



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

انواع و روش‌های کاربرد مواد محرک رشد گیاه در شرایط تنش کم آبی

نگارندگان

رضا سلیمانی، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام
فریدون نورقلی پور، عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

نشریه فنی: 658

1404

مشخصات اثر

عنوان: انواع و روش‌های کاربرد مواد محرک رشد گیاه در شرایط تنش کم‌آبی

نگارندگان: رضا سلیمانی و فریدون نورقلی‌پور

ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات اسرار علم

کارشناس انتشارات: سمانه پورمنصور

ویراستار ادبی: آرش تافته

طراح جلد: سید هادی میرغیائی

سال انتشار: 1404

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این نشریه با شماره 68261 در تاریخ 1404/8/12 در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به

ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین‌دشت، 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.

پیشگفتار

گیاهان زراعی و باغی در سطح گسترده‌ای از زمین‌های کشاورزی، دچار تنش کم‌آبی هستند. تنش کم‌آبی بر جنبه‌های مختلف رشد گیاه اثرگذار بوده و سبب کاهش و به تأخیر افتادن جوانه‌زنی، کاهش توسعه اندام‌های هوایی و کاهش تولید ماده خشک می‌شود. اطلاع از سازوکارهای گیاهان در مواجهه با تنش‌های محیطی از جمله کم‌آبی می‌تواند در کاربرد نوع و زمان کاربرد مواد محرک رشد کمک‌کننده باشد. عوامل به-زراعی، نقش موثری در تولید محصولات کشاورزی برعهده دارند. در بین این عوامل، تغذیه بهینه دارای اهمیت زیادی در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی در شرایط تنش کم‌آبی دارد. در کنار کودهای شیمیایی لازم است از مواد دیگری که رشد گیاه را در این شرایط افزایش دهند نیز استفاده گردد. راهنمای پیش رو برای مدیریت بهتر تغذیه گیاهان زراعی و باغی در شرایط تنش کم‌آبی با کاربرد مواد محرک رشد ارائه شده است. لزوم مدیریت کاربرد مواد محرک رشد بر اساس مراحل فنولوژیکی رشد گیاه انکارناپذیر است که در این نوشته به این موضوع نیز پرداخته شده است. محققین در مناطق مختلف کشور و جهان، کاربرد مواد محرک رشد در شرایط مختلف تنش‌های محیطی از جمله تنش کم‌آبی را بررسی کرده‌اند. در این راستا محققین در موسسه تحقیقات خاک و آب نیز نقش ارزنده‌ای در بهینه‌سازی کاربرد مواد محرک رشد در شرایط تنش‌های محیطی و به ویژه در شرایط تنش کم‌آبی داشته‌اند که جا دارد از زحمات این عزیزان تشکر و قدردانی گردد. همچنین از همکاران ارجمند در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام و مؤسسه تحقیقات خاک و آب که در تهیه این نوشتار مشارکت و همراهی داشتند کمال تشکر را داریم.

فهرست مطالب

1.....	مقدمه
1.....	تنش کم آبی
2.....	اثرات تنش کم آبی بر تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان
4.....	مکانیسم‌های سازگاری گیاهان به تنش کم آبی
4.....	اثرات کاربرد مواد محرک رشد در کاهش اثرات تنش کم آبی
6.....	لزوم کاربرد مواد محرک رشد
6.....	اسید هیومیک
9.....	اثرات مواد هیومیکی بر کارایی عناصر غذایی
10.....	بهبود ساختمان و شرایط فیزیکی خاک توسط مواد هیومیکی
10.....	اثر هیومیک اسید بر گیاهان زراعی در شرایط تنش کم آبی
11.....	اثر هیومیک اسید بر گیاهان باغی در شرایط تنش کم آبی
13.....	روش‌های کاربرد هیومیک اسید
13.....	نحوه استفاده از کود اسید هیومیک در کودآبیاری
14.....	نحوه استفاده از کود اسید هیومیک در چال کود
14.....	نحوه استفاده از کود اسید هیومیک در بذر مال
15.....	بهترین مراحل استفاده از هیومیک اسید باهدف افزایش عملکرد دانه
15.....	بهترین مراحل استفاده از هیومیک اسید باهدف افزایش عملکرد غده
15.....	بهترین مراحل استفاده از اسید هیومیک برای کشت باهدف برداشت اندام رویشی
15.....	بهترین مراحل استفاده از اسید هیومیک برای کشت باهدف برداشت گل
16.....	بهترین مراحل استفاده از کود اسید هیومیک با هدف افزایش عملکرد میوه (جالیزی و صیفی)
16.....	مقدار مصرف هیومیک اسید برای باغات
16.....	اسیدآمینه
18.....	نقش اسیدهای آمینه مهم در گیاهان
22.....	اثر اسیدآمینه بر گیاهان زراعی در شرایط تنش کم آبی
23.....	گرده‌افشانی و تشکیل میوه

25.....	اثر اسیدآزمینه بر گیاهان باغی در شرایط تنش کم آبی
25.....	روش های کاربرد اسیدآزمینه
26.....	فولویک اسید
26.....	انواع فولویک اسید
28.....	اثر فولویک اسید بر گیاهان زراعی در شرایط تنش کم آبی
29.....	اثر فولویک اسید بر گیاهان باغی در شرایط تنش کم آبی
30.....	نحوه مصرف فولویک اسید
30.....	تقویت کودها با اسید فولویک
30.....	جلبک دریایی
33.....	اثر جلبک دریایی بر گیاهان زراعی در شرایط تنش کم آبی
35.....	نحوه کاربرد جلبک دریایی
36.....	ریز موجودات محرک رشد گیاه
40.....	نقش باکتری های محرک رشد در شرایط تنش کم آبی
40.....	نحوه کاربرد مواد محرک رشد زیستی
41.....	مواد محرک رشد با فرمولاسیون جامد
41.....	مواد محرک رشد با فرمولاسیون مایع
42.....	تحقیقات انجام شده در مورد توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب در سال های اخیر
47.....	نتیجه گیری
49.....	توصیه ها
50.....	منابع مورد استفاده

مقدمه

تنش کم‌آبی

تنش کم‌آبی مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان زراعی و باغی در بیشتر مناطق کشور محسوب می‌گردد (میری و همکاران، 1395) (شکل 1). دوره خشک در اثر کمبود آب قابل استفاده در طول یک دوره زمانی مشخص ایجاد می‌شود. شدت آسیب‌های ناشی از دوره خشک، به عوامل زیادی بستگی دارد. از جمله این عوامل می‌توان به طول دوره‌ای که کمبود بارندگی روی داده و مقدار عرضه و تقاضای آب اشاره کرد. اثرات تنش کم‌آبی زمانی بروز می‌کند که ترکیبی از عوامل فیزیکی و محیطی سبب ایجاد تنش شده و بر فیزیولوژی گیاه و در نتیجه تولید اثرگذار باشد. مقدار کم بارش و پراکنش نامنظم آن، موجب بروز تنش کم‌آبی در طول دوره رشد گیاهان زراعی می‌گردد. کمبود یا تنش رطوبتی هنگامی افزایش می‌یابد که تبخیر و تعرق پتانسیل از توانایی ریشه‌ها برای استخراج آب از خاک (تبخیر و تعرق واقعی) بیشتر شود (Puertolas and Dad, 2022). در واقع تنش کم‌آبی فراتر از کاهش آب در دسترس بوده و شامل کم‌شدن رطوبت هوا و افزایش درجه حرارت نیز می‌شود. در نتیجه، تنش کم‌آبی با کاهش سطح برگ، انسداد روزنه‌ها، کاهش فعالیت‌های پروتوپلاسمی و تثبیت گاز کربنیک، کاهش تولید پروتئین و نیز کاهش غلظت کلروفیل برگ سبب کاهش فرآیند فتوسنتز می‌گردد (سرخ‌ی و فاتح، 1398).



شکل 1- تنش کم‌آبی در مزرعه ذرت

اثرات تنش کم‌آبی بر تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان

تنش کم‌آبی بر تغییرات هورمونی و فیزیولوژیکی اثر گذاشته به‌طوری‌که صدمات اکسیداتیو که از عوامل مهم محدودکننده رشد و تولید محصولات بوده، در اثر تنش کم‌آبی تشدید می‌شود (Batool et al., 2020). صدمات اکسیداتیو، اختلال در تعادل بین تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سازوکار دفاعی برطرف‌کننده این رادیکال‌ها بوده و منجر به تغییر و تخریب پروتئین‌ها، لیپیدهای غشائی و سایر اجزای سلولی می‌گردد (Suman et al., 2021). گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS^1) که عامل مهمی در القای تنش کم‌آبی هستند، شکل‌هایی از اکسیژن اتمسفری هستند که تا حدودی احیا شده‌اند. بر خلاف اکسیژن اتمسفری، گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر، دارای توانایی نامحدود در اکسیداسیون اجزای سلولی مختلف بوده و می‌تواند منجر به تخریب اکسیداتیو سلول گردد (Sinenko et al., 2021). نتایج تحقیقات نشان داده است که صدمات اکسیداتیو از عوامل مهم محدودکننده رشد و تولیدات گیاهی بوده که در اثر عدم وجود شرایط مناسب آبی ایجاد می‌شود. بیشترین صدمه در گیاهان به‌وسیله در معرض تنش بودن یا صدمه اکسیداتیو در سطح سلول همراه است (Garcia-Caparrós et al., 2021). گیاهان در پاسخ به تنش کم‌آبی برای ازبین‌بردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن از خاصیت محافظتی کارتنوئیدها بهره می‌برند و بالابودن نشت الکترولیتی نیز نشانگر آسیب‌های غشایی است که در حین تنش به گیاه وارد می‌شوند (Seliman et al., 2021). بالا نگه‌داشتن میزان کارتنوئیدها به‌عنوان یکی از روش‌های ازبین‌برنده رادیکال آزاد اکسیژن می‌تواند سبب جلوگیری از آسیب به غشا شده و در نهایت کاهش نشت الکترولیتی را در پی خواهد داشت (Zhang et al., 2021). گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر در نتیجه تنش کم‌آبی، سبب بروز صدماتی همچون اکسیدشدن لیپیدها شده و در نتیجه منجر به تغییر ساختار غشا و در نتیجه ازهم‌پاشیدگی یکپارچگی آن می‌شود. پیامد این تغییرات، تغییر ساختمان پروتئین‌ها و اکسیدشدن گروه‌های سولفیدریل ($-SH$)، غیرفعال‌شدن آنزیم‌ها، بی‌رنگ شدن و یا ازبین‌رفتن رنگدانه‌هایی مانند کلروفیل و سایر ترکیبات رنگیزه‌ای و گسیختگی مداوم مولکول‌های آلی مثل DNA و در نتیجه اختلال در رشته‌های DNA و در واقع مرگ

¹ - Reactive Oxygen Species

برنامه‌ریزی شده سلول¹ ذکر شده است (مهیت، 2013)؛ بنابراین در فرایند تحمل به تنش کم‌آبی در گیاهان، بایستی این گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر مهار گردند. در شرایط تنش کم‌آبی، روزنه‌ها در گیاه بسته می‌شوند و به دنبال آن غلظت CO_2 در بافت مزوفیل کاهش می‌یابد. سپس وضعیت واکنش‌های تاریکی فتوسنتز مختل شده و محصولات حاصل از واکنش‌های روشنایی که شامل ATP، NADPH است، مصرف نمی‌شوند. در چنین شرایطی، به دلیل عدم اکسیدشدن مولکول NADPH، مصرف NADP^+ جهت دریافت الکترون کاهش می‌یابد، بنابراین مولکول اکسیژن در مسیر زنجیره انتقال الکترون به‌عنوان پذیرنده الکترون عمل می‌کند و منجر به شکل‌گیری رادیکال سوپر اکسید (O_2^-)، پر اکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال هیدروکسیل ($\text{OH}^\cdot$) می‌گردد (Benko et al., 2022). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجاد شده، دارای سیستم دفاعی با کارایی بالایی هستند که می‌تواند رادیکال‌های آزاد را از بین برده و یا خنثی کنند. این سیستم دفاعی شامل سیستم آنزیمی از جمله آنزیم‌های سوپر اکسید دسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، آسکوربات پر اکسیداز (APX) و گلوتاتیون ردوکتاز (GR) است و سیستم غیر آنزیمی شامل اسکوربات، کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها، مانیتول‌ها و پلی‌فنل‌ها می‌باشد (Fujita and Hasanuzzaman, 2022) از طرفی تنش کم‌آبی نیز فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز و سوپر اکسید دسموتاز را افزایش می‌دهد. پایداری غشای سلولی در شرایط تنش رطوبتی به‌عنوان یک جزء اصلی تحمل به خشکی گزارش شده است. تنش کم‌آبی با صدمه زدن به غشاهای سلولی موجب کاهش پایداری غشاء سلولی می‌شود (سید شریفی و نریمانی، 1400). حفظ غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک می‌کند. کاهش تولید کلروفیل‌ها از مهمترین اثرات تنش کم‌آبی بر گیاهان است (Ma et al., 2020). این محققین اظهار داشتند که تنش کم‌آبی سبب کاهش بیشتر در مقدار آب نسبی گردید. برخی از فعالیت‌های فیزیولوژیکی متأثر از تنش کم‌آبی در گیاهان از جمله افزایش فعالیت‌های آنتی اکسیدانی، کلروفیل و جریان یون‌های بین سلولی با کاربرد مواد محرک رشد تغییر می‌یابند (Rouphael and Colla, 2020).

¹ - Programmed Cell Death

مکانیسم‌های سازگاری گیاهان به تنش کم‌آبی

تنش کم‌آبی در سه مرحله مهم از رشد زایشی اثرات شدیدتری می‌گذارد. این مراحل عبارت‌اند از: الف) پیدایش و تشکیل گل، ب) گرده افشانی و لقاح و ج) تشکیل دانه (Sinha *et al.*, 2021).

در مرحله زایشی، گیاه حساسیت بالایی به تنش کم‌آبی دارد. دلایل زیادی وجود دارد که تنش کم‌آبی از میزان ظهور سلول‌های بنیادی گل جلوگیری می‌کند. با رفع تنش کم‌آبی، سلول‌های بنیادی در مقایسه با گیاهان آبیاری شده با سرعت بیشتری تشکیل می‌گردند. تنش در مرحله گرده‌افشانی و لقاح، تعداد دانه‌ها را به علت کاهش زنده‌مانی دانه‌های گرده، کاهش می‌دهد. به علاوه، تنش کم‌آبی، رشد دانه‌های گرده و رشد لوله گرده در خامه و بافت تخمدان و تخمک را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین، پژمردگی کلالة، مانع رشد لوله گرده می‌شود. اثر تنش کم‌آبی در مرحله پر شدن دانه‌ها بسیار حائز اهمیت است، چون عملکرد بالقوه بستگی به وزن و تعداد دانه دارد که این امر مستلزم گرده‌افشانی کامل و تجمع مواد فتوسنتزی در دانه می‌باشد. مواد جمع‌شونده در دانه‌ها از طریق فتوسنتز در خود دانه و انتقال مواد غذایی از سایر قسمت‌های گیاه به دانه تأمین می‌شود. یکی از تغییرات فیزیولوژیکی که به هنگام تنش کم‌آبی ممکن است روی دهد، تنظیم فشار اسمزی است. هر نوع افزایش در فشار اسمزی سلول ناشی از تنش کم‌آبی، به حفظ حالت تورژسانس کمک می‌کند و در حقیقت تغییرات کم در وضعیت تورژسانس گیاه متحمل، عاملی است که تنش کم‌آبی از طریق آن، متابولیسم گیاه را متأثر می‌سازد (Demicheli *et al.*, 2023).

اثرات کاربرد مواد محرک رشد در کاهش اثرات تنش کم‌آبی

استفاده از ترکیباتی که بتوان آن‌ها را در تلفیق با کودهای شیمیایی مورد استفاده قرارداد و یا به عنوان جایگزین بخشی از کودهای شیمیایی قلمداد کرد همواره جزء نیازهای کاربردی در مدیریت کشت و کار محسوب می‌گردد (Qasim *et al.*, 2021). یک راهکار مهم برای غلبه گیاهان بر تنش کم‌آبی، تحریک گیاهان به ایجاد یک سیستم ریشه قوی و همچنین راندمان بالای جذب عناصر غذایی است (Siddiqui *et al.*, 2021). یکی از مزایای کاربرد مواد محرک رشد و هم‌زیستی ریز جانداران مفید با گیاهان در شرایط تنش، تولید

هورمون‌های محرک رشد گیاه نظیر اکسین، جیبرلین، سیتوکینین و ترشح مواد زیستی فعال مانند اسیدنیکوتینیک، اسیدپنتوتینیک و بیوتین، توسعه سیستم ریشه‌ای، بهبود جذب آب و عناصر غذایی می‌باشد (Ouf et al., 2023). جنبه بعد، اثر مثبت مواد محرک رشد بر گسترش و ترکیب جوامع زیستی خاک و نیز تشدید فعالیت‌های متابولیکی در داخل خاک و بافت گیاهان است. استفاده از مواد محرک رشد و استفاده از پتانسیل ریز جانداران خاک، راهکاری پایدار برای چیره‌شدن بر برخی از مشکلات ناشی از هدر روی عناصر غذایی و کاهش عملکرد در زیست‌بوم‌های فعلی است. اثر کاربرد مواد محرک رشد در شرایط تنش کم‌آبی به‌شدت تنش بستگی دارد. اطلاع از سازوکارهای گیاهان در مواجهه با تنش کم‌آبی می‌تواند در کاربرد نوع و زمان کاربرد مواد محرک رشد کمک‌کننده باشد. اثر مواد محرک رشد گیاهی در توزیع مواد حاصل از فتوسنتز (آسیمیلات) در مدت مشخص در شاخ‌وبرگ و پنجه‌ها به مراتب بیش از ریشه‌ها منعکس می‌شود، به‌ویژه این که سرعت جذب برخی از عناصر غذایی پس از گلدهی کاهش می‌یابد. همچنین مواد محرک رشد همچنین با تأثیر بر تولید اتیلن و اکسین بر رشد گیاه در شرایط تنش کم‌آبی اثرگذار هستند (جدول 1).

جدول 1- اثرات کاربرد مواد محرک رشد بر گیاه و خاک در شرایط تنش کم‌آبی
(Farooqi et al., 2020)

اندام هوایی گیاه	ریشه گیاه	خاک
جوانه‌زنی	تحریک رشد ریشه	افزایش نفوذپذیری آب در خاک
بهبود شرایط فیزیولوژیکی	بهبود معماری ریشه	افزایش ظرفیت نگهداشت آب و عناصر غذایی در خاک
ارتقا بهره‌وری آب در دسترس	توسعه ریشه‌چه و ریشه‌ها	بهبود فعالیت‌های زیستی خاک
افزایش تحمل به تنش‌های محیطی (از جمله خشکی) و کاهش اتیلن حاصل از تنش	نفوذ ریشه در خاک	افزایش قابلیت جذب عناصر

لزوم کاربرد مواد محرک رشد

مواد محرک رشد، ترکیبات فعال زیستی حاصل از مواد آلی یا معدنی و موجودات زنده با ویژگی تحریک رشد گیاه از طریق افزایش جذب عناصر غذایی، تحمل به تنش‌های محیطی و سایر فعالیت‌های زیستی و همچنین بهبوددهنده کیفیت محصولات زراعی و باغی هستند (Stirk et al., 2021). کشت‌های متراکم و بدون رعایت اصول تناوب زراعی همراه با مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی، موجب افزایش مصرف انرژی، کاهش کارایی نهاده‌ها و آسیب‌های زیست‌محیطی می‌گردد. در کشاورزی پایدار، به‌منظور افزایش عملکرد گیاه با کمترین کاهش آسیب‌های وارد شده به محیط‌زیست، استفاده از نهاده‌هایی با منشأ طبیعی موردتوجه بیشتری قرار گرفته است. امروزه مواد محرک رشد گیاه در حکم عوامل بیوشیمیایی مفیدی تلقی می‌شوند که بر فیزیولوژی رشد گیاهان اثرگذار بوده و گیاهان را در راستای مصرف کارآمدتر عناصر غذایی و رسیدن به پتانسیل‌های ژنتیکی یاری می‌دهند. علاوه بر اثرات ریز جانداران خاک بر تحریک رشد گیاهان، مهم‌ترین مواد محرک رشد شامل اسید هیومیک، اسیدآمینه، اسید فولویک و جلبک دریایی می‌باشد. اگرچه مواد محرک رشد بسیار متنوع با منشأ مختلف وجود دارد.

اسید هیومیک

در خاک‌ها، اسید هیومیک جزئی از ساختار مواد آلی محسوب می‌گردد (Burdukovskii et al., 2021). امروزه مشخص شده است که اجزای تشکیل‌دهنده مواد هیومیکی، بیشتر به‌وسیله پیوندهای هیدروژنی و واکنش‌های آب‌گریز به هم متصلند. مواد هیومیکی علاوه بر خاک‌ها از منابع مختلفی می‌تواند استخراج شوند که شامل لئوناردیت (Meng et al., 2021)، ورمی کمپوست و کرم‌های خاکی (Lopez et al., 2021)، مواد دفعی و ته نشست‌های آلی (Chen et al., 2023) و پیت (Niewes et al., 2023) می‌باشند. این مواد از راه‌های مختلف می‌تواند برای گیاهان مورد استفاده قرار گیرد از جمله با کاربرد در آب آبیاری (Wang et al., 2022)، بذر مال و کاربرد مستقیم در خاک (Weerasekara et al., 2022). اسید هیومیک عناصر غذایی را کلاته می‌کند و سبب جذب تدریجی آن‌ها توسط گیاه می‌شود، علاوه بر این، سبب تحریک فعالیت‌های زیستی و حفظ آب در خاک

شده، تراوایی دیواره سلولی و رشد ریشه را افزایش می‌دهد (Rashad et al., 2022). مولکول‌های اسید هیومیک با پیوند به مولکول‌های آب تا حد زیادی مانع تبخیر آب می‌گردند (Sayarer et al., 2023). تلفیق کلونیدهای معدنی و مواد هیومیکی، همراه با برهمکنش‌ها و پیوندهای شیمیایی بین آن‌ها سبب پایداری ساختمان در خاک شده و در نهایت بر رشد ریشه و اندام هوایی مؤثر است (جدول 2).

جدول 2- اثر هیومیک اسید بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه

منبع	اثر هیومیک اسید بر گیاه
نصیری، 1401	اسید هیومیک با تأثیر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و همچنین با قدرت کلات‌کنندگی، افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش محتوی نیتروژن سبب افزایش رشد و ارتفاع گیاه دارویی همیشه‌بهار (<i>Calendula officinalis</i> L.) گردید.
رضا صفت عربانی و همکاران، 1399	اثرات اسید آمینه و هیومیک اسید بر کلروفیل کل، فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز، فسفر و پتاسیم در جعفری آفریقایی (<i>Tagetes erecta</i> L.) معنی‌دار شد. تیمار ترکیبی مواد محرک رشد مناسب‌ترین تیمار جهت کاهش آثار سوء ناشی از تنش به‌ویژه تنش 40 درصد ظرفیت زراعی روی گیاه جعفری آفریقایی بود.
موسوی و همکاران، 1399	کاربرد 10 لیتر در هکتار اسید هیومیک سبب افزایش معنی‌دار عملکرد خشک ریشه و کارایی مصرف آب ریشه در کاسنی (<i>Cichorium intybus</i> L.) به ترتیب به میزان 9 و 7 درصد شد.
حقیقی و نجفی، 1398	1000 میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید در شرایط تنش کم‌آبی متوسط و 500 میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید در شرایط تنش شدید بر عملکرد گوجه فرنگی مؤثر بود.
اکرمی ابرقویی و همکاران، 1398	بیشترین میزان رشد طولی (115 سانتی‌متر) شاخه‌های سال جاری زردآلو با کاربرد آمینواسید سه در هزار به‌دست آمد. حداکثر میزان نیتروژن (46/2 درصد) و فسفر (14/0 درصد) برگ با کاربرد هیومیک اسید یک در هزار دیده شد، درحالی‌که حداکثر میزان عناصر کم‌مصرف تحت تأثیر اسید هیومیک دو در هزار حاصل شد. به‌منظور افزایش رشد رویشی و تغذیه بهینه درخت زردآلو، کاربرد اسید هیومیک در زمان دو هفته بعد از تمام گل و یک ماه پس از آن در زردآلو مفید است.
حیدری و همکاران، 1398	کاربرد اسید هیومیک به‌صورت مصرف خاکی به مقدار 30 کیلوگرم در هکتار بیشترین تأثیر را در بالاترین سطح تنش کم‌آبی یعنی اعمال 60 درصد نیاز آبی در آفتابگردان داشت.

ادامه جدول 2- اثر هیومیک اسید بر ویژگی های کمی و کیفی گیاه

منبع	اثر هیومیک اسید بر گیاه
گرگینی شبانکاره و همکاران، 1396	بیشترین درصد اسانس و عملکرد اسانس در (<i>Melissa officinalis</i> L) بادرنجویه با کاربرد 50 گرم اسید هیومیک در شرایط 50 و 75 درصد ظرفیت زراعی به دست آمد. اسید هیومیک توانست خسارات ناشی از تأثیر تنش کم آبی را کاهش دهد.
سرحدی و همکاران، 1400	اسید هیومیک به مقدار 20 گرم به ازای هر درخت در زمان های اولین آبیاری و پس از ریزش گل بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد میوه پرتقال (22 درصد افزایش نسبت به شاهد) داشت.
بیگدلی نسب و همکاران، 1399	با کاربرد اسید هیومیک در سه سطح (صفر، 250 و 500 میلی گرم در لیتر) و عامل تنش کم آبی در دو سطح (50 و 100 درصد ظرفیت زراعی) نشان داده شد که کاربرد اسید هیومیک در زمان تنش کم آبی در هر دو سطح، سبب بهبود صفات رنگ و ارتفاع اندام هوایی چمن شد.
He et al., 2008	در تحقیقی روی میوه لیمو نشان داد که کاربرد اسید هیومیک، غلظت عناصر پتاسیم، روی و منگنز و کیفیت میوه را ارتقا بخشید
Rashid et al., 2022	کاربرد اسید هیومیک در باغ زیتون، تأثیر مثبتی بر روی عملکرد و تغذیه درختان زیتون داشت.
پوزشی و همکاران، 1390	با مصرف اسید هیومیک در کشت انگور مشاهده کردند که مصرف خاکی اسید هیومیک سبب افزایش عملکرد در محصول انگور به میزان 14-20 درصد گردید.
فاروجی و همکاران، 1402	مصرف توأم اسید هیومیک و اسید فولویک اثر معنی داری بر وزن تر و خشک ریشه، طول و حجم ریشه و نسبت وزن تر و خشک اندام هوایی به ریشه در سینداپسوس (<i>Scindapsus</i>) داشت
پورمراد و همکاران، 1397	مصرف خاکی اسید هیومیک در شرایط تنش با 9/09 درصد افزایش عملکرد دانه گندم نسبت به تیمار آبیاری کامل سبب جبران کاهش عملکرد حاصل از تنش شد.
معزی و همکاران، 1398	کاربرد هیومیک اسید سبب افزایش معنی دار بخش هوایی (17 درصد)، وزن خشک کل گیاه (19 درصد) و مقدار پتاسیم جذب شده در ریشه (11 درصد) پسته شد. 2 گرم هیومیک اسید در کیلوگرم خاک) با افزایش جذب عناصر غذایی فسفر و پتاسیم در ریشه و اندام هوایی، سبب بهبود رشد دانهال های پسته و افزایش برداری آن ها در شرایط تنش کم آبی می شود.

اسید هیومیک سبب تغییر در بیان پروتئین‌های مختلف مرتبط با انرژی، سوخت‌وساز و انتقالات سلولی می‌شود. یکی از پروتئین‌هایی که سطح آن افزایش می‌یابد آنزیم پراکسیداز می‌باشد که این آنزیم با پایین آوردن سطح هیدروژن پراکسید تحمل گیاه به تنش را بهبود می‌بخشد. افزایش مقدار پرولین و کلروفیل نیز در برخی گیاهان بعد از کاربرد اسید هیومیک مشاهده شده است (Canellas et al., 2024).

یکی دیگر از مهم‌ترین نقش‌های مواد هیومیکی در تغذیه گیاه، تحریک آنزیم H^+ -ATPase غشای پلاسمایی است که انرژی آزاد تولید شده از هیدورلیز ATP را به پتانسیل الکتروشیمیایی بین دو سوی غشا تبدیل می‌کند. در نتیجه نترات و سایر مواد مغذی را به داخل ریشه جذب می‌کند. پمپ کردن پروتون به وسیله ATPases غشای پلاسمایی، علاوه بر بهبود جذب مواد مغذی، در شل کردن دیواره سلولی، بزرگ شدن سلول و رشد اندام مؤثر است (De Hita et al., 2020). این مواد می‌توانند آرایش و شکل‌شناسی ریشه را نیز تغییر دهند؛ به عنوان مثال توسعه ریشه جانبی یا افزایش ریشه‌دهی گیاهان زراعی گزارش شده است (Shahrajabian et al., 2021).

اثرات مواد هیومیکی بر کارایی عناصر غذایی

مواد هیومیکی سبب افزایش کاربرد عناصر غذایی می‌شوند. اثر مواد هیومیکی بر افزایش کارایی نیتروژن مشخص شده است (Bezuglova et al., 2022). مواد هیومیکی، عناصر غذایی گیاهان را با اثر بر فرآیندهای خاک و با اثرات مستقیم بر فیزیولوژی گیاهان بهبود می‌بخشند. برخی از سازوکارهایی که سبب اثر بر فرآیندهای خاک می‌شوند شامل بهبود ساختار خاک، بهبود حلالیت ترکیبات کم محلول، بهبود دسترسی عناصر غذایی کم مصرف در خاک و اثرات مستقیم بر فیزیولوژی گیاهان می‌باشد. اثرات فیزیولوژیکی مهم شامل تغییرات مورفولوژی ریشه، افزایش فعالیت آنزیم‌های $ATPase^+$ و افزایش فعالیت آنزیم‌های جذب نترات است.

بهبود ساختمان و شرایط فیزیکی خاک توسط مواد هیومیکی

مواد هیومیکی، قابلیت استفاده عناصر غذایی را با اصلاح ساختار خاک بهبود می‌بخشند. با اصلاح و بهبود ساختمان خاک با مواد هیومیکی، پایداری توده خاک افزایش می‌یابد. آن‌ها این پدیده را به توانایی مواد هیومیکی به تشکیل کمپلکس‌های رس-هیومیک با اجزای آب‌دوست متمایل شده به مرکز توده و اجزای آب‌گریز در سمت خارج آن نسبت داده‌اند (Mielnik et al., 2021). بهبود پایداری توده منجر به بهبود هوادهی خاک، تسهیل نفوذ ریشه در خاک، دسترسی آب بیشتر برای گیاهان و فرسایش کمتر خاک می‌گردد که به طور غیرمستقیم در افزایش بهره‌وری عناصر غذایی خاک اثرگذارند (Liu et al., 2023).

اثر هیومیک اسید بر گیاهان زراعی در شرایط تنش کم‌آبی

اسید هیومیک، با اثراتی که بر کارایی جذب عناصر غذایی و توسعه ریشه دارد، توان تحمل به تنش کم‌آبی را در گیاهان ارتقا می‌دهد. اثر تحریکی اسید هیومیک با نگهداری آهن و روی به شکل قابل جذب ریشه در غلظت‌های مؤثر، رابطه مستقیم دارد و موجب افزایش غلظت این عناصر در گیاهان می‌شود. اسید هیومیک، بخشی از اثرات منفی ناشی از زیاد بود کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول را که سبب اختلال در جذب عناصر غذایی و رشد گیاهان می‌شود، رفع می‌کند (Ampong et al., 2022). اسید هیومیک، جوانه‌زنی بذرها، آغازش و رشد ریشه، نمو شاخساره و بهبود تولید را در گیاهان سبب می‌شود. اسید هیومیک با وزن مولکولی بالا (5/0 الی 4 درصد نیتروژن، 6 الی 8 درصد هیدروژن، 42 الی 46 درصد اکسیژن و 44 الی 58 درصد کربن) نسبت به تجزیه دارای تحمل بالایی بوده و حاصلخیزی خاک و دسترسی عناصر غذایی را برای گیاهان زراعی با نگهداشتن آن‌ها در سطح عناصر دیگر خاک افزایش می‌دهد (Vikram et al., 2022). اسید هیومیک، ضمن بهبود وضعیت زهکشی و تهویه خاک سبب ایجاد محیط مناسبی برای رشد و نمو ریز موجودات می‌گردد (Tahoun et al., 2022).

اسید هیومیک، ظرفیت تبادل کاتیونی و حاصلخیزی خاک را افزایش داده و عناصر معدنی را با حل کردن به شکل قابل دسترس برای کلزا در آورد (Xu et al., 2021). اسید هیومیک جذب عناصر غذایی را افزایش داده و بهبود طول ریشه و افزایش وزن تر و خشک

و میزان مواد جامد محلول محصولات زراعی را سبب می‌شود (Izhar Shafi et al., 2020). همچنین اسید هیومیک، نفوذپذیری غشای گیاهان را افزایش داده، سیستم‌های آنزیمی را در گل کلم تقویت می‌کند (Mahmood et al., 2019). در تحقیقی روی گیاه ذرت نشان داده شد که اسید هیومیک طول و ماده خشک‌ریشه و جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، مس، منگنز، روی و آهن را افزایش می‌دهد (جهان و همکاران، 1401). اسید هیومیک با تنظیم pH خاک، جذب عناصر مفید را در ناحیه ریزوسفر لوبیا افزایش می‌دهد (کشتگر و همکاران، 1401). در تحقیقی روی گندم با افزودن اسید هیومیک، میزان جذب عناصر کم‌مصرف افزایش یافت (رجایی، 1401). در آزمایشی بر روی سویا نشان داده شد که کاربرد اسید هیومیک، نمو ریشه را تحریک کرده و میزان جذب نیتروژن، پتاسیم، مس و منگنز را افزایش می‌دهد (حسینی و همکاران، 1401). در شرایط تنش کم‌آبی، میزان حلالیت فسفر در تیمار اسید هیومیک بیشتر از اسید فولویک بوده و هنگامی که این دو اسید استفاده شد جذب فسفر به‌وسیله گیاه بیشتر بود (Yuan et al., 2022). در شرایط تنش کم‌آبی، اسید هیومیک تولید حامل‌های اسیدهای آمینه در گیاهان زراعی در مرحله پس از نسخه‌برداری را بیشتر می‌کند (Rakkammal et al., 2022). هیومیک اسید از طریق سازوکارهای مختلفی بر رشد گیاهان اثرگذار است (جدول 3).

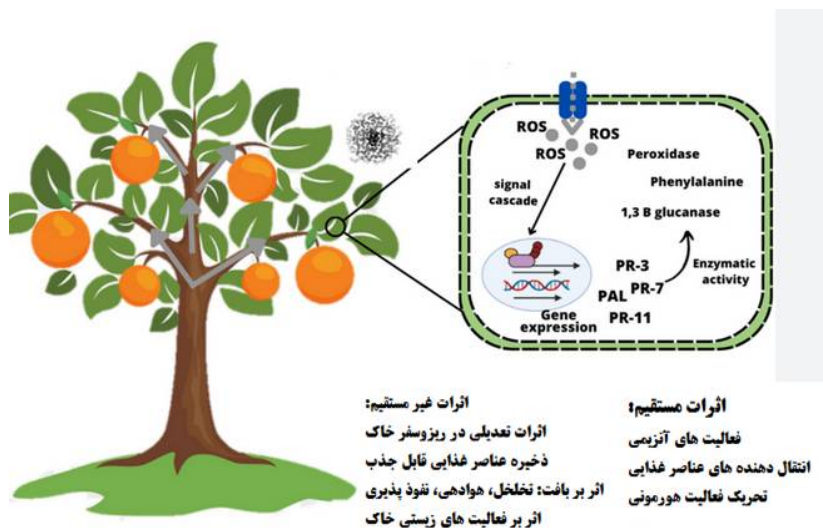
جدول 3- سازوکارهای مختلف اثر هیومیک اسید بر رشد گیاهان

تغییرات در ریخت‌شناسی ریشه	افزایش فعالیت آنزیم‌ها	افزایش ظرفیت تبادل یونی	بهبود فعالیت زیستی خاک
Tavares et al., 2021	Al-Taweel et al., 2019	Liu et al., 2023	Nardi et al., 2021

اثر هیومیک اسید بر گیاهان باغی در شرایط تنش کم‌آبی

هیومیک اسید از طریق روش‌های مستقیم و غیرمستقیم بر رشد و عملکرد گیاهان باغی اثرگذار است (شکل 2 و شکل 3). در تحقیقات سرحدی و همکاران (1400)، کاربرد 20 گرم اسید هیومیک به ازای هر درخت در زمان‌های آبیاری دوم و ریزش گل‌ها، بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد میوه پرتقال (22 درصد افزایش نسبت به شاهد) داشت. بیگدلی

نسب و همکاران (1399) با کاربرد اسید هیومیک در سه سطح (صفر، 250 و 500 میلی گرم در لیتر و به صورت محلول پاشی) و عامل تنش کم‌آبی در دو سطح (50 و 100 درصد ظرفیت زراعی) نشان دادند که کاربرد اسید هیومیک در زمان تنش کم‌آبی در هر دو سطح، سبب بهبود صفات رنگ و ارتفاع اندام هوایی شد. در تحقیقی بر روی میوه لیمو نشان داده شد که کاربرد اسید هیومیک، غلظت عناصر پتاسیم، روی و منگنز و کیفیت میوه را ارتقاء بخشید (He et al., 2008). همچنین گزارش شده است که کاربرد اسید هیومیک در باغ زیتون، تأثیر مثبتی بر روی عملکرد و تغذیه درختان زیتون داشت (Rashid et al., 2022). پوزشی و همکاران (1390) با مصرف اسید هیومیک در کشت انگور مشاهده کردند که مصرف خاکی و محلول پاشی اسید هیومیک سبب افزایش عملکرد در محصول انگور به میزان 14-20 درصد گردید.



شکل 2- اثرات مستقیم و غیر مستقیم مواد هیومیکی بر رشد گیاهان باغی
(da Silva et al., 2023)



اثر هیومیک اسید بر
بهبود رشد در
شرایط تنش خشکی

بوته‌های کلزا در معرض تنش خشکی

شکل 3- اثر تنش کم‌آبی بر کلزا و بهبود رشد با کاربرد هیومیک اسید (گزارش سالیانه پروژه مقایسه مدیریت تغذیه تلفیقی کلزا با مدیریت مرسوم در مزارع بهره‌برداران در ایلام، 1400)

روش‌های کاربرد هیومیک اسید

- کودآبیاری
- بذر مال
- چال کود

نحوه استفاده از کود اسید هیومیک در کودآبیاری

روش کودآبیاری به چند شیوه مختلف انجام می‌شود:

- کودآبیاری در سیستم آبیاری تحت فشار یا قطره‌ای

این روش استفاده از هیومیک اسید باتوجه به نوع محصول کشت شده صورت می‌گیرد. براین اساس از هیومیک اسید با نسبت 2 تا 3 کیلوگرم در هزار لیتر در آب حل کرده و به مخزن آبیاری تزریق می‌کنند (Teklic *et al.*, 2021).

- کودآبیاری در سیستم آبیاری غرقابی

میزان مصرف هیومیک برای محصولات زراعی و گیاهان دارویی با نسبت دو گرم در 1000 میلی‌لیتر آب بوده که عبارت است از 3 تا 5 کیلوگرم در هکتار. میزان مصرف هیومیک اسید مایع برای این محصولات با نسبت 50 میلی‌لیتر در 1000 میلی‌لیتر آب است. در رابطه با میزان و استفاده از این فرم، به طور معمول پیشنهاد می‌شود تا مقدار به دست آمده به سه قسمت تقسیم شود و این سه قسمت در طی سه مرحله، تا آخر فصل رشد گیاه مورد استفاده قرار گیرد. همچنین در این رابطه باید به این نکته توجه نمود که این سه قسمت بهتر است، کودآبیاری شوند (Bell et al., 2022).

نکته: از آنجایی که گیاهان زراعی دارای ویژگی‌های متفاوتی هستند، پیشنهاد می‌شود که به‌منظور افزایش ریشه‌دهی بذرها، افزایش تحمل گیاه نسبت به تنش‌ها و استقرار اولیه گیاهچه، در مرحله اول کودآبیاری، مقدار بیشتری از هیومیک اسید مورد استفاده قرار گیرد.

نحوه استفاده از کود اسید هیومیک در چال کود

در روش چال کود، یک سوم انتهایی سایه‌انداز درخت، چاله‌ای حفر می‌شود. سپس داخل این گودال، مجموعه‌ای از کودهای دامی و کودهای پرمصرف ریخته و گودال پر می‌شود (حیدری سلطان‌آبادی و همکاران، 1402). به‌عنوان مثال در نوع پودری هیومیک اسید، مقدار 20 گرم از این کود در درون گودال ریخته شده و سپس روی آن با خاک پوشانده می‌شود. به صورت کلی باید در نظر داشته باشید که مقدار مصرف اسید هیومیک برای هر درخت، دو گرم در یک لیتر آب است. در نتیجه برای مشخص‌شدن مقدار و نحوه مصرف این کود برای هر درخت باید به صورت ویژه به نوع گیاه و محصول دقت شود (Kisvarga et al., 2022).

نحوه استفاده از کود اسید هیومیک در بذر مال

در شرایط تنش کم‌آبی، روش بذر مال یکی از روش‌های مناسب کاربرد هیومیک اسید محسوب می‌گردد. در این روش، کود اسید هیومیک با غلظت یک و نیم کیلوگرم در هزار لیتر آب حل می‌شود. سپس بذر گیاه به مدت 20 دقیقه، در ترکیب آب و هیومیک اسید نگه داشته می‌شود تا بذر به خوبی خیس شود. پس از 20 دقیقه ذکر شده، بذر از درون مایع

بیرون آورده می‌شود و در محلی خشک و خنک قرار می‌گیرد تا به صورت کامل خشک شود. در نهایت نیز بذر خشک‌شده کشت می‌شود (Rakkammal et al., 2023).

بهترین مراحل استفاده از هیومیک اسید باهدف افزایش عملکرد دانه

- همراه با اولین آبیاری
- در زمان پنجه‌زنی یا خوشه‌دهی یا تشکیل غلاف زمانی که دانه‌ها در حال پرشدن هستند یا اصطلاحاً دانه در مرحله خمیری قرار دارد (Sible et al., 2021).

بهترین مراحل استفاده از هیومیک اسید باهدف افزایش عملکرد غده

- همراه با دومین آبیاری و در مرحله سه یا چهاربرگی
- زمانی که غده شروع به تشکیل شدن کرده است.
- در مراحل انتهایی رسیدگی غده‌ها، به‌منظور افزایش حجم و کیفیت غده (Caradonia et al., 2022).

بهترین مراحل استفاده از اسید هیومیک برای کشت باهدف برداشت اندام رویشی

- همراه با آبیاری دوم
- قبل از شروع مرحله زایشی (برای محصولات مثل یونجه یا سبزی‌هایی که دارای چندین مرحله برداشت هستند، پس از هر مرحله برداشت می‌توان از هیومیک استفاده کرد) (Shahrajabian et al., 2021).

بهترین مراحل استفاده از اسید هیومیک برای کشت باهدف برداشت گل

- همراه با آبیاری دوم
- در زمان تشکیل غنچه (Martins et al., 2024)

بهترین مراحل استفاده از کود اسید هیومیک با هدف افزایش عملکرد میوه (جالیزی و صیفی)

- همراه با آبیاری دوم
- بعد از تبدیل گل به میوه
- در مراحل انتهایی رسیدگی (Rashwan and Elsaied, 2022)

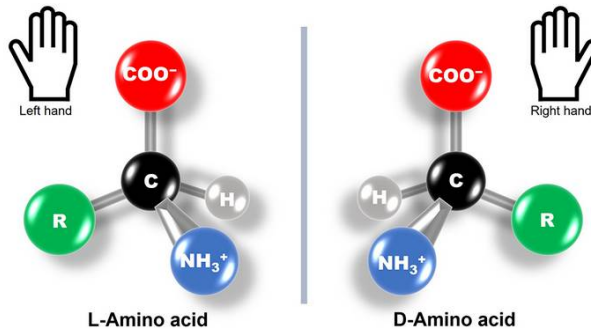
مقدار مصرف هیومیک اسید برای باغات

در رابطه با مصرف کود هیومیک برای باغات باید اشاره نمود که میزان مصرف هیومیک اسید در این مورد بسته به سن درختان و بین 6 تا 8 کیلوگرم در هکتار است. برای استفاده در باغات باید نسبت دو گرم کود در 1000 میلی‌لیتر آب رعایت شود. همچنین میزان مصرف هیومیک اسید مایع با نسبت 50 میلی‌لیتر در 1000 میلی‌لیتر آب است (Bhatt and Singh, 2022).

نکته: همانند مصرف این کود برای کشت گیاهان زراعی، بهتر است کود در طی سه مرحله تا آخر فصل رشد گیاه مورد استفاده قرار گیرد. در کنار این موضوع، باتوجه به خواب زمستانی درختان در طول فصول پاییز و زمستان، توصیه می‌شود که در پای درختان در نزدیک‌ترین محل به ریشه بکار برده شود (Canellas et al., 2015).

اسید آمینه

اسیدهای آمینه از زنجیرهای بلند پلی‌پپتیدی تشکیل شده که به نوبه خود انواع مختلف پروتئین را تشکیل می‌دهند. بیست زیر واحد مونومری کلید ساختمان پروتئین‌های مختلف است که با توالی‌های خطی با پیوند کووالال به یکدیگر متصل شده‌اند. اتم کربن در اسیدهای آمینه (به جز گلیسین) نامتقارن بوده و حداقل به دو شکل ایزومر فضایی وجود دارند (شکل 4) (Poluri et al., 2021).



شکل 4- دو ایزومر L و D اسید آمینه با توجه به محل گروه‌های عاملی (بیشتر اسیدهای آمینه‌ای که در ساختار پروتئین‌ها می‌باشند از نوع ایزومر L هستند) (Poluri et al., 2021).

اسیدهای آمینه بر پایه چگونگی قرارگیری گروه آمین به دودسته آلفا و غیر آلفا آمینواسیدها دسته‌بندی می‌شوند. در آلفا آمینواسیدها، روی کربن آلفا (دومین کربن از قسمت کربوکسیل) یک عامل کربوکسیل و یک عامل آمین، یک اتم هیدروژن و یک ریشه جانبی (R) وجود دارد. در صورتی که در اسیدهای آمینه غیر آلفا، عامل آمین روی کربن آلفا وجود نداشته و روی کربن‌های دیگر قرار گرفته است. آلفا اسیدآمینه‌ها واحدهای ساختاری پروتئین‌ها هستند. اسیدهای آمینه از دو جنبه دسته‌بندی می‌شوند. یکی بر مبنای تغذیه که به دو گروه ضروری و غیرضروری دسته‌بندی می‌شوند و دیگری بر مبنای حلالیت است که به دودسته قطبی و غیرقطبی است. اسیدهای آمینه بر اساس تمایل به آب (هیدروفیل بودن) و آب‌گریزی (هیدروفوبی) و تمایل به محیط‌های غیرقطبی‌تر ویژگی‌های مختلفی را نشان می‌دهند. پرولین، متیونین، آلانین، لوسین، سرین و تریپتوفان، آب‌دوست بوده و گلوتامین، لیزین، هیستیدین، سیستئین و آرژنین آب‌گریز هستند. همچنین گروه جانبی (R) در اسیدهای آمینه سبب ایجاد ویژگی‌های منحصربه‌فردی در آن‌ها می‌گردد.

- 1- اسیدهای آمینه آلیفاتیک: گلیسین، آلانین، لوسین، ایزولوسین و والین
- 2- اسیدهای آمینه اسیدی: اسید گلوتامیک و اسید آسپارتیک
- 3- اسیدهای آمینه بازی: هیستیدین، لیزین و آرژنین
- 4- اسیدهای آمین الکلی دار: با گروه جانبی دارای عامل کربوکسیل مانند سرین.

- 5- اسیدهای آمینه گوگرددار: متیونین، سیستین و سیستئین
- 6- اسیدهای آمینه حلقوی: فنیل آلانین
- 7- اسیدهای آمینه ناجور حلقه: تریپتوفان
- 8- اسیدهای آمینه آمیدی: گلوتامین و آسپارژین
- 9- ایمینو اسیدها: پرولین و هیدروکسی پرولین (Pagar et al., 2021).

گیاهان به منظور تکمیل چرخه رشد خود از اسید آمینه های استفاده می کنند. اسید آمینه ها با افزایش تولید کلروفیل و بهبود فتوسنتز، بر فیزیولوژی گیاه اثر می گذارند (سیفی و همکاران، 1402). از بین اسیدهای آمینه، گلوتامیک اسید نقش بیشتری در فتوسنتز و در تولید پرولین داشته و به عنوان عامل تنظیم کننده اسمزی سیتوپلاسم در سلول های محافظ روزه به حفظ آب و افزایش تحمل گیاه به تنش کم آبی کمک می کند (Xu et al., 2021).

نقش اسیدهای آمینه مهم در گیاهان

اسیدهای آمینه غیر از نقشی که به عنوان محرک زیستی در گیاه دارد، می توانند عملکرد تأثیرگذاری در فعالیت های دیگر رشد گیاه داشته باشند. اسید آمینه ها هر یک به نوبه خود، فرایند رشد و محصول دهی گیاه را بهبود می بخشند (جدول های 5 و 6).

جدول 4- برخی از اثرات انواع اسید آمینه بر عملکرد گیاه (Trovato et al., 2021)

نوع اسید آمینه	فعالیت اسید آمینه
هیدروکسی پرولین، پرولین	افزایش دهنده تحمل گیاه در مقابل تنش کم آبی
سیستین، گلوتامین، گلیسین، هیستیدین، لیزین	عامل کلاته کننده عناصر غذایی
هیدروکسی پرولین، پرولین	افزاینده رشد گیاه و تقویت کننده گرده افشانی
سیرین، تریپتوفان، والین	پیش نیاز تولید هورمون های گیاهی
آرژنین	عامل افزایش تقسیمات سلولی
فنیل آلانین	عامل تشکیل بافت چوبی بر روی گیاه و غلاف سلولزی لیگنین
آسپارژین، آرژنین	عامل افزایش وزن دانه و محصول
متیونین، تریپتوفان	پیش نیاز تولید هورمون گیاهی

جدول 5- اثر کاربرد اسید آمینه بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان

بیشترین غلظت پرولین از تیمار محلول‌پاشی 12 لیتر محرک رشد و مرحله گلدهی ساقه‌اصلی با میانگین 0/38 درصد و بیشترین عملکرد دانه 1127/08 (کیلوگرم در هکتار) از سطح محلول‌پاشی 12 لیتر محرک رشد به دست آمد.	راشدی و همکاران، 1402
گلایسین بتائین به دلیل افزایش هدایت روزنه‌ای، افزایش فتوسنتز، افزایش تورژسانس سلولی بعد از تماس آن با پروتئینی که دارای یک‌لایه جذب آب می‌باشد و به دنبال آن افزایش طولیل شدن سلول، افزایش ارتفاع در گیاه کارلا (<i>Momordica charantia</i> L) را سبب می‌شود.	رضایی علولو و همکاران، 1399
تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و مصرف و اسیدهای آمینه عملکرد دانه را نسبت به تیمار شاهد در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی به ترتیب به میزان 20/06 درصد و 44/64 درصد افزایش در عملکرد گندم حاصل کرد.	حبیبی، 1390
مطالعات نشان داد که گلایسین بتائین با پایداری و استحکام ساختارها و فعالیت‌های آنزیمی و ترکیبات پروتئینی شمعدانی معطر (<i>Pelargonium</i> <i>graveolens</i>) می‌شود و پایداری دیوار سلولی در مقابل اثرات آسیب‌رسانی ناشی از تنش کم‌آبی از جمله فعالیت‌های آن به شمار می‌رود.	خدابخش و دانایی، 1401
نقش باکتری‌های محرک رشد و اسیدآمینه در افزایش تحمل به تنش کم‌آبی به دلیل کاهش تولید مارکرهای بیوشیمیایی که نتیجه آن کاهش خسارت اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن است که در شرایط تنش کم‌آبی در دو رقم کینوا (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) ایجاد می‌شود	امیر یوسفی و همکاران، 1400
بیشترین عملکرد جو (19 درصد بیشتر از شاهد) در شرایط تنش کم‌آبی با کاربرد محلول پاشی اسید آمینه و تلقیح باکتری محرک رشد بدست آمد. یکی از دلایل افزایش عملکرد جو در شرایط تنش کم‌آبی افزایش SOD با توجه به اثر کاهش دهنده‌گی آن بر رادیکال‌های اکسیژن بود.	پورابتهاج و همکاران، 1392
وزن میوه با محلول‌پاشی آرژنین به مقدار 38/9 درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. کاربرد اسید آمینه به دلیل اثر بر افزایش پروتئین، نگهداری رطوبت بافت گیاهی و جذب عناصر غذایی سبب افزایش وزن خشک گیاه (<i>Physalis alkekengi</i> L) شد.	صارمی و همکاران، 1400
اثرات اسیدآمینه و هیومیک اسید بر کلروفیل کل، فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز، فسفر و پتاسیم در جعفری آفریقایی (<i>Tagetes erecta</i> L) معنی‌دار شد. تیمار ترکیبی مواد محرک رشد مناسب‌ترین تیمار جهت کاهش آثار سوء ناشی از تنش به‌ویژه تنش 40 درصد ظرفیت زراعی روی گیاه جعفری آفریقایی بود.	رضا صفت عربانی و همکاران، 1399

ادامه جدول 5- اثر کاربرد اسید آمینه بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان

بیش‌ترین میزان عملکرد انگور متعلق به تیمار محلول‌پاشی توأم بود و پس از آن تیمار محلول‌پاشی آمینواسید حاوی پرولین آزاد، مصرف خاکی و محلول‌پاشی فولویک اسید بود که به ترتیب میزان عملکرد را به میزان 64/5، 39/8، 44/2 و 20/3 درصد نسبت به شاهد افزایش دادند.	تدین و همکاران، 1393
بیشترین میزان رشد طولی (115 سانتی‌متر) و کمترین میزان رشد قطری (71/9 میلی‌متر) شاخه‌های سال جاری زردآلو با کاربرد آمینواسید سه در هزار به‌دست آمد. حداکثر میزان نیتروژن (46/2 درصد) و فسفر (14/0 درصد) برگ با کاربرد هیومیک اسید یک در هزار دیده شد، درحالی‌که حداکثر میزان عناصر کم‌مصرف تحت تأثیر اسید هیومیک دو در هزار حاصل شد. به‌نظر می‌رسد به‌منظور افزایش رشد رویشی و تغذیه بهینه درخت زردآلو، محلول‌پاشی با محرک‌های زیستی آمینواسید سه در هزار و اسید هیومیک دو در هزار در زمان دو هفته بعد از تمام گل و یک ماه پس از آن در زردآلو می‌تواند مفید باشد.	اکرمی ابرقویی و همکاران، 1398
بیشترین میزان عملکرد دانه گشنیز (<i>Coriandrum sativum</i> L) (18 درصد افزایش) در شرایط تنش کم‌آبی با کاربرد پنج کیلوگرم در هکتار اسید فولویک و محلول‌پاشی با غلظت سه در هزار اسید آمینه به‌دست آمد.	امینی فرد و همکاران، 1399
کاربرد ترکیبی از اسید آمینه و اسید فولویک سبب بهبود شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک خیار سوپر دامینوس (<i>Cucumis sativus</i> L.) در شرایط کم آبیاری شد	نجفی و همکاران، 1400

اسید آمینه تنها یک بخش و یا یک قسمت از گیاه را تحت تأثیر قرار نمی‌دهند؛ بلکه ساختار کلی گیاه و تمام ابعاد آن را تحت شعاع عملکرد خود قرار داده و در نهایت سبب بهبود شرایط کلی در گیاهان می‌شوند. اسمولیت‌هایی با وزن مولکولی کم، مانند گلايسين، پرولين و ديگر اسيدهای آمينه، اسيدهای آلی، برای حفظ وظایف سلولی تحت شرایط خشکی بسیار مهم هستند (راسخی و همکاران، 1400). اسيدهای آمينه پيش‌ساز و از اجزای تشکیل‌دهنده پروتئين‌ها هستند، که برای تحرک رشد سلول بسیار مهم هستند. اسيدهای آمينه حاوی هر دو اسيد و گروه‌های پایه بوده و بعنوان بافر عملکرده و از این طریق به حفظ pH مطلوب درون سلول گیاه کمک می‌کنند. در مورد نقش اسيدهای آمينه بر رشد گیاهان، شواهد نشان داد که مسيرهای جایگزین برای تولید ایندول استیک اسيد در گیاهان، از اسيدهای آمينه آغاز

می‌گردد. گیاهان می‌توانند با استفاده از عناصر کربن، اکسیژن، هیدروژن و نیتروژن و در طی فرایند فتوسنتز، اسید آمینه‌های مورد نیاز خود را تولید کنند. اسیدهای آمینه، واحدهای تشکیل دهنده پروتئین بوده و در واقع، پروتئین‌های گیاهی از اسید آمینه و دو آمید تشکیل شده‌اند. اسیدهای آمینه بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاهان اثر مستقیم یا غیرمستقیم دارند. محلول پاشی گیاهان با ترکیبات حاوی اسیدهای آمینه، غلظت نیتروژن را در بافت گیاه افزایش می‌دهد (Heinemann and Hildebrandt, 2021).



شکل 5- محلول پاشی مواد محرک رشد در پروژه " اثر مواد محرک رشد گیاهی بر کاهش خسارت تنش کم‌آبی در گندم " در ایلام در سال 1399 مرحله اوایل ساقه‌روی (سلیمانی و همکاران، 1399).

استفاده از اسید آمینه سبب افزایش رشد رویشی سیب‌زمینی، افزایش نیتروژن، فسفر و پتاسیم کل در شاخساره توت‌فرنگی و همچنین عملکرد، وزن، TSS، ویتامین C و غلظت قند کل میوه‌ها گردید (Caradonia et al., 2022). تولید پروتئین، پروتئین‌ها وظایف ساختاری، متابولیکی (آنزیم‌ها) و انتقال را در گیاهان به عهده دارند. اسید آمینه سیستم‌های نقش بسیار مهمی در ساختمان پروتئین‌ها بر عهده دارد چرا که عامل تیول (SH-) دو مولکول سیستم‌های در یک زنجیره پلی‌پپتیدی با ازدست‌دادن هیدروژن، پیوند کووالانس تشکیل می‌دهند و موجب پایداری واحدهای پروتئین می‌گردند. همچنین اسید آمینه‌های گلوتامین

و آسپاراژین در تولید پروتئین شرکت کرده و نقش مهمی را در انتقال آمونیاک دارند. لازم به ذکر است، فقط اسیدآمین‌های نوع L توسط گیاهان جذب می‌شوند. اسیدآمین‌های نوع D توسط مکان‌های آنزیمی شناسایی نشده‌اند بنابراین نمی‌توانند در تولید پروتئین شرکت داشته باشند. تحمل در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی تنش‌هایی از قبیل دمای بالا، رطوبت کم، سرما، حمله آفات، تگرگ، سیل اثرات منفی در متابولیسم گیاهان دارند که منجر به کاهش مقدار و کیفیت محصولات می‌گردد. استفاده از آمینواسیدها قبل، در زمان و بعد از شرایط تنش سبب بهبود و جلوگیری از اثرات تنش‌ها می‌شود. اسیدآمین‌ها پرولین در تقویت دیواره سلولی، باروری و جوانه‌زنی دانه گرده، حفظ تعادل آب در گیاه، فرایند فتوسنتز، بهبود کمیت و کیفیت محصول و افزایش نسبت کربن به ازت در درختان میوه نقش بسزایی ایفا می‌کند (Pan et al., 2022). کاربرد اسیدآمین‌ها سبب افزایش پرولین شده که این تجمع به استحکام ساختار پروتئین‌ها و تعادل اکسایش-کاهش در سلول می‌افزاید. تدریس و همکاران (2019) نشان دادند که کاربرد اسید آمینه سبب افزایش غلظت نیتروژن در گیاه و در نتیجه بهبود متابولیسم در گیاه می‌گردد. برخی از مزایای استفاده از اسید آمینه عبارتند از افزایش فعالیت ریز موجودات مفید خاک، افزایش جذب عناصر غذایی کم مصرف و پر مصرف برای گیاه در انواع خاک و شرایط محیطی، آزاد کردن ترکیبات معدنی تثبیت شده در خاک، افزایش ظرفیت تبادلات کاتیونی خاک، افزایش جمعیت ریزموجودات خاک، افزایش توسعه ریشه گیاه و رشد و تکامل، افزایش قابلیت تولید پروتئین و کربو هیدرات‌ها در گیاه و متابولیسم، افزایش قابلیت زراعی خاک و افزایش تحمل آن در برابر باکتری‌ها و قارچ‌های بیماری‌زا و کاهش مصرف کودهای شیمیایی و سموم کشاورزی می‌باشد.

اثر اسیدآمین‌ها بر گیاهان زراعی در شرایط تنش کم‌آبی

اسیدآمین‌ها بر توان باروری گیاه اثرگذار بوده و تحمل گیاهان را در برابر تنش‌های محیطی افزایش می‌دهد. این توانایی نشان می‌دهد که اسیدآمین‌ها یکی از گزینه‌های مناسب برای کاربرد در کشت و کار گیاهان زراعی و باغی است. بعضی از انواع اسیدآمین‌ها، با کلاته کردن عناصری از جمله آهن، به جذب این عناصر کمک می‌کنند. در حالت کلی، خود گیاه می‌تواند اسیدآمین‌ها تولید کند؛ اما این کار از گیاه انرژی زیادی می‌گیرد، و اگر

اسیدآمین‌های مورد نیاز در اختیارش قرار گیرند، انرژی در گیاه حفظ می‌شود و این انرژی سبب افزایش سلامت گیاهان و همچنین افزایش تحمل آن‌ها در برابر تنش کم‌آبی می‌شود (Alfosea-Simon *et al.*, 2020). روزنه‌ها ساختارهای مولکولی بوده که تعادل هیدروژنی، جذب عناصر غذایی و جذب گازها را در گیاهان کنترل می‌کنند. باز شدن روزنه‌ها هم توسط عوامل بیرونی (نور، رطوبت، دما) و هم عوامل درونی (غلظت اسیدهای آمینه، اسید آسبیزیک) کنترل می‌شود. در زمان تنش کم‌آبی، روزنه‌ها بسته می‌شوند که در این حالت تولید بر پایه نور و همچنین تعرق کاهش‌یافته، جذب عناصر در فرایند جذب توده‌ای کمتر و تنفس افزایش می‌یابد که منجر به تخریب کربوهیدرات‌ها می‌گردد. در این حالت، تعادل متابولیکی در گیاه منفی شده، کاتابولیسم نسبت به آنابولیسم بیشتر و در نتیجه کندتر شدن سوخت‌وساز (متابولیسم)، رشد گیاه در نهایت متوقف می‌شود. ال-گلوتامیک اسید به‌عنوان عامل اسمزی سیتوپلاسم در سلول محافظ در برگ گیاهان عمل کرده و سبب باز شدن روزنه‌ها می‌شود. اسیدهای آمینه بر عناصر غذایی کم‌مصرف اثر کلات‌کنندگی دارند. وقتی به‌صورت هم‌زمان با عناصر غذایی کم‌مصرف استفاده می‌شوند، جذب و انتقال این عناصر در داخل گیاه راحت‌تر انجام می‌شود که این به دلیل فعالیت کلات‌کنندگی اسیدهای آمینه و اثر آن‌ها بر نفوذپذیری غشای سلولی می‌باشد. ال-گلوتامیک اسید و ال-گلیسین به‌عنوان فاکتورهای اثرگذار بر کلات‌کنندگی عناصر شناخته شده‌اند. گلیسین کوچک‌ترین اسیدآمین‌هاست که به‌عنوان عامل کلات‌کننده مورد استفاده گیاه است. با توجه به وزن مولکولی کم گلیسین، ترکیب کلاته حاصل، کوچک بوده و نفوذ آن از طریق روزنه‌ها بودن مشکل است. در بافت گیاه، گلیسین از عناصر غذایی جدا شده و مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد. برخی از اسیدهای آمینه، فعال‌کننده هورمون‌ها هستند. به‌طوری‌که ال-آرژنین سبب تولید هورمون‌های مرتبط با گلدهی و میوه شده و ال-تریپتوفان و ال-متیونین پیش‌ماده اکسین و اتیلن می‌باشد (Abdelkader *et al.*, 2023).

گرده‌افشانی و تشکیل میوه

گرده‌افشانی یا انتقال دانه گرده به مادگی سبب لقاح و تشکیل میوه می‌گردد. در بین اسیدهای آمینه، ال-پرولین در حفظ باروری گرده مؤثر بوده و ال-متیونین، ال-لیزین و ال-گلوتامیک اسید نیز در فرایند گرده‌افشانی مؤثرند. این اسیدهای آمینه طول لوله گرده را

افزایش داده و سبب تسهیل در جوانه‌زنی گردد می‌شوند (Malecange *et al.*, 2023). ریشه‌ها، کودهای نیتروژنی آمونیوم، نترات و اوره را از خاک جذب می‌کنند و گیاه از طریق سازوکارهای آنزیمی آن‌ها را به آمینواسید تبدیل می‌کند. این مراحل اگر خاک، آب و فیزیولوژی گیاه بهینه باشد به طور نرمال رخ می‌دهد (Padilla *et al.*, 2024). روش جایگزین برای گیاه فراهم‌سازی خارجی اسیدهای آمینه بوسیله روش‌هایی از جمله محلول‌پاشی اسیدآمینه بر روی برگ است. اسیدهای آمینه روی سطح برگ محلول‌پاشی می‌شود و به سرعت بوسیله بافت برگ جذب و در ساخت پروتئین، آنزیم‌ها و قندها استفاده می‌شود.

تحقیقات در ایران نشان داد که کاربرد مواد محرک رشد نه تنها سبب جبران تنش کم‌آبی شد، بلکه تیمار اسیدآمینه و جلبک دریایی در شرایط تنش کم‌آبی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به عدم مصرف این ترکیبات گردید و بنابراین، استفاده از اسیدآمینه با جلبک دریایی به عنوان راهکاری مناسب جهت افزایش عملکرد گندم توصیه شد (رفیع و همکاران، 1400). در این مورد، زمان مناسب استفاده از اسیدآمینه به عنوان مواد محرک رشد گیاهی برای گندم را محلول‌پاشی در شروع زمان پنبه‌زنی و مرحله تکمیل آن اعلام شده است (طهرانی، 1394). پیروی از اصول صحیح تغذیه گندم و استفاده از کودهای حاوی عناصر غذایی، مواد آلی و محرک‌های رشد گیاهی را در کاهش تنش‌ها مؤثر است. همچنین محققین به این نتیجه رسیدند که اسیدآمینه در شرایط تنش متوسط خشکی به منظور متعادل کردن اثرات نامطلوب تنش، قابل استفاده بوده و کاربرد اسیدآمینه نسبت به سایر تیمارهای آزمایش منجر به افزایش وزن تر بوته، تعداد ساقه فرعی و طول بوته خیار رقم سوپر دامینوس به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود) شد (نجفی و همکاران، 1400). کاربرد اسیدآمینه پرولین در شرایط تنش کم‌آبی موجب کاهش اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی بر عملکرد علوفه و بلال، شاخص سطح برگ و محتوای رطوبت نسبی ذرت گردید (طاهایی و همکاران، 1400). طبق نتایج حاصل از این پژوهش محلول‌پاشی پرولین می‌تواند از طریق بهبود پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه موجب بهبود رشد و محصول ذرت در شرایط تنش کم‌آبی گردد. یزدانی بیوکی و همکاران (1399) گزارش کردند که تنش کم‌آبی واکنش‌های ساختاری نظیر کاهش طول ساقه و افزایش نسبت طول ریشه به ساقه و محلول‌پاشی اسیدآمینه گلايسين، افزایش طول ساقه و بر همکنش تنش کم‌آبی و

محلول‌پاشی اسیدآمینه گلیسین، افزایش وزن خشک ساقه و ریشه را در برداشت، بر همکنش تیمارهای تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی اسیدآمینه گلیسین همچنین موجب افزایش میزان نشت الکترولیت، میزان آنتوسیانین و فلاونوئیدها گردید. کاربرد اسیدآمینه گلیسین با غلظت 2/5 در هزار با بیشترین تأثیر در افزایش پارامترهای وابسته به واکنش‌های ساختاری نظیر افزایش وزن خشک ساقه، نسبت طول ریشه به ساقه و همچنین افزایش پارامترهای آنتی‌اکسیدانی نظیر میزان آنتوسیانین و فلاونوئید توانست نقش مؤثری در افزایش تحمل گیاه بادرشبو به تنش کم‌آبی ایفا کند.

اثر اسیدآمینه بر گیاهان باغی در شرایط تنش کم‌آبی

در پژوهشی گزارش شد محلول‌پاشی اسید آمینه آرژنین با کاهش ریزش میوه و جوانه‌های گل و کاهش پوکی موجب افزایش عملکرد پسته شد (اسلامی نژاد و همکاران، 1394). در تحقیقات احمدی صابر و همکاران (1398) با توجه به اثر متقابل ترکیبات آمینواسیدی و عصاره جلبک دریایی، بیشترین وزن خوشه (33/7)، تعداد پسته در خوشه (28/33)، طول خوشه (22/8 سانتی‌متر)، میزان کلروفیل و کاروتنوئید (به ترتیب 3/95 و 0/759 میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر برگ) در تیمار 2 میلی‌گرم در لیتر آمینو اسید همراه با 2 میلی‌گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی به دست آمد. بر اساس نتایج این تحقیق ترکیب کودهای حاوی اسید آمینه و جلبک دریایی می‌تواند نقش بسزایی در بهبود صفات کمی و کیفی گیاه پسته داشته باشد.

روش‌های کاربرد اسیدآمینه

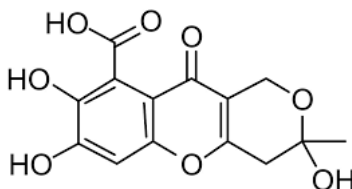
اسیدهای آمینه در شرایط محلول‌پاشی، پس از عبور از ساختار بیرونی برگ‌ها، به‌وسیله سلول‌های برگ جذب شده یا به بخش‌های دیگر گیاه از جمله گل‌ها و میوه‌ها انتقال می‌یابد (Tadros et al., 2019). در گیاهان زراعی برای هر نوبت کوددهی، مقدار یک تا دو کیلوگرم در آب حل شده و برای یک هکتار استفاده می‌گردد (Bulgari et al., 2015).

در باغ‌های میوه در هر نوبت از کاربرد اسیدآمینه، محلول‌پاشی با غلظت پنج در هزار روی برگ‌ها انجام می‌شود. در درختان میوه برای افزایش تولید محصول، در زمان‌های مختلف باید

محلول‌پاشی انجام داد تا نتیجه مثبتی فراهم شود. به‌طوری‌که در درختانی از جمله پسته، در زمان تورم جوانه‌ها، قبل از گلدهی، ارزی شدن میوه‌ها و زمان پرشدن مغز پسته، باید محلول‌پاشی انجام شود. در مورد صیفی‌جات، برای هر نوبت کاربرد اسیدآمین به غلظت سه تا پنج در هزار باید روی برگ‌ها محلول‌پاشی انجام داد (Rouphael and Colla, 2020).

فولویک اسید

اسید فولویک یکی از مؤثرترین ترکیبات کلات‌سازی حاوی کربن است. این ویژگی به دلیل اندازه مولکولی کوچک و بار الکتریکی آن است (شکل 6). مولکول‌های اسید فولویک با نفوذ به درون بافت‌های گیاهی و پیوند با مولکول‌های آب، تعریق گیاه را کاهش می‌دهند (Wang et al., 2022).



شکل 6- ساختار فضایی فولویک اسید (Wang et al., 2022).

انواع فولویک اسید

فولویک اسید آزاد بدون اتصال عناصر معدنی.

فولویک اسید فولات که یک نوع اسید فولویک با اتصال عناصر معدنی است (Jarukas et al., 2021).

اسید فولویک از نظر زیستی بسیار فعال بوده (به دلیل گروه هیدروکسیل و کربوکسیل) و توانایی اتصال به ترکیبات مختلف عناصر غذایی و انتقال آن به گیاه را دارد. از دیگر ویژگی‌های اسید فولویک، بار الکتریکی و اندازه مولکولی کوچک آن است. فولویک اسید محصول تجزیه بقایای موجودات زنده بوده و رشد و تقسیم سلول‌های گیاهی را افزایش می‌دهد. از جمله عناصری که همراه فولویک اسید قابل ورود به بافت گیاهی را دارند می‌توان

به روی، آهن، منگنز و مس اشاره کرد. همچنین قدرت تبادل یونی بالای آن سبب افزایش جذب عناصر غذایی در گیاه می‌شود. این ویژگی‌ها سبب ارتقا کیفیت و عملکرد محصول و افزایش تحمل گیاه به تنش کم‌آبی می‌شود (جدول 6).

جدول 6- اثر فولویک اسید بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان

کاربرد ترکیبی از اسید آمینه و اسید فولویک منجر به بهبود شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک خیار سوپر دامینوس (<i>Cucumis sativus</i> L.) در شرایط کم آبیاری شد	نجفی و همکاران، 1400
تیمار 10 کیلوگرم در هکتار اسید فولویک نسبت به تیمار شاهد 25 درصد افزایش عملکرد گیاه دارویی (<i>Coriandrum sativum</i> L.) نشان داد. بیشترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی برگ گیاه (77/9 درصد) با کاربرد 10 کیلوگرم در هکتار اسید فولویک بدست آمد.	امینی فرد و همکاران، 1398
تیمار فولویک اسید شاخص‌های رشد گیاهچه شامل ارتفاع اندام هوایی، طول ریشه‌چه و وزن خشک گیاهچه را به ترتیب 4/3، 4/4 و 9/5 برابر نمود.	خسروی، 1402
تیمارهای 3 در هزار فولیک اسید بیشترین عملکرد میوه به رقم 'حاج آقا کیشی' را به میزان 135/30 کیلوگرم در هر درخت حاصل نمود.	شکوهیان و همکاران، 1401
بیشترین میزان عملکرد انگور متعلق به تیمار محلول‌پاشی توأم بود و پس از آن تیمار محلول‌پاشی آمینو اسید حاوی پرولین آزاد، مصرف خاکی و محلول‌پاشی فولویک اسید بود که به ترتیب میزان عملکرد را به میزان 64/5، 44/2 و 39/8 و 20/3 درصد نسبت به شاهد افزایش دادند.	تدین و همکاران، 1393
کاربرد 10 کیلوگرم در هکتار اسید فولویک به‌عنوان راهکاری اکولوژیک برای افزایش عملکرد کمی گیاه دارویی ریحان (<i>Ocimum basilicum</i> L.) توصیه نمودند.	عسگریان و همکاران، 1398
تیمار 3 در هزار فولیک اسید بیشترین عملکرد میوه را با 135/30 کیلوگرم در هر درخت بهترین نتیجه را حاصل نمود.	شکوهیان و همکاران، 1401
متابولیسم آسکوربات و بیوسنتز فلاوونوئید	سان و همکاران، 2020

اثر فولویک اسید بر گیاهان زراعی در شرایط تنش کم‌آبی

اسید فولویک از دوراه سبب بهبود تحمل گیاه به تنش کم‌آبی می‌شود. اول این‌که با افزایش بیان ژن‌های مؤثر در انتقال مواد، سرعت جذب مواد غذایی را بیشتر کرده و غلظت شیره سلولی را افزایش می‌دهد (شکل 7). همچنین جذب اسید فولویک سبب ایجاد فشار اسمزی و بهبود تحمل گیاه به تنش اسمزی می‌شود. اثرات مثبت مصرف مواد فولویک در تحمل گیاه به تنش کم‌آبی در گیاهان زراعی مختلف از جمله گندم، ذرت و حبوبات گزارش شده است. کاربرد فولویک اسید محتوای کلروفیل و آب برگ‌ها را افزایش می‌دهد (انجم و همکاران، 2011). افزایش سطح برگ با کاربرد فولویک اسید کارایی برگ را در فتوسنتز و بهبود رشد، افزایش می‌دهد. فولویک اسید با افزایش جذب عناصر غذایی (نیتروژن و منیزیم) سبب تجمع کلروفیل و در نهایت افزایش فتوسنتز می‌شود (Yu et al., 2023).

فولویک اسید در کلزا مقدار کلروفیل و شدت فتوسنتز را افزایش و نفوذپذیری غشای سلولی را کاهش داد. این تغییرات بیانگر افزایش تحمل گیاه به تنش کم‌آبی با کاربرد فولویک اسید بود (الریس و همکاران، 2019). در گیاه گندم متأثر از تنش کم‌آبی، با محلول پاشی فولویک اسید، کاهش روزنه‌ها کاهش‌یافته و این خود سبب کاهش باز بودن روزنه برگ‌ها و کاهش تعرق گردید. نشان‌داده‌شده که جذب عناصر پر مصرف (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) با تیمار فولویک اسید، در گیاه سویا افزایش چشمگیری داشته است. همچنین گزارش شده است که فولویک اسید سبب افزایش محتوای آب برگ و کلروفیل در گیاه ذرت شد (ابراهیمی و همکاران، 1401). در آزمایشی غلظت‌های مختلف هیومیک اسید بر گیاه توت فرنگی محلول‌پاشی شد نتایج نشان داد که در غلظت‌های 600 و 900 میلی گرم در لیتر موجب افزایش وزن خشک ساقه، ریشه، میزان ویتامین C و مواد جامد محلول میوه شده و در غلظت 300 میلی گرم در لیتر موجب افزایش اسید قابل تیتراسیون میوه گردید (حقیقی و نجفی، 1398).

افزایش حلالیت عناصر غذایی
توانایی کلات کردن عناصر غذایی
بهبود فعالیت‌های زیستی
ارتقا کارایی متابولیسم
گسترش ریشه
ارتقا بهره‌وری آب در دسترس
تعدیل اثرات تنش کم‌آبی



شکل 8- فرایندهای اثرگذار در ناحیه ریزوسفر با کاربرد فولویک اسید
(Matthews et al., 2022)

اثر فولویک اسید بر گیاهان باغی در شرایط تنش کم‌آبی

در تحقیقات مختلف مشخص شد که محلول‌پاشی فولویک اسید سبب افزایش ویژگی‌های فیزیولوژی درختان از جمله کلروفیل، مواد جامد محلول، اسیدهای قابل تیتراسیون، قندها و فنل شد اما کارتنوئیدها و فلاونوئید کل تغییر معنی‌داری نداشتند (Paradiškovice et al., 2019). در مورد درختان انگور نتایج پژوهش‌های مظفری و همکاران (1397) نشان داد که محلول‌پاشی فولویک اسید در افزایش کیفیت میوه انگور اثرگذار بوده و با افزایش غلظت فولویک اسید تأثیر آن بر صفات مورد ارزیابی کاهش یافت. تیمار 2/5 گرم در لیتر فولویک اسید بیشترین تأثیر را بر ویژگی‌های کیفی میوه انگور رقم فخری داشت. محلول‌پاشی فولویک اسید در سه مرحله رشدی با غلظت 211 میلی‌گرم در کیلوگرم سبب بهبود طول ساقه، سطح برگ، کلروفیل کل برگ و پروتئین کل در شاخه‌های یکساله شد، همچنین محلول‌پاشی فولویک اسید سبب افزایش درصد عناصر نیتروژن فسفر و پتاسیم برگ، عملکرد، وزن خوشه، وزن حبه و محتوای مواد جامد محلول و فنل کل میوه شد. همچنین در درختان آلبالو مشخص شد که اسید فولویک به طور معنی‌داری مواد جامد محلول، سفتی بافت میوه، ویتامین ث، میزان آنتوسیانین، فنل کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی را افزایش داد.

میوه‌های تیمار شده با اسید فولویک اسیدپته کمتری را در مقایسه با شاهد نشان داده و به طور کلی، 2/5 گرم در لیتر به‌عنوان بهترین در بهبود ویژگی‌های کیفی و آنتی اکسیدانی میوه‌های آلبالو رقم گیسی توصیه شد (سرکار و همکاران، 1398).

نحوه مصرف فولویک اسید

کاربرد اسید فولویک به صورت محلول‌پاشی در هر بار به مقدار 500 گرم بر لیتر در هر هکتار با غلظت 3 تا 5 در هزار مناسب است. در مراحل مختلف رشد گیاهان کاربرد آن به مقدار 2 کیلوگرم در هر هکتار همراه کودهای دیگر قابل توصیه است (Bell et al., 2022).

تقویت کودها با اسید فولویک

اسید فولویک عامل کلاته‌کننده قوی است و اندازه مولکولی بسیار ریزی دارد که به آن اجازه می‌دهد تا سریع و آسان از طریق روزنه‌های کوچک که زیر برگ قرار دارند به داخل حفره گیاه وارد شود.

مقدار مصرف

مصرف در فصل رشد حدود 2 کیلوگرم در هکتار

مصرف همراه با کودهای شیمیایی: 1-2% کل مخلوط

محلول‌پاشی: 350-750 گرم در هر هکتار (350 گرم برای 1000 لیتر آب)

محلول‌پاشی برگ: باغبانی 350-750 گرم در هر هکتار (350 گرم برای 1000 لیتر آب)

محلول‌پاشی صیفی‌جات، سبزیجات: (35 گرم برای 100 لیتر آب)

باتوجه به امکان باقی‌ماندن باقی‌مانده فولویک اسید بر روی برگ‌ها و میوه‌ها از محلول‌پاشی در انتهای فصل رشد و نزدیک برداشت محصول باید خودداری شود (Padmaja et al., 2023).

جلبک دریایی

جلبک‌های دریایی به‌صورت تک یا چندسلولی در مناطق ساحلی دریاها و اقیانوس‌ها با شرایط محیطی و اقلیمی مناسب برای جلبک‌ها رشد و نمو می‌کنند. کاربرد جلبک‌ها در

زراعت و باغبانی بیشتر به جلبک‌های قهوه‌ای مربوط بوده که از بین آن‌ها گونه *Ascophyllum nodosum* مناسب‌تر است (شکل 8). از جنس‌های دیگر جلبک‌های قهوه‌ای اثرگذار در رشد و نمو به لامینرا، سارگسوم و توربینانا می‌توان اشاره کرد. همچنین مارمارین یک ماده محرک رشد بوده که از گونه *Ascophyllum nodosum* استخراج شده و دارای انواع آنزیم‌ها، اسیدهای آلی و عناصر غذایی اثرگذار در رشد گیاهان است (Ali et al., 2021).



شکل 8- انواع جلبک‌های دریایی (Zhang et al., 2022)

جلبک‌ها به‌صورت مایع غلیظ شده و به منظور محرک رشد گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرند و دارای مواد معدنی پرمصرف و کم‌مصرف، آمینواسیدها، انواع ویتامین‌ها، اکسین، سیتوکینین، آبسزیک اسید و سایر مواد ضروری برای رشد گیاهان هستند. گیاهان تیمار شده با آسکوفیلوم نودسوم نسبت به تنش کم‌آبی تحمل بالایی دارند که به‌دلیل وجود انواع بتائین‌ها از جمله بوتیریک اسید گاما است. عصاره به‌دست‌آمده از جلبک‌های دریایی شامل پلی‌ساکاریدها، اسیدهای چرب، عناصر غذایی، فیتوکروم است. جلبک دریایی آسکوفیلوم نودوسوم دارای پلی‌ساکاریدهای Laminaran، Focoidan و Alginate است. Laminaran در گیاهان، سبب تحریک پاسخ آنتی‌باکتریال می‌گردد. در عصاره حاصل از جلبک دریایی، عناصر غذایی همچون عناصر کم‌مصرف نیز وجود دارند، هر چند مقدار آن‌ها در مقایسه با

کودهای شیمیایی، کم است. علت اصلی اثرگذاری عصاره جلبک دریایی، وجود تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و هورمون‌هاست. سایتوکنین که یکی از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی است، در عصاره حاصل از جلبک‌های دریایی، به شکل ترکیبات *Trans-Zeatin*، *Trans Zeatin Riboside* و همچنین سایتوکنین آروماتیک بنزیل آمینو پورین وجود دارد. عصاره جلبک دریایی دارای مقادیر زیادی اکسین و ترکیبات شبه اکسینی نیز می‌باشد. برای مثال، گونه آسکوفیلوم نودوسوم دارای 50 میلی گرم اسید ایندول استیک در هر گرم ماده خشک است. وجود هورمون اکسین در سایر گونه‌های جلبک‌های دریایی مانند *Ecklonia maxima* و *Porphyra perforate* نیز گزارش شده است. البته وجود ترکیبات بازدارنده رشد مانند آبسزیک اسید نیز در عصاره جلبک دریایی گزارش شده است. یکی دیگر از ترکیبات موجود در عصاره جلبک دریایی، بتائین و ترکیبات شبه بتائین است که در گیاه، نقش تحمل به تنش محیطی و افزایش مقدار کلروفیل برگ را به عهده دارد. افزایش کلروفیل به دلیل تأثیر بتائین موجود در عصاره جلبک دریایی، سبب افزایش عملکرد گیاه زراعی و باغی می‌گردد. عصاره جلبک دریایی با دارابودن محرک‌های رشد گیاهی از جمله ایندول استیک اسید، اکسین و سایتوکنین سبب افزایش تحمل گیاهان به تنش کم‌آبی می‌گردد (Julia et al., 2022).

جدول 7- اثر جلبک دریایی بر ویژگی‌های رشد و نمو گیاهان

در شرایط تنش کم‌آبی، بیشترین افزایش عملکرد به ترتیب مربوط به تیمارهای مصرف توأم محرک‌های رشد > اسیدآمینو > عصاره جلبک دریایی > اسید فولیک > هیومیک به ترتیب با افزایش 31.9، 21.3، 15.9، 11.9 و 11.1 درصدی نسبت به تیمار شاهد بود. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که با مصرف توأم محرک‌های رشد گیاهی، از جمله، اسیدآمینو، اسید هیومیک و عصاره جلبک دریایی، در سه مرحله رشدی آبیاری دوم، خروج از رزت و شروع گلدهی، ضمن بهبود عملکرد کلزا، تحمل آن را به تنش کم‌آبی افزایش داد.

پسندیده و همکاران،
1401

مصرف محرک‌های رشد سبب جبران بخشی از خسارت تنش کم‌آبی شده و کاربرد اسیدآمینو و جلبک دریایی در شرایط تنش کم‌آبی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به عدم مصرف این ترکیبات در شرایط آبیاری مطلوب شدند؛ بنابراین، استفاده از اسیدآمینو یا جلبک دریایی به‌عنوان راهکاری مناسب جهت افزایش عملکرد گندم در شرایط نرمال و تنش کم‌آبی توصیه می‌شوند.

رفیع و همکاران، 1400

ادامه جدول 7- اثر جلبک دریایی بر ویژگی‌های رشد و نمو گیاهان

در شرایط تنش ملایم، کاربرد سطح 2/5 درصد عصاره جلبک موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی (19%+) و محتوای آب نسبی (7%+) در نخود در مقایسه با شاهد شد. در شرایط تنش شدید، محلول‌پاشی 2/5 درصد حجمی توانست تعداد غلاف در بوته (27%+) و محتوای آب نسبی (6%+) را در مقایسه با سطح شاهد بهبود بخشد. در شرایط تنش ملایم و شدید سطح 2/5 درصد حجمی برای بهبود خصوصیات مورفو- فیزیولوژیک نخود توصیه گردید.	احمدپور و همکاران، 1400
تنش کم‌آبی در تمامی سطوح -3/0، -6/0 و -0/9 مگاپاسکال موجب کاهش معنی‌دار کلیه صفات مورد بررسی در گوجه فرنگی شد اما کاربرد عصاره جلبک به‌ویژه در سطوح 2 و 3 درصد حجمی منجر به افزایش سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه در شرایط تنش کم‌آبی شد.	احمدپور و همکاران، 1399
تیمار کاربرد توأم آمینواسید و جلبک دریایی در غلظت 2 میلی گرم در لیتر نسبت به بقیه تیمارها بهترین نتیجه را از نظر تأثیر بر عملکرد پسته (4/58 کیلوگرم در درخت)، میزان سطح برگ (109/8 سانتی‌متر مربع) و انس پسته (18/8) داشت. با توجه به نتایج پژوهش حاضر مشخص شد که ترکیب کودهای حاوی اسید آمینه و جلبک دریایی می‌تواند نقش بسزایی در بهبود صفات کمی و کیفی گیاه پسته ایفا کند. کاربرد در پسته در زمان تورم جوانه (اسفند)، قبل از گلدهی (فروردین)، ارزنی شدن میوه‌ها (اردیبهشت)، زمان پرشدن مغز (تیرماه)	تراب احمدی و همکاران، 1399

اثر جلبک دریایی بر گیاهان زراعی در شرایط تنش کم‌آبی

عصاره جلبک دریایی به طور گسترده‌ای برای افزایش رشد و نمو و ارتقای کیفیت محصول و کاهش تنش‌های محیطی، استفاده می‌شود. هرچند چگونگی ارتباط بین ترکیبات موجود در عصاره جلبک‌های دریایی و سازوکارهای تأثیر در گیاهان، کمتر بررسی شده است. در شرایط تنش کم‌آبی مقدار گلاسیسین - بتائین در گیاه افزایش یافته اما با کاربرد جلبک دریایی، مقدار آن‌ها کاهش یافت (منصوری و همکاران، 2020). همچنین با کاربرد عصاره جلبک دریایی، فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دسموتاز و آسکوربات پراکسیداز در شرایط تنش کم‌آبی افزایش معنی‌داری می‌یابد (Banakar et al., 2022). نتایج نشان داد که اثر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی بر نخود، اثر منفی تنش کم‌آبی را به دلیل افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه را کاهش داد (احمدپور و همکاران، 1400). همچنین در

شرایط تنش کم‌آبی کاربرد جلبک دریایی، سبب تجمع عناصر غذایی، آنتی‌اکسیدان‌ها و اسیدهای آمینه ضروری در میوه گوجه‌فرنگی شد (Turan et al., 2023). نتایج یک پژوهش در مورد کاهش اثر تنش کم‌آبی در گیاه مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) توسط عصاره جلبک دریایی نشان داد در شرایط تنش کم‌آبی، کاربرد عصاره جلبک دریایی، سبب افزایش طول ساقه، شاخص سطح برگ و تعداد برگ گردید (Farruggia et al., 2024). محلول‌پاشی برگ گیاه در زمان رشد رویشی گیاه گوجه‌فرنگی و فلفل سبب افزایش اندازه، وزن و عملکرد میوه می‌شود و این افزایش به حضور تنظیم‌کننده‌های رشد مانند استیک اسید، اکسین، جیبرلین، کینتین و زآتین در عصاره جلبک دریایی نسبت داده می‌شود. جلبک دریایی با بهبود روابط آبی و کاهش محدودیت باز شدن روزنه‌ای گیاه سبب بهبود رشد اسفناج در شرایط تنش کم‌آبی ملایم شد. عصاره جلبک دریایی به دلیل داشتن هورمون‌های رشد مانند اکسین و سیتوکینین، عناصری همچون نیتروژن، آهن، روی، مس، کبالت، مولیبدن، منگنز، منیزیم و نیکل، ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه، تأثیر مفیدی بر رشد گیاهان و ایجاد تحمل در برابر تنش کم‌آبی دارد. محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی سبب جلوگیری از کاهش شدید رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در گیاه ریحان در اثر تنش کم‌آبی شد و اثر این کود زیستی در شرایط تنش شدید، یعنی قطع آبیاری در ابتدای گلدهی، بیشتر بود. استفاده از عصاره جلبک دریایی *A. nodosum* در گوجه‌فرنگی در شرایط تنش کم‌آبی سبب افزایش کلروفیل کل شد. این کود زیستی، با افزایش رشد ریشه و تداوم جذب آب مانع از کاهش بیش از حد رشد و کاهش سطح برگ شده و این امر سبب تداوم فتوسنتز گیاه ریحان شد (Yakhin et al., 2017). افزایش هورمون‌های رشد گیاهی مانند سیتوکینین و جلوگیری از تجزیه کلروفیل از مسیر کاهش فعالیت آنزیم کلروفیل را به استفاده از جلبک دریایی نسبت می‌دهند. کاربرد جلبک دریایی سبب کاهش نشت یونی از غشای سلولی در شرایط تنش کم‌آبی گردید. عصاره جلبک دریایی با حفظ محتوای نسبی آب در گیاه از تغییرات آب سلول‌های گیاهی جلوگیری کرده و براین‌اساس غشاهای سلولی کمتر در معرض آسیب‌های تنش اکسیداتیو ناشی از تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند. استفاده از عصاره جلبک دریایی در شرایط تنش کم‌آبی سبب تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه و کاهش پراکسیداسیون غشای نسبت به حالت شاهد می‌شود. با افزایش شدت تنش کم‌آبی، میزان پرولین افزایش‌یافته و بیشترین مقدار آن در

شرایط تنش آبی در مرحله ابتدای رشد زایشی حاصل شد و کمترین آن نیز در گیاهان محلول‌پاشی نشده در تیمار آبیاری کامل حاصل شد. افزایش میزان پرولین در گیاه ریحان یکی از سازوکارهای تنظیم اسمزی برای کاهش آثار زیان‌بار تنش کم‌آبی است. تنظیم اسمزی آسیب دهیدراتیو در محیط‌هایی با محدودیت آب را از طریق فرایندهای فیزیولوژیک و حفظ مستمر آماس سلول به تأخیر می‌اندازد. اثر جلبک دریایی در افزایش رشد و به‌ویژه در شرایط تنش‌های محیطی، به اثر محرک‌های رشد موجود در جلبک دریایی بر سیتوکینین‌های ترانس‌زآتین، اکسین‌ها و افزایش بتائین و مواد شبهه بتائین (مؤثر بر فعالیت کلروفیل و همچنین با ممانعت از تخریب کلروفیل) بر می‌گردد (Brown et al., 2015). پایداری غشای سلولی در شرایط تنش کم‌آبی به‌عنوان یک شاخص مهم تحمل به خشکی ذکر شده است. درحقیقت، نشت الکترولیت نیز می‌تواند به‌عنوان شاخص مناسب دیگر از چگونگی آسیب وارده به غشای سلولی برگی در زمان تنش کم‌آبی مطرح است. محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی سبب کاهش نشت یونی از غشای سلولی در شرایط تنش کم‌آبی می‌گردد. عصاره جلبک دریایی با حفظ محتوای نسبی آب در گیاه از تغییرات آب سلول‌های گیاهی جلوگیری کرده و بر این اساس غشاهای سلولی کمتر در معرض آسیب‌های تنش اکسیداتیو ناشی از تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند. کاربرد عصاره جلبک دریایی در شرایط تنش کم‌آبی سبب تقویت سیستم آنتی اکسیدانی گیاه و کاهش پراکسیداسیون غشای نسبت به حالت شاهد می‌گردد. در تعداد زیادی از محصولات کشاورزی، عملکرد به‌طور مستقیم به میزان گلدهی و تشکیل میوه وابسته است. پیشنهاد شده است که افزایش گلدهی و تشکیل میوه در اثر استفاده از کود جلبک دریایی، می‌تواند نتیجه بهبود رشد و نمو ریشه، افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه قوی‌تر شدن گیاه باشد. در توجیه به‌دست‌آمده شاید بتوان محرک‌های رشد موجود در جلبک دریایی که سبب افزایش میزان کلروفیل یا ممانعت از تخریب کلروفیل می‌شود را عامل افزایش فتوسنتز و تولیدات فتوسنتزی توسط کلروفیل دانست (Van Oosten et al., 2017).

نحوه کاربرد جلبک دریایی

باتوجه‌به اینکه این مواد محرک رشد هم در جوانه‌زنی و هم در رشد بعدی گیاه اثرگذارند، بنابراین کاربرد روش‌های ترکیبی بهتر است.

جدول 8- روش‌های کاربرد و چگونگی اثرگذاری کاربردی جلبک دریایی بر گیاه
(Chatzissavvidis and Therios, 2014)

روش کاربرد	فرایند	اثرگذاری
کاربرد گیاهی	بذر مال	بهبود رشد اندام هوایی
	محلول پاشی	افزایش عملکرد
کاربرد خاکی	کاربرد در شیارها	افزایش رشد باکتری‌های محرک رشد گیاه
	کاربرد همراه با کودهای	بهبود رشد ریشه و ساقه
	دیگر	افزایش عملکرد

جدول 9- اثر گونه‌های مختلف جلبک دریایی بر افزایش وزن خشک (%) گیاه (ماش)
(Sharma et al., 2012)

جلبک دریایی	<i>Sargassum muticum</i>	<i>Fucus serratus</i>	<i>Laminaria hyperborea</i>	<i>Fucus vesiculosus</i>	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Indole-3-butyric acid (شاهد)
افزایش درصد ماده خشک گیاه	10/07	10/09	10/35	10/41	10/46	8/99

جدول 10- هورمون‌های گیاهی موجود در عصاره جلبک دریایی
(Sharma et al., 2012)

جلبک دریایی	<i>Laminaria</i> sp.	<i>Ascophyllum nodosum</i>
ستوکینین	+	+
اکسین	+	+
آبسیزیک اسید	-	+
جیبرلین	+	-

ریز موجودات محرک رشد گیاه

تعداد زیادی از گونه‌های باکتری خاک که در ریزوسفر گیاهان زندگی می‌کنند قادرند با مکانیسم‌های متفاوتی رشد گیاهان را بهبود بخشند. این باکتری‌ها در مجموع ریزوباکتری‌های

محرک رشد گیاه نامیده می‌شوند. تحقیق در مورد این باکتری‌ها و مکانیسم‌های اثر آن‌ها در تحریک رشد گیاه به منظور بهره‌برداری در تولید کودهای زیستی افزایش یافته است. از مهم‌ترین انواع ریز جانداران محرک رشد گیاه، باکتری‌های ریزوبیومی هستند. باکتری‌های محرک رشد به جز باکتری‌های ریزوبیوم همزیست، شامل باکتری‌های مفید ریزوسفری دیگر همچون باکتری‌های جنس *Acetobacter*, *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Bacillus* و همچنین بسیاری از باکتری‌های دیگر هستند (Kaur and Pandove, 2023). استفاده از باکتری‌های محرک رشد به منظور بهبود رشد گیاه در بخش‌های مختلف دنیا افزایش یافته است. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه می‌توانند به صورت مستقیم یا غیرمستقیم سبب افزایش رشد گیاه شوند. سازوکارهای مستقیم شامل تثبیت زیستی نیتروژن، تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش قابلیت فراهمی شکل‌های عنصرهای نامحلول مانند فسفر و تولید آنزیم‌هایی مانند ACC - دآمیناز است. در سازوکارهای غیرمستقیم نیز این باکتری‌ها، اثرگذاری‌های زیان‌آور یک یا شماری از بیمارگرهای گیاهی را از راه ایجاد تحمل سیستمیک القایی یا اکتسابی، تعدیل یا خنثی می‌کنند. در بسیاری از موارد باکتری‌های محرک رشد می‌تواند تلفیقی از اثرگذاری‌های بالا مانند تثبیت نیتروژن و حل‌کنندگی فسفات را به طور همزمان داشته باشد. ریزموجودات حل‌کننده فسفات که از باکتری‌های محرک رشد گیاه به شمار می‌آیند، با کاهش pH از راه ترشح اسیدهای آلی (استات، لاکتات، اکسالات، تارتارات، سوکسینات، سیترات، گلوکونات، کتوگلوکونات و گلیکولات) و یا ترشح یون پروتون می‌توانند ترکیب‌های پیچیده فسفات‌های کلسیم را حل کنند. برتری اصلی کاربرد ریزوبیوم‌ها به عنوان میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات، اثر دوگانه سودمندی تغذیه ای گیاه است که سبب تثبیت نیتروژن و حل‌کنندگی فسفات می‌شوند (Hamid et al., 2021). مطالعات متعددی به بررسی و ارزیابی کارایی باکتری‌های ریزوسفری به عنوان محرک رشد در گیاهان مختلف می‌پردازند. از جمله این مطالعات، تحقیقات بشارتی و همکاران (1395) در ارزیابی تأثیر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد بر بهبود شاخص‌های رشد گیاه سویا بود و به این نتیجه دست یافتند که کارایی باکتری‌های سودوموناس در افزایش شاخص‌های رشد سویا بالا بود که دلیل احتمالی این موضوع به فعالیت‌های محرک رشدی باکتری‌های سودوموناس مربوط می‌شود. محققان در بررسی خود با کاربرد باکتری‌های ریزوسفری و قارچ محرک رشد آربوسکولار میکوریزا بر

ویژگی‌ها ریخت‌شناسی و غلظت گیاه دارویی نعنای فلفلی (*Mentha piperita* L.) عناصر غذایی در شرایط گلخانه به این نتیجه رسیدند که کاربرد باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد و قارچ‌های آربوسکولارمیکوریزا در بهبود ویژگی‌های رشدی و غلظت عناصر غذایی در گیاه دارویی نعنای فلفلی نقش عمده‌ای داشت (محمودزاده و همکاران، 1394). همچنین تلقیح گیاهان دارویی با گونه‌های مختلف باکتری ازتوباکتر و قارچ گلووموس سبب افزایش زیست‌توده، سرعت رشد و میزان اسانس گیاه می‌شود (بجلی و همکاران 2022). کاربرد باکتری باسیلوس روی گیاهان باغی سبب افزایش عملکرد اسانس و زیست‌توده شده و میزان اسانس گیاه را دو برابر افزایش داد. کاربرد ازتوباکتر نسبت به شاهد در گندم سبب 13/4 درصد افزایش در عملکرد دانه نسبت به شاهد گردید. با توجه به نتایج آزمایش‌های محققان، مایه‌زنی با ازتوباکتر به‌طور متوسط افزایشی در حدود 20 تا 40 درصد در عملکرد گیاهان مختلف، به‌ویژه غلات را به‌دنبال داشت (Bacher et al., 2018). کود زیستی نیتروژنی بر تمام پارامترهای رشدی ذرت و طول بلال اثر معنی‌داری داشت. در این آزمایش کود زیستی نیتروژنی با افزایش جذب عنصر نیتروژن در افزایش رشد اندام‌های هوایی گیاه ذرت نقش مؤثری داشت. نیز در مطالعه‌ای روی ذرت گزارش کردند که اثر بیوپراپمینگ بذر با کود زیستی نیتروکسین نیز بر صفت طول بلال اثر معنی‌دار مثبت دارد. نتایج تحقیق نشان داد که استفاده از ازتوباکتر و باکتری‌های حل‌کننده فسفات روی برنج سبب افزایش معنی‌داری در وزن 1000 دانه برنج نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین اثر کودهای بیولوژیک حاوی ازتوباکتر و آزوسپریلوم و باکتری‌های تسهیل‌کننده جذب فسفر بر تعداد دانه در سنبله گندم نیز گزارش شده است (Kumari et al., 2022). باکتری‌های محرک رشد گیاه با روش‌های مختلف بر گیاه در برابر تنش کم‌آبی اثر می‌گذارند. مکانیسم‌های مستقیم افزایش رشد گیاه شامل تحریک رشد با تولید هورمون‌های گیاهی، اکسین، جیبرلین، سیتوکینین و بهبود جذب عناصر غذایی از طریق فرآیندهایی از قبیل تثبیت نیتروژن، کلاته شدن آهن با تولید سیدروفور، افزایش حلالیت فسفات، اکسیداسیون گوگرد و بویژه سنتز آنزیم ACC (1-آمینوسیکلوپروپان-1-کربوکسیلات) دآمیناز که سبب کاهش تولید اتیلن در گیاهان و در نهایت افزایش تحمل گیاهان به تنش کم‌آبی می‌شوند. فسفر قابل جذب کمتر از حد بحرانی در بسیاری از خاک‌ها بویژه خاک‌های آهکی یکی از عوامل محدودکننده رشد ریشه بویژه در اوایل رشد گیاهان محسوب می‌گردد. با وجود اینکه در خاک‌ها مقادیر زیادی فسفر

کل وجود دارد اما قابلیت جذب فسفر در خاک اغلب محدود است. باکتری‌های حل‌کننده فسفات دارای توانایی حل و معدنی کردن فسفر هستند. مکانیسم مورد استفاده توسط باکتری‌های حل‌کننده فسفات شامل تولید اسیدهای آلی است که محیط پیرامون خود را تا حدی به طرف اسیدی شدن پیش برده که موجب افزایش حل شدن ترکیبات کم محلول فسفر می‌گردد. همچنین برخی از آگروپلی ساکاریدها نیز در انحلال تری کلسیم فسفات نقش دارند. فسفاتازها (فسفومونواستراز، فسفودی استراز و فسفوتری استراز) استرهای فسفری را هیدرولیز کرده و فسفر آلی را معدنی می‌کنند. باکتری های *Bacillus sp.*، *Pseudomonas sp.*، *Escherichia coli* و *Enterobacter* قادر به تجزیه فیتات می‌باشند (Sun et al., 2024). کمبود برخی از عناصر کم مصرف از جمله روی به‌عنوان یکی از عوامل محدودکننده رشد گیاهان بویژه در شرایط تنش کم‌آبی مطرح بوده و در خاک‌های آهکی کمبود روی بیشتر خودنمایی می‌کند. برخی از سویه‌های باکتری توانایی انحلال ترکیبات کم محلول دارای روی را دارا هستند و از این طریق به گیاه در جذب روی موردنیاز خود کمک می‌کنند. همچنین در شرایط هوازی، آهن بیشتر به صورت هیدروکسیدها، اکسی هیدروکسیدها و اکسیدها وجود دارد، لذا مقدار آهن قابل جذب موجود برای رشد و توسعه گیاهان کم است. گیاهان از طریق استراتژی نوع دو که مبتنی بر تولید و رهاسازی ترکیبات کلات‌کننده Fe^{3+} یا فیتوسیدوفورها و جذب کمپلکس آهن-فیتوسیدروفور به داخل سلول‌های ریشه می‌باشد. نمونه تیپیک گیاهان علف‌ها و گیاهان خانواده گرامینه می‌باشند. بطور کلی سیدروفورها مواد آلی با وزن مولکولی کم و میل شدید برای ترکیب شدن بطور اختصاصی با آهن، که توسط ریزجانداران و گیاهان برای مقابله با کمبود آهن خاک تولید شده و امکان انتقال آهن به داخل سلول را فراهم می‌نماید. دینامیک آهن در ریزوسفر نه تنها توسط ویژگی‌های خاک و گیاه تنظیم می‌شود، بلکه تحت کنترل ترکیبات تولید شده بوسیله میکروب‌ها نیز می‌باشد. کمبود آهن وقتی اتفاق می‌افتد که غلظت آن به حدود 10^6 مولار برسد. در این شرایط در رشد سلول‌های باکتری اختلال ایجاد شده و مورفولوژی آن‌ها تغییر یافته و مقدار تولید RNA و DNA کاهش می‌یابد. لذا تولید کلات‌کننده‌های آهن (سیدروفور) افزایش می‌یابد. این مولکول‌ها تمایل بالایی به Fe^{3+} دارند. کمپلکس آهن-سیدروفور از طریق ناقل‌های خاص غشای بیرونی جذب سلول می‌شود. در شرایط تنش کم‌آبی، تولید سیدروفور توسط باکتری‌ها تحریک می‌شود. گزارش شده است که افزایش

جذب عناصر غذایی در شرایط تنش کم‌آبی سبب بهبود شاخص‌های فتوسنتزی می‌شود که نقش بسزایی در افزایش تحمل گیاه به تنش کم‌آبی دارد (Lyu et al., 2020).

نقش باکتری‌های محرک رشد در شرایط تنش کم‌آبی

عوامل متعددی مانند عناصر غذایی و مسیرهای خاص مولکولی متأثر از عملکرد برخی از باکتری‌های محرک رشد سبب القا سیگنال‌های هورمونی در گیاه شده و در نتیجه موجب افزایش تراکم و طول ریشه می‌شود. معماری سیستم ریشه (RSA)، شامل توپولوژی سیستم ریشه، توزیع فضایی ریشه‌های اصلی و جانبی، تعداد و اندازه ریشه‌هاست. باکتری‌های محرک رشد، به طور عمده سبب تغییر ساختار ریشه از طریق تغییرات هورمونی به نفع گیاه می‌شوند. این باکتری‌ها می‌توانند توسعه و رشد ریشه را از طریق تولید هورمون‌های گیاهی، متابولیت‌های ثانویه و آنزیم‌ها انجام داده و از این طریق سبب عملکرد بهتر ریشه در جذب مواد غذایی شوند. به نظر می‌رسد که بهبود رشد گیاه با افزایش تعداد و طول ریشه‌های فرعی و موئین موجب افزایش تحمل گیاه به شرایط تنش کم‌آبی می‌گردد. این باکتری‌ها با تغییر در رونویسی ژن و بیوسنتز متابولیت‌ها در سلول‌های گیاهی، سبب تغییر در فیزیولوژی ریشه میزبان می‌شوند. کلنیزاسیون مناسب، یکی از ویژگی‌های مهم باکتری‌های محرک رشد بوده و عملکرد خود باکتری‌ها در برابر تنش کم‌آبی نشان‌دهنده عملکرد مناسب باکتری‌های محرک رشد تلقیح شده به دلیل بقای مناسب در خاک، تعامل با ریز جانداران دیگر از عوامل مهم در تلقیح موفق محسوب می‌گردد (Ganugi et al., 2022).

نحوه کاربرد مواد محرک رشد زیستی

مقدار مصرف مواد محرک رشد و شیوه کاربرد آن در گیاهان زراعی و باغی بستگی به نوع ترکیبات و فرمولاسیون آن‌ها دارد. این مواد، بیشتر به صورت پودری یا مایع و گاهی به شکل گرانول تولید می‌شوند. باتوجه به نوع ترکیبات هر ماده محرک رشد، روش مصرف آن به صورت زیر است:

مواد محرک رشد با فرمولاسیون جامد

مقدار و نوع مواد محرک رشد مصرفی بستگی به مقدار و نوع بذر گیاهان مختلف متفاوت است. برای چسبیدن مواد محرک رشد پودری به بذر و ارتقا کارایی مصرف آن‌ها از مواد چسباننده استفاده می‌شود. به‌منظور تلقیح بذر با مواد محرک رشد پودری ابتدا مقدار بذر مورد نیاز را به ظرفی تمیز با حجم مناسب منتقل کرده سپس متناسب با مقدار بذر مورد نظر، مقدار مشخصی از ماده چسباننده افزوده می‌شود. پس از به‌هم‌زدن مخلوط بذر و محرک رشد و اطمینان از چسبیدن مواد محرک رشد به بذرها، در سایه هوا خشک می‌شوند. پس از خشک‌شدن بذرها در سریع‌ترین زمان کشت انجام خواهد شد. مواد چسبناک‌کننده بذر دارای انواع مختلفی است که بیشتر از صمغ عربی، متیل اتیل سلولوز، شکر و مانند این‌ها تشکیل شده است. در مورد بذره‌ای در اندازه گندم، مصرف 50 میلی‌لیتر محلول چسباننده برای 100 گرم ماده محرک رشد قابل استفاده است (Bell et al., 2022).

مواد محرک رشد با فرمولاسیون مایع

این مواد محرک رشد را به‌صورت بذر مال و محلول‌پاشی می‌توان استفاده نمود. در روش بذر مال، مقدار مشخصی از بذر با وزن معلوم را در داخل ظرف تمیز و حجم مناسب ریخته سپس ماده محرک رشد مایع به‌تدریج به آن اضافه می‌شود. پس از تکان دادن ظرف و اطمینان از تلقیح تمام بذرها، تا موقع کشت در محلی دور از نور مستقیم خورشید و در جای خشک و خنک نگهداری می‌شوند. مقدار ماده محرک رشد مصرفی بستگی به مقدار و نوع بذر متغیر است. در مورد بذره‌ای در اندازه گندم برای هر کیلوگرم بذر، مصرف 30 میلی‌لیتر از ماده محرک رشد قابل توصیه است. روش دیگر مصرف مواد محرک رشد مایع، کاربرد محلول‌پاشی است. برای این کار از سم‌پاش یا محلول‌پاش که نازل‌های آن قابلیت پاشش بصورت مه پاش را دارد استفاده می‌شود. ابتدا با توجه به حجم مخزن دستگاه و توصیه کارشناسان مبنی بر کاربرد سه تا پنج در هزار مصرف مواد محرک رشد مقدار مورد نیاز مشخص می‌شود. برای کاربرد پنج در هزار محلول‌پاشی مواد محرک رشد، مقدار پنج لیتر از ماده محرک رشد در هزار لیتر آب در مخزن دستگاه ریخته و به هم زده می‌شود. محلول‌پاشی در ظهر انجام نمی‌شود. بهترین زمان محلول‌پاشی، در زمان غروب خورشید است. در این زمان،

نور خورشید اثر مستقیم کمتری داشته و پس از محلول‌پاشی فرصت بیشتری برای جذب در برگ وجود دارد (Grammenou *et al.*, 2023; Ahmad *et al.*, 2018).

تحقیقات انجام شده در مورد توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب در سال‌های اخیر

در سال‌های گذشته پژوهشگران در مؤسسه تحقیقات خاک و آب و همچنین در مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منبع طبیعی استان‌ها در مورد اثر مواد محرک رشد بر ویژگی‌های عملکرد، اجزای عملکرد و فیزیولوژی گیاهان زراعی و باغی فعالیت پژوهشی داشته‌اند که در جدول 11 به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. نتایج نشان داد که این مواد محرک رشد قابلیت توصیه برای بهبود تولیدات گیاهی و پایداری عملکرد در محصولات زراعی و باغی را دارند.

جدول 11- فعالیت‌های پژوهشی در مورد مواد محرک رشد در شرایط تنش کم‌آبی در سال‌های اخیر

پژوهشگران	محصول	مواد کاربردی	نتیجه	توضیحات
سلیمانی و همکاران (1399)	گندم	کرت‌های اصلی: دو سطح آبیاری بعد از 70 و 140 میلی‌متر، کرت‌های فرعی: شاهد، محلول پاشی اسیدآمین، کودآبیاری هیومیک اسید به میزان 5 کیلوگرم در هکتار، محلول پاشی، فولویک اسید، محلول پاشی عصاره جلبک دریایی، مایه‌زنی باکتری ازتوباکتر و ترکیبی از مواد محرک رشد	کاربرد ترکیبی از مواد محرک رشد تیمار برتر بوده و با عملکرد دانه برابر با 5872 کیلوگرم در هکتار، 12/9 درصد افزایش عملکرد به دست آمد.	در شرایط تنش کم‌آبی، ترکیبی از مواد محرک رشد اثرگذار بود.
پسندیده و همکاران، 1401	کلزا	کرت‌های اصلی: دو سطح آبیاری بعد از 70 و 140 میلی‌متر، کرت‌های فرعی: شاهد، محلول پاشی اسیدآمین، کودآبیاری هیومیک اسید به میزان 5 کیلوگرم در هکتار، محلول پاشی، فولویک اسید، محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و ترکیبی از مواد محرک رشد	در شرایط تنش کم‌آبی، بیشترین افزایش عملکرد به ترتیب مربوط به تیمارهای مصرف توأم محرک‌های رشد، اسیدآمین، عصاره جلبک دریایی، اسید فولویک و هیومیک به ترتیب با افزایش 11.9، 15.9، 21.3، 31.9 و 11.1 درصدی نسبت به تیمار شاهد بود.	به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که با مصرف توأم محرک‌های رشد گیاهی، از جمله، اسیدآمین، اسید هیومیک و عصاره جلبک دریایی، در سه مرحله رشدی آبیاری دوم، خروج از رزت و شروع گلدهی، ضمن بهبود عملکرد کلزا، تحمل آن را به تنش کم‌آبی افزایش داد. یک گرم از ماده محرک رشد در 100 میلی لیتر آب حل شده و برای بذر مال یک کیلوگرم بذر استفاده شد. 5 کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید غلظت 5 در هزار برای محلول پاشی برای سایر مواد محرک رشد
خودشناس و همکاران، 1401	کلزا	کاربرد بذر مال و محلول پاشی اسیدآمین، فولویک اسید و عصاره جلبک دریایی در مراحل شش‌برگی و انتهای روزت، کاربرد کودآبیاری هیومیک اسید	عملکرد دانه، غلظت فسفر، تعداد دانه در خورجین، سطح برگ، غلظت پتاسیم	عملکرد دانه، غلظت فسفر، تعداد دانه در خورجین، سطح برگ، غلظت پتاسیم
میرزاپور و نورقلیپور، 1401	کلزا	محلول پاشی اسیدآمین، فولویک اسید و عصاره جلبک دریایی در مراحل شش‌برگی و انتهای روزت، کاربرد خاکی هیومیک اسید	بیشترین عملکرد دانه و کاه، از تیمار ترکیبی مواد محرک رشد به‌ترتیب با میانگین 4565 و 1066 کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. بالاترین غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس	5 کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید غلظت 5 در هزار برای محلول پاشی برای سایر مواد محرک رشد

ادامه جدول 11- فعالیت‌های پژوهشی در مورد مواد محرک رشد در شرایط تنش کم آبی در سال‌های اخیر

پژوهشگران	محصول	مواد کاربردی	نتیجه	توضیحات
رجایی، 1400	کلزا	محلول پاشی اسید آمینه، فولویک اسید و عصاره جلبک دریایی در دو مرحله، کاربرد کودآبیاری هیومیک اسید	بیشترین میزان غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف کاه و دانه از تلفیق ترکیبات محرک رشد به دست آمد.	ترکیبات محرک رشد از طریق بهبود جذب عناصر غذایی سبب تحمل به تنش کم آبی شدند. همچنین تلفیق ترکیبات محرک رشد در افزایش عملکرد دانه گندم نقش به سزایی داشت.
رفیع (1400)	سیب زمینی	هشت تیمار: اسید هیومیک، اسید آمینه آزاد، مصرف توأم تیمارها (به جز اسید آمینه) و شاهد بود.	در رقم سانتِه بیشترین عملکرد غده مربوط به تیمار مصرف توأم بود و نسبت به بقیه تیمارها برتری معنی داری داشت. در رقم اوتاوا نیز حداکثر عملکرد مربوط به تیمار مصرف توأم بود ولی نسبت به اسید آمینه برتری معنی داری نداشت.	بر اساس نتایج این پژوهش، در رقم سانتِه کاربرد توأم محرک های رشد و در رقم اوتاوا کاربرد اسید آمینه های پتاسیم یا کلسیم دار یا اسید هیومیک توصیه شد.
ریگی و ولی زاده (1402)	گیاه دارویی پنیر باد	اسید هیومیک در چهار سطح: H0 صفر، H1: 10 و H2: 30 گرم در کیلوگرم خاک	تیمار H2 سبب افزایش معنی دار وزن تر، وزن خشک، تعداد شاخه جانبی، ارتفاع، فسفر، پتاسیم و محتوی نسبی آب نسبت به شاهد گردید.	
غنی زاده و همکاران	گندم	دو سطح اسید هیومیک و سه سطح عصاره سیر در تنش 45 درصد ظرفیت زراعی	کاربرد اسید هیومیک سبب افزایش عملکرد گندم در مقایسه با شاهد شد	
جعفر نژادی و همکاران (1402)	گندم	اسید آمینه، اسید هیومیک، فولویک اسید و جلبک دریایی	اسید آمینه، اسید هیومیک و جلبک دریایی دارای بیشترین عملکرد دانه، وزن هزار دانه، ارتفاع پوته و تعداد دانه در خوشه نسب به تیمار شاهد و سایر تیمارهای محرک رشد بودند	کاربرد سه محرک رشد اسید آمینه، اسید هیومیک و جلبک دریایی موجب افزایش تحمل گیاه به تنش های محیطی شد

ادامه جدول 11- فعالیت‌های پژوهشی در مورد مواد محرک رشد در شرایط تنش کم‌آبی در سال‌های اخیر

پژوهشگران	محصول	مواد کاربردی	نتیجه	توضیحات
میرزاپور و همکاران (1402)	کلزا	مصرف خاکی اسید هیومیک به مقدار 5 کیلوگرم در هکتار، محلول پاشی اسید آمینه با غلظت 5 در هزار، محلول پاشی اسید فولیک، محلول پاشی جلبک دریایی با غلظت 5 در هزار و تیمار ترکیبی	ترکیبی از محرک‌های رشد، اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه و روغن و نیز برخی از ویژگی‌های زراعی کلزا داشت. بالاترین عملکرد دانه و کاه، از تیمار ترکیبی مواد محرک رشد به‌ترتیب با میادگین 4565 و 1066 کیلوگرم در هکتار به دست آمد.	
حسینی و حسن زاده خانکهدانی، 1402	گوجه‌فرنگی	هیومیک اسید، فولویک اسید و جلبک دریایی	با کاهش 25 درصد از کودهای شیمیایی، کارایی کاربرد این کودها با استفاده از محرک‌های رشد (هیومیک اسید، فولویک اسید و جلبک دریایی) به بیش از دو برابر افزایش یافت.	
علیلو و همکاران، 1402	لوبیا قرمز	آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی در سه سطح آبیاری هر 8، 11 و 14 روز یکبار، ترکیبات محرک رشد به‌عنوان فاکتور فرعی در 5 سطح شامل مصرف اسید هیومیک همراه آب آبیاری، محلول پاشی آمینو اسید، محرک ریشه‌زایی، پتاسیم	بیشترین عملکرد دانه و عملکرد پروتئین دانه، در تیمار آبیاری هر 8 روز یکبار و کاربرد اسید هیومیک به ترتیب به میزان 3076 و 746 کیلوگرم در هکتار به دست آمد.	در بهبود خصوصیات زراعی، کیفی و فیزیولوژیک لوبیا قرمز کاربرد اسید هیومیک 95 درصد هم در شرایط آبیاری نرمال و هم در شرایط تنش می‌تواند مؤثر باشد
صالح و همکاران، 140	پرتقال	محلول پاشی اسید آمینه، محلول پاشی عصاره جلبک، مصرف خاکی اسید هیومیک، محلول پاشی اسید فولویک، مصرف خاکی قارچ مایکوریزا، محلول پاشی اسید آمینه و عصاره جلبک همراه با مصرف خاکی اسید هیومیک و قارچ مایکوریزا	بیشترین تاثیر مثبت در تیمار مصرف خاکی اسید هیومیک و مایه تلقیح مایکوریزا همراه با محلول پاشی اسید آمینه و عصاره جلبک دریایی، توام با مصرف کودهای شیمیایی به میزان 100% مقادیر توصیه شده، مشاهده گردید	کارایی مصرف کودها در درختان تیمار شده با 75% کودهای شیمیایی توصیه شده، بیشتر از تیمار 100% بود. نتیجه‌گیری: توصیه می‌شود به‌منظور نیل به افزایش عملکرد، ارتقای کیفیت محصول و کاهش آلودگی محیط‌زیست، با خودداری از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، کاربرد ترکیبی از مواد محرک رشد شامل اسید هیومیک، اسیدهای آمینه، عصاره جلبک و قارچ مایکوریزا به همراه مصرف 75% مقادیر توصیه شده کودهای شیمیایی در برنامه تغذیه تلفیقی باغ‌های پرتقال مدنظر قرار گیرد.

ادامه جدول 11- فعالیت‌های پژوهشی در مورد مواد محرک رشد در شرایط تنش کم‌آبی در سال‌های اخیر

پژوهشگران	محصول	مواد کاربردی	نتیجه	توضیحات
نائینی و همکاران، 1402	انار	محلول‌پاشی اسیدآمینه با غلظت 5 گرم در لیتر در دو مرحله، مصرف سرک اسید هیومیک، محلول‌پاشی اسید فولیک با غلظت 5 گرم در لیتر، محلول‌پاشی عصاره جلبک- دریایی با غلظت 5 گرم در لیتر، مصرف مایکوریزا به‌صورت چالکود و مصرف توآمان مواد محرک رشد	بالاترین عملکرد میوه در درخت و هکتار و تعداد میوه در درخت با مصرف عصاره جلبک دریایی و 70 درصد آبیاری در سال اول آزمایش با میانگین به ترتیب 2/29 و 29200 کیلوگرم در هکتار و 66/96 عدد به دست آمد.	کاهش مقدار آب آبیاری محاسبه شده بر اساس نیاز آبی انار تا میزان 30 درصد در اثر کاربرد مواد محرک رشد، اثر کاهشی معنی‌داری بر عملکرد میوه و برخی ویژگی‌های انار نداشت
روشنیان و همکاران، 1402		اسید هیومیک شامل صفر، 2 و 4 گرم بر کیلوگرم خاک و آبیاری شامل 60، 80 و 100 درصد تخلیه رطوبتی	بهترین عملکرد فلفل دلمه‌ای با کاربرد 4 گرم در کیلوگرم هیومیک اسید حاصل شد	
ظاهری و همکاران (1400)		کاربرد اسید هیومیک در چهار سطح: چهاربرگی، هشت‌برگی، قبل از ظهور گل تاجی و هنگام شیری شدن دانه	بیش‌ترین میزان صفات در مرحله چهار و هشت‌برگی از کود پلی فسفات کندرها+اسید هیومیک و کمترین مقدار در اکثر صفات با استفاده از کود پلی فسفات کندرها+اسید هیومیک در مرحله شیری شدن دانه مشاهده شد.	
نائینی و میرزاپور (1402)	پسته	محلول‌پاشی اسیدآمینه، مصرف اسید هیومیک به میزان 40 گرم در هر درخت، محلول‌پاشی اسیدفولویک، محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی، کاربرد قارچ مایکوریزا به مقدار یک کیلوگرم در هر درخت، مصرف توام تیمارها	نتایج نشان داد که تیمار مصرف قارچ مایکوریزا باعث افزایش عملکرد پسته تر در شرایط خشکی و نرمال به ترتیب به میزان و درصد نسبت به شاهد گردید.	مواد محرک رشد گیاهی با نقش در کلاته نمودن عناصر غذایی، افزایش جذب عناصر غذایی و مواد اسمولیز کننده (ضد تنش (باعث افزایش رشد و نمو در شرایط تنش کم‌آبی شدند.

نتیجه‌گیری

تولید محصولات کشاورزی در ایران اغلب در شرایط تنش کم‌آبی قرار داشته و با محدودیت رشد مواجه است. چنانچه تنش کم‌آبی رخ ندهد عملکرد واقعی باید نزدیک به عملکرد پتانسیل گیاهان باشد، درحالی‌که متوسط عملکرد گیاهان بسیار کمتر از درصد پتانسیل عملکرد بیشتر محصولات کشاورزی است. اما ترکیبات محرک رشد سبب بهبود رشد گیاه در شرایط تنش کم‌آبی شده و افزایش معنی‌دار عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر کم‌مصرف آهن، روی، منگنز و مس را در گیاه به دنبال دارد. بسته به شرایط خاک و اقلیم کاربرد هر یک از مواد محرک رشد یا کاربرد تلفیقی از ترکیبات محرک رشد در افزایش وزن خشک و عملکرد زیستی اثرگذار است. کاربرد ترکیبی از مواد محرک رشد سبب بهبود اجزای عملکرد و افزایش غلظت عناصر غذایی در بذر و کاه گندم می‌گردد. در حالت کلی در شرایط تنش کم‌آبی، کاربرد اسید فولویک و در شرایط بدون تنش کم‌آبی کاربرد اسیدآمینه، تیمارهای برتر از نظر افزایش عملکرد دانه، عملکرد زیستی و افزایش غلظت عناصر غذایی از جمله فسفر، پتاسیم و روی در بذر و کاه گندم بودند. با کاربرد اسیدهای آمینه و اسید هیومیک، عملکرد، میزان کلروفیل و کارتنوئید در شرایط تنش کم‌آبی افزایش یافت. از نقش‌های دیگر مواد محرک رشد می‌توان به تنظیم انتقال یون‌ها، تنظیم باز و بسته‌شدن روزنه‌ها و عمل به‌عنوان اسمولیت اشاره کرد.

کاهش میزان آب قابل‌دسترس گیاه در شرایط تنش کم‌آبی، سبب محدودیت جذب عناصر غذایی توسط گیاه شده و غلظت آن‌ها در بافت‌های گیاهی کاهش می‌دهد. کاهش جذب عناصر معدنی می‌تواند به‌خاطر کاهش جذب و انتقال عناصر غذایی از ریشه به قسمت‌های مختلف گیاه باشد. گیاه برای داشتن جذب مطلوبی از عناصر غذایی به آب در یک حد بهینه نیاز دارد. تیمار مصرف تلفیقی محرک‌های رشد اثرات بهبوددهنده بهتری در شرایط خشکی داشتند. ترکیبات محرک رشد از طریق تولید هورمون‌های تحریک‌کننده رشد گیاه به‌ویژه اکسین، سیتوکینین و جیبرلین رشد و نمو گیاهان را تحت‌تأثیر قرار داده و سبب افزایش شاخص‌های رشدی از جمله ارتفاع بوته می‌شوند. عناصر غذایی همراه محرک‌های رشد به‌راحتی توسط ریشه و برگ‌ها از طریق روزنه و یا کوتیکول جذب می‌شوند. همچنین مصرف حاکی اسید هیومیک می‌تواند شکل‌های نامحلول معدنی و آلی

فسفر را به شکل‌های قابل‌جذب تبدیل کند و جذب فسفر توسط ریشه را افزایش دهد. کاربرد مواد محرک رشد در خاک‌های با غلظت عناصر متفاوت از جمله درصد نیتروژن مختلف پاسخ‌های متفاوتی به دنبال داشته و جذب نیتروژن و فسفر در خاک‌های با غلظت نیتروژن و فسفر پایین، به مقدار بیشتری افزایش نشان می‌دهد؛ بنابراین در صورتی که کودهای مصرفی بتوانند تا پیش از کاربرد مواد محرک رشد نیاز گیاه به عناصر غذایی را تأمین کنند اثر کاربرد مواد محرک رشد معنی‌دار نمی‌گردد. مشخص شده است که در شرایط بدون تنش کم‌آبی، کاربرد اسیدآمیننه در شرایط دارای تنش کم‌آبی، کاربرد فولویک اسید اثر بیشتری بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت عناصر غذایی داشته است. در شرایط بدون تنش کم‌آبی، کاربرد آمینواسید و در شرایط با تنش کم‌آبی، کاربرد هیومیک اسید بیشترین نسبت سود به هزینه را داشته و صرفه اقتصادی بالاتری نسبت به سایر تیمارها داشتند. تأثیر کاربرد مواد محرک رشد در شرایط تنش کم‌آبی و بدون آن می‌تواند متفاوت بوده؛ اما در حالت کلی می‌توان با کاربرد توأم مواد محرک رشد، اثرات تنش خشکی را تا حدود 15 درصد کاهش می‌دهد.

توصیه‌ها

- کاربرد مواد محرک رشد به‌ویژه در شرایط تنش کم‌آبی سبب افزایش عملکرد شده و باتوجه‌به هزینه پایین این مواد، صرف اقتصادی نیز دارد؛ بنابراین توصیه اکید بر کاربرد این مواد در برنامه تغذیه محصولات زراعی و باغی می‌شود.
- محلول‌پاشی مواد محرک رشد در شرایط تنش کم‌آبی باید به‌صورت ریز مه‌پاشی بوده که می‌توان از طریق افزایش فشار محلول‌پاش یا با استفاده از پمپ‌های بوم دار با نازل‌های واژگون که محلول را با زاویه 45 درجه روی گیاه می‌پاشند انجام شود.
- مراحل فنولوژیکی حساس به تنش کم‌آبی (دوره‌های بحرانی آبیاری) در گیاهان مختلف متفاوت بوده و کاربرد مواد محرک رشد نیز باید براین اساس تنظیم شود.
- مصرف کودهای آلی و کاربرد مواد محرک رشد سبب هم‌افزایی در افزایش تولید می‌گردد و کاربرد هر دو نوع کود در فصل زراعی توصیه می‌گردد.
- در هنگام خرید مواد محرک رشد، از شماره ثبت آن و مورد تأیید بودن این مواد به‌ویژه از نظر مؤسسه تحقیقات خاک و آب اطمینان حاصل گردد.
- هر ماده محرک رشد دارای تاریخ مصرف مشخصی بوده و در هنگام خرید آن باید به تاریخ تولید و شرایط نگهداری دقت نمود. بسته‌های مواد محرک رشد در جای خنک (دمای حدود 4 درجه سانتی‌گراد) و خشک و بهترین زمان مصرف در ماه‌های نخست تولید می‌باشد.

منابع مورد استفاده

1. ابراهیمی، ه، ایلکایی، م. ن، طهرانی، م.م، پاک نژاد، ف، بصیرت، م. 1401. تأثیر برخی محرک‌های رشدی و سطوح مختلف کود شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. علوم گیاهان زراعی ایران. 53: 189-200.
2. احمدپور، ر، سلیمی، ا، زیدی، ه، و ن. آرمند. 1400. استفاده از عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) در بهبود اثرات منفی ناشی از تنش کم‌آبی در گیاه نخود با تأکید بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک، پژوهش‌های حبوبات ایران، 12: 199-213.
3. احمدپور، ر، سلیمی، ا، زیدی، ه، آرمند، ن. 1400. استفاده از عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) در بهبود اثرات منفی ناشی از تنش کم‌آبی در گیاه نخود با تأکید بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک، پژوهش‌های حبوبات ایران، 12: 199-213.
4. اکرمی ابرقویی، م، محمدخانی، ع، و غ. ربیعی. 1398. اثر برخی محرک‌های زیستی بر ویژگی‌های رشد رویشی و غلظت عناصر برگ درخت زردآلو رقم شکرپاره. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. 9 (3): 153-163.
5. اکرمی ابرقویی، م، محمدخانی، ع، و غ. ربیعی. 1398. اثر برخی محرک‌های زیستی بر ویژگی‌های رشد رویشی و غلظت عناصر برگ درخت زردآلو رقم شکرپاره. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. 9 (3): 153-163.
6. امیروسفی، م، تدین، م، و ر. ابراهیمی. 1400. تأثیر کودهای زیستی نیتروژنه و فسفره بر جوانه‌زنی بذر و برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی دو رقم کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) تحت تنش کم‌آبی، نشریه زیست‌شناسی گیاهی ایران 13: 107-126
doi:10.22108/ijpb.2021.125105.1227.
7. امیروسفی، م، تدین، م، و ر. ابراهیمی. 1400. تأثیر کودهای زیستی نیتروژنه و فسفره بر جوانه‌زنی بذر و برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی دو رقم کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) تحت تنش کم‌آبی، نشریه زیست‌شناسی گیاهی ایران 13: 107-126.
8. امینی فرد، م، غلامی، م، بیات، ح، و ف. مرادی نژاد. 1399. تأثیر کاربرد کودهای اسید فولویک و اسید آمینه بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، رشدی و عملکرد گشنیز (*Coriandrum sativum* L). بوم‌شناسی کشاورزی، 12: 388-373. SID. <https://sid.ir/paper/957101/fa>.

9. امینی فرد، م.، غلامی، م.، بیات، ح.، و ف. مرادی نژاد. 1399. تأثیر کاربرد کودهای اسید فولویک و اسید آمینه بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، رشدی و عملکرد گشنیز (*Coriandrum sativum* L). بوم‌شناسی کشاورزی، 12(3)، 373-388.
10. بیگدلی نسب، ح.، سلگی، م. و م. تقی زاده. 1399. کاربرد اسید هیومیک و سوپرچاذب نانوکامپوزیت بر خصوصیات رشد و مقابله با تنش کم‌آبی در چمن. مجله علوم باغبانی ایران (علوم کشاورزی ایران)، 51(2)، 387-402.
11. بیگدلی نسب، ح.، سلگی، م. و م. تقی زاده. 1399. کاربرد اسید هیومیک و سوپرچاذب نانوکامپوزیت بر خصوصیات رشد و مقابله با تنش کم‌آبی در چمن. مجله علوم باغبانی ایران (علوم کشاورزی ایران)، 51(2)، 387-402.
12. پسندیده، م.، رجایی، م. و ح. زینل زاده تبریزی. 1401. تأثیر محرک‌های رشد گیاهی در افزایش تحمل گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) به تنش کم‌آبی، تنش‌های محیطی در علوم زراعی، 15: 1023-1035.
13. پسندیده، م.، رجایی، م. و ح. زینل زاده تبریزی. 1401. تأثیر محرک‌های رشد گیاهی در افزایش تحمل گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) به تنش کم‌آبی، تنش‌های محیطی در علوم زراعی، 15: 1023-1035.
14. پورابتهاج، م.، حبیبی، د.، پاک نژاد، ف.، فاضلی، ف. و م. داوودی فرد. 1391. بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد و محلول پاشی سیلیسیک اسید و اسیدهای آمینه بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در شرایط تنش کم‌آبی در گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.). زراعت و اصلاح نباتات ایران، 8(2)، 147-160.
15. پورابتهاج، م.، حبیبی، د.، پاک نژاد، ف.، فاضلی، ف. و م. داوودی فرد. 1391. بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد و محلول پاشی سیلیسیک اسید و اسیدهای آمینه بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در شرایط تنش کم‌آبی در گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.). زراعت و اصلاح نباتات ایران، 8(2)، 147-160.
16. پورمراد، م.، ملکوتی، م. و م.م. طهرانی. 1397. بررسی اثر اسید هیومیک و اسید فولویک بر روی عملکرد گندم و کارایی مصرف آب تحت تنش کم‌آبی. آب و خاک، 32(5)، 977-985.
17. پورمراد، م.، ملکوتی، م. و م.م. طهرانی. 1397. بررسی اثر اسید هیومیک و اسید فولویک بر روی عملکرد گندم و کارایی مصرف آب تحت تنش کم‌آبی. آب و خاک، 32(5)، 977-985.

18. پوزشی، ر، خراسانی، ر، حق نیا، غ، ذبیحی، ح، و ع. آستارائی. 1399. اثر اسید هیومیک، ورمی کمپوست و محلول پاشی روی بر برخی ویژگی های کمی و کیفی انار رقم خزر بردسکن، تحقیقات کاربردی خاک، 69-53 (2) 8
19. پوزشی، ر، خراسانی، ر، حق نیا، غ، ذبیحی، ح، و ع. آستارائی. 1399. اثر اسید هیومیک، ورمی کمپوست و محلول پاشی روی بر برخی ویژگی های کمی و کیفی انار رقم خزر بردسکن، تحقیقات کاربردی خاک، 69-53: 8.
20. تدین، م، معافپوریان، غ، و ن. مفتون آزاد. 1393. بررسی اثر ترکیبات آمینواسیدی، فولویک اسید و استروئیدی در انگور دیم خلیلی، علوم باغبانی، 534-524: 28.
21. تدین، م، معافپوریان، غ، و ن. مفتون آزاد. 1393. بررسی اثر ترکیبات آمینواسیدی، فولویک اسید و استروئیدی در انگور دیم خلیلی، علوم باغبانی، 534-524: 28.
22. تراب احمدی، ص، ب. عابدی و س.ف. صابرعلی. 1399. اثر کودهای حاوی اسیدهای آمینه و عصاره جلبک دریایی بر اجزاء عملکرد پسته رقم احمد آقایی. پژوهش های میوه کاری، 4: 104-95.
23. تراب احمدی، ص، ب. عابدی و س.ف. صابرعلی. 1399. اثر کودهای حاوی اسیدهای آمینه و عصاره جلبک دریایی بر اجزاء عملکرد پسته رقم احمد آقایی. پژوهش های میوه کاری، 4: 104-95.
24. جاسمی منش، م، شریفی اصل، ر، و م. میرزایی حیدری. 1399. اثر هیومیک اسید بر رشد، عملکرد و برخی پارامترهای فیزیولوژیک گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش شوری. فیزیولوژی محیطی گیاهی، 15(57)، 10-22.
25. جاسمی منش، م، شریفی اصل، ر، و م. میرزایی حیدری. 1399. اثر هیومیک اسید بر رشد، عملکرد و برخی پارامترهای فیزیولوژیک گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش شوری. فیزیولوژی محیطی گیاهی، 15(57)، 10-22.
26. جعفرنژادی، ع، مسکینی ویشکایی، ف، بهبهانی، ل، جوادزاده، م. 1402. بررسی اثر محرک های رشد گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در شرایط تنش شوری. هجدهمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان. اهواز. ایران.
27. جهان، م، امیری، م، صالح آبادی، ب، ناصری، ن، و ص. عباسی. 1401. استفاده از تکنیک های آماری چندمتغیره در تعیین عوامل مؤثر بر کارایی مصرف آب ذرت دانه ای (*Zea mays* L.) در شرایط کاربرد هم زمان نیتروژن و نهاده های بوم سازگار. بوم شناسی کشاورزی، 14(3)، 509-529.

28. جهان، م، امیری، م، صالح آبادی، ب، ناصری، ن، و ص، عباسی. 1401. استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره در تعیین عوامل مؤثر بر کارایی مصرف آب ذرت دانه ای (*Zea mays L.*) در شرایط کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده های بوم سازگار. بوم شناسی کشاورزی، 14(3)، 509-529.
29. حبیبی، داوود. 1390. بررسی اثر باکتری های محرک رشد، محلول پاشی اسیدهای آمینه و سیلیسیک اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در شرایط تنش کم‌آبی، پژوهش های به زراعی (تنش های محیطی در علوم گیاهی)، 3(1)، 71-87.
30. حبیبی، داوود. 1390. بررسی اثر باکتری های محرک رشد، محلول پاشی اسیدهای آمینه و سیلیسیک اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در شرایط تنش کم‌آبی، پژوهش های به زراعی (تنش های محیطی در علوم گیاهی)، 3(1)، 71-87.
31. حسینی، س، حجازی مهریزی، م، سرچشمه پور، م، و م فکری. 1401. مقایسه ویژگی ها و تأثیر اسید هیومیک تجاری و استخراجی از کودهای گاوی و گوسفندی بر رشد سویا، پژوهش های خاک، 36(3)، 289-304.
32. حسینی، س، حجازی مهریزی، م، سرچشمه پور، م، و م فکری. 1401. مقایسه ویژگی ها و تأثیر اسید هیومیک تجاری و استخراجی از کودهای گاوی و گوسفندی بر رشد سویا، پژوهش های خاک، 36(3)، 289-304.
33. حسینی، ی، و حسن زاده خانکهدانی، ح. 1402. اثر مواد محرک رشد بر کارایی مصرف کودهای شیمیایی در مزرعه گوجه فرنگی، هجدهمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.
34. حقیقی، مریم، و نجفی، حجت اله. 1398. اثر هیومیک اسید بر کاهش اثرات تنش کم‌آبی در گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicum esculentum* Mill.). علوم سبزی ها، 3(6)، 147-158.
35. حقیقی، مریم، و نجفی، حجت اله. 1398. اثر هیومیک اسید بر کاهش اثرات تنش کم‌آبی در گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicum esculentum* Mill.). علوم سبزی ها، 3(6)، 147-158.
36. حیدری سلطان آبادی، م، و ایمان مهر، ع، و الهامی، ب. 1402. تعیین روش مناسب کوددهی درختان سیب به کمک تصمیم‌گیری چند معیاره، پژوهش‌های مکانیک ماشینهای کشاورزی، 12(3): 63-74.
37. حیدری، م، پایدار، ا، برادران فیروزآباد، م، و م، عابدینی اسفهلانی. 1398. تأثیر تنش کم‌آبی و کاربرد اسید هیومیک بر عملکرد کمی، رنگدانه‌های فتوسنتزی و مقادیر عناصر معدنی دانه آفتابگردان، علوم گیاهان زراعی ایران، 62-51: 50.

38. حیدری، م، پایدار، ا، برادران فیروزآباد، م. و م. عابدینی اسفهلانی. 1398. تأثیر تنش کم‌آبی و کاربرد اسید هیومیک بر عملکرد کمی، رنگدانه‌های فتوسنتزی و مقادیر عناصر معدنی دانه آفتابگردان، علوم گیاهان زراعی ایران، 62-51: 50.
39. خدابخش، م. و ا. دانائی. 1401. اثر محلول پاشی پرولین و گلیسین بتائین بر شاخص‌های رشد، میزان پرولین و فعالیت آنزیمی گیاه شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens*) تحت تنش کم‌آبی، حفاظت منابع آب و خاک، 12: 125-136.
40. خدابخش، م. و ا. دانائی. 1401. اثر محلول پاشی پرولین و گلیسین بتائین بر شاخص‌های رشد، میزان پرولین و فعالیت آنزیمی گیاه شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens*) تحت تنش کم‌آبی، حفاظت منابع آب و خاک، 12(1) (پیاپی 45): 125-136.
41. خودشناس، م، قدبیک‌لو، ج، نورقلیپور، ف. 1401. تأثیر مواد محرک رشد گیاهی بر عملکرد و اجزاء عملکرد کلزا، پژوهش‌های خاک، 36: 225-241.
42. داوودی فرد، م، حبیبی، د، پاک نژاد، ف، فاضلی، ف. و ف. داوودی فرد. 1391. بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد و محلول پاشی اسیدهای آمینه و اسید سیلیسیک بر روی فعالیت بیومارکرهای بیوشیمیایی تحت شرایط تنش کم‌آبی در گیاه گندم، زراعت و اصلاح نباتات ایران، 8(4)، 83-99.
43. داوودی فرد، م، حبیبی، د، پاک نژاد، ف، فاضلی، ف. و ف. داوودی فرد. 1391. بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد و محلول پاشی اسیدهای آمینه و اسید سیلیسیک بر روی فعالیت بیومارکرهای بیوشیمیایی تحت شرایط تنش کم‌آبی در گیاه گندم، زراعت و اصلاح نباتات ایران، 8(4)، 83-99.
44. دست‌نشان، ش، بی‌همتا، م، عباسی، ع. و م. سبکدست نودهی. 1401. مطالعه فعالیت آنزیم‌های پاداکسندگی در برگ ژنوتیپ‌های لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط نرمال و تنش رطوبتی، علوم گیاهان زراعی ایران، 27-17: 53.
45. دست‌نشان، ش، بی‌همتا، م، عباسی، ع. و م. سبکدست نودهی. 1401. مطالعه فعالیت آنزیم‌های پاداکسندگی در برگ ژنوتیپ‌های لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط نرمال و تنش رطوبتی، علوم گیاهان زراعی ایران، 27-17 (2): 53.
46. راسخی کازرونی، ا، زمانی، م، حیدریان نائینی، ف، راسخی کازرونی، ا، منصوریان، ع. ر، سلامی، س. 1400. بررسی ویژگی‌های مولکولی و بیوشیمیایی واریته‌های کینوا (*Chenopodium quinoa*)، پژوهش‌های سلولی و مولکولی (مجله زیست‌شناسی ایران، 34: 299-312).

47. راشدی، ع، ع، سیروس مهر، م، موسوی نیک، و ا. قنبری، 1402. تأثیر محلول پاشی محرک رشد آلی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، عملکرد و درصد روغن گلرنگ تحت سطوح تنش کم‌آبی. فیزیولوژی محیطی گیاهی، 18: 140-152.
48. راشدی، ع، ع، سیروس مهر، م، موسوی نیک، و ا. قنبری، 1402. تأثیر محلول پاشی محرک رشد آلی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، عملکرد و درصد روغن گلرنگ تحت سطوح تنش کم‌آبی. فیزیولوژی محیطی گیاهی، 18: 140-152.
49. رجایی، 1401. بهبود جذب عناصر غذایی، عملکرد و اجزای عملکرد گندم با ترکیبات محرک رشد تحت آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی. پژوهش‌های زراعی ایران، 20(2)، 147-162.
50. رجایی، م، 1401. بهبود جذب عناصر غذایی، عملکرد و اجزای عملکرد گندم با ترکیبات محرک رشد تحت آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی. پژوهش‌های زراعی ایران، 20: 147-162.
51. رجایی، م، ر. سلیمانی، م، پسندیده و س. ح. محمودی نژاد دزفولی، 1401. اثر مواد محرک رشد گیاهی بر کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی در زراعت کلزا. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی ملی، موسسه تحقیقات خاک و آب.
52. رجایی، م، ر. سلیمانی، م، پسندیده و س. ح. محمودی نژاد دزفولی، 1401. اثر مواد محرک رشد گیاهی بر کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی در زراعت کلزا. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی ملی، موسسه تحقیقات خاک و آب.
53. رضاصفت عربانی، م، کلاته جاری، س.، فاتحی، ف. و خلیقی، ا. 1399. تأثیر محرک‌های زیستی هیومی فورته و اسید آمینه ال-آرژنین بر صفات رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L) تحت تنش کم‌آبی. مجله علوم باغبانی ایران (علوم کشاورزی ایران)، 51(2)، 373-365.
54. رضاصفت عربانی، م، کلاته جاری، س.، فاتحی، ف. و خلیقی، ا. 1399. تأثیر محرک‌های زیستی هیومی فورته و اسید آمینه ال-آرژنین بر صفات رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی جعفری آفریقایی (*Tagetes erecta* L) تحت تنش کم‌آبی. مجله علوم باغبانی ایران (علوم کشاورزی ایران)، 51(2)، 373-365.
55. رضایی علولو، ا، خیری، ع، و ا. خانی، 1399. اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک، گلاسیسین بتائین و گاما آمینو بوتیریک اسید بر فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی گیاه کارلا تحت تنش کم‌آبی. مجله علمی-پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی، 151: 140-152.
56. رفیع، م، 1400. ارزیابی محرک‌های رشد گیاهی بر شاخص‌های رشد، عملکرد و اجزای عملکرد ارقام سیب زمینی. پژوهش‌های زراعی ایران، 19: 375-359.

57. رفیع، م.، م.، صلیحی و م.، جواد زاده. 1400. بررسی تأثیر کاربرد اسید آمینه، اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی در شرایط نرمال و تنش کم‌آبی بر خصوصیات کمی و کیفی گندم در منطقه بهبهان. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، 141-141:141.
58. رفیع، م.، م.، صلیحی و م.، جواد زاده. 1400. بررسی تأثیر کاربرد اسید آمینه، اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی در شرایط نرمال و تنش کم‌آبی بر خصوصیات کمی و کیفی گندم در منطقه بهبهان. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، 141-141:141.
59. ریگی، م.، و ولی‌زاده، م. 1402. تأثیر اسید هیومیک و نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر برخی ویژگی‌های فیتوشیمیایی و شاخص‌های رشد *Withania coagulans* (Stocks) Dunal. گیاهان دارویی و معطر ایران، 39:3121-106.
60. سرخی، ف. و فاتح، م. 1398. اثر تنش کم‌آبی بر شاخص سطح برگ، فتوسنتز، هدایت روزنه ای و میزان پرولین در دو رقم لوبیاچیتی، (*Phaseolus vulgaris* L.). تنش‌های محیطی در علوم زراعی، 12(2): 389-399.
61. سرکار، ف.، رضوی ف.، امیری، م.، حسنی، ا. 1398. اثر محلول پاشی اسید فولویک بر ویژگی‌های کیفی و آنتی اکسیدانی آلبالو رقم گیسی. تغذیه گیاهان باغی. 2(2): 91-104.
62. سلیمانی، ر.، م.، رجایی، م.، م.، طهرانی، م.، داشادی، م.، رفیع و م.، یحیی آبادی. 1399. اثر مواد محرک رشد گیاهی بر کاهش خسارت تنش خشکی در گندم. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی ملی. موسسه تحقیقات خاک و آب. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
63. سلیمانی، ر.، م.، رجایی، م.، م.، طهرانی، م.، داشادی، م.، رفیع و م.، یحیی آبادی. 1400. اثر مواد محرک رشد گیاهی بر کاهش خسارت تنش خشکی در گندم. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی ملی. موسسه تحقیقات خاک و آب.
64. سید شریفی، ر. و نریمانی، ح. 1400. تأثیر کودهای زیستی و پوترسین بر بیوماس و برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth) تحت شرایط دیم. نشریه زیست‌شناسی گیاهی ایران، 13: 1-20.
65. سید شریفی، ر. و نریمانی، ح. 1400. تأثیر کودهای زیستی و پوترسین بر بیوماس و برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth) تحت شرایط دیم. نشریه زیست‌شناسی گیاهی ایران، 13(3): 1-20.
66. سیفی، ا.، احمدی، ع.، پوستینی، ک. 1402. تأثیر تیمارین و پیریدوکسین بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی گندم در شرایط تنش کم‌آبی. علوم گیاهان زراعی ایران. 54(1): 11-25.

67. شکوهیان، ع، محمدی شویر، س. و عینی زاده، ش. 1401. تولید پایدار محصول به با کاربرد محرک زیستی فولویک اسید و کلسیم، علوم باغبانی، 36: 229-239.
68. شکوهیان، ع، محمدی شویر، س. و عینی زاده، ش. 1401. تولید پایدار محصول به با کاربرد محرک زیستی فولویک اسید و کلسیم، علوم باغبانی، 36: 229-239.
69. صارمی، ق، عباسدخت، ن. و ا. مهرآفرین. 1400. بررسی اثر محلول پاشی انواع اسیدهای آمینه بر پاسخ‌های بیوشیمیایی گیاه دارویی *Physalis alkekengi* L. اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی، 9: 39-52.
70. صارمی، ق، عباسدخت، ن. و ا. مهرآفرین. 1400. بررسی اثر محلول پاشی انواع اسیدهای آمینه بر پاسخ‌های بیوشیمیایی گیاه دارویی *Physalis alkekengi* L. اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی، 9(2)، 39-52.
71. صالح، ج.، شهابیان، م.، طهرانی، م. م. 1402، اثرات متقابل کودهای شیمیایی و مواد محرک رشد بر عملکرد و کارایی مصرف کود در پرتقال، مدیریت خاک و تولید پایدار، 65: 13-77.
72. طاهائی، س.ا، نصری، م، قوشچی، ف. و م. اویسی. 1401. اثرات تنظیم کننده های رشد و اسید آمینه پرولین بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه ذرت سینگل کراس 704 در شرایط تنش کم‌آبی در استان اصفهان. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، 15: 657-668.
73. طاهائی، س.ا، نصری، م، قوشچی، ف. و م. اویسی. 1401. اثرات تنظیم کننده های رشد و اسید آمینه پرولین بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه ذرت سینگل کراس 704 در شرایط تنش کم‌آبی در استان اصفهان. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، 15: 657-668.
74. ظاهری، ع، ابدالی مشهدی، ع، کوچک زاده، ا، لطفی جلال آبادی، ا، سیاهپوش، ع. 1400. اثر زمان کاربرد کود پلی فسفات کدرها و اسید هیومیک بر عملکرد کمی ذرت دانه‌ای. هجدهمین کنگره علوم خاک ایران. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
75. عباس زاده فاروجی، ر، شور، م، تهرانی فر، ع. و ب. عابدی. 1402. بررسی صفات رشدی گیاه سینداپسوس (*Scindapsus s*) تحت تاثیر مصرف اسید هیومیک و اسید فولویک به صورت کودآبیاری، علوم باغبانی، 37: 13-27.
76. عباس زاده فاروجی، ر، شور، م، تهرانی فر، ع. و ب. عابدی. 1402. بررسی صفات رشدی گیاه سینداپسوس (*Scindapsus s*) تحت تاثیر مصرف اسید هیومیک و اسید فولویک به صورت کودآبیاری، علوم باغبانی، 37: 13-27.

77. عسگریان، م، امینی فرد، م، خیاط، م، و م. جهانی، 1398. بررسی تأثیر سطوح مختلف کود کامل NPK و اسید فولویک بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزا عملکرد گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.)، بوم شناسی کشاورزی، 11: 1375-1388.
78. عسگریان، م، امینی فرد، م، خیاط، م، و م. جهانی، 1398. بررسی تأثیر سطوح مختلف کود کامل NPK و اسید فولویک بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزا عملکرد گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.)، بوم شناسی کشاورزی، 11: 1375-1388.
79. علولو، ا، خیری، ع، و ا. خانی، 1399. اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک، گلیسین بتائین و گاما آمینو بوتیریک اسید بر فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه کارلا تحت تنش کم آبی. مجله علمی- پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی، 12(40)، 140-151.
80. غنی زاده، م، خراسانی، ر، فتوت، ا، 1402. اثر هیومیک اسید و عصاره سیر بر وزن خشک و غلظت پتاسیم گندم در شرایط تنش کم آبی. هجدهمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان. اهواز. ایران.
81. فنایی، ح. 1387. بررسی عملکرد و برخی صفات زراعی تحت تأثیر پتاسیم و تنش کم آبی، مجموعه مقالات فیزیولوژی یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. ص 4047-4050.
82. کاظم علیلو، محمد و رشدی، محسن و رضادوست، ساسان و نصراله زاده، علی و خلیلی محله، جواد، 1402، تأثیر سطوح مختلف آبیاری و مواد محرک رشد بر اجزاء عملکرد و پروتئین دانه لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.)، تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، 13: 85-96.
83. کیانی، م، لک، م، علوی ف، و ف. شکوه فر. 1399. بررسی اثر تراکم و محلول پاشی اسید هیومیک بر عملکرد کمی و جذب عناصر ذرت دانه ای (*Zea mays* L.) تحت شرایط تنش کم آبی. تنش های محیطی در علوم زراعی، 13: 1135-1148.
84. کیانی، م، لک، م، علوی ف، و ف. شکوه فر. 1399. بررسی اثر تراکم و محلول پاشی اسید هیومیک بر عملکرد کمی و جذب عناصر ذرت دانه ای (*Zea mays* L.) تحت شرایط تنش کم آبی. تنش های محیطی در علوم زراعی، 13(4)، 1135-1148.
85. گرگینی شبانکاره، ح، صبوری، ف، ساعدی، ف، فاخری، ب. 1396. اثر سطوح مختلف اسید هیومیک بر شاخص های رشد و اسانس گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) تحت رژیم های خشکی، تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک، 1(2): 166-176.

86. مجیدی، ع، خلیل زاده، غ، و ف، رجالی، 1400. تأثیر اسید هیومیک و گلیسین بتائین بر عملکرد دانه و برخی صفات زراعی گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط دیم، دانش کشاورزی و تولید پایدار، 235-253:31.
87. مجیدی، ع، خلیل زاده، غ، و ف، رجالی، 1400. تأثیر اسید هیومیک و گلیسین بتائین بر عملکرد دانه و برخی صفات زراعی گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط دیم، دانش کشاورزی و تولید پایدار، 235-253:31.
88. محبی، م، قبادی، م، و ح، چقازردی، 1401. اثر تیمار بذر با سالیسیلیک اسید، هیومیک اسید و روی بر عملکرد گندم دوروم در شرایط دیم، بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات-13: 318-334:13.
89. محبی، م، قبادی، م، و ح، چقازردی، 1401. اثر تیمار بذر با سالیسیلیک اسید، هیومیک اسید و روی بر عملکرد گندم دوروم در شرایط دیم، بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات، 13: 318-334.
90. مظفری، م، ربیعی، و، رضوی، ف، خیری، ع، حسنی، ا، 1397. اثر محلول پاشی قبل از برداشت فولویک اسید بر برخی ویژگی‌های کیفی و آنتی اکسیدانی انگور رقم فخری (*Vitis vinifera* cv Fakhri). مجله علوم باغبانی ایران (علوم کشاورزی ایران)، 49(3):813-825.
91. موسوی، س، غ، 1399. تأثیر میکوریزا و هیومیک اسید بر صفات مورفولوژیک و عملکرد پنبه تحت تنش کم‌آبی، دانش کشاورزی و تولید پایدار، 30(1)، 121-139.
92. موسوی، س، غ، 1399. تأثیر میکوریزا و هیومیک اسید بر صفات مورفولوژیک و عملکرد پنبه تحت تنش کم‌آبی، دانش کشاورزی و تولید پایدار، 30(1)، 121-139.
93. مهرین فر، ر، مرادعلی، م، میر محمودی، ت، یزدان ستا، س، و س، شرفی، 1400. تأثیر محلول پاشی عناصر غذایی و اسید هیومیک بر عملکرد و کیفیت دانه ارقام گندم نان در شرایط تنش کم‌آبی، تنش‌های محیطی در علوم زراعی، 15:912-922.
94. مهرین فر، ر، مرادعلی، م، میر محمودی، ت، یزدان ستا، س، و س، شرفی، 1400. تأثیر محلول پاشی عناصر غذایی و اسید هیومیک بر عملکرد و کیفیت دانه ارقام گندم نان در شرایط تنش کم‌آبی، تنش‌های محیطی در علوم زراعی، 15:912-922.
95. میرزاپور، م، ه، نورقلی‌پور، ف، نائینی، م، ر، 1402. اثر برخی محرک‌های رشد گیاه بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در یک خاک شور آهکی. هجدهمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.

96. میری، ح.ر. شوکتی، م.م. و آرمین، م. 1395. واکنش عملکرد و اجزای عملکرد ذرت به خشکی موضعی ریشه و مصرف پتاسیم. پژوهش‌های کاربردی زراعی، 29(1): 46-53.
97. نایینی، م. میرزاپور، م. 1402. اثر برخی مواد محرک رشد گیاهی بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی برگ انار (*Punica granatum L.*) رقم قجاق در شرایط کم‌آبیاری. فرآیند و کارکرد گیاهی، 12: 153-170.
98. نجفی، م. آروبی، ح. و م.ح. امینی فرد، 1400. بررسی اثر اسید هیومیک و اسید آمینه به صورت کود آبیاری بر صفات رشدی خیار "سوپر دامینوس" (*Cucumis sativus L.*) تحت تنش کم‌آبی. نشریه علوم باغبانی، 35: 521-533.
99. نجفی، م. آروبی، ح. و م.ح. امینی فرد، 1400. بررسی اثر اسید هیومیک و اسید آمینه به صورت کود آبیاری بر صفات رشدی خیار "سوپر دامینوس" (*Cucumis sativus L.*) تحت تنش کم‌آبی. نشریه علوم باغبانی، 35: 521-533.
100. نصیری، ی. 1401. ارزیابی کاربرد نهاده‌های آلی و زیستی بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis L.*). دانش کشاورزی و تولید پایدار، 32(2)، 113-97.
101. نصیری، ی. 1401. ارزیابی کاربرد نهاده‌های آلی و زیستی بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis L.*). دانش کشاورزی و تولید پایدار، 32(2)، 113-97.
102. نورقلی‌پور، ف.، سلیمانی، ر. 1400. گزارش سالیانه پروژه مقایسه مدیریت تغذیه تلفیقی کلزا با مدیریت مرسوم در مزارع بهره‌برداران در ایلام، موسسه تحقیقات خاک و آب. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
103. یزدانی بیوکی، رستم، خواجه حسینی، ساره. 1399. اثر هم‌افزایی تنش کم‌آبی و تیمار اسیدآمینه گلايسين بر واکنش‌های ساختاری و آنتی اکسیدانی گیاه بادرشو (*Dracocephalum moldavica*)، مجله تولید گیاهان زراعی، 158-147: 13.
104. Abdelkader, M., Voronina, L., Baratova, L., Shelepova, O., Zargar, M., Puchkov, M., Loktionova, E., Amantayev, B., Kipshakbaeva, A. and Arinov, B., 2023. Biostimulants-based amino acids augment physio-biochemical responses and promote salinity tolerance of lettuce plants (*Lactuca sativa L.*). *Horticulturae*, 9(7), 807-820..
105. Ahmad, T., Khan, R. and Nawaz Khattak, T., 2018. Effect of humic acid and fulvic acid based liquid and foliar fertilizers on the yield of wheat crop. *Journal of plant nutrition*, 41(19), 2438-2445.

106. Akenous, F.Z., Anli, M. and Meddich, A. 2022. Biostimulants as Innovative Tools to Boost Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Performance under Drought, Salinity, and Heavy Metal (Oid) s Stresses: A Concise Review. *Sustainability*,14(23), 15984.
107. Akram, N. A., Saleem, M. H., Shafiq, S., Naz, H., Farid-ul-Haq, M., Ali, B. and Qureshi, K. A. 2022. Phytoextracts as Crop Biostimulants and Natural Protective Agents—A Critical Review. *Sustainability*,14(21), 14498.
108. Alfosea-Simon, M., Simón-Grao, S., Zavala-Gonzalez, E.A., Cámara-Zapata, J.M., Simón, I., Martínez-Nicolás, J.J., Lidón, V., Rodríguez-Ortega, W.M. and García-Sánchez, F., 2020. A lication of biostimulants containing amino acids to tomatoes could favor sustainable cultivation: Implications for tyrosine, lysine, and methionine. *Sustainability*, 12(22), p.9729.
109. Ali, O., Ramsuhag, A. and Jayaraman, J., 2021. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. *Plants*, 10(3), 531-543..
110. Al-Taweel, L.S. and Abo-Tabikh, M.M. 2019. Urea and ammonium sulfate fertilizers and humic acid effect on urease enzyme activity in and out the rhizosphere of *Zea mays* L. crop. *Plant Archives*, 19(1),1905-1914.
111. Ampong, K., Thilakaranthna, M.S. and Gorim, L.Y., 2022. Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontiers in Agronomy*, 4, 84-95.
112. Backer, R., Rokem, J.S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S. and Smith, D.L., 2018. Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9, 473.
113. Bajeli, J., Rai, P.N. and Sharma, A. K. 2022. Contribution of microbiology in horticulture in last 7 decades. *International Journal of Innovative Horticulture*,11(1), 92-95.
114. Banakar, S.N., PrasannaKumar, M.K., Mahesh, H.B., Parivallal, P.B., Puneeth, M.E., Gautam, C., Pramesh, D., Shiva Kumara, T.N., Girish, T.R., Nori, S. and Narayan, S.S., 2022. Red-seaweed biostimulants differentially alleviate the impact of fungicidal stress in rice (*Oryza sativa* L.). *Scientific Reports*, 12(1), 5993.
115. Batool, T., Ali, S., Seleiman, M.F., Naveed, N.H., Ali, A., Ahmed, K. and Mubushar, M. 2020. Plant growth promoting rhizobacteria alleviates drought stress in potato in response to suressive oxidative stress and antioxidant enzymes activities. *Scientific Reports*, 10(1), 16975.
116. Bell, J.C., Bound, S.A. and Buntain, M., 2022. Biostimulants in agricultural and horticultural production. *Horticultural Reviews*, 49, 35-95.
117. Benko, P., Gémes, K. and Fehér, A. 2022. Polyamine Oxidase-Generated Reactive Oxygen Species in Plant Development and Adaptation: The Polyamine Oxidase NADPH Oxidase Nexus. *Antioxidants*,. 11(12), 2488.
118. Bezuglova, O. and Klimenko, A., 2022. Application of Humic Substances in Agricultural Industry. *Agronomy*, 12(3), 584.
119. Bhatt, P. and Singh, V.K., 2022. Effect of humic acid on soil properties and crop production—A review. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 92(12), 1423-1430.

120. Billah, M., Aktar, S., Brestic, M., Zivcak, M., Khaldun, A.B.M., Uddin, M.S., Bagum, S.A., Yang, X., Skalicky, M., Mehari, T.G. and Maitra, S. 2021. Progressive genomic aoches to explore drought-and salt-induced oxidative stress responses in plants under changing climate. *Plants*, 10(9), 1910.
121. Brown, P. and Saa, S., 2015. Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 6, 671.
122. Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P.A.O.L.O. and Ferrante, A., 2015. Biostimulants and crop responses: a review. *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(1), 1-17.
123. Burdukovskii, M., Kiseleva, I., Perepelkina, P. and Kosheleva, Y. 2020. Impact of different fallow durations on soil aggregate structure and humus status parameters. *Soil and Water Research*, 15(1), 135-148.
124. Canellas, L.P., da Silva, R.M., Busato, J.G. and Olivares, F.L., 2024. Humic substances and plant abiotic stress adaptation. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 11(1), 66-78.
125. Canellas, L.P., Olivares, F.L., Aguiar, N.O., Jones, D.L., Nebbioso, A., Mazzei, P. and Piccolo, A., 2015. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 15-27.
126. Caradonia, F., Ronga, D., Tava, A. and Francia, E., 2022. Plant biostimulants in sustainable potato production: an overview. *Potato Research*, 65(1), 83-104.
127. Chatzissavvidis, C., Therios, I. 2014 Role of algae in agriculture. In: Pomin VH (ed) *Seaweeds*. Nova Sciences Publishers, Hauppauge, 1-37.
128. Chen, M., Gowthaman, S., Nakashima, K. and Kawasaki, S. 2023. Influence of humic acid on microbial induced carbonate precipitation for organic soil improvement. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(6), 15230-15240.
129. da Silva, R.M., Canellas, N.A., Olivares, F.L. et al. Humic substances trigger plant immune responses. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 10, 123 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00468-7>.
130. De Hita, D., Fuentes, M., Fernández, V., Zamarreño, A.M., Olaetxea, M. and García-Mina, J.M., 2020. Discriminating the short-term action of root and foliar alication of humic acids on plant growth: emerging role of jasmonic acid. *Frontiers in plant science*, 11, p.493.
131. Demicheli, J., Sabljic, I., Beguy, G., Ploschuk, E., Sahrawy, M., Serrato, A.J. and Pagano, E.A., 2023. Improving drought tolerance in soybean by classical breeding leads to physiological adjustments of photosynthesis and stomata functioning. *Plant Stress*, 10, p.100275.
132. Farooqi, Z.U.R., Ayub, M.A., ur Rehman, M.Z., Sohail, M.I., Usman, M., Khalid, H. and Naz, K., 2020. Regulation of drought stress in plants. In *Plant life under changing environment* (77-104). Academic Press.
133. Farruggia, D., Di Miceli, G., Licata, M., Leto, C., Salamone, F. and Novak, J., 2024. Foliar alication of various biostimulants produces contrasting response on yield, essential oil and chemical properties of organically grown sage (*Salvia officinalis* L.). *Frontiers in Plant Science*, 15, p.1397489.

134. Franzoni, G., Cocetta, G., Prinsi, B., Ferrante, A. and Espen, L. 2022. Biostimulants on crops: Their impact under abiotic stress conditions. *Horticulturae*, 8(3),189.
135. Fujita, M. and Hasanuzzaman, M. 2022. Approaches to enhancing antioxidant defense in plants. *Antioxidants*,11(5), p.925.
136. Ganugi, P., Fiorini, A., Ardeni, F., Caffi, T., Bonini, P., Taskin, E., Puglisi, E., Tabaglio, V., Trevisan, M. and Lucini, L., 2022. Nitrogen use efficiency, rhizosphere bacterial community, and root metabolome reprogramming due to maize seed treatment with microbial biostimulants. *Physiologia Plantarum*, 174(2), p.e13679.
137. Garcia-Caparrós, P., De Filiis, L., Gul, A., Hasanuzzaman, M., Ozturk, M., Altay, V. and Lao, M.T., 2021. Oxidative stress and antioxidant metabolism under adverse environmental conditions: a review. *The Botanical Review*, 87, 421-466.
138. Goni, O., Quille, P., OConnell, S. 2018. Ascophyllum nodosum extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 126: 63–73.
139. Grammenou, A., Petropoulos, S.A., Thalassinou, G., Rinklebe, J., Shaheen, S.M. and Antoniadis, V., 2023. Biostimulants in the soil–plant interface: agro-environmental implications—a review. *Earth Systems and Environment*, 7(3), 583-600.
140. Hamid, B., Zaman, M., Farooq, S., Fatima, S., Sayyed, R.Z., Baba, Z.A., Sheikh, T.A., Reddy, M.S., El Enshasy, H., Gafur, A. and Suriani, N.L., 2021. Bacterial plant biostimulants: a sustainable way towards improving growth, productivity, and health of crops. *Sustainability*, 13(5), p.2856.
141. He, X., Zhang, H., Li, J., Yang, F., Dai, W., Xiang, C. and Zhang, M. 2022. The Positive Effects of Humic/Fulvic Acid Fertilizers on the Quality of Lemon Fruits. *Agronomy*, 12(8), p.1919.
142. Heinemann, B. and Hildebrandt, T.M., 2021. The role of amino acid metabolism in signaling and metabolic adaptation to stress-induced energy deficiency in plants. *Journal of Experimental Botany*, 72(13), 4634-4645.
143. Izhar Shafi, M., Adnan, M., Fahad, S., Wahid, F., Khan, A., Yue, Z., Danish, S., Zafar-ul-Hye, M., Brtnicky, M. and Datta, R. 2020. Application of single superphosphate with humic acid improves the growth, yield and phosphorus uptake of wheat (*Triticum aestivum* L.) in calcareous soil. *Agronomy*, 10(9), p.1224.
144. Jarukas, L., Ivanauskas, L., Kasparavičienė, G., Baranauskaitė, J., Marksa, M. and Bernatoniene, J., 2021. Determination of organic compounds, fulvic acid, humic acid, and humin in peat and sapropel alkaline extracts. *Molecules*, 26(10), p.2995.
145. Julia, I., Oscar, M., Analía, L., Zoccolo Guilherme, J. and Virginia, L. 2020. Biofertilization with *Macrocyctis pyrifera* algae extracts combined with PGPR-enhanced growth in *Lactuca sativa* seedlings. *Journal of Applied Phycology*, 32, 4361-4371.
146. Kaur, J. and Pandove, G., 2023. Understanding the beneficial interaction of plant growth promoting rhizobacteria and endophytic bacteria for sustainable agriculture: a bio-revolution approach. *Journal of Plant Nutrition*, 46(14), pp.3569-3597.
147. Kisvarga, Szilvia, Dora Farkas, Gábor Boronkay, András Nemenyi, and Laszlo Orloci. 2022. Effects of Biostimulants in Horticulture, with Emphasis on Ornamental

- Plant Production. *Agronomy* 12, no. 5: 1043. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051043>
148. Kour, D. and Yadav, A.N. 2022. Bacterial mitigation of drought stress in plants: Current perspectives and future challenges. *Current Microbiology*, 79(9), p.248.
 149. Kumari, M., Swarupa, P., Kesari, K.K. and Kumar, A., 2022. Microbial inoculants as plant biostimulants: A review on risk status. *Life*, 13(1), p.12.
 150. Li, Y. 2020, Research progress of humic acid fertilizer on the soil. In: *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1549, No. 2, p. 022004). IOP Publishing.
 151. Liu, X., Yang, J., Tao, J., Yao, R., Li, W., Xie, W. and Wang, X. 2023. Effects of the combined application of biochar and humic substances on the improvement of saline cropland in the Yellow River Delta of China. *Land Degradation and Development*, 34(15), 4793-4809.
 152. Lopez, R., Antelo, J., Silva, A.C., Bento, F. and Fiol, S. 2021. Factors that affect physicochemical and acid-base properties of compost and vermicompost and its potential use as a soil amendment. *Journal of Environmental Management*, 300, p.113702.
 153. Lyu, D., Backer, R. and Smith, D., 2020. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) as plant biostimulants in agriculture. In *Biostimulants for sustainable crop production* (197-226). Burleigh Dodds Science Publishing.
 154. Ma, J., Qiu, D., Gao, H., Wen, H., Wu, Y., Pang, Y., Wang, X. and Qin, Y. 2020. Over-expression of a γ -tocopherol methyltransferase gene in vitamin E pathway confers PEG-simulated drought tolerance in alfalfa. *BMC Plant Biology*, 20(1), 1-16.
 155. Mahmood, Y.A., Ahmed, F.W., Juma, S.S. and Al-Arazah, A.A. 2019. Effect of solid and liquid organic fertilizer and spray with humic acid and nutrient uptake of nitrogen, phosphorus and potassium on growth, yield of cauliflower. *Plant Archives*, 19(2), 1504-1509.
 156. Malecange, M., Sergheraert, R., Teulat, B., Mounier, E., Lothier, J. and Sakr, S., 2023. Biostimulant properties of protein hydrolysates: Recent advances and future challenges. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(11), p.9714.
 157. Martins, E.M., Pillajo, J.Q. and Jones, M.L., 2024. Humic and Fulvic Acids Promote Growth and Flowering in Petunias at Low and Optimal Fertility. *HortScience*, 59(2), 235-244.
 158. Matthews, S., Ali, A., Siddiqui, Y. and Supramaniam, C.V., 2022. Plant bio-stimulant: Prospective, safe and natural resources. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(2), 2570-2586.
 159. Meng, F., Huang, Q., Larson, S.L. and Han, F.X. 2021. The adsorption characteristics of uranium (VI) from aqueous solution on leonardite and leonardite-derived humic acid: a comparative study. *Langmuir*, 37(43), 12557-12567.
 160. Mielnik, L., Hewelke, E., Weber, J., Oktaba, L., Jonczak, J. and Podlasiński, M. 2021. Changes in the soil hydrophobicity and structure of humic substances in sandy soil taken out of cultivation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 319, p.107554.
 161. Monteiro, E., Gonçalves, B., Cortez, I. and Castro, I. 2022. The role of biostimulants as alleviators of biotic and abiotic stresses in grapevine: A review. *Plants*, 11(3), 396.

162. Nardi, S., Schiavon, M. and Francioso, O. 2021. Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. *Molecules*, 26(8), p.2256.
163. Niewes, D., Biegun, M., Huculak-Mączka, M., Marecka, K., Kaniewski, M., Zieliński, J. and Hoffmann, J. 2023. Extraction of humic acid from peat and lignite and the thermal behavior of their mixtures with ammonium nitrate. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 148(23), 13175-13188.
164. Ouf, S.A., El-Amriti, F.A., Abu-Elghait, M.A., Desouky, S.E. and Mohamed, M.S., 2023. Role of plant growth promoting Rhizobacteria in healthy and sustainable agriculture. *Egyptian Journal of Botany*, 63(2), 333-359.
165. Padilla, Y.G., Miras-Moreno, B., Gisbert-Mullor, R., Lucini, L., López-Galarza, S. and Calatayud, Á., 2024. Leaves and roots metabolomic signatures underlying rootstock-mediated water stress tolerance in grafted peer plants. *Plant Stress*, p.100542.
166. Padmaja, V.V., Pavani, K., Srilatha, P., Lalitha, K., Sarada, G., Naik, M.R., Kiran, Y.D. and Gopal, K., 2023. Role of Biostimulants in Horticulture: A Review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(8), 1146-1157.
167. Pagar, A.D., Patil, M.D., Flood, D.T., Yoo, T.H., Dawson, P.E. and Yun, H., 2021. Recent advances in biocatalysis with chemical modification and expanded amino acid alphabet. *Chemical Reviews*, 121(10), 6173-6245.
168. Pan, J., Wang, J. and Zhuang, S., 2022. Amino acid nitrogen trends in paddy soils under long-term rice cultivation in southeast coast of China. *Catena*, 212, p.106044.
169. Parađikovic, N., Teklić, T., Zeljković, S., Lisjak, M. and Špoljarević, M., 2019. Biostimulants research in some horticultural plant species—A review. *Food and Energy Security*, 8(2), p.e00162.
170. Poluri, K.M., Gulati, K., Sarkar, S., Poluri, K.M., Gulati, K. and Sarkar, S., 2021. Structural and functional properties of proteins. *Protein-Protein Interactions: Principles and Techniques: Volume I*, 1-60.
171. Puertolas, J. and Dodd, I.C., 2022. Evaluating soil evaporation and transpiration responses to alternate partial rootzone drying to minimise water losses. *Plant and Soil*, 480(1):473-489.
172. Qasim, W., Xia, L., Lin, S., Wan, L., Zhao, Y. and Butterbach-Bahl, K. 2021. Global greenhouse vegetable production systems are hotspots of soil N₂O emissions and nitrogen leaching: A meta-analysis. *Environmental Pollution*, 272, p.116372.
173. Rakkammal, K., Maharajan, T., Ceasar, S.A. and Ramesh, M., 2023. Biostimulants and their role in improving plant growth under drought and salinity. *Cereal Research Communications*, 51(1), 61-74.
174. Rakkammal, K., Maharajan, T., Ceasar, S.A. and Ramesh, M. 2022. Biostimulants and their role in improving plant growth under drought and salinity. *Cereal Research Communications*, 1-14.
175. Rashad, M., Hafez, M. and Popov, A.I., 2022. Humic substances composition and properties as an environmentally sustainable system: A review and way forward to soil conservation. *Journal of Plant Nutrition*, 45(7), 1072-1122.

176. Rashid, E.H.H. and Hama-salih, F.M. 2022. Effect of Humic and Salicylic Acids Foliar Alication on Vegetative Growth and Fruit Quality of Olive (cv *Sorani and Khadrawi*). *Kufa Journal for Agricultural Sciences*, 14(2), 52-66.
177. Rashwan, B.R. and Elsaied, R.E.S., 2022. Response of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Plant to Bio-stimulants Under Various Irrigation Regimes in Reclaimed Sandy Soil. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 6(2022), 103-115.
178. Rouphael, Y. and Colla, G., 2020. Biostimulants in agriculture. *Frontiers in plant science*, 11, p.40.
179. Rouphael, Y. and Colla, G., 2020. Biostimulants in agriculture. *Frontiers in plant science*, 11, p.40.
180. Sayarer, M., Aytaç, Z. and Kurkcuglu, M. 2023. The Effect of Irrigation and Humic Acid on the Plant Yield and Quality of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) with Mulching Alication under Semi-Arid Ecological Conditions. *Plants*, 12(7), p.1522.
181. Seleiman, M.F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H.H. and Battaglia, M.L., 2021. Drought stress impacts on plants and different aroaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2), p.259.
182. Shahrajabian, M.H., Chaski, C., Polyzos, N. and Petropoulos, S.A., 2021. Biostimulants alication: A low input croing management tool for sustainable farming of vegetables. *Biomolecules*, 11(5), p.698.
183. Sible, C.N., Seebauer, J.R. and Below, F.E., 2021. Plant biostimulants: A categorical review, their implications for row crop production, and relation to soil health indicators. *Agronomy*, 11(7), p.1297.
184. Siddiqui, M.N., Leon, J., Naz, A.A. and Ballvora, A. 2021. Genetics and genomics of root system variation in adaptation to drought stress in cereal crops. *Journal of Experimental Botany*, 72(4), 1007-1019.
185. Sinenko, S.A., Starkova, T.Y., Kuzmin, A.A. and Tomilin, A.N., 2021. Physiological signaling functions of reactive oxygen species in stem cells: from flies to man. *Frontiers in cell and developmental biology*, 9, p.714370.
186. Sinha, R., Fritschi, F.B., Zandalinas, S.I. and Mittler, R., 2021. The impact of stress combination on reproductive processes in crops. *Plant Science*, 311, p.111007.
187. Stirk, W.A., Balint, P., Vambe, M., Kulkarni, M.G., van Staden, J. and Ordog, V. 2021. Effect of storage on plant biostimulant and bioactive properties of freeze-dried *Chlorella vulgaris* biomass. *Journal of Alied Phycology*, 33(6), 3797-3806.
188. Suman, S., Bagal, D., Jain, D., Singh, R., Singh, I.K. and Singh, A. 2021. Biotic stresses on plants: reactive oxygen species generation and antioxidant mechanism. In: *Frontiers in plant-soil interaction* (381-411). Academic Press.
189. Sun, W., Shahrajabian, M.H. and Soleymani, A., 2024. The Roles of Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR)-Based Biostimulants for Agricultural Production Systems. *Plants*, 13(5), p.613.
190. Sun, J., Qiu, C., Ding, Y., Wang, Y., Sun, L., Fan, K., Gai, Z., Dong, G., Wang, J., Li, X. and Song, L. 2020. Fulvic acid ameliorates drought stress-induced damage in tea plants by regulating the ascorbate metabolism and flavonoids biosynthesis. *BMC genomics*, 21(1), 1-13.

191. Tadros, M.J., Omari, H.J. and Turk, M.A., 2019. The morphological, physiological and biochemical responses of sweet corn to foliar adlication of amino acids biostimulants sprayed at three growth stages. *Australian Journal of Crop Science*, 13(3), 412-417.
192. Tahoun, A.M.A., El-Enin, M.M.A., Mancy, A.G., Sheta, M.H. and Shaaban, A. 2022. Integrative soil alication of humic acid and foliar plant growth stimulants improves soil properties and wheat yield and quality in nutrient-poor sandy soil of a semiarid region. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(3), 2857-2871.
193. Tavares, O.C.H., Santos, L.A., Filho, D.F., Ferreira, L.M., García, A.C., Castro, T.A.V.T., Zonta, E., Pereira, M.G. and Fernandes, M.S. 2021. Response surface modeling of humic acid stimulation of the rice (*Oryza sativa* L.) root system. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67(8), 1046-1059.
194. Teklic, T., Paradikovic, N., Spoljarevic, M., Zeljkovic, S., Loncaric, Z. and Lisjak, M., 2021. Linking abiotic stress, plant metabolites, biostimulants and functional food. *Annals of Alled Biology*, 178(2), 169-191.
195. Trovato, M., Funck, D., Forlani, G., Okumoto, S. and Amir, R., 2021. Amino acids in plants: regulation and functions in development and stress defense. *Frontiers in plant science*, 12, p.772810.
196. Turan, M., Ekinci, M., Argin, S., Brinza, M. and Yildirim, E., 2023. Drought stress amelioration in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings by biostimulant as regenerative agent. *Frontiers in Plant Science*, 14, p.1211210.
197. Van Oosten, M.J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S. and Maggio, A., 2017. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4, 1-12.
198. Vikram, N., Sagar, A., Gangwar, C., Husain, R. and Kewat, R.N. 2022. Properties of humic acid substances and their effect in soil quality and plant health. In *Humus and Humic Substances-Recent Advances*. IntechOpen.
199. Vujinovic, T., Zanin, L., Venuti, S., Contin, M., Ceccon, P., Tomasi, N., Pinton, R., Cesco, S. and De Nobili, M. 2020. Biostimulant action of dissolved humic substances from a conventionally and an organically managed soil on nitrate acquisition in maize plants. *Frontiers in plant science*, 10, p.1652.
200. Wang, Y., Liu, Z., Xiemuxiding, A., Zhang, X., Duan, L. and Li, R. 2022. Fulvic acid, brassinolide, and uniconazole mediated regulation of morphological and physiological traits in maize seedlings under water stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-13.
201. Wang, Y., Muhammad, T., Liu, Z., Ma, C., Zhang, C., Wang, Z., He, X. and Li, Y. 2022. Compounding with humic acid improved nutrient uniformity in drip fertigation system using brackish water: The perspective of emitter clogging. *Agricultural Water Management*, 269, p.107670.
202. Weerasekara, I., Sinniah, U.R., Namasivayam, P., Nazli, M.H., Abdurahman, S.A. and Ghazali, M.N. 2021. Priming with humic acid to reverse ageing damage in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill.] seeds. *Agriculture*, 11(10), p.966.

-
203. Xu, J., Mohamed, E., Li, Q., Lu, T., Yu, H. and Jiang, W. 2021. Effect of humic acid addition on buffering capacity and nutrient storage capacity of soilless substrates. *Frontiers in Plant Science*, 12, p.644229.
204. Yakhin, O.I., Lubyantsev, A.A., Yakhin, I.A. and Brown, P.H., 2017. Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in plant science*, 7, p.2049.
205. Yu, B., Wang, L., Cui, D., Gao, W., Xue, X. and Nie, P., 2023. Effects of fulvic acid on growth and nitrogen utilization efficiency in M9T337 seedlings. *Plants*, 12(23), p.3937.
206. Yuan, Y., Gai, S., Tang, C., Jin, Y., Cheng, K., Antonietti, M. and Yang, F. 2022. Artificial humic acid improves maize growth and soil phosphorus utilization efficiency. *Alled Soil Ecology*, 179, p.104587.
207. Zhang, L., Liao, W., Huang, Y., Wen, Y., Chu, Y. and Zhao, C., 2022. Global seaweed farming and processing in the past 20 years. *Food Production, Processing and Nutrition*, 4(1), p.23.
208. Zhang, R.R., Wang, Y.H., Li, T., Tan, G.F., Tao, J.P., Su, X.J., Xu, Z.S., Tian, Y.S. and Xiong, A.S. 2021. Effects of simulated drought stress on carotenoid contents and expression of related genes in carrot taproots. *Protoplasma*, 258, 379-390.