan Li, Haidong J, Fulai L, Jian C, Tingbo D, Weixing C, Dong J. 2013. Induction of Chilling Tolerance in Wheat During Germination by Presoaking Seed with Nitric Oxide and Gibberellin. Plant Growth Regul. 71:31–40.

Yang W, Cai T, Ni Y, Li Y, Guo J, Peng D, Yang D, Yin Y, Wang Z. 2013. Effects of Exogenous Abscisic Acid and Gibberellic Acid on Filling Process and Nitrogen Metabolism Characteristics in Wheat Grains. Australian Journal of Crop science. 7(1):58-65.

Zang MH and Flower DB. 2011. Differential agronomic responses of winter wheat cultivars to post-anthesis environmental stress. Crop Science, 36: 1119-1123.

Zhang YH, Ni ZF, Yao YY, Zhao J, Sun QX. 2006. Analysis of genome-wide gene expression in root of wheat hybrid and its parents using Barley1 GeneChip. Progress in Natural Science, 16: 712-720.

Zheng C, Zhu Y, Wang C, Guo T. 2016. Wheat Grain Yield Increase in Response to Pre-Anthesis Foliar Application of 6-Benzylaminopurine Is Dependent on Floret development. Plos One, 11(6): e0156627.

Zhu YY, Nomura T, Xu YH, Zhang YY, Peng Y, Mao BZ, Hanada A, Zhou HC, Wang RX, Li PJ, Zhu XD, Mander LN, Kamiya YJ, Yamaguchi S, He ZH. 2006. *Elongated Uppermost Internode* encodes a cytochrome P450 monooxygenase that epoxidizes gibberellins in a novel deactivation reaction in rice. Plant Cell. 18: 442-456.