



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب کشور



کاربرد مواد محرک رشد گیاهی به منظور کاهش تنش سرما در گیاهان

نگارندگان

محمدعلی خودشناس¹، جواد قدبیک‌لو¹، فریدون نورقلی‌پور²، رحیم مطلبی‌فرد³ و علیرضا توسلی³

¹ اعضای هیات علمی مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی

² عضو هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

³ اعضای هیات علمی مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی

نشریه فنی: 680

1405

مشخصات اثر

عنوان: کاربرد مواد محرک رشد گیاهی به منظور کاهش تنش سرما در گیاهان

نگارندگان: محمدعلی خودشناس، جواد قدیکلو، فریدون نورقلی پور، رحیم مطلبی فرد و علیرضا توسلی

ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات اسرار علم

کارشناس انتشارات: سمانه پورمنصور

ویراستار: آرش تافته

طراح جلد: سید هادی میرغیائی

سال انتشار: 1405

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این نشریه با شماره 69997 در تاریخ 1405/6/22 در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

صندوق پستی: 311-31785

کد پستی: 3177993545

تلفن: 026-36201900

نمابر: 02636210121

پست الکترونیکی: info.swri@areeo.ac.ir

وبسایت: http://www.swri.ir

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارندگان است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	1
سرمازدگی و یخزدگی	2
محرك‌های رشد گیاهی	5
انواع مواد محرك رشد	5
مواد محرك رشد غير ميكروبی	6
مواد هیومیکی	6
فولویك اسید	8
جلبك دریایی	8
اسیدهای آمینه	10
مواد محرك رشد قارچی و ميكروبی (كودهای زیستی)	12
سایر مواد محرك رشد	13
دستورالعمل کاربرد مواد محرك رشد در شرایط تنش سرما	13
الف) مناطق معتدل گرم تا گرم	15
ب) مناطق معتدل سرد تا سرد	17
رشد شاخه‌های جدید	20
منابع	21
تصاویر پیوست	26

مقدمه

تنش به هر عامل یا نیروی خارجی اطلاق می‌شود که با برهم‌زدن تعادل فیزیولوژیکی، گیاه را از شرایط مطلوب رشد و نمو خارج می‌کند. گیاهان در طول چرخه زندگی خود به طور مداوم با عوامل تنش‌زا مواجه هستند که بسته به ماهیت عامل ایجادکننده، به دو گروه اصلی تنش‌های زیستی و تنش‌های غیرزیستی تقسیم می‌شوند. واکنش گیاهان به این تنش‌ها تابعی از نوع، شدت و مدت تنش و نیز مرحله رشدی گیاه بوده و می‌تواند به صورت مقاومت، تحمل یا حساسیت بروز یابد. در شرایط مقاومت، گیاه قادر است بدون اختلال قابل توجه در فعالیت‌های فیزیولوژیکی با تنش مقابله کند؛ درحالی‌که در حالت تحمل، فرایندهای متابولیکی گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرند؛ اما تداوم می‌یابند. در مقابل، حساسیت به تنش با کاهش شدید عملکرد فیزیولوژیکی و بروز خسارات قابل توجه در رشد و عملکرد همراه است.

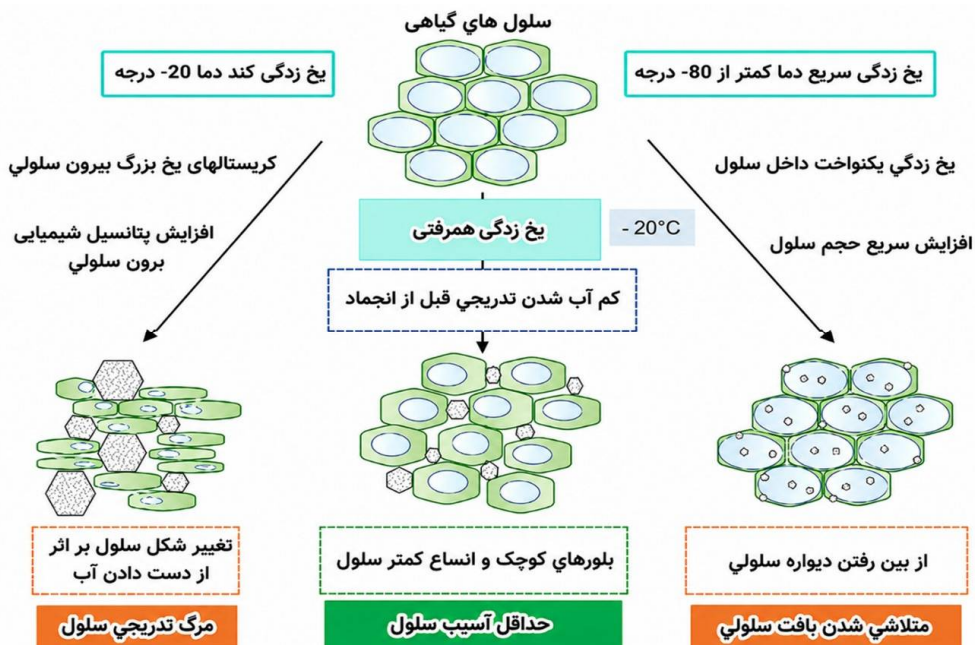
تنش‌های زیستی شامل عوامل زنده‌ای مانند آفات، عوامل بیماری‌زا و علف‌های هرز هستند که با ایجاد اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی، تغذیه‌ای و رشدی گیاه، موجب کاهش رشد و تولید می‌شوند. گیاهان برای مقابله با این عوامل از مجموعه‌ای از سازوکارهای دفاعی فیزیکی، شیمیایی و مولکولی استفاده می‌کنند که امکان بقا و ادامه رشد در شرایط نامساعد را فراهم می‌سازد. در مقابل، تنش‌های غیرزیستی ناشی از عوامل محیطی نامساعدی نظیر دما، کم‌آبی، شوری، غرقابی، تنش‌های نوری و عدم تعادل عناصر غذایی هستند که به طور گسترده‌ای رشد، نمو و تولیدمثل گیاهان را محدود می‌کنند. بروز این تنش‌ها موجب ایجاد تغییرات هماهنگ در سطوح مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی گیاه می‌شود که در مجموع، فرایند سازگاری گیاه با شرایط تنش را شکل می‌دهد. در میان تنش‌های غیرزیستی، تنش‌های دمایی به‌ویژه تنش‌های ناشی از دماهای پایین و بالا، از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده در پراکنش جغرافیایی گیاهان، زمان کاشت و میزان تولید محصولات کشاورزی به شمار می‌روند (FAO, 2023). دماهای پایین، به‌خصوص در مراحل حساس رشدی، با اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی، کاهش رشد رویشی و زایشی و محدود شدن فعالیت‌های متابولیکی، می‌توانند موجب افت چشمگیر عملکرد محصول شوند.

با توجه به اهمیت خسارات ناشی از تنش سرما و نقش آن در کاهش عملکرد محصولات زراعی و باغی، هدف این نشریه آشنایی و شناخت بهتر بهره‌برداران و کارشناسان بخش کشاورزی از نحوه عمل، کارایی محرک‌های رشد گیاهی به‌عنوان ابزاری مؤثر برای بهبود وضعیت فیزیولوژیکی، تقویت

سامانه‌های دفاعی و افزایش ظرفیت سازگاری گیاه، و نحوه کاربرد آن‌ها در کاهش اثرات منفی تنش سرما می‌باشد.

سرمازدگی و یخ‌زدگی

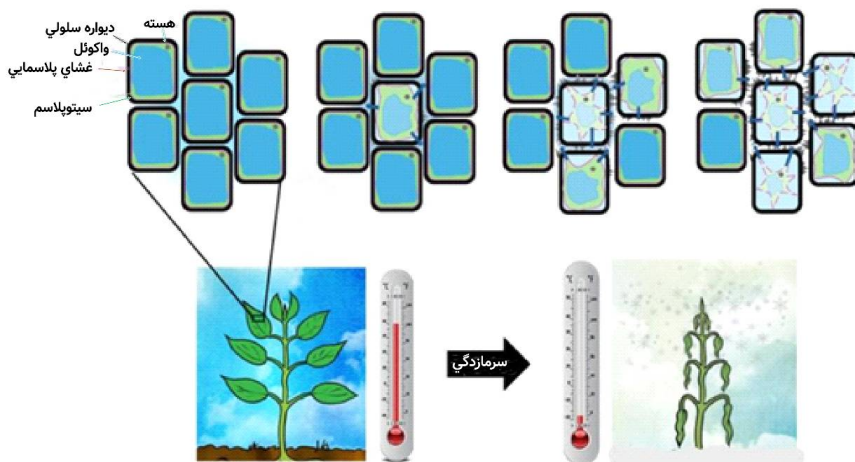
سرمازدگی عبارت است از تغییرات فیزیکی و یا فیزیولوژیکی انگیخته شده در اثر روبروشدن اندام‌های مختلف گیاه با دماهای پایین و بالاتر از نقطه انجماد (بین 1 تا 15 درجه سلسیوس) است که با پیدایش علائم همراه است. به صدمات ناشی از دمای زیر صفر درجه سلسیوس، یخ‌زدگی گفته می‌شود. صدمات یخ‌زدگی عمدتاً ناشی از ایجاد کریستال‌های یخ در آوندهای گیاه است که به سرعت در تمامی اندام‌ها گسترش می‌یابد (مردانی اصل و امیری، 1395). نمای کلی شماتیک فرآیندهای انجماد در سلول‌های گیاهی در شکل (یک) نشان داده شده است.



شکل 1- نمای کلی شماتیک فرآیندهای انجماد در سلول‌های گیاهی (Schudel et al., 2021)

در شرایط بدون یخ و آبیاری خوب، سلول‌های گیاهی پراز آب و شاداب هستند. با کاهش دما و شروع انجماد، آب خارج از سلول‌ها ابتدا شروع به یخ‌زدن می‌کند. مایع داخل سلول حاوی متابولیت‌ها، قندهای محلول و سایر املاح مهم برای حفظ حیات گیاه است که باعث می‌شود در دمای پایین‌تری نسبت به مایع بیرونی آن یخ بزند. همان‌طور که آب خارج سلولی رقیق‌تر یخ می‌زند، کریستال‌های یخ بین سلول‌ها تشکیل می‌دهد که باعث تغییر شکل آنها می‌شود.

اما بزرگ‌ترین مشکل زمانی است که آب داخل سلول به بیرون سرازیر می‌شود تا تعادل آب در دو طرف غشا حفظ شود و به طور مؤثر سلول را کم آب کند. آب در امتداد گرادیان غلظت از غشاهای سلولی خارج شده و سلول کوچک می‌شود. کوچک شدن سلول‌ها عامل پژمرده شدن گیاه است (شکل 2). اگر سلول برای مدت طولانی کم آب بماند، غشای سلولی برای همیشه آسیب می‌بیند و باعث ایجاد سوراخ، ریختن محتویات سلولی و مرگ سلول می‌شود. با مرگ سلول‌های بیشتر، احتمال بهبودی گیاه کاهش می‌یابد.



شکل 2- پژمرده شدن گیاه بعد از یخ‌زدگی بر اثر خارج شدن آب از سلول

قرار گرفتن گیاهان در معرض تنش دمایی به دو صورت منجر به تغییر متابولیسم می‌شود. ابتدا، گیاهان سعی می‌کنند متابولیسم سلولی خود را که به دلیل افزایش یا کاهش دما تغییر کرده است، تنظیم کنند. تنش دما ساختار، خواص کاتالیزوری و عملکرد آنزیم‌ها و ناقلین متابولیت غشایی را

تغییر می‌دهد (Schudel, 2021). ثانیاً، تغییرات متابولیسم در پاسخ به استرس دما عمدتاً به مکانیسم‌های تحمل افزایش یافته مرتبط است.

سرمای تدریجی از طریق فعال‌سازی سیستم آنتی‌اکسیدانت، تحمل محصولات زراعی به سرما را افزایش می‌دهد (Markowska et al., 2012).

بسیاری از تنش‌های غیرزیستی مانند سرما باعث اثرات ثانویه‌ای مانند تنش‌های اکسایشی¹ می‌شوند و باعث تجمع گونه‌های احیایی اکسیژن² مانند سوپراکسید (O_2^-), پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال‌های هیدروکسیل ($OH^\cdot$) می‌شوند. این گونه‌های احیایی اکسیژن باعث تخریب اسیدهای نوکلئیک، کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها شده و باعث بروز سیگنال‌های سلولی غیرمعمول می‌شوند و مجموعه این عوامل خسارت تنش را تشدید می‌کنند.

در بین تمام مراحل رشد، مرحله تولیدمثل بیشتر تحت تأثیر تنش سرما است؛ بنابراین، بازتولید قسمت زایشی مستقیماً باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود.

ایران در یکی از مناطق حادثه‌خیز کره زمین واقع شده است. از 40 نوع بالای طبیعی شناخته شده در جهان، بیش از 30 نوع آن در ایران وجود دارد (UNISDR, 2005). سرمازدگی یکی از پدیده‌های جوی است که علی‌رغم قابل‌پیش‌بینی بودن آن در ردیف حوادث غیرمترقبه تعریف شده است. با تغییراتی که در سال‌های اخیر در جو زمین به وجود آمده است، سرمازدگی در بسیاری از مناطق کشور به‌صورت بومی درآمده و همه ساله خسارت‌های فراوانی را به گیاهان و محصولات باغی شکل (پنج) و زراعی شکل (شش) وارد می‌کند.

بیش از 90 درصد از زمین‌های قابل کشت جهان در معرض حداقل یکی از تنش‌های غیرزیستی (از جمله تنش دما) هستند و اثرات این تنش‌ها می‌تواند باعث کاهش 51 تا 82 درصد محصول در برخی محصولات زراعی شود (Nehra, 2024). استفاده از محرک‌های زیستی برای مقابله با سرمازدگی در تنظیم رشد و تولید محصول حائز اهمیت است. از طرفی تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی، شوری و سرما عملکرد بسیاری از گیاهان را کاهش داده و تولیدات گیاهی را در سراسر دنیا محدود می‌کنند. در این میان، یکی از تنش‌های غیرزیستی مهم که به‌عنوان یک عامل محدودکننده کشت مطرح است بروز تنش دمایی است. در شکل‌های پنج تا ده تصاویری از خسارت‌های سرمازدگی در محصولات مختلفی نشان داده شده است.

¹- Oxidative stress

²- Reactive oxygen species

محرک های رشد گیاهی

برای بهبود کارایی جذب عناصر غذایی و مقابله با تنش های زیستی، طیف وسیعی از ترکیبات مختلف که توانایی تقویت رشد و توسعه گیاهان را در مقادیر کم مصرف از طریق برگ پاشی یا خاک دارا هستند، مورد توجه قرار گرفته است. طیف گسترده ای از ترکیبات محرک رشد گیاهی برای مقابله با تنش های زنده و غیرزنده در محصولات غلات و دانه های روغنی وجود دارد. اصطلاح "محرک رشد گیاهی" همه چیزهایی را که می توان به گیاه یا خاک اضافه کرد تا فرایندهای طبیعی را به نفع گیاه، تحریک کند، در برمی گیرد (Calvo et al., 2014). این ترکیبات تحت عناوینی مانند تنظیم کننده های مثبت رشد گیاهی، تقویت کننده متابولیسم گیاهی و یا به طور کلی محرک های رشد گیاهی شناخته می شوند. محرک های رشد گیاهی شامل موادی با فرمول، ترکیب و تولیدات متفاوت از جمله میکروارگانیسیم ها، عناصر کم مصرف، آنزیم ها، تنظیم کننده های رشد گیاهی و عصاره جلبک ها را شامل می شود (Du Jardin, 2015). ولی محرک های رشدی که خیلی مرسوم هستند دارای سه گروه عمده ترکیبات هوموسی، عصاره های جلبک و ترکیبات دارای اسید آمینه می باشند که به خاک یا گیاه اضافه می شوند تا فرایندهای فیزیولوژیکی گیاهی را تنظیم یا تقویت نمایند. ترکیبات هوموسی و عصاره های جلبک دریایی دارای مقادیر مشخصی از هورمون های رشد گیاهی از جمله اکسین، جیبرلین بوده و فیزیولوژی محصولات زراعی را در مقادیر کم، متأثر می سازند. ترکیبات هوموسی، متابولیسم و مورفولوژی گیاهی را با عمل بر روی مکانیسم های بیوشیمیایی و فرایندهای فیزیولوژیکی، تحت تأثیر قرار می دهند. این فرایندها شامل افزایش رشد و جذب عناصر غذایی از طریق تحت تأثیر قراردادن مسیرهای گلیکولیز و تنفس و تأثیر مستقیم در بیان ژن ها و انتقال عناصری مانند نترات می باشد (Halpern et al., 2015).

انواع مواد محرک رشد

طبق نظر Colla و همکاران (2014) و Du Jardin (2012) مواد محرک رشد به دودسته کلی میکروبی و غیر میکروبی تقسیم می شود.

مواد محرک رشد غیر میکروبی شامل عصاره جلبک دریایی، مواد هیومیک، فسفیت و سایر نمک های معدنی، کیتین و مشتقات کیتوزان، ضد تعرق، هیدرولیزهای پروتئین و اسیدهای آمینه آزاد، عناصر شیمیایی غیرضروری، مواد آلی پیچیده است.

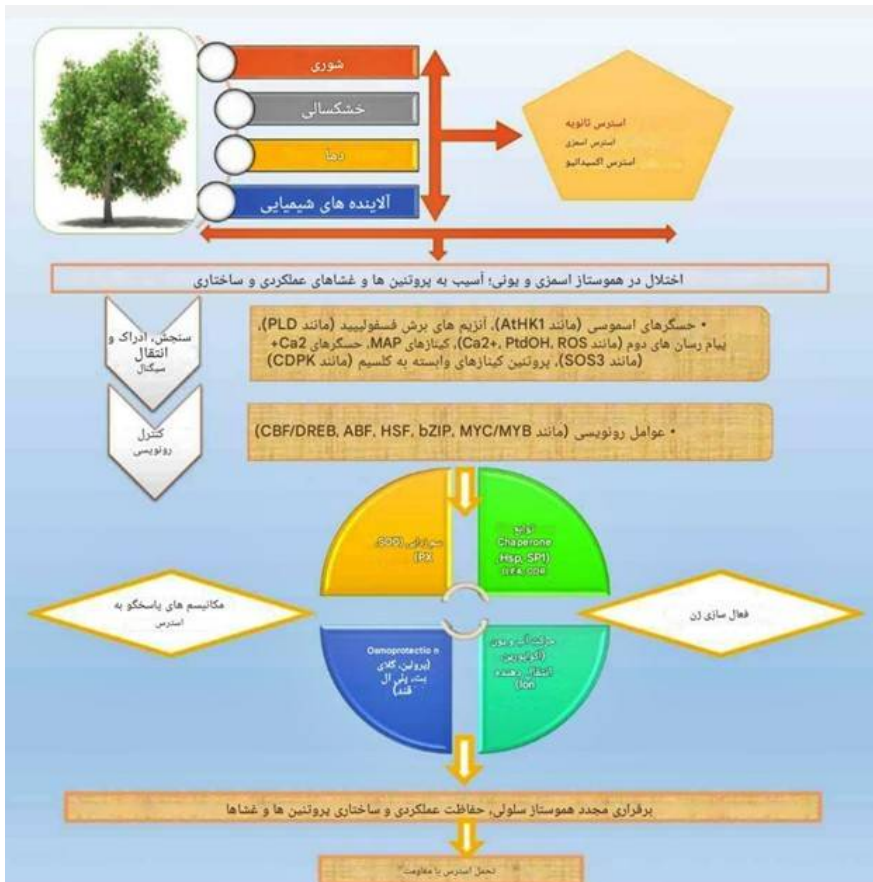
مواد محرک رشد میکروبی شامل باکتری‌ها و رایزوباکتری‌های محرک رشد گیاه، قارچ‌های غیربیماری‌زا، قارچ‌های مایکوریز آربوسکولار، تک‌یاخته‌ها و نماتدها می‌باشد.

مواد محرک رشد غیر میکروبی

همان‌گونه که در بالا اشاره شد این دسته از مواد محرک رشد دارای تنوع و گستردگی زیادی می‌باشند. در ادامه به بررسی بعضی از مهم‌ترین و پرکاربردترین مواد محرک رشد غیر میکروبی می‌پردازیم.

مواد هیومیکی

مواد هیومیکی اجزای طبیعی مواد آلی خاک هستند. ترکیبات آنها در نتیجه تعامل بین مواد آلی، میکروارگانیسم‌ها و ریشه‌های گیاهان ایجاد می‌گردند (Du Jardin, 2015). مواد هیومیکی محلول، در خاک، نقش کلیدی در قابلیت دسترسی ریشه گیاه به عناصر غذایی، تبادل اکسیژن و کربن بین خاک و اتمسفر، ترکیب و روابط میکروارگانیسم‌های ریزوسفر داشته و همچنین باعث بهبود فیزیولوژی گیاهی در رابطه با افزایش تحمل گیاه نسبت به تنش سرما می‌شود (Piccolo and Spiteller, 2003). تأثیر مواد هیومیکی بر جذب عناصر غذایی و رشد گیاه در محصولات مهم زراعی مثل سویا، گندم، برنج، ذرت و در صیفی‌جات مثل گوجه‌فرنگی، خیار، سیب‌زمینی، فلفل و سبزی شاهی و در درختان میوه مثل مرکبات و انگور، از طریق بهبود توسعه سیستم ریشه گیاه، کلات کردن یون‌های فلزی و افزایش کارایی مصرف آب در شرایط تنش سرما گزارش گردیده است (Colla et al., 2014). اسید هیومیک، در ایران در انواع مختلفی تولید و عرضه می‌شود که از نظر شکل فیزیکی، ترکیب و کاربرد با یکدیگر تفاوت دارند. این ماده عمدتاً به صورت مایع، پودری، گرانوله یا پرک در بازار موجود است؛ نوع مایع به دلیل جذب سریع، بیشتر برای محلول‌پاشی و استفاده در سیستم‌های آبیاری کاربرد دارد، درحالی‌که انواع پودری، گرانوله و پرک با درصد خلوص بالاتر (معمولاً 40 تا 75 درصد اسید هیومیک) بیشتر برای اصلاح خاک و مصرف خاکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مکانیسم تحمل تنش بر اثر کاربرد مواد هیومیک در محصولات باغی و کاهش اثر تنش غیرزیستی در شکل (3) به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل 3- مکانیسم تحمل تنش بر اثر کاربرد مواد هیومیک در محصولات باغی و کاهش اثر تنش غیرزیستی

این نمای شماتیک نشان می‌دهد که تنش‌های غیرزیستی مانند شوری، خشکی، دما و آلاینده‌های شیمیایی با برهم‌زدن هموستاز اسمزی و یونی سلول، منجر به بروز استرس ثانویه از جمله تنش اکسیداتیو و آسیب به پروتئین‌ها و غشاها می‌شوند؛ در این شرایط، کاربرد مواد هیومیک در محصولات باغی با نقش تنظیم‌کننده و محرک زیستی، موجب تقویت سامانه‌های درک و انتقال پیام تنش (نظیر کلسیم، ROS، MAPK و CDPK)، فعال‌سازی عوامل رونویسی کلیدی (مانند DREB، MYB، bZIP و HSF) و القای بیان ژن‌های پاسخ‌گو به تنش می‌گردد. در نتیجه، مکانیسم‌های دفاعی گیاه شامل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (SOD، CAT، POD)، تولید پروتئین‌های حفاظتی و شپرونی (HSP و LEA)، تنظیم تعادل یونی و اسمزی از طریق

انباشت اسمولیت‌ها و در نتیجه، عملکرد ناقل‌های یونی تقویت می‌شود. مجموع این فرایندها باعث بازپایداری هموستاز سلولی، حفظ ساختار و عملکرد پروتئین‌ها و غشاهای و در نهایت افزایش تحمل تنش و کاهش اثرات منفی تنش‌های غیرزیستی در گیاهان باغی می‌گردد.

فولویک اسید

اسید فولویک یکی از مواد هیومیکی محلول در آب با اندازه کمتر از 3500 دالتون است که از کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و گوگرد (HS) تشکیل شده است که از تجزیه لیگنیت‌ها، ساپروپل‌ها و پیت‌ها همراه با مواد آلی غیرزنده اکوسیستم‌های خاک و آب تشکیل شده است (Thurman, 1985).

اسیدهای فولویک با بیان ژن‌های انتقال‌دهنده مواد، موجب تسریع جذب مواد غذایی محلول از قبیل قندها و پروتئین‌ها به سلول‌های گیاهان زراعی و افزایش غلظت شیره سلولی می‌گردند و از طرفی جذب مواد فولویکی در سیتوپلاسم موجب ایجاد فشار اسمزی لازم جهت مقابله با تنش‌های اسمزی از جمله شوری، خشکی و یخبندان می‌گردد (غیبی، 1397; Terenzio, 2015).

اثر مواد هیومیکی و فولویک اسید در خاک از طریق سه روش باعث افزایش مقاومت گیاه به سرما می‌شود. مکانیسم نخست، افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک می‌باشد که سبب گرم‌شدن خاک در اطراف ریشه می‌شود. اگرچه چرخش شیره گیاهی در درون آوندها در فصل زمستان کند و بطئی است، اما همین چرخش کند هم می‌تواند تا حدودی گرمای ریشه را به قسمت‌های هوایی منتقل کند. دومین سازوکار مربوط می‌شود به حفظ بیشتر رطوبت خاک که به دلیل بالابودن گرمای ویژه آب مقدار کالری بیشتری در درون خاک ذخیره می‌گردد. در طول روز آفتاب به سطح زمین می‌تابد و آن را گرم می‌کند و در شب خاک خشک به سرعت گرما را از دست می‌دهد، اما خاک مرطوب که مقدار بیشتری گرما ذخیره کرده است، آهسته‌تر خنک می‌شود، در نتیجه احتمال سرمازدگی کاهش می‌یابد. سومین سازوکار این است که این ترکیبات رنگ تیره‌ای به خاک می‌دهند و در نتیجه انرژی خورشیدی بیشتر به خاک جذب می‌شود. نوع پودری رایج معمولاً حدود 20 تا 25 درصد ماده مؤثر اسید فولویک‌دار است.

جلبک دریایی

استفاده از جلبک‌های دریایی به عنوان منبع ماده آلی و کود در کشاورزی از قدیم شناخته شده است، اما اخیراً مشخص شده که عصاره‌های جلبک‌ها به عنوان محرک رشد نیز عمل می‌کنند. طبق

گزارش FAO (2018)، سالانه حدود 15 میلیون تن عصاره جلبک‌های دریایی در کشاورزی به‌عنوان محرک رشد، اصلاح‌کننده خاک و مکمل تغذیه‌ای استفاده می‌شود.

ترکیبات اصلی جلبک‌های دریایی شامل پلی‌ساکاریدها، اولیگوساکاریدها، لامینارین، آلژینات‌ها و کاراگینان‌ها هستند که بر فیزیولوژی گیاه تأثیر دارند. بیشتر عصاره‌ها از جلبک‌های قهوه‌ای (مانند آسکوفیلوم¹، فوکوس² و لامیناریا³) و کاراگینان از جلبک‌های قرمز استخراج می‌شود (Du Jardin, 2015). آلژینیک اسید به‌عنوان یکی از اجزای کلیدی عصاره جلبک‌های دریایی، نقشی چندگانه در بهبود رشد گیاه، افزایش کارایی جذب عناصر و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی دارد. به همین دلیل، استفاده از عصاره‌های غنی از آلژینیک اسید در تولید مواد رشد گیاهی و کودهای زیستی، رویکردی مؤثر و پایدار در کشاورزی مدرن محسوب می‌شود. آگار، آلژینات و کاراژینان از جمله نخستین پلی‌ساکاریدهایی بودند که از جلبک‌ها استخراج شدند. آلژینات‌ها مشتقاتی از اسیدهای آلژینیک هستند که در دیواره سلولی جلبک‌های دریایی قهوه‌ای قرار دارند.

اسیدهای آلژینیک به‌صورت صنعتی از جلبک‌های دریایی قهوه‌ای به شکل نمک آنها، یعنی آلژینات‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم استخراج می‌شوند. آلژینیک اسید و آلژینات کلسیم در آب نامحلول هستند درحالی‌که آلژینات سدیم، آلژینات پتاسیم و آلژینات آمونیوم محلول در آب هستند. رایج‌ترین شکل استفاده شده آلژین، آلژینات سدیم بوده و این ترکیب قابلیت جذب آب بالایی داشته که هم در آب سرد و هم در آب گرم محلول می‌باشد. منابع عمده استخراج آلژینات جلبک‌های قهوه‌ای می‌باشند (Hifney, 2018). آلژینات‌های استخراج شده از گونه‌های مختلف جلبکی دارای خواص ضد اکسایشی و تنظیم سیستم ایمنی می‌باشند. این ترکیب با افزایش ظرفیت نگهداشت رطوبت و کاهش آبرویی عناصر غذایی، دسترسی ریشه به آب و مواد معدنی را بهبود می‌بخشد. همچنین آلژینیک اسید با تحریک رشد ریشه و تقویت فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید ریزوسفر، موجب افزایش کارایی جذب عناصر غذایی می‌شود (Jannin, 2013). حضور این ماده در بیواستیمولانت‌های جلبکی، تحمل گیاه به تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی و شوری را افزایش داده و در نهایت به بهبود رشد، عملکرد و پایداری تولید گیاهان زراعی و باغی کمک می‌کند (Craigie, 2011). عصاره جلبک‌ها حاوی هورمون‌های گیاهی نظیر سیتوکینین، اکسین، آبسزیک اسید، جبرلین و سالیسیلیک اسید است (Khan et al., 2009). افزایش سیتوکینین و آبسزیک اسید و کاهش

¹ - Ascophyllum,

² - Fucus

³ - Laminaria

اکسین می‌تواند رشد رویشی و مقاومت به تنش‌های غیرزیستی را تقویت کند (Wally et al., 2013). پلی‌ساکاریدهای عصاره با کاهش رادیکال‌های آزاد و جلوگیری از اکسیدشدن زانتین، در مقاومت به سرما نقش دارند (Fan et al., 2013; Zhang and Ervin, 2008).

سایر ترکیبات مؤثر شامل عناصر غذایی، استرول‌ها، بتایین و سایر ترکیبات شبه‌هورمونی هستند (Bulgari et al., 2015). عصاره جلبک‌های دریایی، را باید به‌صورت مصرف خاکی، محلول در کشت هیدروپونیک و یا محلول‌پاشی استفاده نمود (González, 2013). مصرف آن باعث افزایش رشد ریشه، بهبود جذب آب و عناصر غذایی و تقویت مقاومت به سرما می‌شود (Alam, 2013; Craigie, 2011).

اثرات ضد استرسی عصاره‌ها به دلیل ترکیبات محافظ مانند آنتی‌اکسیدانت‌ها، پلی‌ساکاریدها و تنظیم ژن‌های داخلی است (Colla et al., 2014; González, 2013; Fan et al., 2013). اثرات هورمونی آنها بر جوانه‌زنی، استقرار و رشد گیاه، عامل اصلی محرک رشد بودن عصاره جلبک‌ها در گیاهان زراعی شناخته شده است (Craigie, 2011). انواع رایج معمولاً 10 تا 15 درصد ماده مؤثر آلژینیک اسید دارد.

اسیدهای آمینه

اسیدهای آمینه مولکول‌های آلی کوچکی هستند که در سنتز پروتئین‌ها و ترکیبات نیتروژن‌دار مانند اسیدنوکلئیک نقش دارند و حدود 20 نوع از آنها در فرایندهای پروتئینی سلول‌های گیاهی ایفای نقش می‌کنند. ترکیبات پروتئینی و هیدرولیزهای پروتئینی شامل پپتیدها و اسیدهای آمینه ویژه مانند گلوتامات، گلوتامین، پرولین و گلیسین بتایین هستند که اثر محرک رشد بر گیاه دارند (Nardi, 2016; Colla et al., 2014). اسیدهای آمینه اصلی شامل آلانین، آرژنین، گلیسین، پرولین، گلوتامات، گلوتامین، والین و لوسین هستند (Ertani, 2009).

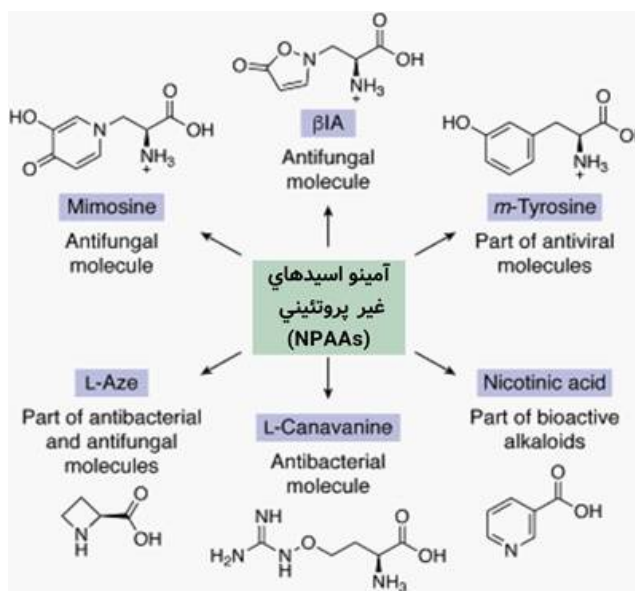
اسیدهای آمینه ساختمانی و غیرپروتئینی مانند پرولین، گلوتامین و گلیسین بتایین می‌توانند گیاه را در برابر تنش‌های زیست‌محیطی محافظت کنند و در ارسال سیگنال‌های متابولیک فعال باشند (Nardi, 2016). گیاهان پس از جذب نیتروژن، حدود 85 درصد آن را به اسیدهای آمینه تبدیل می‌کنند که مصرف مستقیم این مولکول‌ها در مراحل رشد سریع رویشی موجب ذخیره انرژی و رشد بهینه می‌شود (Marschner, 2011).

آمینواسیدها و پپتیدها از هیدرولیز پروتئین‌ها و منابع گیاهی یا حیوانی تولید می‌شوند و جذب ریشه‌ای و برگی آنها در گیاهان گزارش شده است (Nardi, 2016; Colla et al., 2014).

برخی آمینواسیدها، مانند پرولین و بتاین، با تثبیت پروتئین‌ها و غشاها و افزایش انعطاف‌پذیری دیواره سلولی، مقاومت گیاه به یخ‌زدگی و سرما را افزایش می‌دهند (Leslaw et al., 2015; Gaveliene et al., 2015). آرژینین نقش مهمی در ذخیره و انتقال نیتروژن و افزایش مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده دارد (Lea et al., 2006; Matysiak, 2020).

اسیدهای آمینه غیرپروتئینی، به‌ویژه گاما آمینو بوتیریک اسید¹ در افزایش مقاومت گیاه به تنش سرما، تحریک رشد، افزایش فشار تورگر برگ و کاهش آسیب اکسیداتیو نقش دارند (Nayyar et al., 2014; Priya et al., 2019). سطح گابا با مرحله رشد گیاه تغییر می‌کند و تحت استرس غیرزیستی به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد (Kim, 2013; Bhattacharya, 2018).

به‌طور کلی، کاربرد اسیدهای آمینه و پپتیدها به همراه مواد محرک رشد و کودهای حاوی عناصر غذایی می‌تواند سیستم دفاعی گیاه را فعال کرده، مقاومت به تنش‌های غیرزیستی را افزایش دهد و موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه شود (Colla et al., 2014; Du Jardin, 2015). انواع رایج پودری معمولاً 35 تا 40 درصد ماده مؤثر اسیدآمینه آزاد دارد.



شکل 4 - اسیدهای آمینه غیر پروتئینی (wu et al., 2010)

¹ - GABA

مواد محرک رشد قارچی و میکروبی (کودهای زیستی)

مواد محرک رشد میکروبی موادی هستند که حاوی جمعیت کافی از ریز جانداران مفید بوده و استفاده از آن‌ها باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود. کودهای زیستی دامنه وسیعی از باکتری‌های خاکزی (مانند ریزوبیوم، سودوموناس، ازتوباکتر، آزوسپریلیوم و باسیلوس)، قارچ‌های میکوریزایی و اندوفیتی و جلبک‌ها را شامل می‌شوند و برای محصولات مختلف کشاورزی، از غلات و سبزی‌ها تا گیاهان صنعتی و گلخانه‌ای کاربرد دارند (اسدی رحمانی و همکاران، 1391؛ Lenoir et al., 2016).

تلقیح میکروبی با ریزوباکتری‌های محرک رشد¹ و قارچ‌های میکوریزایی² می‌تواند رشد گیاه تحت تنش‌ها را افزایش دهد (Khan et al., 2013). این میکروب‌ها با بهبود تعادل تغذیه‌ای و هورمونی، تولید تنظیم‌کننده‌های رشد، حل کردن مواد مغذی و ایجاد مقاومت در برابر پاتوژن‌ها، رشد گیاه را تقویت می‌کنند. همچنین تعاملات هم‌افزا یا متضاد این میکروب‌ها با سایر میکروارگانیسم‌ها در خاک، به پایداری اکوسیستم خاک و کشاورزی پایدار کمک می‌کند (Gavito et al., 2015). فرمولاسیون این کودها به صورت مایع و جامد موجود است؛ فرمول‌های مایع آسان برای کاربرد روی بذر هستند، اما طول عمر کوتاه دارند، درحالی‌که فرمول‌های جامد با کمک چسباننده‌ها می‌توانند جمعیت میکروبی را برای مدت طولانی حفظ کنند و از روش‌های مختلف مانند مصرف خاکی، تلقیح بذر، اسپری برگی و کودآبیاری استفاده شوند (Leslaw et al., 2015).

قارچ‌های میکوریزایی نقش مهمی در مقاومت گیاهان به تنش‌های دمایی دارند. هم‌زیستی آن‌ها با گیاهان باعث افزایش جذب آب و مواد مغذی، بهبود ظرفیت و کارایی فتوسنتزی، کاهش آسیب اکسیداتیو و افزایش تجمع اسمولیت‌ها مانند پرولین و قندهای محلول می‌شود. (Zhu et al., 2011؛ Zhu et al., 2010a) دمای پایین (0-15 °C) و دمای بالاتر از آستانه (10-15 °C) می‌تواند رشد قارچ‌ها و کلونیزاسیون میکوریزا را محدود کند، اما گیاهان میکوریزایی همچنان عملکرد بهتر فتوسنتزی، وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه و وضعیت آب بهتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی دارند (Wahid, 2007; Evelin, 2009).

مکانیسم‌های محافظتی قارچ‌های میکوریزایی شامل حفظ یکپارچگی غشا، کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از ROS و بهبود جذب مواد مغذی و فسفر است (Zhang et al., 2015 ; Zhu et al., 2010b). تجمع اسمولیت‌های سازگار و محلول در سلول‌ها، مانند پرولین، پلی آمین‌ها و قندهای محلول،

¹ - PGPR

² - AM

نقش مهمی در حفظ تعادل اسمزی و مقاومت به سرما دارند. فعالیت آنزیم‌هایی مانند آمیلاز در گیاهان مایکوریزایی افزایش می‌یابد و با تجزیه نشاسته به تولید قند، انرژی و محافظت در برابر تنش دمای پایین فراهم می‌شود. پرولین در بسیاری از گیاهان به عنوان یک اسمولیت غیرسمی و محافظ تعادل اسمزی در شرایط تنش دما و اسمزی عمل می‌کند. این آمینواسید همچنین نقش مخزن انرژی، جاذب رادیکال‌های هیدروکسیل، محافظ ماکرومولکول‌ها در برابر دناتوره شدن و کاهش اسیدیته سلول را دارد (Theocharis, 2012). تجمع پرولین در گیاهان مایکوریزایی افزایش می‌یابد و تحت تنش دمای پایین، ریشه ذرت مایکوریزایی پرولین بیشتری نسبت به گیاهان غیرمایکوریزایی دارد (Zhu et al., 2010a).

در مجموع، استفاده از مواد محرک رشد میکروبی، به ویژه قارچ‌های مایکوریزایی، موجب افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های دمایی، بهبود جذب آب و عناصر غذایی و افزایش عملکرد فتوسنتزی می‌شود و نقش کلیدی در کشاورزی پایدار و سازگار با تغییرات اقلیمی آینده دارد (Zhang et al., 2015).

سایر مواد محرک رشد

مواد محرک رشدی که منشأ زیستی داشته و یا جزء مواد شیمیایی طبقه‌بندی می‌شوند، اما نسبت به سایر مواد محرک رشد که در بالا مورد بحث قرار گرفت از نظر کاربری کمتر مورد استفاده می‌باشند. از جمله این مواد ماهی هیدرولیز شده، فسفیت و نیترو فنل‌ها می‌باشند. این مواد با کمک به بهبود ساختار خاک و رشد ریشه، در بهبود عملکرد گیاهان در شرایط تنش‌های غیرزیستی از جمله سرمازدگی، غرقاب و کمبود نور به بازتوانی گیاه و دستیابی به عملکرد مطلوب گیاه نقش مثبتی دارند (Storer, 2016).

دستورالعمل کاربرد مواد محرک رشد در شرایط تنش سرما

مواد محرک رشد غیر میکروبی به طور عمده شامل اسیدآمینه، اسید فولویک، اسیدهیومیک و عصاره جلبک دریایی را می‌توان به غیر از دوره گلدهی در سایر مراحل رشد گیاه و نیز بذر مال استفاده نمود. این مواد بیشتر از طریق روزنه‌ها جذب می‌شوند و به مقدار کمتر از طریق غشای سلولی نفوذ می‌کند و چند ساعت پس از جذب به قسمت‌های رشد (مریستم) هدایت می‌شوند.

اسید هیومیک بهتر است به صورت مصرف خاکی در سیستم آبیاری و سایرین از طریق محلول پاشی به کار روند. کاربرد خاکی اسید هیومیک به بهبود وضعیت فیزیکی خاک و فعالیت زیستی ریزوسفر کمک نموده، همچنین سبب رشد ریشه و جذب بهتر عناصر غذایی می شود. مواد محرک رشد میکروبی به دلیل ایجاد تماس مستقیم و زود هنگام با بذر، به طور ویژه به صورت بذرمال توصیه می شوند. در این روش، ترکیبات محرک رشد و یا میکروارگانیسم های مفید پیش از کاشت، مستقیماً روی سطح بذر قرار می گیرند و بلافاصله پس از جوانه زنی، در ناحیه ریزوسفر فعال می شوند. این تماس مستقیم باعث استقرار سریع تر جمعیت میکروبی، افزایش فعالیت زیستی خاک و بهبود رشد اولیه گیاه می گردد.

بذرمال بذر گندم با محرک های میکروبی حاوی باکتری های حل کننده فسفات موجب افزایش دسترسی فسفر در مراحل ابتدایی رشد و توسعه بهتر سیستم ریشه می شود. همچنین استفاده از محرک های زیستی حاوی میکروبی های تثبیت کننده نیتروژن به صورت بذرمال در محصولات لگومینوز نظیر سویا و نخود، منجر به افزایش تشکیل گره های ریشه و بهبود تأمین نیتروژن گیاه می گردد.

در محصولات زراعی حساس به تنش های اولیه، مانند ذرت و کلزا، بذرمال با مواد محرک رشد میکروبی می تواند تحمل گیاهچه به تنش ها را افزایش داده و استقرار یکنواخت تر مزرعه را تضمین کند. به طور کلی، روش بذرمال با کاهش مصرف نهاده ها، افزایش کارایی زیستی و بهبود رشد اولیه گیاه، یکی از مؤثرترین روش های کاربرد مواد محرک رشد میکروبی در کشاورزی پایدار محسوب می شود.

برای محلول پاشی مواد محرک رشد غیر میکروبی در سبزی ها حدود سه تا چهار لیتر در هر هکتار، محصولات زراعی نظیر کلزا و گندم و جو حدود پنج تا هفت لیتر در هر هکتار و نیز برای محصولات باغی بر اساس جداول سه و چهار، برای محصولات گلخانه ای چهار لیتر در هر هکتار، و برای مرکبات نیز پنج تا هفت لیتر در هر هکتار مواد محرک رشد مورد نیاز است. میزان و مراحل مصرف مواد محرک رشد برای محصولات مختلف در جدول یک آمده است (Cerdána, 2009; طهرانی، 1394).

جدول 1- میزان و مراحل مصرف مواد محرک رشد

نوع محصول	قبل از کاشت	جوانه زنی	اوایل رشد و قبل از تنش دمایی	اواسط رشد	بعد از برداشت
سبزی‌ها	بذر مال *	-	محلول پاشی **	محلول پاشی	-
محصولات زراعی (کلزا- گندم)	بذر مال	-	محلول پاشی یا مصرف خاکی ***	محلول پاشی یا مصرف خاکی	-
محصولات گلخانه‌ای	بذر مال	مصرف خاکی	مصرف خاکی	محلول پاشی	-

* محرک‌های رشد میکروبی اختصاصاً به صورت بذر مال استفاده شوند.

** غلظت 5/ درصد برای محلول پاشی استفاده شود.

*** 10-20 کیلوگرم در هکتار در آب آبیاری مصرف شود (Hemati et al., 2022).

در زمان ابری شدن هوا، وزش باد و احتمال ریزش باران نباید محلول پاشی نمود. مناسب‌ترین زمان محلول پاشی به دلیل باز بودن روزنه‌های گیاهی و افزایش راندمان نفوذ محلول به درون گیاه قبل از طلوع یا بعد از غروب آفتاب می‌باشد. در فصل بهار قبل از شروع سرما و با توجه به پیش‌بینی هوا یک تا سه روز قبل از ایجاد سرما مصرف گردد. مقدار مصرف این محصول بایستی به نحوی باشد که با محلول پاشی آن تمام قسمت‌های گیاه خیس شود.

نکات مفید برای مصرف کود به همراه کاربرد مواد محرک رشد گیاهی برای کاهش اثرات تنش دمایی در مزارع کلزا در کشور

الف) مناطق معتدل گرم تا گرم

با توجه به دوره فیزیولوژیکی رشد گیاه کلزا در این مناطق، موارد توصیه کودی برای سه مرحله رشد به حالت ترمیمی به صورت زیر خواهد بود:

الف) انتهای غنچه‌دهی تا 10 درصد گلدهی

ب) مرحله گلدهی

پ) مرحله خورجین‌دهی

الف) انتهای غنچه‌دهی تا 10 درصد گلدهی

1. در صورتی که در اثر سرما، گیاه به حالت پژمردگی نرسیده باشد می‌توان در این مرحله به‌جای مرحله آخر سرک، 50 کیلوگرم در هر هکتار کود اوره (ترجیحاً صد کیلوگرم سولفات آمونیم) همراه با 10 کیلوگرم در هر هکتار کلرور پتاسیم یا سولفات پتاسیم پودری و هفت کیلوگرم در هر هکتار اوره فسفات به همراه ترکیبات هیومات و هیومین (اسید هیومیک مایع، پنج لیتر در هر هکتار یا پودری، یک کیلوگرم در هر هکتار) و کود آلی مایع (15 لیتر در هر هکتار) به صورت کودآبیاری مصرف نمود.
2. محلول‌پاشی کود کامل میکرو حاوی روی و بور (1/5 لیتر در هکتار)، اسیدهای آمینه منفرد (دو لیتر در هکتار)، سیلیکات پتاسیم (دو لیتر در هکتار) و در صورت امکان عصاره جلبک دریایی حاوی آلژینات سدیم، آلژینات پتاسیم و آلژینات آمونیوم (2 لیتر در هکتار) و تکرار با فاصله 7 روز.

ملاحظات: کود کامل میکرو برای مناطق شور بدون بور در نظر گرفته شود.

ب) مرحله گلدهی

- در صورتی که خسارت سرما در قسمت گل‌ها مشهود باشد:
3. کودآبیاری 25 کیلوگرم در هکتار اوره یا 50 کیلوگرم سولفات آمونیم همراه با 10 کیلوگرم در هکتار کلرور پتاسیم یا سولفات پتاسیم پودری و 5 کیلوگرم در هکتار اوره فسفات به همراه ترکیبات هیومات و هیومین (اسید هیومیک مایع 5 لیتر در هکتار یا پودری یک کیلوگرم در هکتار) و کود آلی مایع (15 لیتر در هکتار).
 4. محلول‌پاشی کود کامل میکرو 1/5 لیتر در هکتار (حتماً محتوی روی و بور باشد) + اسیدهای آمینه به‌صورت منفرد یا در قالب فرمولاسیون‌های ترکیبی، با غلظت دو در هزار (0/2 درصد) مایع دو لیتر در هکتار + سیلیکات پتاسیم 2 لیتر در هکتار + عصاره جلبک دریایی حاوی آلژینات‌ها 2 لیتر در هکتار.
- ملاحظات: کود کلرور پتاسیم برای اراضی غیر شور استفاده شود و کود کامل میکرو برای مناطق شور بدون بور در نظر گرفته شود.

پ) ابتدای مرحله خورجین دهی

در این مرحله در صورت امکان محلول پاشی با کود کامل ماکرو (2 کیلوگرم در هکتار)، کود کامل میکرو (1 لیتر در هکتار)، اسیدهای آمینه مایع و عصاره جلبک دریایی حاوی آلژینات ها (2 لیتر در هکتار) توصیه می شود.

ملاحظات

- 1) با توجه به احتمال بروز تنش خشکی، آبیاری سبک در روزهایی که بر اساس پیش بینی سازمان هواشناسی کشور مصادف با بروز تنش سرمای شدید نباشد می تواند انجام گیرد. در هر حال باید توجه کرد که آبیاری ها در زمان بروز علائم بصری تنش خشکی انجام گیرد.
 - 2) پس از این که ارقام مناطق گرم، درجه روز رشد¹ لازم برای گذر به مراحل بعدی رشد را به دست آورند، مصرف حداکثر 50 کیلوگرم در هکتار اوره (در صورت امکان سولفات آمونیوم) به صورت کود آبیاری انجام شود. از مصرف زیاد کودهای نیتروژن در یک نوبت اجتناب گردد و سعی شود این کودها به صورت تقسیط بیشتر و به همراه کودهای پتاسیمی مصرف گردد (بعد از دی ماه).
 - 3) در فاصله 10 روز از مصرف کودهای نیتروژن، تنش سرمای شدید پیش بینی نشده باشد.
 - 4) در صورتی که در مرحله پیش کشت فسفر یا پتاسیم به مقدار کافی استفاده نشده باشد از ترکیبات حاوی فسفر و پتاسیم نظیر 5-25-25 یا 0-52-34 با روش کود آبیاری یا محلول پاشی استفاده گردد.
- موارد اشاره شده برای مزارعی است که امکان آبیاری در آن ها مقدور باشد. برای مزارع گرمسیر بدون امکان آبیاری، باید از برنامه کوددهی منطبق با بارندگی برای سرک و محلول پاشی استفاده نمود (Nourgholipour et al., 2022).

ب) مناطق معتدل سرد تا سرد

- 1- مصرف کود فسفر و پتاسیم پایه بر اساس آزمون خاک و در زمان کاشت انجام شود.
- 2- علاوه بر کودهای پایه کاربرد هیومات و هیومین ها (اسید هیومیک به میزان 5 کیلوگرم در هکتار در آب دوم) و محلول پاشی پتاسیم محلول حاوی روی و اسید آمینه در مرحله 5

¹ - GDD

- برگی انجام شود در مرحله خروج از روزت کاربرد اسید هیومیک به میزان 5 کیلوگرم در هکتار در آب آبیاری و محلول پاشی پتاسیم محلول حاوی روی و اسید آمینه انجام شود.
- 3- کود اوره بر اساس تقسیط به صورت 30 درصد آب دوم، 40 درصد در زمان خروج از روزت و 30 درصد در انتهای ساقه دهی مصرف گردد.
- 4- در زمان غنچه دهی علاوه بر کاربرد اوره در ترکیب با سولفات آمونیوم محلول پاشی جلبک دریایی حاوی آلژین ها نیز انجام شد.
- 5- عناصر کم مصرف در مرحله خروج از روزت و غنچه دهی به شکل محلول پاشی تأمین شود.
- 6- مقادیر توصیه عناصر غذایی هر مزرعه بر اساس روش مندرج در جدول 2 نشان داده شده است.

جدول 2- شرح عملیات کود دهی در مراحل مختلف رشد کلزا برای شرایط تنش سرما

(خودشناس و همکاران، 1401)

پیش از کشت	آبیاری دوم	4 تا 8 برگی	خروج از روزت و ابتدای ساقه دهی	غنچه دهی
100 % سوپر فسفات	30 % اوره + اسید هیومیک	محلول پاشی اسید آمینه * + محلول پاشی پتاسیم سه کیلوگرم در هکتار +	40 % اوره و سولفات آمونیوم + اسید هیومیک به میزان 5 کیلوگرم در هکتار + محلول پاشی اسید آمینه +	30 % اوره + محلول پاشی جلبک دریایی
تریپل + 100 % سولفات پتاس	به میزان 5 کیلوگرم در هکتار	محلول پاشی میکرو کامل + (کود فسفر بالا 10-52-10)	محلول پاشی پتاسیم + محلول پاشی میکرو کامل + (کود فسفر بالا 10-52)	

* غلظت 0/5 درصد برای محلول پاشی استفاده شود.

ملاحظات

- 1) در صورتی که کلزا در شرایط توقف رشد یا رشد اندک پس از روزت است از مصرف کودهای نیتروژن به دلیل افزایش خسارت تنش سرما اجتناب گردد. در صورتی که هنوز رشد ادامه دارد از کلور پتاسیم به صورت سرک (40-30 کیلوگرم در هکتار) در اراضی غیر شور استفاده گردد.

(2) محلول پاشی اسیدهای آمینه به صورت منفرد یا در قالب فرمولاسیون های ترکیبی به همراه سولفات پتاسیم یا سولوپتاس (هر یک با غلظت دو در هزار) در صورتی که مزرعه در شرایط مناسب رطوبتی قرار داشته باشد توصیه می گردد. سولفات موجود در این ترکیبات علاوه بر نقش تغذیه ای در کاهش اثرات تنش ها مؤثر خواهد بود. کودآبیاری ترکیبات هیومات و هیومین به میزان 20-10 کیلوگرم در هکتار در آب آبیاری قبل از سرمای پاییز و بهار نیز توصیه می شود.

(3) در صورتی که در مرحله پیش کشت فسفر و پتاسیم به مقدار کافی استفاده نشده باشد، از ترکیبات حاوی فسفر و پتاسیم نظیر 0-52-34 یا 5-25-25 حاوی یک درصد روی به همراه اسید آمینه با غلظت 2 در هزار (0/2 درصد)، با روش کودآبیاری یا محلول پاشی استفاده گردد.

(4) موارد اشاره شده برای مزارعی است که امکان آبیاری در آن ها مقدور باشد. برای مزارع سردسیر بدون امکان آبیاری، باید از برنامه کود دهی منطبق با بارندگی استفاده نمود. در زمان کاربرد کودهای توصیه شده دمای هوا زیر 15 درجه سانتی گراد نباشد و برای محلول پاشی دمای هوا حداقل بین 18 تا 20 درجه سانتی گراد باشد (Nourgholipour et al., 2024).

جدول 3- شرح عملیات کود دهی در مراحل مختلف رشد درختان میوه سردسیری برای مقابله با شرایط تنش سرما

زمستان	قبل از تورم جوانه ها	بعد از گلدهی و تشکیل میوه *	فندقی شدن میوه (دو ماه بعد)	بعد از برداشت میوه و خزان برگ ها
کود دامی پوسیده + 40 درصد کود نیتروژن دار +	اسید	30 درصد سولفات آمونیوم +	30 درصد سولفات	فروت ست شامل
سوپرفسفات تربیل، سولفات	هیومیک	محلول پاشی اسید آمینه،	آمونیم + اسید	نیتروژن، بور و روی
پتاسیم، گوگرد و عناصر میکرو	به صورت	فولویک اسید و عصاره	هیومیک به صورت	به صورت
بر اساس آزمون خاک و سن	کودآبیاری	جلبک دریایی	کود آبیاری	محلول پاشی
درخت به صورت چالکود				

• محلول پاشی 10-7 روز قبل از سرمازدگی براساس پیش بینی هواشناسی و 5-3 روز بعد از سرما برای بهبود سریع تر گیاه (Al-Saif et al., 2023).

جدول 4- توصیه کودی درختان زیتون جهت مقابله با سرمازدگی*

رشد شاخه‌های جدید	بعد از گلدهی	تشکیل اولیه میوه	رشد سریع میوه
40 درصد اوره یا نیترات آمونیوم، منوفسفات آمونیوم، سولو پتاس + اسید هیومیک به صورت کودآبیاری + محلول پاشی اسید آمینه و جلبک دریایی	30 درصد اوره یا نیترات آمونیوم، منوفسفات آمونیوم، سولو پتاس	30 درصد اوره یا نیترات آمونیوم + سولو پتاس + اسید هیومیک به صورت کود آبیاری + محلول پاشی میکرو	سولو پتاس + محلول پاشی میکرو و کود 20-20-20

• محصص مستشاری و همکاران، 1404.

منابع

- اسدی رحمانی، ه، خاوازی، ک، اصغرزاده، ا، رجالی، ف، و افشاری، م. 1391. کودهای زیستی در ایران: فرصت‌ها و چالش‌ها. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، 26(1 الف)، 77-87.
- مححص مستشاری، م، سلیمانی، ر، سیل‌سپور، م، و خودشناس، م.ع. 1404. شناسایی عوامل محدودکننده و مؤثر تغذیه‌ای عملکرد در باغات زیتون کشور. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
- مردانی اصل، ا، امیری، م. 1395. مدیریت سرما و یخ زدگی گیاهان زراعی و باغی. انتشارات سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی.
- خودشناس، م.ع. قدبیک‌لو، ج، و نورقلی‌پور، ف. 1401. تأثیر مواد محرک رشد گیاهی بر عملکرد و اجزا عملکرد کلزا. پژوهش‌های خاک 36: 225-241.
- طهرانی، م.م. 1394. مدیریت تغذیه گیاه گندم در شرایط تنش سرما. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
- غیبی، م.ن. 1397. اصول کاربردی تغذیه گیاه. نشر توانگران، تهران، ایران. 65 ص.
- Al-Saif, A.M., Sas-Paszt, L., Awad, R.M. and Mosa, W.F.A. 2023 Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Performance under Foliar Application of Humic Acid, Brassinosteroids, and Seaweed Extract. Horticulturae, 9, 519. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040519>
- Alam, M. Z., Braun, G., Norrie, J. and Hodges, D. M. 2013. Effect of Ascophyllum extract application on plant growth, fruit yield and soil microbial communities of strawberry. Can. J. Plant Sci. 93:23-36
- Bhattacharya, S., Khatri, A., Swanger, S. A., DiRaddo, J. O., Yi, F. and Hansen, K. B. 2018. Triheteromeric GluN1/GluN2A/ GluN2C NMDARs with unique single-channel properties are the dominant receptor population in cerebellar granule cells. Neuron, 99, 315-328.
- Bulgari, R., Cocetta, G. Trivellini, A. Vernieri, P., and Ferrante, A. 2015. Biostimulants and crop responses: a review. Biological Agriculture & Horticulture, 31: 1-17.
- Calvo, P., Nelson, L. And Kloepper, J.W., 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant and soil, 383(1), pp.3-41.
- Cerdána, M., Sánchez-Sánchez, A., Oliver, M. and Sánchez- Andreu J. 2009. Effect of foliar and root applications of amino acids on iron uptake by tomato plants. Acta Hort. 830: 481-488.
- Chemistry 377:1047-1059

- Colla, G., Rouphael, Y. Canaguier, R. Svecova, E. and Cardarelli, M. 2014. Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. *Frontiers in Plant Science* 5: 1–6.
- Craigie, J.S. 2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *J. Appl. Phycol.* 23, 371–393.
- Du Jardin, P., 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* 196:3-14.
- Ertani, A., Cavani, L. Pizzeghello, D. Brandellero, E. Altissimo, A. Ciavatta, C. and Nardi, S. 2009. Biostimulant activity of two protein hydrolyzates in the growth and nitrogen metabolism of maize seedlings. *Journal of plant nutrition and soil science* 172:237-244.
- Evelin, H., Kapoor, R., and Giri, B. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. *Annals of botany*, 104(7), 1263-1280.
- Fan, D., Hodges, D. M. Critchley, A. T. and Prithiviraj, B. 2013. A commercial extract of brown macroalgae (*Ascophyllum nodosum*) affects yield and the nutritional quality of spinach in vitro. *Commun Soil Sci Plant Anal* 44:1873–1884
- FAO. 2018. Plant growth regulators (item). FAO statistics. [Http://www.fao.org/faostat/en/?#search/Plant-Growth%20Regulator](http://www.fao.org/faostat/en/?#search/Plant-Growth%20Regulator).
- FAO. 2023. The impact of disasters on agriculture and food security: first-ever global estimation. FAO. Available at: <https://www.fao.org/newsroom/detail/first-ever-global-estimation-of-the-impact-of-disasters-on-agriculture/en>.
- Gaveliene, V., Pakalniskyte, L., Novickiene, L. 2015. Impact of regulators with amino acids for winter plants freezing tolerance. *Acta Physiol. Plant.* 38:17
- Gavito, M. E., Olsson, P. A., Rouhier, H., Medina-Peñafiel, A., Jakobsen, I., Bago, A. and Azcón-Aguilar, C. 2005. Temperature constraints on the growth and functioning of root organ cultures with arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 168(1), 179-188.
- González A., Castro, J. Vera, J. and Moenne, A. 2013. Seaweed oligosaccharides stimulate plant growth by enhancing carbon and nitrogen assimilation, basal metabolism, and cell division. *J. Plant Growth Regul* 32:443–448
- Halpern, M., Bar-Tal, A., Ofek, M., Minz, D. Muller, T. and Yermiyahu, U. 2015. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. Pp. 141–174, Vol. 129. In: D.L. Sparks, (Ed.), *Advances in Agronomy*.
- Hemati A., Alikhani, H. A. Mehd.i Babaei, B. Asgari L. and Van Hullebusch, E. D. 2022. Effects of foliar application of humic acid extracts and indole acetic acid on important growth indices of canola (*Brassica napus* L.). *Scientific Reports*, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21997-5>.
- Hifney, A.F., Fawzy, M.A., Abdel-Gawad, K.M. and Gomaa, M. 2018. Upgrading the antioxidant properties of fucoidan and alginate from *Cystoseira trinodis* by fungal

- fermentation or enzymatic pretreatment of the seaweed biomass. Food Chemistry, 269, pp387–395.
- Jannin, L., Arkoun, M. and Etienne, P. 2013. Brassica napus growth is promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. Seaweed extract: microarray analysis and physiological characterization of N, C, and S metabolisms. J Plant Growth Regul 32:31–52.
- Khan, W., Palanisamy, R. Critchley, A. T. Smith, D. L. Papadopoulos, Y. and Prithiviraj, A. T. .2013. *Ascophyllum nodosum* extract and its organic fractions stimulate rhizobium root nodulation and growth of *Medicago sativa* (Alfalfa). Commun Soil Sci Plant Anal 44:900–908
- Khan, W., Rayirath, U. P. Subramanian, S. Jithesh, M. N. Rayorath, P. Hodges, D. M. Critchley, A. T. Craigie, J. S. Norrie, J. and Prithiviraj, B. 2009. Seaweed extracts asbiostimulants of plant growth and development. J. Plant Growth Regul. 28,386–399.
- Kim, N. H., Kim, B. S. and Hwang, B. K. 2013. Pepper arginine decarboxylase is required for polyamine and c-aminobutyric acid signaling in cell death and defense response. Plant Physiology,162, 2067–2083.
- Lea, P.J., Sodek, L. Parry, M.A.J. Shewry, P.R. and Halford, N.G. 2006. Asparagine in plants. Annals of Applied Biology 150:1–26.
- Lenoir, I., Fontaine, J. and Sahraoui, A. L. H. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses: a review. Phytochemistry, 123, 4-15.
- Leslaw B. Lahuta, Ciak, M. szablińska, J. .2015. Metabolite prolif of pea seedlings under cold stress. Acta Physiol Plant.38:17
- Markowska, K. Dziurka, E. and Kostecka-Guga, M. 2012. The effect of cold hardening of winter rape on activity of antioxidative system. Book of abstracts. 9th international Conference. Plant functioning under environmental stress. September 12-15, 2012 Cracow Poland.
- Marschner, H. 2011. mineral nutrition of higher plants. Academic press.London.
- Matysiak, K. , Kierzek, R. Siatkowski , I. Kowalska, J. Krawczyk , R. and Miziniak, W.2020. Effect of exogenous application of amino acids L-Arginine and Glycine on maize under temperature Stress. Agronomy, 10, 769; doi:10.3390/agronomy10060769.
- Nardi, S., Pizzeghello, D. Schiavon, M. and Ertani, A. 2016. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. Scientia Agricola 73: 8-23.
- Nayyar, H., Kaur, R., Kaur, S and Singh, R. 2014. C-Aminobutyric acid (GABA) imparts partial protection from heat stress injury to rice seedlings by improving leaf turgor and upregulating osmoprotectants and antioxidants. Journal of Plant Growth Regulation, 33, 408–419.

- Nehra, A. 2024. Status of impact of abiotic stresses on global agriculture. In: *Nanotechnology for Abiotic Stress Tolerance and Management in Crop Plants*, Elsevier, pp. 1–21. Doi:10.1016/B978-0-443-18500-7.00001-6.
- Nourgholipour, F. Khodshenas, M.A., Tohidlou, S. And Ghabbeyklou, J. 2024. Effects of Biostimulants on Cold Stress in Late Sowing of Rape (*Brassica napus* ssp. *Oleifera* L.) Under Arak Province Conditions in Iran *J. Agric. Food, Environ. Anim. Sci.* 5(2): 117-136.
- Nourgholipour, F., Tohidlu, S. Jafarnejadi, A. Mohammadnejad, Y. Mirzashahi, K. Ghaderi, J. Arzanesh, M. H. Passandideh, M. Bybordi, A. Montajabi, N. Zolfibavariani, M. Keshavarz, P. Seilsepour, M. Asadi, A. Izadi, P. Sedighi, S. Davatgar, N. Mohajer, A. Dadivar, M. Hoseini. 2022. Comparison of farmer-specific fertilization method and the recommended combined fertilization in parts of Iran. *Land Management Journal*, 10(2): 209-220. Doi: 10.22092/lmj.2022.127564 (in Persian with English abstract).
- Piccolo, A., and M. Spiteller. 2003. Electro spray ionization mass spectrometry of terrestrial humic substances and their size fractions. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 377:1047–1059.
- Priya, M., Sharma, L., Kaur, R., Bindumadhava, H., Nair, R. M., Siddique, K. H. M. 2019. GABA (c-aminobutyric acid), as a thermo-protectant, to improve the reproductive function of heat-stressed mungbean plants. *Scientific Reports*, 9, 1–14.
- Schudel, S., Prawiranto, k. and Defraeye, T. 2021. Comparison of freezing and convective dehydrofreezing of vegetables for reducing cell damage. *Journal of Food Engineering*. 293. 110376. 10.1016/j.jfoodeng.2020.110376.
- Storer, K., Kendall, s. White, C. Roques, S. and Berry, P. 2016. A review of the function, efficacy and value of biostimulant products available for UK cereals and oilseeds. *Research Review* No. 89 .
- Terenzio, D. 2015. Humofolates: New Highly Eco-Sustainable Polivalent Biostimulants for Agriculture. The 2nd World Congress on the use of Biostimulants in Agriculture. Monday 16th - Thursday 19th November, Florence Convention Centre, Italy.
- Theocharis, A . Christophe, C. and Barka, P. 2012. Physiological and molecular changes in plants at low temperatures. *Planta*. 235. 1091-105. 10.1007/s00425-012-1641-y.
- Thurman E. M. 1985. Humic substances in groundwater *Humic Substances in Soil, Sediment, and, Water* ed G R Aiken, D M mcknight, R L Wershaw and P macCarthy (New York: Wiley) pp 87–103
- UNISDR .2005. National Report of the Islamic Republic of Iran on Disaster Reduction. World Conference on Disaster Reduction, Kobe, Japan. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR)

- Wahid, A., Gelani, S. Ashraf, M. Foolad, M.R. 2007. Heat tolerance in plants: An overview, *Environmental and Experimental Botany*. Volume 61, Issue 3. Pages 199-223, ISSN 0098-8472.
- Wally, O. S. D., Critchley, A. T. Hiltz, D. Craigie, J. S. Han, X. Zaharia, L. I. Abrams, S. R. and Prithiviraj, B. 2013a. Regulation of phytohormone biosynthesis and accumulation in *Arabidopsis* Following treatment with commercial extract from the marine macroalga *ascophyllum nodosum*. *J. Plant Growth Regul.* 32, 324–339.
- Wu, C.C., Singh, P. Chen, M.C. and Zimmerli, L. 2010. L-Glutamine inhibits beta-amino butyric acid-induced stress resistance and priming in *Arabidopsis*. *Journal of experimental botany* 61:995–1002.
- Zhang X. and Ervin, E.H. 2008. Impact of seaweed extract-based cytokinins and zeatin riboside on creeping bentgrass heat tolerance. *Crop Sci.* 48: 364-370.
- Zhang, D., Ren, L., Chen, G. Q., Zhang, J., Reed, B. M. and Shen, X. H. 2015. ROS-induced oxidative stress and apoptosis-like event directly affect the cell viability of cryopreserved embryogenic callus in *Agapanthus praecox*. *Plant cell reports*, 34, 1499-1513.
- Zhu, J.H, Chen, C.L, Flavahan, S. Harr, J. Su, B, Flavahan, N.A. 2011. Cyclic stretch stimulates vascular smooth muscle cell alignment by redox-dependent activation of Notch3. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 300(5):H1770-780. Doi: 10.1152/ajpheart.00535.2010. Epub 2010 Dec 17. PMID: 21169401; PMCID: PMC3094076.
- Zhu, X. C., Song, F. B., and Xu, H. W. 2010a. Arbuscular mycorrhizae improves low temperature stress in maize via alterations in host water status and photosynthesis. *Plant and Soil*, 331, 129-137.
- Zhu, X., Song, F., and Xu, H. 2010b. Influence of arbuscular mycorrhiza on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activity of maize plants under temperature stress. *Mycorrhiza*, 20, 325-332.

تصاویر پیوست



شکل 5- خسارت سرمازدگی در مراحل مختلف محصولات باغی سیب و آلو



شکل 6- خسارت سرمازدگی بر روی کلزا در مرحله رزت



شکل 7- تنش سرما در منطقه قم سال 1402



شکل 8- تنش سرما در مرحله گلدهی



شکل 9- سرمزدگی در مرحله گلدهی کلزا در منطقه کرج (فروردین ماه 1397)



شکل 10 - شروع رشد جوانه انتهایی پس از سرما



Islamic Republic of Iran



Ministry of Agriculture - Jihad
Agricultural Research, Education & Extension Organization
Soil & Water Research Institute (SWRI)



Application of plant growth stimulants to reduce cold stress in plants

Authors

**Mohammad Ali Khodashenas
Javad Ghadbeiklou
Fereydoun Nourgholi pour
Rahim Matlabi Fard
Alireza Tavassoli**

Register No: 680

2026