وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب کشور
دفتر محیط زیست ،توسعه پایدارو امور فناورزی وزارت جهاد کشاورزی

# دستورالعمل مصرف کود در راستای قانون حفاظت از خاک (جلدنهم) «محرک های رشد گیاه»



فریدون نورقلی پور
علی‌اکبر زارع
محمدهادی میرزاپور

۱۴۰۵

جمهوری اسلامی ایران

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب کشور
دفتر محیط زیست، توسعه پایدار و امور فناوری وزارت جهاد کشاورزی

# دستورالعمل مصرف کود در راستای قانون حفاظت از خاک

## (جلد نهم)

## محرک های رشد گیاه

نویسندگان:
**فریدون نورقلی پور[۱]، علی اکبر زارع[۲]، هادی میرزاپور[۳]**
[۱] عضو هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب، [۲] عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد دزفول، [۳] عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی قم،

**با حمایت:**
**دفتر محیط زیست، توسعه پایدار و امور فناوری وزارت جهادکشاورزی**
**و مشارکت:**
**معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی**
**معاونت های زراعت و باغبانی وزارت جهاد کشاورزی**
**معاونت بهداشت وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی**
**سازمان حفاظت از محیط زیست کشور**
**سازمان ملی استاندارد**
**شرکت خدمات حمایتی کشاورزی**
**نشریه فنی:۱۴۰۵**

## فهرست مندرجات

**عنوان** **صفحه**


پیشگفتار ..... ۱
مقدمه ..... ۱
مواد هیومیکی (اسیدهای هیومیک و فولویک) ..... ۲
تأثیر اسید هیومیک بر ویژگی‌های خاک ..... ۸
معیارهای توصیه مصرف مواد هیومیکی (با ذکر مثال در برخی محصولات مهم زراعی و باغی) ..... ۹
نقش مواد هیومیکی در شرایط شور ..... ۱۰
اثرات غیرمستقیم: بهبود ویژگی‌های خاک شور ..... ۱۱
جوانه‌زنی ..... ۱۳
ریشه ..... ۱۴
اندام هوایی ..... ۱۵
فعالیت شبه هورمونی ..... ۱۵
توصیه مقدار و زمان مصرف اسید هیومیک در محصولات زراعی و باغی در شرایط شور ..... ۱۶
مصرف هیومیک اسید در شرایط غرقابی ..... ۱۹
توصیه کلی برای برنج ..... ۲۱
مصرف هیومیک اسید در شرایط دیم و تنش خشکی ..... ۲۲
توصیه کلی برای شرایط دیم و تنش خشکی ..... ۲۴
اسیدهای آمینه ..... ۲۴
نقش اسیدهای آمینه در گیاه ..... ۲۵
القاء فرایند گرده‌افشانی ..... ۲۵
تحریک‌کننده رشد گیاه ..... ۲۵
افزایش تحمل گیاه در برابر تنشهای محیطی ..... ۲۵
افزایش فعالیت آنزیمها ..... ۲۷
بهبود کیفیت محصولات کشاورزی ..... ۲۷
کاهش غلظت نیترات در گیاه ..... ۲۸
تقویت سیستم ایمنی گیاه ..... ۲۸
بهبود فرایند جذب عناصر غذایی ضروری موردنیاز گیاه ..... ۲۹
تشکیل کلات با عناصر فلزی ..... ۲۹
کمک به تعادل میکروفلور خاک ..... ۲۹
نفوذ اسیدهای آمینه از طریق تغذیه برگی ..... ۲۹
ساختمان اسیدهای آمینه ..... ۲۹
ایزومری در اسیدهای آمینه ..... ۳۰
نقش اسیدهای آمینه در گیاه ..... ۳۱
نقش پروتئینهای هیدرولیز شده و ترکیبات حاوی اسیدهای آمینه در شرایط شور ..... ۳۳
مصرف اسیدهای آمینه در شرایط دیم و تنش خشکی ..... ۳۴

## فهرست مندرجات

**عنوان** **صفحه**


عصاره جلبک دریایی ..... ۳۵
نقش عصاره جلبک دریایی در شرایط شور ..... ۳۶
مصرف عصاره جلبک دریایی در شرایط غرقابی ..... ۳۹
توصیه کلی برای گیاه برنج ..... ۴۰
مصرف عصاره جلبک دریایی در شرایط دیم و تنش خشکی ..... ۴۰
توصیه مصرف محرک‌های رشد گیاه در برخی محصولات مهم زراعی و باغی ..... ۴۰
معیارهای مواد محرک رشد گیاه برای تولید محصولات گواهی‌شده و ارگانیک ..... ۴۲
ملاحظات زیست‌محیطی استفاده از محرک‌های رشد گیاه ..... ۴۳
منابع ..... ۴۴
پیوست ۱- فهرست دستورالعمل های تغذیه تلفیقی محصولات زراعی ..... ۶۰
پیوست ۲- فهرست دستورالعمل های تغذیه تلفیقی محصولات باغی ..... ۶۰


## فهرست جدول ها

**عنوان** **صفحه**


جدول۱- انواع مختلف بهبود دهنده‌های رشد آلی ..... ۲
جدول ۲- محتوی اسید هیومیک در برخی ترکیبات آلی ..... ۴
جدول ۳- طبقه‌بندی کیفیت سنگ معدن لئوناردیت ..... ۴
جدول ۴- اثر مواد هیومیکی بر ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاه ..... ۸
جدول ۵- زمان مصرف ترکیبات هیومیکی در محصولات مختلف زراعی ..... ۱۰
جدول ۶- اثرات مستقیم مواد هیومیکی بر گیاهان ..... ۱۳
جدول ۷- حد آستانه تحمل به شوری در گیاهان مختلف ..... ۱۷
جدول ۸– نوع و زمان مصرف کودهای محرک رشد در برخی محصولات زراعی در تنش شوری ..... ۱۸
جدول ۹- نوع و زمان مصرف کودهای محرک رشد در برخی محصولات باغی تحت تنش شوری ..... ۱۸
جدول ۱۰- نوع و زمان مصرف کودهای محرک رشدی در ذرت در تنش شوری ..... ۱۸
جدول ۱۱- کاهش عملکرد اقتصادی با تنش خشکی در برخی از محصولات زراعی ..... ۲۲
جدول ۱۲- برخی مطالعات انجام‌شده در زمینه استفاده از مواد هیومیکی ..... ۲۴
جدول ۱۳- نقش اسیدهای آمینه در گیاه (BAQIR ET AL., 2019) ..... ۳۱
جدول ۱۴- زمان مصرف اسیدهای آمینه در محصولات مختلف زراعی ..... ۳۳
جدول ۱۵ - برخی مطالعات انجام‌شده در زمینه استفاده از اسیدهای آمینه در کشت‌های دیم ..... ۳۴
جدول ۱۶- ترکیب شیمیایی عصارهی جلبک دریایی *ASCOPHYLLUM NODOSUM* ..... ۳۷
جدول ۱۷- محتوای اسیدآمینهی موجود در عصاره جلبک *ASCOPHYLLUM NODOSUM* ..... ۳۸
جدول ۱۸- مقدار هورمونهای گیاهی موجود در جلبک دریایی *ASCOPHYLLUM NODOSUM* ..... ۳۸
جدول ۱۹ - برخی مطالعات انجام‌شده در زمینه استفاده از جلبک دریایی در کشت‌های دیم ..... ۴۰
جدول۲۰ – مقدار ماده موثره در بهبود دهندههای رشد آلی ..... ۴۴

## فهرست شکل ها

**عنوان** **صفحه**


شکل ۱- شمایی از ساختار اسید هیومیک (الف) و اسید فولویک (ب) ..... ۳
شکل ۲- تصاویر SEM لئوناردیت (A) بزرگنمایی ×۳۵۰۰ (B) بزرگنمایی ×۱۵۰۰۰ ..... ۵
شکل ۳- تصویر تشکیل خوشه‌های مولکولی یک ماده هیومیک ..... ۶
شکل ۴- گروه‌های عاملی متداول موجود در اسیدهای هیومیک ..... ۷
شکل ۵- ساختار کمپلکس‌های هیومیک- آهن ..... ۷
شکل ۶- خلاصه‌ای از سازوکارهای پیشنهادی تأثیر محرکهای رشد حاوی اسید هیومیک و اسید فولویک در شرایط تنش شوری) ..... ۱۰
شکل ۷- شماتیک اثر غیر مستقیم مواد هیومیکی افزوده شده به خاک‌های تحت تأثیر شوری ..... ۱۲
شکل ۸- چرخه اکسایش–کاهش مواد هیومیکی (HS) در سیستم‌های موقتاً بی‌هوازی. الف) کاهش میکروبی مواد هیومیکی در شرایط بی‌هوازی و اکسید شدن مجدد آن‌ها توسط $O_2$ در شرایط هوازی. ..... ۲۰
شکل ۹- ساختار کلی اسیدآمینه آلفا (A) (DAVID ET AL., 2008) ..... ۳۰
شکل ۱۰- ساختار ایزومرهای L و D اسیدآمینهها (DAVID ET AL., 2008) ..... ۳۱
شکل ۱۱ - سازوکارهای مرتبط با اثر محرکهای رشد حاوی کربوهیدرات، پروتئین، اسیدآمینه و چربی بر گیاهان متأثر از شوری (VAN OOSTEN ET AL., 2017) ..... ۳۳
شکل ۱۲- خلاصه سازوکارهای مهم عصاره جلبک بر تحمل به تنش شوری ..... ۳۶
شکل ۱۳- تأثیر مثبت عصاره جلبک دریایی بر کل سامانه خاک - گیاه در شرایط تنش غیرزنده ..... ۳۷
شکل ۱۴- تأثیر عصاره جلبک دریایی بر گونههای اکسیژن فعال در گیاه متأثر از تنش غیرزنده ..... ۳۷
شکل ۱۵ - تأثیر عصاره جلبک دریایی بر عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن آفتابگردان در شرایط تنش شوری (EL-NWEHY ET AL., 2018) ..... ۳۹

**پیشگفتار**

بهبود کیفیت، پایداری سیستم کشت و کاهش هزینه‌های تولید از اهداف کشاورزی نوین است. از طرف دیگر تغییرات اقلیمی در جهان و ایران سبب شده محصولات گیاهی با تنش‌های مختلفی مواجه گردند. به نظر می‌رسد مواد محرک رشد گیاهی ازجمله مواردی باشد که بتواند گیاهان را در شرایط مواجه با این تنش‌ها یاری نماید. این ترکیبات شامل مواد معدنی ازجمله عناصر مفید، نمک‌های غیر آلی ازجمله فسفیت، مواد ضد تعریق، مواد هیومیکی، ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه، عصاره جلبک‌های دریایی، کیتین، کیتوزان و پلی یا الیگوساکاریدها است. در این قسمت در مورد بهبوددهنده‌های رشد آلی که شامل مواد هیومیکی، اسیدهای آمینه و عصاره جلبک‌های دریایی است، مطالبی ارائه‌شده است. فعالیت شبه هورمونی در این مواد نیز مشاهده‌شده است. آن‌ها را می‌توان بسته به ترکیب و کارایی، به خاک داد یا برگ‌پاشی نمود. در سال‌های اخیر استفاده از این مواد در دنیا رو به افزایش است. این دستورالعمل بر اساس سفارش دفتر محیط زیست و توسعه پایدار وزارت جهاد کشاورزی ذیل ماده ۹ قانون حفاظت از خاک و ماده ۱۶ آئین نامه اجرایی آن جهت استفاده کارشناسان کشاورزی تدوین شده است. مطالب نشریه خاک محور بوده و جنبه اجرایی دارد و هدف از تالیف آن حفظ و پایداری حاصلخیزی خاک است. جهت مطالعه بیشتر در مورد مطالب نشریه به دستورالعمل های مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه که لیست آن به صورت پیوست در انتهای نشریه آمده است و مقالات و کتب علمی مراجعه نمایید. با توجه به پیشرفت های علمی و نتایج تحقیقات جدید این نشریه نیاز به بازنگری در دوره ۵ ساله دارد.

**مقدمه**

محرک‌های رشد گیاه، هر ماده یا ریز جانداری است که به‌منظور افزایش کارایی جذب عناصر غذایی، تحمل به تنش‌های غیر زیستی و یا بهبود کیفیت محصول، صرف‌نظر از محتوای عناصر غذایی آن، به گیاهان داده می‌شود (Du jardin et al., 2015). بر اساس توافق‌های انجام‌شده، مواد محرک رشد را از مواد کنترل‌کننده زیستی (منظور از عوامل کنترل‌کننده زیستی، موجودات یا فرآورده‌های زیستی با کارکرد اصلی مهار عوامل بیماری‌زا یا آفات است که به‌طور مفهومی از مواد محرک رشد گیاه تفکیک می‌شوند) جدا می‌نمایند؛ بنابراین تنش‌های زیستی در تعریف محرک‌های رشد در نظر گرفته نشده است (Calvo et al., 2014 ،2015 &Saa Brown ، Du jardin et al., 2015).

در برخی طبقه‌بندی‌ها، مواد محرک رشد گیاه به دو گروه میکروبی و غیر میکروبی تقسیم‌شده‌اند. گروه غیر میکروبی شامل موادی مانند ترکیبات هیومیکی و فولویکی، اسیدهای آمینه و عصاره جلبک‌های دریایی است (جدول ۱) (غفاری نژاد و همکاران، ۱۳۹۹).

**جدول۱- انواع مختلف بهبوددهنده‌های رشد آلی (Du Jardin, 2015 )**

| مواد | منبع تأمین | اثرگذاری | مزایای کاربردی |
|---|---|---|---|
| مواد هیومیکی و فولویکی | استخراج‌شده از بقایای آلی مانند لئوناردیت و سایر ترکیبات آلی | تقویت توان ریشه برای جذب آب و عناصر غذایی و افزایش کارایی جذب عناصر غذایی توسط گیاه | افزایش عملکرد محصول، صرفه‌جویی در مصرف کود و کاهش آسیب به محیط‌زیست |
| عصاره جلبک دریایی | استخراج‌شده از جلبک‌های دریایی مانند جنس‌های *Ascophyllum nodosum*، Fucus و Laminaria. | افزایش غلظت عناصر غذایی به بافت‌های گیاهی | - غنی‌سازی زیستی[1] بافت‌های گیاهی<br>- پتانسیل آنتی‌اکسیدانی و توانایی جذب رادیکال‌های آزاد<br>- اثر کلات‌کنندگی<br>- افزایش مقاومت گیاه در برابر عفونت‌های قارچی و باکتریایی<br>- افزایش ماندگاری میوه برای مصرف<br>- بهبود تحمل حرارتی گیاهان<br>- محافظت در برابر تنش خشکی |
| اسیدهای آمینه آزاد و سایر ترکیبات آلی نیتروژن‌دار شامل آمین‌ها، آمیدها، پپتیدهای کوتاه و پلی‌آمین‌ها | پروتئین‌های هیدرولیز شده از بقایای حیوانی و گیاهی و همچنین از طریق تجزیه آنزیمی محصولات جانبی کشاورزی- صنعتی | افزایش تحمل گیاه به تنش‌های غیر زیستی (مثل شوری، تنش گرمایی و غیره) | - تشکیل کمپلکس‌های پایدار با عناصر غذایی و بهبود جذب آن‌ها توسط گیاه<br>- بهبود عملکرد محصول در شرایط تنش |

**مواد هیومیکی (اسیدهای هیومیک و فولویک)**

مواد هیومیکی[2]، اجزای غالب و طبیعی ماده آلی خاک هستند که از طریق فرآیندهای پیچیده تجزیه و تحول بیولوژیکی و شیمیایی بقایای گیاهی، جانوری و میکروبی در خاک به وجود می‌آیند (Du jardin et al., 2015). این مواد، به‌عنوان ترکیبات آلی مقاوم و ناهمگون تیره‌رنگ که به‌صورت محصولات جانبی، طی متابولیسم میکروبی تولید می‌گردند، تعریف‌شده‌اند. حدود ۸۰-۵۰ درصد از مواد آلی در خاک‌های جهان مواد هیومیکی هستند (Lipczynska-Kochany, 2018). در خاک مواد هیومیکی محلول (مواد هیومیکی محلول به بخش محلول یا نیمه محلول مواد هیومیکی خاک گفته می‌شود که قابل‌دسترس ریشه گیاه هستند و در بهبود جذب عناصر و فعالیت میکروبی خاک نقش دارند)، نقش‌های کلیدی در روابط خاک و گیاهان بازی می‌نمایند. طبقه‌بندی عمومی مواد هیومیکی بر اساس وزن مولکولی و حلالیت آن‌ها انجام می‌گیرد ( Du jardin et al., 2015) که شامل سه جزء اسید هیومیک، اسید فولویک و هیومین هستند.

اسیدهای هیومیک[3] بخشی از مواد هیومیک هستند که دارای وزن مولکولی بالاتر در مقایسه با اسیدهای فولویک هستند. اسیدهای هیومیک در محیط‌های قلیایی (مانند KOH ۰/۱ مولار) محلول می‌باشند و در محیط‌های اسیدی رسوب می‌کنند. اسید هیومیک ماده‌ای تیره‌رنگ و سیاه است که از بقایای گیاهی و جانوری از طریق تجزیه میکروبی تشکیل‌شده و در برابر هوازدگی بیشتر مقاوم است. این ماده یک مولکول

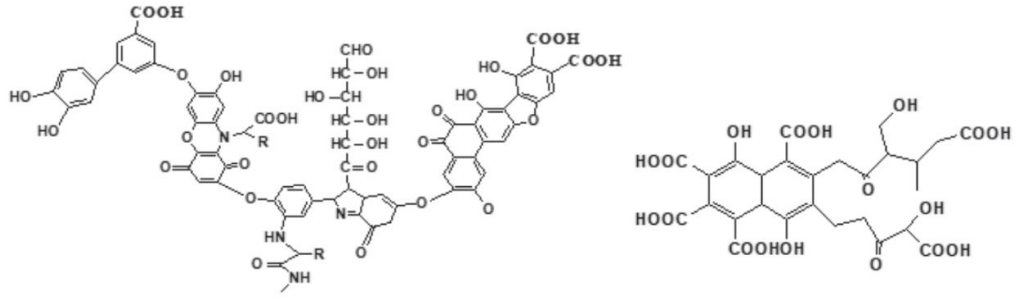
1- Biofortification
2- Humic substances
3- Humic acids

پیچیده است که به‌طور طبیعی در خاک‌ها، پیت (تورب)، اقیانوس‌ها و آب‌های شیرین یافت می‌شود. ساختار اسید هیومیک شامل طیف گسترده‌ای از ترکیبات مختلف است؛ بنابراین نمی‌توان آن را با یک فرمول ساختاری واحد توصیف کرد. وزن مولکولی آن در محدوده ۱۰۰۰ تا ۳۰،۰۰۰ دالتون قرار دارد (شکل ۱). اسید هیومیک دارای محتوای کربن ۵۷–۵۱ درصد، نیتروژن ۶–۴ درصد، فسفر ۱–۰/۲ درصد و مقادیر بسیار ناچیزی از سایر عناصر کم‌مصرف است (Haworth, 1971).

اسیدهای فولویک هم در محیط‌های اسیدی و هم قلیایی محلول‌اند. اسیدهای فولویک بخش‌های به رنگ نارنجی روشن تا قهوه‌ایِ هوموس خاک هستند. این مواد طبیعی از تجزیه مواد سلولی تشکیل می‌شوند و به‌عنوان یک عامل کلات‌کننده طبیعی برای مواد معدنی و فلزات در خاک عمل می‌کنند (Mosley and Mosley, 1998). این ماده وارد زنجیره غذایی می‌شود و در محلول‌های اسیدی محلول است. اسیدهای فولویک آن بخشی از مواد هیومیکی هستند که در تمام شرایط pH، در آب محلول‌اند. آن‌ها پس از حذف اسید هیومیک از طریق اسیدی‌سازی، همچنان در محلول باقی می‌مانند (Eyheraguibel et al., 2008).

هیومین‌ها بر خلاف دو جزء دیگر در محیط‌های اسیدی و قلیایی به شکل نامحلول هستند و قابل عصاره‌گیری نیستند. اسیدهای هیومیک دارای وزن مولکولی بالاتر و همچنین زنجیره بلندتری در مقایسه با اسیدهای فولویک هستند (شکل ۱).

ب الف




**شکل ۱- شمایی از ساختار اسید هیومیک (الف) و اسید فولویک (ب) (Thakur et al., 2023)**

همچنین تنوع وزن مولکولی در آنها بین ۵۰۰ تا ۱،۰۰۰،۰۰۰ دالتون می‌باشد (Piccolo et al.,2002) که این تنوع وزن می‌تواند به دلیل ناهمگنی ساختاری باشد. اسیدهای فولویک، در مقایسه با اسیدهای هیومیک دارای مقدار اسیدیته بیشتر، تعداد بیشتر گروه‌های کربوکسیلی و ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتری هستند. این تفاوت‌ها ناشی از محتوی اکسیژن بالاتر و تراکم بیشتر گروه‌های عامل اکسیژن‌دار (مانند کربوکسیلیک) در ساختار آن‌ها است (Lipczynska-Kochany, 2018). ویژگی‌های ساختمانی اسیدهای هیومیک و فولویک بر اساس منبع ماده آلی و مدت زمان تغییر و تحول آن‌ها، متفاوت است (Canellas et al., 2020; Nardi et al., 2021; Rose et al., 2014; Berbara and García, 2014). مقادیر اسید هیومیک در ترکیبات آلی مختلف در جدول ۲ گزارش شده است.

**جدول ۲- محتوی اسید هیومیک در برخی ترکیبات آلی**

| ترکیب آلی | اسید هیومیک (درصد) | منبع |
|---|---|---|
| لئوناردیت | ۷۰-۶۰ | Arrobas et al., 2022 |
| پیت | ۱۵/۳۰ | Jarukas et al., 2021 |
| کمپوست | ۱۲ | Kulikowska and Bernat, 2022 |
| لجن فاضلاب هضم شده | ۵/۹۰ -۷/۵۰ | Anielak and Kłeczek, 2022 |

مقادیر گزارش‌شده اسید هیومیک ممکن است بسته به کیفیت مواد آلی و میزان بلوغ آن‌ها متفاوت باشد. این جدول باهدف ارائه یک مقایسه کلی از محتوای اسید هیومیک در انواع مختلف منابع آلی تهیه‌شده است

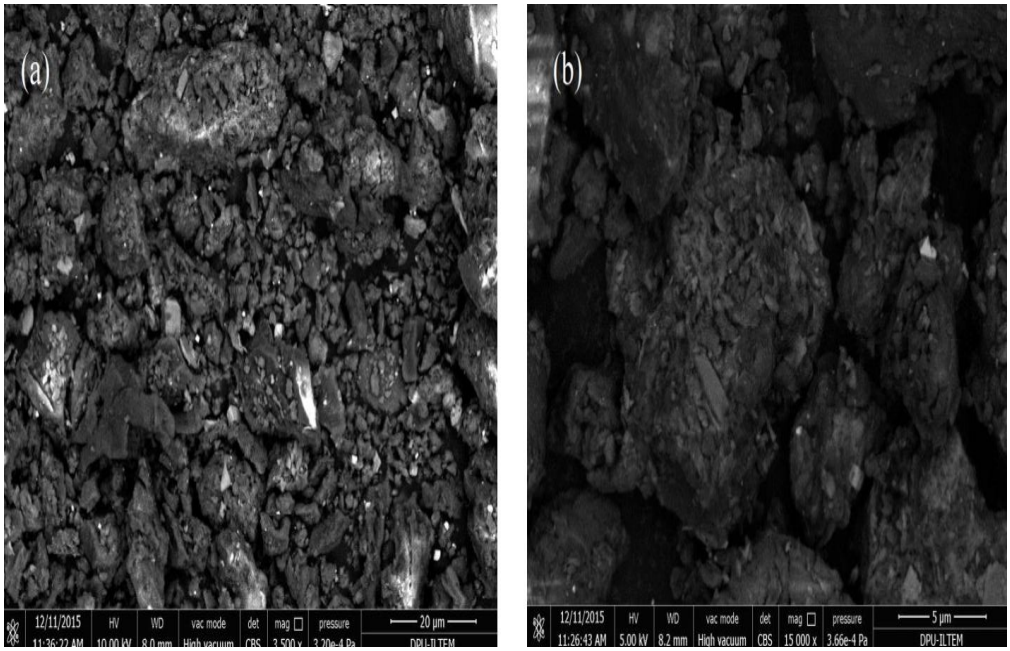
با توجه به جدول ۲، لئوناردیت[1] در مقایسه با سایر ترکیبات آلی دارای اسید هیومیک (به‌طورکلی ترکیبات هیومیکی) بیشتری است. سنگ معدن لئوناردیت یک ماده کاملاً طبیعی و ارگانیک است که حاوی مقدار قابل‌توجهی مواد هیومیک مانند اسید هیومیک، اسید فولویک و هومین‌ها می‌باشد (Jackson, 2008; Kononova, 1966). لئوناردیت‌ها به‌عنوان مواد باکیفیت کم، کیفیت متوسط و کیفیت بالا طبقه‌بندی شده‌اند. این طبقه‌بندی بر اساس محتوای مواد هیومیک، محتوای مواد آلی، pH، نسبت کربن به نیتروژن (C/N)، چگالی و انحلال‌پذیری انجام‌شده است (جدول ۳).

**جدول ۳- طبقه‌بندی کیفیت سنگ معدن لئوناردیت (Engin, 2013)**

| ترکیبات | کیفیت پایین | کیفیت متوسط | کیفیت بالا |
|---|---|---|---|
| محتوی ترکیبات هیومیکی (درصد) | ۲۰-۵۰ | ۵۰-۶۵ | ۶۵-۸۰ |
| محتوی ترکیبات آلی (درصد) | حداقل ۳۵ | حداقل ۵۰ | حداقل ۶۵ |
| pH | ۶/۱±۵ | ۵/۱±۵ | ۱±۴ |
| C/N | ۱±۲۱ | ۱±۱۹ | ۱±۱۷ |
| چگالی (گرم بر سانتی‌متر مکعب) | ۱/۱±۴ | ۱/۱±۲ | ۰/۱±۸ |
| حلالیت در محلول قلیایی | کم | متوسط | زیاد |

با توجه به جدول ۳، می‌توان گفت که اسید هیومیک استخراج‌شده از دو منبع لئوناردیت مربوط به دو موقعیت جغرافیایی متفاوت، ممکن است رفتار و عملکرد یکسانی نداشته باشند. تحلیل ساختاری نمونه‌های لئوناردیت با استفاده از تصاویر SEM در شکل ۲، برای دو بزرگنمایی ارائه‌شده است (Canieren et al., 2017). همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، سطح لئوناردیت از لایه‌های نازک (لاملا) تشکیل شده است (Ratanaprommanee and Shutsrirung, 2014).

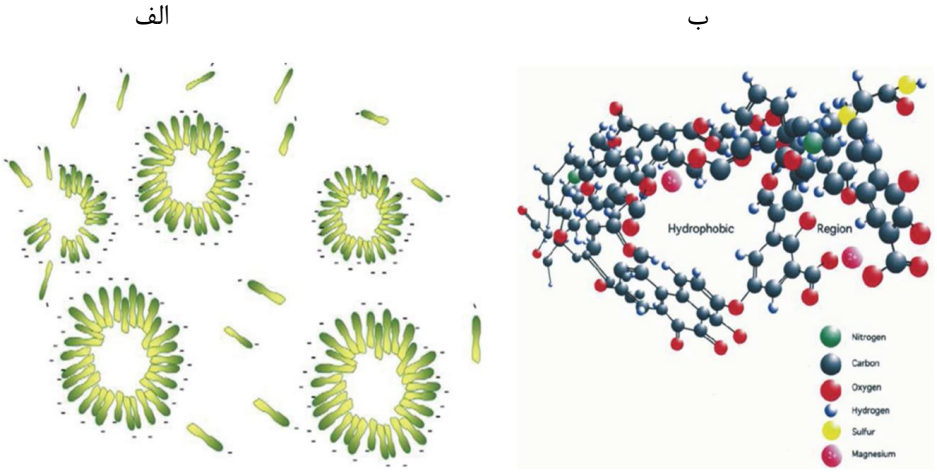
1- Leonardite




**شکل ۲- تصاویر SEM لئوناردیت (a) بزرگنمایی ×۳۵۰۰ (b) بزرگنمایی ×۱۵۰۰۰ (Canieren et al., 2017)**

اجتماع مولکولی مواد هیومیکی دارای ساختمان میله‌ای شکل بوده و به‌صورت آرایشی از مولکول‌های آلی در محلول‌های آبی با فضای خارجی آب‌دوست و فضای داخلی آب‌گریز است (Sutton and Sposito 2005; 2014 ,Tan). به‌طورکلی؛ در اغلب مطالعات از ارائه‌ی ساختار شیمیایی دقیق ترکیبات هیومیکی اجتناب شده است. دلیل اصلی این موضوع آن است که اسیدهای هیومیک به‌صورت مولکول‌های منفرد و ساده وجود ندارند، بلکه تمایل دارند از طریق برهم‌کنش‌های مختلف به یکدیگر متصل شده و مجموعه‌های بزرگ و پیچیده‌ای را تشکیل دهند که به آن‌ها ساختارهای فوق مولکولی[1] گفته می‌شود. تشکیل و پایداری این ساختارها به شرایط محیطی، به‌ویژه pH، وابسته است و همین وابستگی سبب شده است تعیین یک ساختار شیمیایی مشخص برای مولکول‌های منفرد هیومیک با دشواری همراه باشد (شکل ۳).

1- Supramolecular Structures

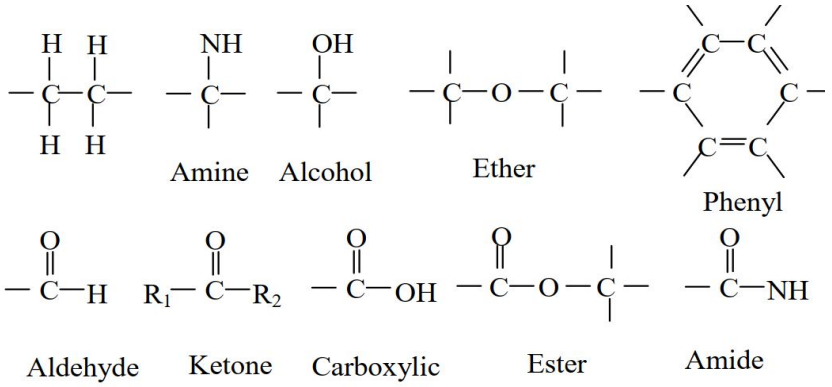



**شکل ۳- تصویر تشکیل خوشه‌های مولکولی۱ یک ماده هیومیک (الف) و مدل ساختار فوق‌مولکولی اسید هیومیک (ب) (Thakur et al., 2023)**

ساختار اسیدهای هیومیک شامل اجزای متعددی ازجمله حلقه‌های آروماتیک (مشتقات هیدروکسی‌فنول)، حلقه‌های هتروسیکلی و حلقه‌های متراکم حاوی هترو اتم‌هایی مانند نیتروژن، گوگرد یا اکسیژن، زنجیره‌های جانبی آلیفاتیکی و همچنین تعداد زیادی گروه عاملی نظیر گروه‌های کربوکسیلی، فنولی، الکلی، آمینی، آمیدی، متوکسیلی، کینونی و کتونی است. زنجیره‌های آلیفاتیکی، بیشتر ویژگی مولکول‌های با وزن مولکولی پایین هستند. در اسیدهای هیومیک با وزن مولکولی بالا، واحدهای اصلی ساختار را حلقه‌های آروماتیک تشکیل می‌دهند. Schulten و همکاران (۱۹۹۱) بیان می‌کنند که پایه‌ی ساختار انعطاف‌پذیر اسیدهای هیومیک شامل حلقه‌های آلکیل بنزن و همچنین واحدهای فنانترن و نفتالین است. وجود پل‌هایی که حلقه‌های آروماتیک اسیدهای هیومیک را به یکدیگر متصل می‌کنند موجب می‌شود این مواد ساختاری فشرده نداشته باشند، بلکه دارای ساختاری متخلخل باشند. این ویژگی‌ها نقش اصلی را در تعیین ظرفیت جذب آب و خواص جذب سطحی این ترکیبات ایفا می‌کنند. اسیدهای هیومیک دارای ماهیت اسیدی بوده و از نوع کلوئیدهای با بار منفی هستند. بر اساس گزارش Schnitzer و Khan (۱۹۷۲) و Swift (۱۹۸۹)، سطح اسیدهای هیومیک به‌شدت باردار است و به ازای هر ۱۰۰۰ دالتون حدود ۳ تا ۴ مکان باردار دارد؛[۲] موضوعی که اسیدهای هیومیک را به یکی از باردارترین مواد در میان پلی‌الکترولیت‌های طبیعی تبدیل می‌کند. این ویژگی باوجود گروه‌های عاملی سطحی در ساختار ذرات مرتبط است، که عمدتاً شامل گروه‌های کربوکسیلی، هیدروکسیل فنولی، متوکسی، کربونیل و کینون هستند و بسته به شرایط محیطی، درجات متفاوتی از تفکیک (یونش) را نشان می‌دهند. گروه‌های عامل متداول

1- Micelle
2- Possesses 3-4 charged sites per 1000 Daltons

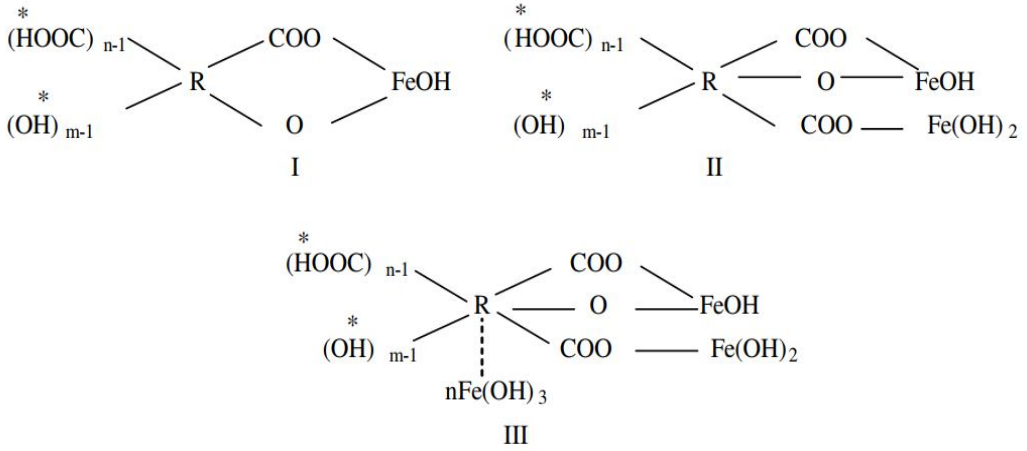
موجود در ساختار اسیدهای هیومیک در شکل ۴ نشان داده شده‌اند.




**شکل ۴- گروه‌های عاملی متداول موجود در اسیدهای هیومیک (Boguta and Sokołowska, 2022)**

ازاین‌رو، می‌توان گفت با توجه به فراوانی گروه‌های عامل در ساختار اسیدهای هیومیک مختلف، احتمالاً بالاتر بودن درصد اسید هیومیک در یک ترکیب کودی دلیلی بر اثرگذاری بالاتر آن نیست.

اسیدهای هیومیک و فولویک قادرند با فلزاتی ازجمله آهن در خاک کمپلکس پایدار (کلات) تشکیل دهند (شکل ۵) (Krupińska, 2017). چنین به نظر می‌رسد که اسیدهای فولویک در مقایسه با اسیدهای هیومیک به علت اندازه کوچک می‌توانند از میان میکروپورهای (منافذ ریز زیستی) بیولوژیکی راحت‌تر عبور کنند. بنابراین کلات اسید فولویک- آهن در مقایسه اسید هیومیک- آهن قابلیت جذب و انتقال بیشتری در گیاه دارد.




**شکل ۵- ساختار کمپلکس‌های هیومیک- آهن (Krupińska, 2017)**

**(*یون‌های هیدروژن قابل‌تبادل --- پیوند کوئوردیناسیونی (هم‌محور یا کمپلکس‌ساز))**

جهت و نوع برهم‌کنش اسیدهای هیومیک با یون‌های فلزی، همچنین ماهیت پیوندهای شیمیایی، پایداری اتصالات تشکیل شده و درجه اشباع توسط کاتیون‌های فلزی، به مجموعه‌ای از عوامل وابسته است. ارتباط میان مقدار فلز جذب‌شده و ترکیب خاک، ناشی از ناهمگنی فاز جامد و تأثیر شیمی محلول خاک می‌باشد

(Appel and Ma, 2002; Diatta et al., 2003; Zhou De-Zhi et al., 1991). ازاین‌رو، این فرایندها توسط ویژگی‌های فلز، ویژگی‌های اسیدهای هیومیک و نیز شرایط محیطی مانند pH، دما و قدرت یونی کنترل می‌شوند. درنهایت، مجموعه این فرایندها و عوامل، به همراه نوع ترکیباتی که تحت شرایط خاص تشکیل می‌شوند، تحرک اجزای خاک، توسعه سایر فرایندهای خاکی و شکل‌گیری و تکامل پروفیل خاک را تعیین می‌کنند. همچنین اسیدهای فولویک به علت وزن مولکولی کم می‌توانند در شرایطی مثل شوری و دامنه وسیعی از pH نیز در محلول، باقی بمانند (Bocanegra et al., 2006). فعالیت آن‌ها به قدرت یونی محلول و pH محیط وابسته است (Nardi et al., 2016). این مواد دارای ساختمان آروماتیک و آلیفاتیک هستند که دارای گروه‌های فعال اکسیژن مثل $OH^-$ و $COOH^-$ بوده و می‌توانند با توجه به pH محیط، پروتونه (هیدروژنه) و دپروتونه شده (دهیدروژن شده) و به‌عنوان پلی الکترولیت، عمل نمایند. با توجه به ویژگی‌های اسید هیومیک، استفاده از این ترکیب تأثیر قابل‌توجهی برافزایش جذب عناصر غذایی و بهبود عملکرد محصولات دارد. اسید هیومیک به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک عمل کرده و ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی و زیستی خاک را بهبود می‌بخشد (جدول ۴).

**جدول ۴- اثر مواد هیومیکی بر ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاه**

| گیاه/ ویژگی‌های خاک | نتایج | منبع |
|---|---|---|
| خاکدانه‌های خاک | افزایش پایداری خاکدانه‌ها به میزان ۴۰ تا ۱۲۰ درصد در مقایسه با شاهد | Piccolo et al., 1996 |
| رطوبت خاک | افزایش معنی‌دار ظرفیت زراعی (۲۵/۹ درصد)، نقطه پژمردگی دائم (۲۱/۷ درصد) و آب قابل‌استفاده (۲۹/۹ درصد) در خاک در مقایسه با شاهد | Piccolo et al., 1996 |
| نخود | افزایش تعداد شاخه‌ها و غلاف‌ها در هر بوته و افزایش عملکرد دانه | Kahraman, 2017 |
| نیشکر | افزایش فعالیت کاتالاز و فسفاتاز قلیایی | Sellamuthu and Govinda Swamy, 2003 |
| خردل | افزایش رشد و عملکرد | Rajpar et al., 2011 |
| ذرت | بهبود رشد و کیفیت علوفه ذرت | Daur and Bakhashwain, 2013 |
| گندم | افزایش طول ساقه ۱۸ درصد، طول ریشه ۲۹ درصد و عملکرد ۵۵–۱۹ درصد در مقایسه با شاهد | Arjumend et al., 2015 |
| توتون | کاهش غلظت سرب، کادمیم، روی و مس به ترتیب ۳۹ درصد، ۳۷ درصد، ۲۹ درصد و ۱۸ درصد در مقایسه با شاهد | Rong et al., 2020 |

### تأثیر اسید هیومیک بر ویژگی‌های خاک

اسیدهای هیومیک به دلیل ویژگی‌هایی که دارند نقش‌های اساسی در بهبود کیفیت خاک، رشد گیاه و سایر عوامل زراعی دارند. بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام‌شده، اسید هیومیک توانایی بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را دارد. این ویژگی‌ها شامل تجمع و توزیع نسبی ذرات خاک، ظرفیت نگهداشت آب، ظرفیت تبادل کاتیونی، pH، محتوای کربن خاک، فعالیت آنزیم‌ها، چرخه عناصر پرمصرف و فراهمی آن‌ها

می‌باشد (Ampong et al., 2022). اسید هیومیک حاوی ترکیبات متعددی ازجمله درشت مولکول‌ها، اجزای آب‌گریز، آب‌دوست و گروه‌های عاملی است. ماهیت آب‌دوست اسید هیومیک، موجب جذب یون‌های هیدروژن شده و درنتیجه، ظرفیت نگهداشت آب خاک افزایش می‌یابد. هوموس آلی خاک حاوی اسید هیومیک است که می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر کیفیت خاک و رشد و نمو گیاه داشته باشد. افزون بر این، اسید هیومیک با بهبود ساختمان خاک، سبب افزایش ظرفیت ذخیره آب در خاک می‌شود (Fahramand et al., 2014). افزودن اسید هیومیک به خاک، چه به‌صورت اختلاط مستقیم و چه از طریق جذب سطحی، موجب افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شود، بااین‌حال، روش جذب سطحی، نتایج مؤثرتری را نشان داده است (Chaney and Swift, 1986).

در مناطق خشک، کاربرد اسید هیومیک با تحریک تولید آنزیم‌های مرتبط باتحمل گرما و افزایش نفوذپذیری غشای سلولی گیاه، موجب افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش حرارتی می‌شود. اسید هیومیک با بهبود ساختمان خاک، از طریق افزایش ظرفیت تجمع ذرات خاک، سبب کاهش فرسایش خاک می‌شود. همچنین، اسید هیومیک تأثیر مثبتی بر تقسیم سلولی و توسعه سیستم ریشه دارد (Khaled and Fawy, 2011). اسید هیومیک به‌عنوان بخشی از هوموس، به دلیل سطح ویژه زیاد خود موجب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شود. ازاین‌رو، اسید هیومیک عناصر غذایی موجود در کودهای آلی را جذب کرده و در ساختار مولکولی خود ذخیره می‌کند و سپس آن‌ها را به‌تدریج و متناسب با نیاز گیاه آزاد می‌سازد.

**معیارهای توصیه مصرف مواد هیومیکی (با ذکر مثال در برخی محصولات مهم زراعی و باغی)**

تعیین مقدار مصرف مواد هیومیکی (اسیدهای هیومیک و فولویک) به عوامل متعددی بستگی دارد که درنهایت استفاده از این ترکیبات سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک، افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه، تحریک رشد گیاه و افزایش عملکرد محصول شوند. بر اساس مطالب بیان‌شده در مقدمه، عوامل مؤثر بر توصیه مصرف مواد هیومیکی شامل: منبع و کیفیت مواد هیومیکی (مانند لئوناردیت با محتوای بالا نسبت به کمپوست یا پیت، و تفاوت در گروه‌های عاملی کربوکسیل، فنولی و ساختار آروماتیک/ آلیفاتیک)، نوع خاک (خاک‌های شنی یا فقیر از مواد آلی نیاز به مقدار بالاتر مواد هیومیکی دارند، درحالی‌که خاک‌های رسی یا با مواد آلی بالا پاسخ کمتری نشان می‌دهند)، نوع محصول و مرحله رشد (محصولات زراعی مانند غلات، سبزیجات یا درختان میوه، و مراحل حساس مانند جوانه‌زنی، توسعه ریشه یا میوه دهی)، روش کاربرد (بذرمال، خاکی یا آبیاری)، شرایط محیطی (تنش‌های زیستی و غیر زیستی)، و هدف اصلی کاربرد (اصلاح خاک، افزایش تحمل تنش یا بهبود کارایی کودهای شیمیایی). بر اساس دستورالعمل‌های پیشین مؤسسه تحقیقات خاک و آب مقدار و زمان مصرف مواد هیومیکی برای گیاهان مختلف به‌صورت زیر است (جدول ۵).

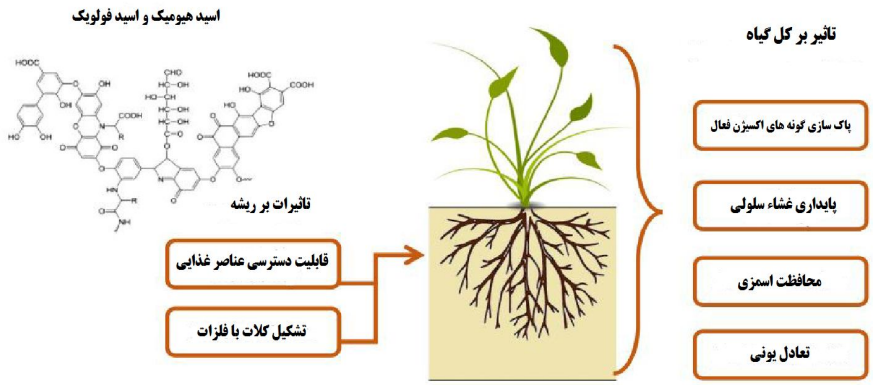
**جدول ۵- زمان مصرف ترکیبات هیومیکی در محصولات مختلف زراعی**

| گیاه | مراحل مصرف | منبع |
|---|---|---|
| گندم | بذرمال، دومین آبیاری، ساقه دهی | طهرانی و همکاران، ۱۳۹۳ |
| جو | بذرمال، دومین آبیاری، ساقه دهی | |
| ذرت | بذرمال، دومین آبیاری، ۶-۴ برگی، گرده‌افشانی | |
| چغندرقند | سومین آبیاری، ۱۲-۱۰ برگی و ۱۶-۱۸ برگی | |
| پنبه | بذرمال، ۱۶ روز پس از کاشت، ۴۰ روز پس از کاشت و ۶۴ روز پس از کاشت | |
| کلزا | بذرمال، دانه رست، ساقه دهی و گلدهی | |
| سویا | توسعه برگ در ساقه اصلی، تشکیل ساقه‌های جانبی و گلدهی | |
| حبوبات | بذرمال، توسعه برگ در ساقه اصلی، تشکیل ساقه‌های جانبی و گلدهی | |

مقدار مصرف با توجه به درصد ترکیبات هیومیکی و توصیه شرکت تولیدکننده متفاوت است. به‌طورکلی؛ برای کودهای پودری مقدار ۳-۲ کیلوگرم در هکتار (در هر مرحله) و برای ترکیبات مایع ۱۵-۱۰ لیتر در هکتار توصیه می‌شود.

### نقش مواد هیومیکی در شرایط شور

گزارش‌شده که ترکیبات حاوی اسید هیومیک نقش محافظتی در برابر تنش شوری در گیاه ایفا می‌کنند (Van Overbeek, 1966؛ Machado et al., 2014؛ Aydin, 2012). اسید هیومیک، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود می‌بخشد (Colla et al., 2013؛ Mady, 2009) و همچنین این مواد، قادر به تنظیم پتانسیل اسمزی سلول از طریق حفظ آماس سلولی و جذب آب در شرایط شور هستند (Paul *et al.*, 2019). برخی سازوکارهای پیشنهادی تأثیر محرک‌های رشد حاوی اسیدهای هیومیک و فولویک بر گیاه در شرایط تنش شوری در شکل ۶ ذکرشده است.




**شکل ۶- خلاصه‌ای از سازوکارهای پیشنهادی تأثیر محرک‌های رشد حاوی اسید هیومیک و اسید فولویک در شرایط تنش شوری (Van Oosten et al., 2017)**

اثرات مواد هیومیکی بر تحریک رشد گیاهان در مطالعات متعددی مشاهده و به‌طور گسترده گزارش‌شده‌اند (Chen and Avid, 1990؛ Nardi et al., 1996؛ Cesco et al., 2002؛ Yang et al., 2004؛ Rady, 2012). گزارش شده است که مواد هیومیکی (اسید هیومیک و اسید فولویک) به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم

بر فرایندهای فیزیولوژیکی مرتبط با رشد گیاه در شرایط مختلف ازجمله تنش شوری تأثیرگذار هستند.

**اثرات غیرمستقیم: بهبود ویژگی‌های خاک شور**

ماده آلی یکی از اجزای مهم خاک در بهبود ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آن به شمار می‌رود (Montemurro et al., 2007; Diacono and Montemurro, 2010). ترکیبات هیومیکی بر پایداری خاکدانه‌ها، ظرفیت بافری، جذب ترکیبات آلی آب‌گریز و نیز انتقال، زیست‌فراهمی و کمپلکس‌سازی فلزهای موجود در محیط تأثیر می‌گذارند (Rosa et al., 2005). کاربرد مواد هیومیکی از طریق توزیع ماده آلی در خاک، انرژی لازم را برای موجودات مفید خاک فراهم می‌کند و بر ظرفیت نگهداشت آب در خاک، ساختمان خاک، آزادسازی عناصر غذایی (به‌ویژه فسفر) موردنیاز گیاه از کانی‌های خاک و افزایش زیست‌فراهمی عناصر کم‌مصرف اثر می‌گذارد و درنتیجه سبب بهبود حاصلخیزی خاک‌های شور می‌شود. این اثرات به‌ویژه برای حفظ بهره‌وری خاک‌ها اهمیت دارند، خصوصاً در مناطق خشک که دارای نواحی گسترده با محتوی کم ماده آلی هستند.

نقش و اهمیت مواد هیومیکی در خاک‌ها و به‌ویژه هوموس، از مدت‌ها پیش به اثبات رسیده است (Thomann, 1964). ویژگی‌های متعدد آن‌ها، به‌ویژه ظرفیت «به دام اندازی[1]» یا جداسازی (جذب‌کنندگی و کلات‌کنندگی[2]) ترکیبات آلی و معدنی (مانند آفت‌کش‌ها و فلزات)، به آن‌ها نقشی اساسی در انحلال‌پذیری، زیست‌فراهمی، تجزیه‌پذیری، انتقال و تبادل این ترکیبات در آب‌وخاک خواهد داشت (Busnot et al., 1995).

در خاک‌های شور، غلظت سدیم در محلول خاک معمولاً افزایش می‌یابد. در این شرایط، تمایل به جذب زیاد یون‌های سدیم بر روی کمپلکس هوموسی وجود دارد که منجر به شوری خاک و بروز سمیت در گیاهان می‌شود (Tchiadje, 2007)، که می‌توان آن را به‌صورت زیر نشان داد:

$$2Na^{+} + Ca\ (humus) = (humus)\ Na + Ca^{2+} \quad (1)$$

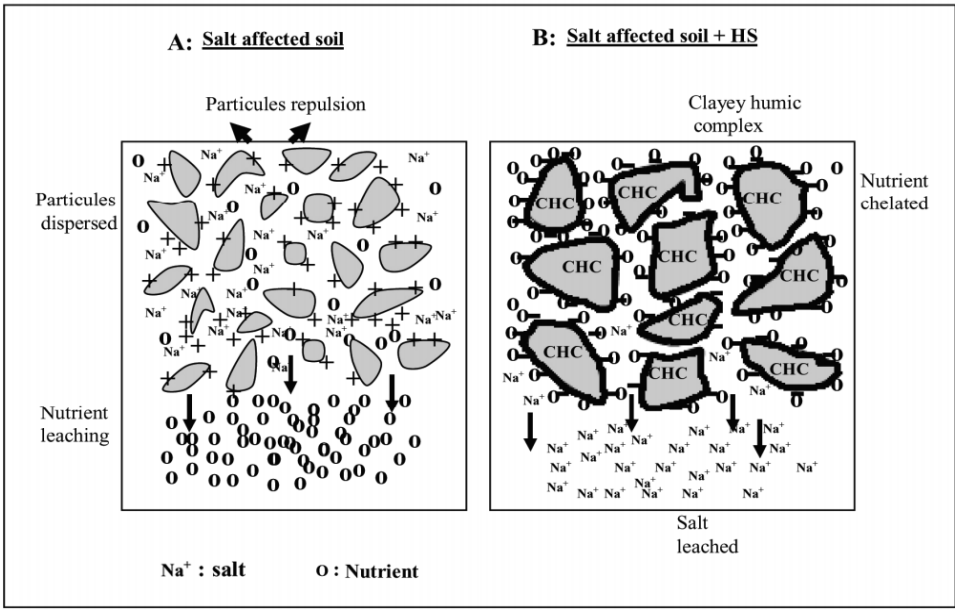
مؤثرترین روش‌های اصلاح بر پایه حذف سدیم تبادلی و محلول و تغییر ترکیب یونی خاک‌ها استوار هستند و هم‌زمان با آن، شست‌وشوی نمک‌های سدیم از پروفیل خاک انجام شود (Chhabra, 1994). Raychev و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که نتیجه چنین اقداماتی شرایط مناسبی برای کاهش پراکنش (دیسپرسیون) بخش‌های کلوئیدی خاک فراهم می‌شود. کاربرد ماده آلی و در پی آن توزیع مواد هیومیکی، موجب کاهش سدیم خاک، هدایت الکتریکی (EC) و pH می‌شود که احتمالاً به دلیل تأمین مقادیر بالای کلسیم، منیزیم و پتاسیم است. این عناصر معدنی با اشغال جایگاه‌های تبادل کاتیونی روی ذرات خاک، جذب سدیم را به حداقل رسانده و درنتیجه اتلاف سدیم از طریق آبشویی در طی رخدادهای بارندگی را افزایش می‌دهند (شکل ۳) (Lakhdar et al., 2009). درواقع، کاهش شوری به معنای کاهش کاتیون تک‌ظرفیتی $Na^{+}$ است و این موضوع به‌ویژه زمانی آشکار می‌شود که جایگزینی کاتیون یک ظرفیتی $K^{+}$ با هومات (نمک) کمپلکس هیومیکی رخ

1- Sequestering
2- Adsorbent, Chelating

دهد. بنابراین، در اثر دافعه الکترواستاتیکی و غلظت بالای +K و یون $Na^+$ از کمپلکس هیومیکی جایگزین شده و رابطه ۱ به‌صورت زیر درمی‌آید (رابطه ۲):

$$2\ K^+ + Na\ (humus) = (humus)\ K + Na^+ \quad (۲)$$

سپس با رقیق شدن کاتیون $H^+$ در اثر آب، یون $K^+$ جایگزین شده و درنهایت برای گیاهان قابل‌جذب خواهد شد. حذف مؤثر $Na^+$ از طریق آبشویی به میزان تماس اصلاح‌کننده با خاک، نفوذپذیری خاک و وجود سامانه‌های زهکشی مناسب بستگی دارد. افزودن ترکیبات حاوی کلسیم، کیفیت فیزیکی لایه‌های سطحی خاک را بهبود بخشیده و علاوه بر جایگزینی/ خنثی‌سازی $Na^+$، موجب کاهش سله بندی و ایجاد پوسته سطحی می‌شود. افزون بر این، Buckau و همکاران (۲۰۰۰) پیشنهاد کردند که نمک‌های مختلف مواد هیومیکی، مانند هیومات کلسیم، برای افزایش حاصلخیزی خاک به کار می‌روند (شکل ۷).




**شکل ۷- شماتیک اثر غیر مستقیم مواد هیومیکی افزوده شده به خاک‌های تحت تأثیر شوری**

چندین مطالعه اثرات مستقیم مواد هیومیکی بر برخی محصولات کشاورزی را نشان داده‌اند و تحقیقات اصلی در جدول ۶ خلاصه شده است. اثرات مستقیم مواد هیومیکی بر گیاهان شامل تغییراتی در متابولیسم گیاه است که پس از جذب ماکرو مولکول‌های آلی، مانند اسید هیومیک و اسید فولویک رخ می‌دهد. هنگامی که این ترکیبات وارد سلول‌های گیاهی می‌شوند، تغییرات بیوشیمیایی متعددی هم در غشاها و هم در اجزای سیتوپلاسمی سلول‌های گیاهی رخ می‌دهد. مواد هیومیکی بر چندین فرایند متابولیک تأثیر می‌گذارند، ازجمله فتوسنتز، تنفس، سنتز اسیدهای نوکلئیک و جذب یون‌ها (Nardi et al., 2002). به‌ویژه، اسید هیومیک

بر تولید RNA تأثیر می‌گذارد که برای بسیاری از فرایندهای بیوشیمیایی در سلول ضروری است (Trevisan et al., 2010).

**جدول ۶- اثرات مستقیم مواد هیومیکی بر گیاهان**

| اثر مواد هیومیکی | منبع |
|---|---|
| تحریک جوانه‌زنی | Masciandaro et al., 2002; Orlova and Arkhipchenko, 2009 |
| افزایش رشد گیاه | Chen and Aviad, 1990; Brunetti et al., 2007; Paksoy et al., 2010 |
| تحریک جذب عناصر غذایی | Varanini and Pinton, 1995; Turkmen et al., 2004 |
| تحریک سنتز پروتئین و فعالیت‌های آن | Canellas et al., 2002; Carletti et al., 2008; Dantas et al., 2007 |
| فعالیت‌های شبه هورمونی | Piccolo et al., 1992; Trevisan et al., 2010 |

### جوانه‌زنی

شوری بالا با ایجاد اثرات اسمزی و یونی، به‌شدت جوانه‌زنی بذر را مهار کرده و زمان و درصد جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد (Al-Ashkar et al., 2025). ازاین‌رو، هر عامل و ترکیبی که سبب افزایش تحمل بذر در این شرایط شود، می‌تواند به افزایش سطح سبز مزرعه نیز کمک کند. مواد هیومیکی نقش مهمی در جوانه‌زنی بذر دارند و می‌توان آن را به‌عنوان تحریک اولیه رشد که توسط مولکول‌های هیومیک ایجاد می‌شود در نظر گرفت (Eyheraguibel et al., 2008). هنگامی‌که مواد هیومیکی وارد سلول‌های بذر می‌شوند و هم‌زمان عناصر کم‌مصرف و آب را همراه خود حمل و وارد سلول‌های بذر می‌کنند، نرخ تنفس افزایش‌یافته و فرآیند تقسیم سلولی تسریع می‌شود که درنتیجه رشد ریشه بهبود می‌یابد. در شرایط محیط‌های شور، Masciandaro و همکاران (۲۰۰۲) دریافتند که افزودن مواد هیومیکی به محلول (کلرید سدیم+ مواد هیومیکی) در هدایت الکتریکی بالا (۴ دسی‌زیمنس‌برمتر) شاخص جوانه‌زنی را از ۶۸/۵ به ۱۱۸ درصد افزایش داد، که نشان داد مواد هیومیکی می‌توانند اثرات مهاری ناشی از شوری را بر شاهی (*Lepidium sativum*) و ذرت (*Zea mays*) کاهش دهند. به گفته این محققان، کاهش مهار جوانه‌زنی می‌تواند ناشی از تشکیل کمپلکس‌های–Na هوموس باشد، به‌طوری‌که سدیم در دسترس برای تجمع در سلول‌های گیاهی قرار نمی‌گیرد و درنتیجه اثرات اسمزی ایجاد نمی‌شود. علاوه بر این، Orlova و Arkhipchenko (۲۰۰۹) رابطه مستقیمی بین غلظت مواد هیومیکی در محلول خاک و اثر تحریک‌کننده آن‌ها بر جوانه‌زنی شاهی نشان دادند. همچنین گزارش شده است که افزودن مواد هیومیکی به بذر (آغشته سازی بذر) یا داخل ردیف بذر، به‌طور قابل‌توجهی جوانه‌زنی بذر و رشد نهال‌ها را بهبود می‌بخشد (Piccolo et al., 1993).

**ریشه**

مطالعات متعدد اثر مثبت مواد هیومیکی بر رشد و توسعه ریشه و همچنین جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف را نشان دادند (Chen and Aviad, 1990; Varanini and Pinton, 1995). همچنین؛ Turkmen و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که جذب عناصر غذایی در گوجه‌فرنگی کشت‌شده در محیط شور با افزودن اسید هیومیک به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. این رفتار احتمالاً به دلیل افزایش نفوذپذیری غشاهای سلول‌های ریشه است. مواد هیومیکی همچنین می‌توانند از طریق تحریک رشد و تکثیر ریشه عمل کنند. این اثرات به‌ویژه برای سازگاری گیاهان با شرایط نامساعد خاک، مانند شوری، اهمیت دارند و می‌توانند برای تعریف روش‌های مدیریت ریزوسفر مفید باشند (Romheld and Neumann, 2006). به گفته این محققان، بهبود جذب عناصر غذایی، به‌ویژه عناصر کم‌مصرف، می‌تواند برای افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی اهمیت داشته باشد. علاوه بر این، در یک آزمایش گلدانی بر روی درختان زیتون، Tattini و همکاران (۱۹۹۱) گزارش کردند که نرخ جذب نیتروژن توسط ریشه‌ها پس از کاربرد اسید هیومیک افزایش یافت، زمانی که این ماده در بازه ۱۲۰–۳۰ میلی‌گرم در هر گلدان استفاده شد. بر همین اساس، Orlova و Arkhipchenko (۲۰۰۹) حداکثر اثر تحریک‌کننده مواد هیومیکی را بر ریشه‌ها در مقایسه با شاخ و برگ‌ها مشاهده کردند. مواد هیومیکی باعث افزایش رویش ریشه‌های جانبی شده و تولید ریشه‌های ثانویه کوچک‌تر، اما پرشاخه‌تر را تحریک می‌کنند.

Eyheraguibel و همکاران (۲۰۰۸) دریافتند که توسعه ریشه باعث افزایش طول کل ریشه‌ها و بزرگ‌تر شدن سطح ریشه می‌شود و درنتیجه تغذیه معدنی بهبود می‌یابد. مواد هیومیکی در خاک‌های شور موجب غنی‌سازی اضافی ریزوسفر با یون $Ca^{2+}$ شدند، که تمایل دارد سدیم تبادلی را در محل‌های جذب ریشه، جایگزین کند (Garcia et al., 2000). این اثرات بر جذب یون ممکن است به تغییرات در نفوذپذیری غشاء بستگی داشته باشد، که نتیجه تعامل بین مولکول‌های هیومیک و ماتریس لیپیدی غشای پلاسمایی است (Samson and Visser, 1989)و یا به دخالت آن‌ها در عملکرد ناقل‌های یون خاص مربوط باشد (Vaughan and McDonald, 1971; Guminski et al., 1983). Pinton و همکاران (۱۹۹۲) دریافتند که مواد هیومیکی، فعالیت ATPaseتحریک‌شده توسط KCl در ریشه جو را افزایش می‌دهند، زمانی که غلظت آن تا ۰/۵ $\mu g\ C\ org\ mL^{-1}$ افزایش یافت. این نتیجه، یافته‌های قبلی Maggioni و همکاران (۱۹۸۷) را تأیید می‌کند، که نشان‌دهنده ظرفیت تنظیمی مولکول‌های هیومیک بر فعالیت‌های غشاء مرتبط با جذب یون و تغذیه گیاه بود. علاوه بر این، در پژوهشی دیگر، Canellas و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که مواد هیومیکی، فعالیت آنزیم‌های مرتبط با غشای پلاسمایی سلول‌های ریشه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. درواقع، Carletti و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که غشای پلاسمایی محل تبادل اطلاعات و مواد بین سلول و محیط آن است. بنابراین، پروتئین‌های مرتبط با غشای پلاسمایی سلول‌های ریشه می‌توانند به‌طور منطقی در عملکرد مواد هیومیکی نقش داشته

باشند. تغییرات در بیان این پروتئین‌ها احتمالاً اولین واکنش منجر به پاسخ‌های بیولوژیکی (به‌ویژه در خاک‌های شور) را ایجاد می‌کند (Carletti et al., 2008).

**اندام هوایی**

استفاده از اسید هیومیک تأثیر مثبتی بر پارامترهای عملکرد گیاهان کشت‌شده در شرایط شور داشت (Türkmen et al., 2005; Paksoy et al., 2010). بر اساس گزارش Chen و Avaid (۱۹۹۰) اثرات مواد هیومیکی بر رشد گیاه به‌طور مداوم، نشان‌دهنده اثرات مثبت بر بیوماس گیاه است. Nardi و همکاران (۲۰۰۲) بیان می‌کنند که مواد هیومیکی می‌تواند تأثیر بنیادی نه‌تنها بر حاصلخیزی خاک، بلکه بر فیزیولوژی گیاه نیز داشته باشد. این مواد رشد گیاه را تقویت می‌کنند، که درنهایت سبب افزایش وزن اندام هوایی خواهد شد (Carletti et al., 2008). علاوه بر این، Brunetti و همکاران (۲۰۰۷) یک همبستگی مثبت بین عملکرد دانه گندم و اجزای مواد هیومیکی، مانند اسید هیومیک و اسید فولویک، مشاهده کردند. این مواد با تشکیل کمپلکس‌ها یا عوامل کلات‌کننده هیومیکی با کاتیون‌های فلزی، بر انحلال‌پذیری بسیاری از عناصر غذایی تأثیر می‌گذارند (Lobartini et al., 1997). مطالعات متعددی با استفاده از محلول‌های غذایی انجام‌شده است تا اثرات مستقیم اسید هیومیک و اسید فولویک بر رشد گیاه انجام‌شده‌اند (Schnitzer and Poapst, 1967; Linehan, 1976; Rauthan and Schnitzer, 1981).

این پژوهش‌ها نشان دادند که جذب عناصر غذایی پرمصرف توسط مواد هیومیکی هدایت‌شده و جذب آن‌ها را افزایش می‌دهد. در محیط شور و برای اطمینان از سطح مناسب رشد، گیاهان باید محتوای بالای پتاسیم و محتوای پایین سدیم را در سیتوزول حفظ کنند. بنابراین، نسبت بالای $K^+/Na^+$ برای تحمل شوری اهمیت دارد و این وضعیت می‌تواند با حضور بالای مواد هیومیکی، که جذب $K^+$ را تحریک می‌کند، حاصل شود. Megoni و همکاران (۱۹۸۷) نشان دادند که اسیدهای هیومیک و فولویک، به‌عنوان اجزای کلیدی هوموس، با تأثیر بر فعالیت آنزیمATPase وابسته به $K^+$ و$Mg^{2+}$، جذب مواد مغذی را بهبود می‌بخشند. یافته‌های Pinton و همکاران (۱۹۹۲) نشان دادند که مواد هیومیکی فعالیت میکروزوم‌ها و تونوپلاست را تحت تأثیر قرار می‌دهند. درنهایت، در پژوهشی دیگر، Dantas و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند هنگامی‌که مواد هیومیکی با آنزیم‌ها همراه باشند، می‌تواند موجب افزایش فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها (فسفریلاز، فسفاتاز و سیتوکروم اکسیداز)، مهار برخی دیگر (IAA، اکسیداز، فیتاز و پراکسیداز) و سنتز برخی آنزیم‌ها (اینورتاز) شود.

**فعالیت شبه هورمونی**

نتایج Trevisan و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد، اثر تحریک‌کننده بر توسعه ریشه جانبی شاهی که در پاسخ به کاربرد مواد هیومیکی مشاهده شد، عمدتاً در مراحل اولیه رشد آشکار بود، زمانی که سلول‌ها شروع به تقسیم

می‌کنند. این یافته‌ها نشان داد که پاسخ مواد هیومیکی ممکن است شامل مکانیسم‌های تحریک، تقسیم و تمایز سلولی باشد، که مشخص است تحت کنترل هورمون اکسین قرار دارد. Piccolo و همکاران (۱۹۹۳) نیز دریافتند که کاربرد مواد هیومیکی سطح هورمون‌ها را تنظیم کرده، رشد گوجه‌فرنگی و کاهو را بهبود می‌بخشد و تحمل گیاه در برابر تنش‌ها را افزایش داد. علاوه بر این، خواص شبه سیتوکینین و شبه اکسین در مواد هیومیکی توسط Clapp و همکاران (۱۹۹۸) شناسایی شد. نشان داده شده است که این مواد تحمل گیاهان در برابر تنش‌های غیر زیستی را افزایش می‌دهند و همچنین پیرشدگی گیاه را نیز به تأخیر می‌اندازند و کیفیت آن را بهبود می‌بخشند(Zhang and Ervin, 2004) ، که می‌تواند اثرات مضر تنش شوری را کاهش دهد. علاوه بر این، اکسین باعث افزایش طول ریشه و ساقه در گیاهان شده و به آن‌ها امکان می‌دهد پاسخ‌های تروپیک مانند خم شدن ساقه‌ها به سمت منبع نور (فتوتروپیسم) و رشد ریشه‌ها به سمت پایین (ژئوتروپیسم) را نشان دهند. همچنین مشخص است که سیتوکینین‌ها دارای خواص ضد پیری هستند که به فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها مرتبط است و یکپارچگی غشای تونوپلاست را حفظ می‌کند ( Musgrave, 1994; Thimann, 1987).

علاوه بر این، این هورمون مسئول تشکیل هر دو ریشه و جوانه است، تقسیم سلولی را تحریک می‌کند و تمایل دارد اثرات پیری و تنش را در گیاهان کاهش دهد. بر این اساس، استفاده از ماده آلی غنی از اسید هیومیک بر روی آفتابگردان کشت‌شده در محلول آب‌نمک با رسانایی الکتریکی برابر با ۴/۸ دسی‌زیمنس‌برمتر باعث بهبود عملکرد گیاه شد (Ahmad and Jabeen, 2009). شادابی بالاتر مشاهده‌شده پس از کاربرد مواد هیومیکی نه‌تنها سمیت ناشی از سدیم در بستر را کاهش داد، بلکه به بهبود رشد نیز کمک کرد. فعال شدن فرآیندهای بیوشیمیایی مرتبط منجر به افزایش سنتز آنزیم و محتوای پروتئین شد (Carletti et al., 2008; Trevisan et al., 2010). در طول این تغییرات متابولیکی، افزایش غلظت چندین آنزیم مهم مشاهده‌شده است. آزمایش‌هایی که بر روی سلول‌های برنج در کشت تعلیقی انجام‌شده، نشان داد که اسید هیومیک ممکن است به‌عنوان اسکلت‌های کربنی برای سنتز پروتئین و DNA نیز استفاده شود (Wang et al., 1999). همچنین Rady (۲۰۱۲) گزارش کردند که استفاده از اسید هیومیک سبب افزایش محتوی پرولین در گیاه شد. این محقق گزارش کرد که افزایش محتوی پرولین باعث افزایش ظرفیت تحمل گیاه در برابر شوری می‌شود. این نتایج ممکن است با افزایش سطح درون‌زای سیتوکینین و اکسین مرتبط باشد که ناشی از کاربرد اسید هیومیک است (Zhang and Ervin, 2004)

**توصیه مقدار و زمان مصرف اسید هیومیک در محصولات زراعی و باغی در شرایط شور**

آزمایش‌های مزرعه‌ای اندکی روی مصرف محرک‌های رشد در شرایط تنش شوری انجام‌شده است ولیکن، با توجه به نتایج حاصل از آزمایش‌های مزرعه‌ای بر روی برخی محصولات زراعی و باغی در استان‌های مختلف کشور، بیشترین تأثیر محرک‌های رشد در بخش زراعت در شرایط شوری منابع آب و خاک مربوط به مصرف

ترکیبی این مواد رشدی بوده که البته در مقایسه با مصرف تنهای اسید هیومیک، قابل‌مقایسه می‌باشد (میرزاپور و نورقلی‌پور، ۱۴۰۰). اگرچه، ازلحاظ اقتصادی، مصرف اسید هیومیک به‌تنهایی، ازلحاظ نسبت سود به هزینه قابل توصیه‌تر است. در خصوص محصولات باغی در شرایط شور، مصرف اسید هیومیک در پسته و مصرف قارچ هم‌زیست مایکوریزا در انار، بالاترین عملکرد را تولید کردند، اما در مورد انار، مصرف اسید هیومیک توانست پس از تیمار مایکوریزا، بالاترین عملکرد میوه را تولید نماید و با توجه به هزینه مصرف، می‌تواند جایگزین مناسبی برای این قارچ باشد (نورقلی‌پور و همکاران، ۱۴۰۰). با توجه به آستانه تحمل گیاهان مختلف به شوری، ازاین‌رو، توصیه می‌شود در خاک‌هایی که EC آن‌ها از حد آستانه تحمل گیاه بیشتر است (جدول ۷)، نسبت به افزایش مصرف ترکیبات هیومیکی اقدام شود.

**جدول ۷- حد آستانه تحمل به شوری در گیاهان مختلف**

| گیاه | حد آستانه تحمل به شوری (EC عصاره اشباع خاک) دسی‌زیمنس‌برمتر |
|---|---|
| گندم | ۶ |
| جو | ۸ |
| لوبیا | ۱ |
| سورگوم دانه‌ای | ۴/۱ |
| تریتیکاله | ۶/۱ |
| سودان گراس | ۲/۸ |
| یولاف | ۵/۲ |
| چاودار | ۱۱ |
| برنج | ۳ |
| چغندرقند | ۷ |
| آفتابگردان | ۴/۸ |
| کلزا | ۱۱ |
| پیاز | ۱/۲ |
| یونجه | ۲ |
| گوجه فرنگی | ۲/۵ |
| ذرت | ۱/۷ |
| سیب زمینی | ۱/۷ |

- حد آستانه تحمل به شوری گیاهان به مرحله رشد نیز وابسته است

بر این اساس، مصرف مواد محرک رشد گیاهی، طبق جدول‌های ۸ تا ۱۰ با توجه نتایج موجود، قابل توصیه می‌باشد.

با توجه به نتایج جدول ۲، استفاده از مواد هیومیکی در آبیاری سوم و اواسط ساقه دهی اثر قابل‌توجهی بر کاهش تنش شوری در گندم داشت. همچنین نتایج نشان داد که در شوری‌های بالاتر از ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر مواد هیومیکی در مقایسه با جلبک دریایی اثربخشی بهتری داشت.

**جدول ۸- نوع و زمان مصرف کودهای محرک رشد در برخی محصولات زراعی در تنش شوری (میرزاپور و نورقلی‌پور، ۱۴۰۰؛ نورقلی‌پور و همکاران، ۱۴۰۰)**

| نوع محصول | نوع کود | نحوه مصرف | زمان مصرف |
|---|---|---|---|
| گندم و جو | اسید هیومیک | مصرف خاکی ۲۰ لیتر در هکتار | ۱- آبیاری سوم ۲- اواسط ساقه دهی |
| کلزا | اسید هیومیک (از شوری ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر و بیشتر از آن) | مصرف خاکی ۲۰ لیتر در هکتار | ۱- آبیاری سوم ۲- خروج از رُزت |
| | عصاره جلبک دریایی (تا شوری ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر) | محلول‌پاشی با غلظت ۵ در هزار | ۱-خروج از روزت ۲- انتهای ساقه دهی |

توضیح تکمیلی: این جدول برای شرایط شور توصیه‌شده است و می‌توانند به‌عنوان مکمل مقادیر مورداستفاده در شرایط غیر شور (جدول ۴)، به کار روند.

**جدول ۹- نوع و زمان مصرف کودهای محرک رشد در برخی محصولات باغی تحت تنش شوری (نورقلی‌پور و همکاران، ۱۴۰۰)**

| نوع محصول | نوع کود | نحوه مصرف | زمان مصرف |
|---|---|---|---|
| **پسته (شوری ۱۰-۱۳ $dS\ m^{-1}$)** | اسید هیومیک | مصرف خاکی ۲۰ گرم به ازای هر درخت | ۱- قبل از بیدار شدن درخت در اسفند و ۲- در مرحله پُر شدن میوه |
| **انار (شوری ۶-۷ $dS\ m^{-1}$)** | اسید هیومیک | مصرف خاکی ۲۰ گرم به ازای هر درخت | ۱- قبل از بیدار شدن درخت در اسفند و ۲- در مرحله پُر شدن میوه |

**جدول ۱۰- نوع و زمان مصرف کودهای محرک رشدی در ذرت در تنش شوری (Ertani et al., 2015 ؛El-Nwehy et al., 2018)**

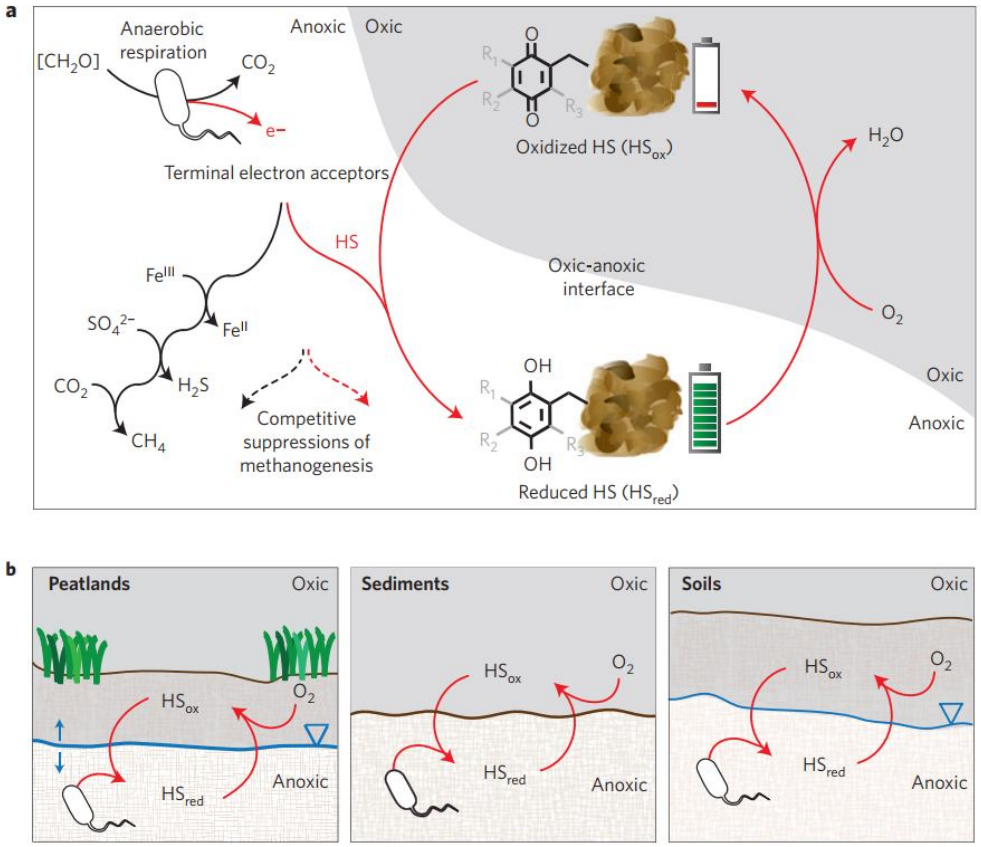
| نوع محصول | نوع کود | نحوه مصرف | زمان مصرف |
|---|---|---|---|
| **ذرت (شوری ۲/۵ $dS\ m^{-1}$)** | اسید هیومیک | مصرف خاکی ۲۰ لیتر در هکتار | ۱- در مرحله ۸-۷ برگی ۲- قبل از ظهور خوشه |

**مصرف هیومیک اسید در شرایط غرقابی**

در شرایط غرقاب، مهم‌ترین تغییر شیمیایی خاک، کاهش پتانسیل اکسایش–کاهش (Eh) است که عمدتاً ناشی از مصرف اکسیژن توسط میکروارگانیسم‌ها است. با محدود شدن تبادل گازی بین خاک و اتمسفر، اکسیژن محلول به‌سرعت مصرف‌شده و محیط خاک از حالت اکسیدی به احیایی تبدیل خواهد شد. در این شرایط، پذیرنده‌های الکترون به ترتیب ترمودینامیکی شامل نیترات، اکسیدهای منگنز، اکسیدهای آهن، سولفات و نهایتاً دی‌اکسید کربن احیا می‌شوند. این فرآیندها تغییرات اساسی در شکل شیمیایی و فراهمی عناصر غذایی ایجاد می‌کنند. در چرخه نیتروژن، نیترات تحت شرایط احیایی دچار دنیتریفیکاسیون شده و به گازهای $N_2$ و $N_2O$ تبدیل می‌شود، درحالی‌که آمونیوم به شکل غالب نیتروژن معدنی در خاک غرقاب باقی می‌ماند. احیای $Fe^{3+}$ به $Fe^{2+}$ و $Mn^{4+}$ به $Mn^{2+}$ موجب افزایش حلالیت این عناصر می‌شود و در برخی موارد می‌تواند به بروز سمیت آهن منجر گردد. احیای اکسیدهای آهن همچنین فسفر تثبیت‌شده را آزادکرده و غلظت فسفر محلول را افزایش می‌دهد، هرچند در مراحل پیشرفته احیا، تشکیل سولفیدهای فلزی ممکن است مجدداً به تثبیت فسفر کمک کند (Lindsay, 1987). علاوه بر این، احیای سولفات به سولفید می‌تواند ترکیباتی مانند FeS ایجاد کند که در فراهمی عناصر ریزمغذی و سلامت ریشه نقش مهمی دارند. بنابراین، هرچند شرایط غرقاب حلالیت برخی عناصر را افزایش می‌دهد، اما تغییرات ردوکس، رسوب سولفیدی و سمیت احتمالی فلزی ممکن است جذب واقعی عناصر توسط گیاه را محدود کند (Marschner, 2012; Ponnamperuma, 1972; Lindsay, 1987;Kirk, 2004 ).

هیومیک اسید به‌عنوان یکی از اجزای فعال ماده آلی خاک، نقش مهمی در تعدیل این تغییرات ایفا می‌کند. در شرایط احیایی، گروه‌های عاملی کربوکسیل و فنولی در ساختار هیومیک فعال‌تر شده و ظرفیت تبادل کاتیونی و واکنش‌پذیری ردوکس آن افزایش می‌یابد. مواد هیومیکی می‌توانند به‌عنوان دهنده یا پذیرنده الکترون عمل کرده و در فرآیندهای انتقال الکترون در خاک نقش واسطه داشته باشند (Lovley et al., 1996). در شرایط بی‌هوازی، مواد هیومیکی می‌توانند به‌عنوان پذیرنده الکترون عمل کنند و الکترون‌های حاصل از تنفس بی‌هوازی میکروارگانیسم‌ها را دریافت نمایند. این فرآیند از طریق انتقال الکترون به گروه‌های کینونی و سایر اجزای فعال ردوکسی موجود در ساختار مواد هیومیکی انجام می‌شود. مواد هیومیکی پس از کاهش می‌توانند مجدداً به‌عنوان دهنده الکترون وارد واکنش‌های میکروبی شوند و الکترون‌ها را به ترکیباتی مانند اکسیدهای آهن (III) در خاک‌ها و رسوبات منتقل کنند و بدین ترتیب در فرآیندهای کاهش آهن نقش واسطه‌ای ایفا نمایند. همچنین این مواد قادرند در انتقال الکترون به آلاینده‌های آلی و غیرآلی مشارکت کرده و بر سرنوشت و تحول آن‌ها در محیط اثر بگذارند. از سوی دیگر، در محیط‌های بی‌هوازی، مواد هیومیکی با سایر پذیرنده‌های نهایی الکترون مانند $CO_2$ رقابت می‌کنند. در صورتی که میکروارگانیسم‌ها، الکترون‌های خود را به مواد هیومیکی منتقل کنند، میزان انتقال الکترون به $CO_2$ کاهش می‌یابد و درنتیجه فرآیند متانوژنز مهار

می‌شود. این ویژگی می‌تواند منجر به کاهش تولید متان در محیط‌های طبیعی بی‌هوازی شده و در تنظیم چرخه‌های زیست‌ژئوشیمیایی و انتشار گازهای گلخانه‌ای نقش مهمی ایفا کند (شکل ۸).




**شکل ۸- چرخه اکسایش–کاهش مواد هیومیکی (HS) در سیستم‌های موقتاً بی‌هوازی. الف) کاهش میکروبی مواد هیومیکی در شرایط بی‌هوازی و اکسید شدن مجدد آن‌ها توسط $O_2$ در شرایط هوازی.**

چرخه ردوکس اسید هیومیک (HA) با یک جفت کینون/ هیدروکینون، همراه با فرآیند شارژ و دشارژ شدن یک باتری نشان داده شده است. استفاده از مواد هیومیکی به‌عنوان پذیرنده نهایی الکترون (TEA) تعداد الکترون‌های منتقل‌شده به پذیرنده‌های غیرآلی را کاهش می‌دهد. انتقال الکترون به مواد هیومیکی به‌جای $CO_2$ باعث مهار متانوژنز هیدروژن تروفیک می‌شود. ب) سیستم‌های موقتاً بی‌هوازی شامل پیت‌لندها (باتلاق‌های توربی)، رسوبات و بسیاری از خاک‌ها (Klüpfel et al., 2014)

همچنین، هیومیک اسید قادر است با کاتیون‌های دو ظرفیتی نظیر $Fe^{2+}$، $Mn^{2+}$، $Zn^{2+}$ و $Cu^{2+}$ کمپلکس‌های پایدار تشکیل دهد که این امر از رسوب سولفیدی عناصر جلوگیری کرده و تحرک آن‌ها را در محیط احیایی افزایش می‌دهد (Chen et al., 2004). علاوه بر این، به نظر می‌رسد خاصیت هیومیک اسید در تعدیل pH و شرایط ردوکس خاک می‌تواند شدت تنش‌های شیمیایی ناشی از غرقاب را کاهش دهد (Stevenson, 1994).

درنتیجه این برهم‌کنش‌ها، هیومیک اسید می‌تواند فراهمی و جذب عناصر غذایی را در شرایط غرقاب بهبود بخشد. کمپلکس‌سازی آهن دو ظرفیتی توسط هیومیک اسید می‌تواند غلظت آهن آزاد را کاهش داده و به کاهش شدت سمیت آهن برای گیاه کمک کند (Chen et al., 2004). هیومیک اسید همچنین با رقابت برای جایگاه‌های جذب روی سطوح معدنی، از تشکیل ترکیبات نامحلول فسفر جلوگیری کرده و پایداری فسفر در محلول خاک را افزایش می‌دهد (Singh et al., 2010). در مورد عناصر کم‌مصرف، تشکیل کمپلکس‌های محلول با عناصری نظیر روی، مس و منگنز، از رسوب آن‌ها در شرایط احیایی جلوگیری کرده و قابلیت جذب توسط گیاه را بهبود می‌بخشد (Mora et al., 2010). علاوه بر این، هیومیک اسید از طریق افزایش نفوذپذیری غشای ریشه و تحریک فعالیت پمپ‌های پروتونی، جذب فعال عناصر غذایی را حتی در شرایط هیپوکسی تسهیل می‌کند (Canellas et al., 2015). حضور هیومیک اسید همچنین می‌تواند با حفظ آمونیوم در ناحیه ریشه و کاهش اتلاف نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن را افزایش دهد (Rose et al., 2014).

به‌طورکلی، تغییرات ردوکس در خاک‌های غرقاب موجب دگرگونی در شکل شیمیایی عناصر و کاهش کارایی جذب آن‌ها می‌شود، درحالی‌که هیومیک اسید از طریق اثرات کلاته کنندگی و بافری خود می‌تواند تعادل شیمیایی محیط ریشه را بهبود بخشیده و فراهمی و جذب عناصر غذایی را در این شرایط افزایش دهد. با توجه به اثرهای مواد هیومیکی در شرایط غرقاب مطالعات متعددی در این زمینه انجام‌شده است. به‌عنوان‌مثال؛ در مطالعه‌ای که نیسی و همکاران (۱۴۰۲) به ارزیابی اثر اسید هیومیک و اسید فولویک با منابع مختلف کود نیتروژنه بر صفات زراعی برنج عنبربو (*Oryza sativa* L.) در سیستم کشت مستقیم پرداختند، گزارش کردند که بیش‌ترین عملکرد شلتوک با کاربرد اسید هیومیک (۵ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که در مقایسه با شاهد، افزایش ۱۹ درصدی داشت. Saha و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای تأثیر اسید هیومیک و کود مرغی را بر رشد و عملکرد برنج مورد بررسی قراردادند و گزارش کردند که استفاده از هیومیک اسید به مقدار ۳ لیتر در هکتار سبب افزایش عملکرد دانه برنج شد. با توجه به تأثیر مثبت مواد هیومیکی بر رشد گیاه در شرایط غرقاب استفاده از این ترکیبات به‌صورت زیر توصیه می‌شود.

**توصیه کلی برای برنج**

- استفاده از مواد هیومیکی به‌صورت بذرمال در خزانه و یا پس از انتقال از خزانه به مزرعه
- استفاده از مواد هیومیکی اواسط تا انتهای پنجه‌زنی و ابتدای ساقه‌دهی

مقدار مصرف مواد هیومیکی نیز با توجه به کیفیت و درصد مواد هیومیکی کود مورداستفاده متفاوت است. به‌طورکلی؛ برای بذرمال مقدار ۱۰ لیتر مواد هیومیکی مایع در ۱۰ لیتر آب حل و برای ۱۰۰۰ کیلوگرم بذر استفاده شود. در مراحل رشدی نیز برای مواد هیومیکی پوری ۳-۲ کیلوگرم در هکتار در هر مرحله و برای مواد هیومیکی مایع ۱۵-۱۰ لیتر در هکتار استفاده شود.

### مصرف هیومیک اسید در شرایط دیم و تنش خشکی

کم آبی جزء تنش‌های غیرزنده است که تولید محصولات زراعی و کیفیت دانه را در سرتاسر جهان تحت تأثیر قرار می‌دهد. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تهدیدهای جهانی برای تولید مواد غذایی است. علاوه بر این تغییرات آب‌وهوا و افزایش جمعیت جهان ابعاد این مشکل را گسترده‌تر می‌نمایند (Kumar, 2001). تنش کم آبی بیشتر از هر عامل محیطی دیگری، رشد گیاهان را محدود می‌کند (Huang, 2000). زمانی این تنش ایجاد می‌شود که خروج آب از گیاه به‌واسطه فرآیند تعرق، بیشتر از جذب آن از طریق ریشه است (Shepherd *et al*, 2002). جدول ۱۱، میزان کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی در محصولات مختلف زراعی را نشان می‌دهد.

**جدول ۱۱- کاهش عملکرد اقتصادی با تنش خشکی در برخی از محصولات زراعی**

| گیاه | مرحله رشد | کاهش عملکرد | منبع |
|---|---|---|---|
| جو | پر شدن دانه | ۴۹-۵۷ | Samarah (2005) |
| ذرت | پر شدن دانه | ۷۹-۸۱ | Monneveux et al. (2006) |
| ذرت | زایشی | ۶۳-۸۷ | Kamara et al. (2003) |
| ذرت | زایشی | ۴۷-۷۰ | Chapman and Edmeades (1999) |
| ذرت | رشد رویشی | ۲۵-۶۰ | Atteya et al. (2003) |
| ذرت | زایشی | ۳۲-۹۲ | Atteya et al. (2003) |
| نخود | زایشی | ۴۵-۶۹ | Nayyar et al. (2006) |
| لوبیا | زایشی | ۵۸-۸۷ | Martínez et al. (2007) |
| سویا | زایشی | ۴۶-۷۱ | Samarah et al. (2006) |
| لوبیا چشم‌بلبلی | زایشی | ۱۱-۶۰ | Ogbonnaya et al. (2003) |
| آفتابگردان | زایشی | ۶۰ | Mazahery-Laghab et al. (2003) |
| کلزا | زایشی | ۳۰ | Sinaki et al. (2007) |

در ایران کم‌آبی و خشکی همواره یکی از مهم‌ترین مشکلات بخش کشاورزی است و درنتیجه، بررسی تأثیر تنش خشکی بر گیاهان زراعی از اهمیت خاصی برخوردار است. خشک‌سالی سال‌های زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در ایران به‌طور میانگین کاهشی در حدود دو میلیون هکتار در سطح کاشت و پنج میلیون تن در تولید محصولات زراعی به‌جای گذاشت (Aminian *et al*., 2011). با توجه به اینکه ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا محسوب می‌شود، در چنین مناطقی نوسانات بارندگی نیز زیاد بوده و ممکن است برخی از مراحل مهم رشدی گیاه به دلیل کم آبی تحت تأثیر کاهش پتانسیل آب خاک قرار گیرد. ازاین‌رو، به دلیل توزیع نامناسب بارندگی در طول دوره رشدی محصولات، به دلیل این‌که در زمان‌های حساسی که گیاه به آب نیاز دارد آب موردنیاز گیاه به‌اندازه کافی تأمین نشده، گیاه دچار تنش کم آبی خواهد شد. به‌عنوان‌مثال معمولاً در مناطق غرب کشور که جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شود، مزارع کشت گندم از اواسط بهار با تنش خشکی آخر فصل مواجه می‌شوند و عملکرد آن‌ها به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. ازاین‌رو، تنش خشکی یکی از علل اصلی خسارت به گیاهان زراعی در سرتاسر جهان از طریق کاهش میانگین

عملکرد تا میزان ۵۰ درصد می‌باشد (Wange *et al*., 2003).

از دیگر کشت‌هایی که تحت تأثیر تنش کم آبی است، کشت دیم است. به همین دلیل، کود دهی در کشت‌های دیم به شرایط رطوبتی خاک بستگی دارد. به‌طوری‌که در شرایطی که خاک خشک باشد توصیه بر این است که کود دهی (حتی محلول‌پاشی) نیز انجام نشود و یا در شرایط حساس مانند احتمال بروز تنش سرما و غیره توصیه بر محلول‌پاشی با غلظت خیلی کم است. به‌طورکلی زمان مصرف کود در مرحله داشت در کشت‌های دیم وابسته به زمان بارندگی است، ازاین‌رو، تعیین دقیق زمان مصرف کود در کشت‌های دیم از پیش تعیین‌شده نیست. بااین‌وجود، مطالعات متعددی در کشورهای مختلف و ایران بر روی استفاده از محرک‌های رشد (اسید هیومیک، آمینواسید و جلبک دریایی) در کشت‌های دیم انجام‌شده است که در ادامه به بررسی برخی از این مطالعات پرداخته‌شده است.

صرف‌نظر از نوع کشت آبی و یا دیم، مطالعات مختلف نشان داده‌اند که اسید هیومیک اثر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد محصولات مختلف داشته است. Khattak و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که بذرمال نمودن بذور با اسید هیومیک، سبب افزایش قابل‌توجه عملکرد محصولات گندم (۲۰ درصد)، ذرت، پنبه، چغندرقند و بادام‌زمینی شد. Sabzevari و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند که بذرمال کردن گندم ارقام سایونز و سبلان با اسید هیومیک سبب بهبود رشد و افزایش عملکرد آن‌ها در شرایط تنش خشکی شد.

مطالعه در زمینه استفاده از اسید هیومیک در شرایط دیم در مقایسه با کشت آبی، کمتر انجام‌شده است. مجیدی و خلیل‌زاده (۱۴۰۲) در مطالعه خود که به بررسی تأثیر قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار و اسیدهای هیومیک و فولویک بر ویژگی‌های زراعی گندم در شرایط دیم پرداختند، گزارش کردند که استفاده از بذرمال هیومیک- فولویک با غلظت پنج درصد سبب افزایش عملکرد دانه گندم (۱۱۰ کیلوگرم در هکتار)، درصد کلونیزاسیون ریشه (۳/۰۹ درصد) و فسفر (۲/۶۴ درصد) دانه در مقایسه با شاهد (عدم بذرمال) شد. Waqas و همکاران (۲۰۱۴) نیز در مطالعه‌ای که به ارزیابی روش‌های کاربرد اسید هیومیک برای عملکرد و اجزای عملکرد ماش در شرایط دیم پرداختند گزارش کردند که استفاده از اسید هیومیک با غلظت یک و دو درصد سبب افزایش عملکرد دانه و اجزای عملکرد ماش شد. Kaya و Khaviar (۲۰۰۵) نیز گزارش کردند که استفاده از اسید هیومیک به‌صورت بذرمال سبب افزایش عملکرد لوبیا شد. از این رو، با توجه به نتایج مطالعات انجام‌شده استفاده از اسید هیومیک به‌صورت بذرمال به‌منظور بالا بردن درصد جوانه‌زنی و همچنین افزایش تحمل به شرایط کم‌آبی در شرایط دیم قابل توصیه است. برخی مطالعات انجام‌شده در زمینه استفاده از هیومیک اسید در شرایط دیم در جدول ۱۲ گزارش‌شده است.

**جدول ۱۲- برخی مطالعات انجام‌شده در زمینه استفاده از مواد هیومیکی**

| عنوان مطالعه | نتیجه | منبع |
|---|---|---|
| اثربخشی اسید هیومیک بر بهره‌وری گندم و برخی از ویژگی‌های خاک تحت سیستم بدون خاک‌ورزی و کمبود آبیاری | استفاده از اسید هیومیک ضمن افزایش عملکرد گندم، تحمل گیاه نسبت به کم‌آبی را نیز افزایش داد | Mohamed et al., 2020 |
| واکنش گیاهان نخود (*Pisum sativum* L.) به سطوح فسفر و اسید هیومیک | محلول‌پاشی اسید هیومیک با غلظت ۱۰ درصد بیشترین رشد و تولید را به همراه داشت. | Kandil, 2014 |
| تأثیر اسید هیومیک و کمپوست بر عملکرد نخود | استفاده از هیومیک اسید به مقدار ۱۵ کیلوگرم در هکتار هنگام تهیه زمین سبب افزایش عملکرد نخود شد. | Muhammad et al., 2023 |
| تأثیر اسید هیومیک، کودهای زیستی و فسفات معدنی بر فعالیت میکروبی خاک و بهره‌وری گیاه نخود | استفاده از هیومیک اسید پس از جوانه‌زنی و در مرحله گلدهی سبب افزایش عملکرد نخود شد | El-Sayed and El-Sayed., 2020 |

### توصیه کلی برای شرایط دیم و تنش خشکی

- مواد هیومیک به‌صورت بذرمال برای گندم و حبوبات
- استفاده از مواد هیومیکی به‌صورت کودآبیاری در مرحله پنجه‌دهی و ساقه‌دهی (برای گندم آبی و جو) و استفاده همراه با اوره قبل از بارندگی و در صورت بارندگی محدود به‌صورت محلول‌پاشی (اولویت دوم) با غلظت ۳ در هزار استفاده شود. همچنین، برای حبوبات در مرحله قبل از گلدهی با غلظت سه در هزار انجام شود.

### اسیدهای آمینه

گیاهان پس از جذب نیتروژن (به‌صورت نیترات یا آمونیوم)، با صرف انرژی آن را در قالب اسیدهای آمینه و درنهایت پروتئین‌ها متابولیزه می‌کنند که این فرایند برای گیاه همراه با مصرف انرژی است. اگر بخشی از اسیدهای آمینه به‌صورت برون‌زاد[1] و از طریق کودهای حاوی اسیدهای آمینه در اختیار گیاه قرار گیرد، گیاه می‌تواند بخشی از نیاز نیتروژنی و ساخت اسیدهای آمینه خود را با صرف انرژی کمتر دریافت کند. به‌این‌ترتیب، تأمین اسیدهای آمینه آماده می‌تواند در مدیریت انرژی و بهبود کارایی مصرف نیتروژن در گیاه نقش مؤثری داشته باشد و به بهبود رشد و عملکرد کمک کند. پس از استفاده از اسیدهای آمینه برون‌زاد با خلوص بالا این ترکیبات به‌راحتی توسط سلول گیاهی جذب‌شده و به‌عنوان بخشی طبیعی از ساختار گیاه در تمام فرآیندهای متابولیکی شرکت می‌کنند. این امر باعث صرفه‌جویی در انرژی گیاه می‌شود و استقامت و پایداری متابولیکی آن را در برابر تنش‌های محیطی افزایش می‌دهد. همچنین، ورود این اسیدهای آمینه بیوسنتز داخلی اسیدهای آمینه را تحریک کرده و منجر به بهبود رشد، افزایش عملکرد کمی و کیفی محصول می‌گردد. اسیدهای آمینه علاوه بر نقش ساختاری در پروتئین‌ها، در متابولیسم، رشد، توسعه و پاسخ گیاه به تنش‌ها وظایف کلیدی بر عهده دارند (Rai, 2002).

1 Exogenous

**نقش اسیدهای آمینه در گیاه**

به‌طور کلی، اسیدهای آمینه نه‌تنها بلوک‌های سازنده پروتئین‌ها هستند، بلکه به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های کلیدی در متابولیسم، فتوسنتز، مقاومت به تنش‌ها و رشد و نمو گیاه نقش‌های حیاتی و چندجانبه‌ای ایفا می‌کنند (رفیع، ۱۳۹۶).

**القاء فرایند گرده‌افشانی**

گرده‌افشانی، عمل انتقال گرده بر روی مادگی و به دنبال آن لقاح و درنهایت تشکیل میوه می‌باشد. اسیدهای آمینه با فعال‌سازی هورمون‌های تشکیل گل و میوه، بهبود جوانه‌زنی گرده و تسریع گل‌دهی، فرآیند گرده‌افشانی را تقویت می‌کنند. به‌ویژه پرولین به باروری دانه گرده کمک کرده و لیزین، متیونین و گلوتامیک اسید نیز از اسیدهای آمینه ضروری در این فرآیند هستند (Martin, 2011).

**تحریک‌کننده رشد گیاه**

اسیدهای آمینه القاکننده تشکیل بافت گیاهی و بیوسنتز کلروفیل بوده، پیش ساز برخی از هورمون‌های گیاهی می‌باشند و از طریق افزایش غلظت کلروفیل در گیاه و بهبود فرآیند فتوسنتز باعث افزایش رشد گیاه می‌شوند (Amin et al., 2011). در مطالعات متعدد به نقش اسیدآمینه‌ها به‌عنوان محرک رشد گیاه اشاره‌شده است. به‌عنوان‌مثال، کاربرد اسیدآمینه‌هایی نظیر تریپتوفان و متیونین، از طریق تولید اکسین و بافت گیاهی و یا تغییر جمعیت میکروب‌های مفید باعث بهبود رشد گیاهان می‌شود (Arshad et al., 1995; Arshad and Frankenberger, 1990). محققان به نقش پلی‌آمین‌ها و آرجینین در تحریک تقسیم، توسعه و تمایز سلول و توسعه سیستم آوندی گیاه تنباکو اشاره کرده‌اند (Paschalidis and Roubelakis-Angelakis, 2005). نتایج تحقیقات راشاد و همکاران (۲۰۰۳) نیز بیانگر نقش مؤثر اسیدآمینه گلوتامین در بهبود رشد و عملکرد گیاه لوبیا بود (Rashad et al., 2003).

اسیدآمینه‌ها پیش‌ساز بیوسنتز هورمون‌های مؤثر در تشکیل گل و میوه نیز می‌باشند. در این راستا مطالعات نشان داده‌اند که گل‌دهی برخی از گیاهان تحت تأثیر حضور اسیدهای آمینه در محیط رشد است. به‌عنوان‌مثال افزودن اسیدهای آمینه آسپاراژین، اسید آسپاراتیک، اسید گلوتامیک، آلانین، گلیسین و سرین به محیط کشت باعث تحریک گل‌دهی می‌گردد اما اسیدهای آمینه سیستین، سیستئین، گلوتامین، آرجینین، ترئونین و فنیل آلانین، مانع از گل‌دهی گیاه می‌شوند. این مسئله احتمالاً مربوط به تحریک یا ممانعت جذب آهن توسط گیاهان است. بنابراین اسیدهای آمینه می‌توانند نفوذپذیری غشاء و درنتیجه جذب یون‌ها را تحت تأثیر قرار دهند و احتمالاً این امر یکی از مهم‌ترین نقش‌های اسید آمینه در کاهش خسارت ناشی از تنش‌های محیطی است (Rai, 2002).

**افزایش تحمل گیاه در برابر تنش‌های محیطی**

تنش‌های محیطی مانند دمای بالا، سرمای شدید، فلزات سنگین، خشکی و شوری دارای تأثیر منفی بر متابولیسم‌های گیاهی بوده و موجب کاهش کمیت و کیفیت محصول می‌شوند. در مطالعات مختلف نیز نشان داده شده است که در شرایط تنش، غلظت اسیدهای آمینه در گیاه افزایش می‌یابد. اسیدهای آمینه انباشته‌شده

در گیاه به‌عنوان عامل اسمولیت‌ها عمل کرده و در تنظیم انتقال یون، باز شدن روزنه‌ها، حفظ پروتئین‌ها و استحکام غشای سلولی، فعالیت برخی از آنزیم‌ها و سمیت‌زدایی فلزات سنگین نقش دارند (Rai, 2002).

سینگ و همکاران (۱۹۷۲) برای اولین بار نشان دادند که در ارقام مختلف جو، همبستگی زیادی بین انباشتگی اسیدآمینه پرولین و تحمل به خشکی گیاه وجود دارد. آن‌ها بیان کردند که مقدار پرولین در ارقام متحمل به خشکی چندین برابر بیشتر از ارقام حساس می‌باشد (Singh et al., 1972). مالی و محتا (۱۹۷۷) گزارش کردند که در شرایط طبیعی، مقدار پرولین در برگ‌های ارقام برنج متحمل به خشکی ۲۵۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک گیاه بوده و در شرایط تنش خشکی این مقدار به ۱۳۵۰ میکروگرم (۵/۴ برابر) افزایش می‌یابد. درحالی‌که در ارقام حساس مقدار طبیعی پرولین ۷۵۵ میکروگرم بوده و تنش خشکی باعث افزایش مقدار آن تا ۹۰۰ میکروگرم (۱/۲ برابر) می‌شود (Mali and Mehta, 1977). بنابراین افزایش مقدار پرولین با تحمل گیاه به تنش خشکی، همبستگی دارد اما مقدار طبیعی پرولین در ارقام حساس بیشتر از ارقام متحمل می‌باشد. با توجه به اینکه حلالیت پرولین در آب ۳۰۰ برابر بیشتر از دیگر اسیدهای آمینه می‌باشد، همبستگی بین غلظت پرولین و تحمل به خشکی گیاه حاکی از نقش پرولین به‌عنوان اسمولیت غیرسمی است (Mali and Mehta, 1977). نتایج حاصل از دیگر مطالعات انجام‌شده در این زمینه نیز حاکی از انباشتگی اسیدهای آمینه دیگر نظیر آسپاراژین، آرژینین، گلوتامین، آلانین و گلیسین در گیاهان تحت تنش خشکی می‌باشد (Rai, 2002). تاکر و رایی (۱۹۸۲) با بررسی تأثیر تنش اسمزی بر تغییرات غلظت اسیدهای آمینه در ارقام مختلف ذرت نشان دادند که در ارقام متحمل علاوه بر افزایش پرولین (۴ برابر)، اسیدآمینه‌های آسپاراژین (۴/۵ برابر)، سرین و گلیسین (۲/۲ برابر) و اسید آسپاراتیک نیز افزایش می‌یابند (Thakur and Rai. 1982). پرز- افلوسیا و همکاران (۱۹۹۳) نشان دادند که در برگ‌های گوجه‌فرنگی نقش اسیدهای آلی و اسیدهای آمینه در تنظیم اسمزی ۵۰ درصد بوده و ۵۰ درصد دیگر مربوط به یون‌های سدیم، پتاسیم، کلر، نیترات و کلسیم است (Perez-Aflocea et al., 1993). از سوی دیگر تحقیقات متعددی نشان داده‌اند که اسیدهای آمینه باعث افزایش جذب عناصر غذایی ازجمله پتاسیم و کلسیم می‌شوند (Nowac and Baumann. 1998). بنابراین اسیدهای آمینه به‌طور غیرمستقیم نیز از طریق تنظیم مقدار نمک‌های معدنی، در تحمل گیاه به تنش اسمزی مؤثر می‌باشند.

یکی از راهکارهای کاهش خسارت ناشی از تنش شوری، استفاده از اسیدآمینه‌ها به‌عنوان محرک رشد می‌باشد. نتایج تحقیقات راجاگوپال و سینا (۱۹۸۰) نشان داد که در شرایط تنش اسمزی، افزودن پرولین به محلول غذایی باعث به تأخیر انداختن زمان بروز نشانه‌های پژمردگی در گیاه گندم شد (Rajagopal and Sinha, 1980). در برخی مطالعات نشان داده شده است که اسیدهای آمینه از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و حذف گونه‌های فعال اکسیژن، باعث حفظ استحکام غشای سلولی از خسارت اکسیداتیو ناشی از تنش شوری می‌شوند (Zhu, 2002). در این ارتباط هوکو و همکاران (۲۰۰۷) مشاهده کردند که در شرایط تنش شوری، پرولین از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در سمیت زدایی $H_2O_2$ برای تنباکو بسیار مؤثر است (Hoque et al., 2007). اوکاما و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند در شرایط شور، کاربرد پرولین باعث حفظ آنزیم‌ها و غشای سلولی و درنتیجه بهبود رشد تنباکو شد (Okuma et al., 2000). سانتا – کروز و همکاران (۱۹۹۷) بیان داشتند که در شرایط شوری زیاد، نقش اصلی پلی‌آمین‌ها، استحکام غشاء و

حفظ تعادل کاتیون-آنیون در گیاه است (Santa-Cruz et al., 1997). در این راستا کوئین و شابالا (۲۰۰۷) با بررسی تأثیر کاربرد ۲۶ اسیدآمینه بر خروج پتاسیم ناشی از شوری کلرید سدیم از ریشه جو، بیان کردند که اغلب اسیدهای آمینه (۲۱ از ۲۶ تا اسیدآمینه) باعث کاهش معنی‌دار خروج پتاسیم از غشای ریشه گردیده و از طریق تنظیم انتقال پتاسیم از غشای پلاسمایی و حفظ نسبت بهینه سدیم به پتاسیم، باعث افزایش تحمل گیاه به تنش شوری شدند (Cuin and Shabala, 2007). عبدل-کادس (۲۰۰۹) مشاهده کرد که در شرایط شور، کاربرد آرجینین باعث افزایش معنی‌دار مقدار نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم و کاهش غلظت‌های سدیم و کلر دانه گندم شد (Abdul-Qados , 2009).

**افزایش فعالیت آنزیم‌ها**

اسیدهای آمینه یکی از ترکیبات ضروری در تنظیم بیان ژن و ساخت، فعالیت و پایداری شکل فضایی آنزیم‌ها می‌باشند. اسیدهای آمینه از طریق تأثیر مستقیم بر mRNA، موجب تغییر فعالیت آنزیم‌ها می‌شوند ( Deng et al., 1991). به‌عنوان‌مثال، اسیدهای آمینه اسید گلوتامیک، اسید آسپارتیک، گلوتامین و آسپارژین در بسیاری از گونه‌های گیاهی از طریق آوند آبکش از برگ به ریشه گیاه انتقال یافته و با تأثیر مستقیم بر سطح رونوشت آنزیم‌ها، جذب عناصر را در گیاه کنترل می‌کنند (Aslam et al., 2001). ونگ و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که اسیدآمینه گلیسین با تنظیم بیان ژن آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در جوانه فستوکا، باعث افزایش فعالیت این آنزیم‌ها شد (Wang et al., 2007). تأثیر کاربرد اسیدآمینه پرولین بر افزایش فعالیت آنزیم-های کاتالاز و پراکسیداز نیز توسط هوک و همکاران (Hoque et al., 2007) گزارش شده است.

**بهبود کیفیت محصولات کشاورزی**

اسیدهای آمینه با افزایش نسخه‌برداری mRNA، فعال‌سازی فرآیند قندسازی و افزایش مقدار پروتئین در گیاه، موجب بهبود ویژگی‌های کیفی و کمی محصول می‌شوند (Keutgen and Pawelzik, 2008). اسیدهای آمینه ضروری نظیر لیزین، ایزولوسین، لوسین، متیونین، والین، فنیل آلانین، تریپتوفان و سیستئین نقش بسیار مهمی در ارتباط با کیفیت تغذیه‌ای محصولات کشاورزی دارند. برخی اسیدهای آمینه بر طعم میوه تأثیرگذار می‌باشند. به‌عنوان‌مثال اسیدهای آمینه لیزین و آلانین بر شیرینی میوه و فنیل آلانین و تیروزین بر تلخی میوه تأثیر می‌گذارند (Keutgen and Pawelzik, 2008). وانگ و همکاران (۲۰۰۷) مشاهده کردند که جایگزینی بخشی از نیترات محلول غذایی با اسیدآمینه‌های اسیدگلوتامیک و اسیدآسپاراتیک، از طریق کاهش غلظت نیترات و افزایش غلظت عناصر غذایی در شاخساره کلم چینی، باعث بهبود کیفیت محصول گردید ( Wang et al., 2007). عبدل-کادس (۲۰۰۹) نشان داد که تیمار دانه گندم با محلول آرژینین، باعث افزایش غلظت عناصر نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و نسبت پتاسیم به سدیم و کاهش غلظت کلر و سدیم در دانه‌های گندم آبیاری شده با آب شور شد. درواقع آرژینین با بی‌اثر کردن عدم تعادل متابولیکی ناشی از تنش شوری، باعث

بهبود رشد، عملکرد و کیفیت دانه گندم شده است (Abdul-Qados, 2009). کتگن و پاولزیک (۲۰۰۸) نشان دادند که در شرایط تنش شوری مقدار اسیدهای آمینه آزاد و پروتئین‌های محلول در گیاه توت‌فرنگی افزایش می‌یابند. در این مطالعه افزایش غلظت اسیدهای آمینه آزاد با کاهش غلظت پروتئین‌های محلول در میوه، همراه نبوده است، بنابراین انباشتگی اسیدهای آمینه در شرایط تنش، نمی‌تواند ناشی از تجزیه پروتئین‌ها باشد. همچنین آن‌ها بیان کردند که افزایش غلظت اسیدهای آمینه، پاسخ فیزیولوژیکی گیاه برای مقابله با تنش شوری بوده و نمی‌تواند باعث بهبود کیفیت توت‌فرنگی شود. باوجود آن‌که غنی‌سازی اسیدهای آمینه ضروری از اهمیت زیادی برای تغذیه انسان برخوردار است اما در این مطالعه افزایش غلظت اسیدهای آمینه در شرایط تنش شوری با کاهش کیفیت میوه (اندازه و طعم میوه) همراه بوده است (Keutgen and Pawelzik, 2008). بنابراین در شرایط تنش، کاربرد اسیدهای آمینه به‌صورت کود، نیاز گیاه را برطرف می‌کند و این امکان را به گیاه می‌دهد که انرژی ذخیره‌شده خود را صرف رشد بیشتر و بالا بردن عملکرد و کیفیت محصول نماید.

### کاهش غلظت نیترات در گیاه

انباشت اضافی یون نیترات در گیاهان خوراکی یک بحث جدی برای سلامتی انسان و افزایش خطر بیماری‌های سرطان و هموگلوبین است (Zhu, 2002). بنابراین کاهش سطح نیترات در گیاهان خوراکی به‌طور زیادی برای سلامتی انسان توصیه می‌شود. سبزی‌ها منبع اصلی زیادی نیترات بدن انسان بوده و ۸۰ درصد از ورودی روزانه نیترات را تشکیل می‌دهند (Shen et al., 1982). انباشت نیترات در سبزی‌ها به عوامل خارجی مثل مقدار و منبع نیترات، شدت نور، دما و فتوپریودیسم و عوامل داخلی مثل رقم گیاه بستگی دارد (Wenke et al., 2009). منبع نیتروژن یکی از مهم‌ترین عواملی است که بر روی غلظت نیترات در سبزی‌ها اثر می‌گذارد (Chen et al., 2002). اسیدهای آمینه می‌توانند مانع جذب نیترات به‌وسیله ریشه گیاه شوند (Aslam et al., 2001). اسیدهای آمینه، محصول پایانی مرحله جذب و احیای نیترات هستند. بنابراین، افزایش غلظت اسیدهای آمینه در بافت‌های گیاهی اثر ممانعت کننده‌ای بر جذب نیترات دارد (King et al., 1993). مطالعات نشان داد که جایگزینی قسمتی از نیترات محلول غذایی به‌وسیله اسیدهای آمینه به‌طور معنی‌داری انباشتگی این آنیون را در سبزی‌های برگی کاهش داد (Chen et al., 2002). ونکه و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که کاربرد اسیدهای آمینه، فعالیت نیترات رداکتاز و نیتریت رداکتاز را افزایش و از این طریق، انباشتگی نیترات در برگ‌های کاهو را کاهش می‌دهد (Wenke et al., 2009). همچنین گزارش‌های متعددی، اثر مثبت کاربرد اسیدهای آمینه در کاهش غلظت نیترات کلم چینی، پیاز و کلم چینی را نشان داده‌اند (Chen et al., 2002; Gunes et al., 1996). با توجه به گزارش‌هایی درباره انباشت نیترات اضافی در سبزی‌ها و به‌طور ویژه در پیازهای تولیدشده در ایران (Machado and Campos, 2013)، یافتن راهکارهای مناسب جهت کاهش غلظت این آنیون در محصولات خوراکی اهمیت دارد.

### تقویت سیستم ایمنی گیاه

اسیدهای آمینه با افزایش تولید بافت خشبی گیاهان و ترمیم بافت‌های آسیب‌دیده و تقویت دیواره سلولی باعث افزایش تحمل گیاه در برابر حمله آفات و بیماری‌ها می‌شود. متابولیسم اسیدهای آمینه در گیاهان برای بیوسنتز بسیاری از محصولات اساسی لازم بوده و بر سیستم ایمنی گیاه مؤثر است (Jurgen, 2013).

**بهبود فرایند جذب عناصر غذایی ضروری موردنیاز گیاه**

اسیدهای آمینه دارای ویژگی کلات کنندگی عناصر کم‌مصرف هستند و جذب و انتقال عناصر را به درون گیاه تسهیل می‌کنند. اسیدهای آمینه می‌توانند باعث افزایش جذب عناصر و آب، افزایش شدت فتوسنتز و توزیع ماده خشک و درنتیجه افزایش عملکرد محصول شوند (El-Shabasi et al., 2055). ساروجنی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که اسیدآمینه‌ها با افزایش جذب عناصر غذایی و آب، با تشدید فتوسنتز، عملکرد و کیفیت گیاه را بهبود دادند (Sarojnee et al., 2009).

**تشکیل کلات با عناصر فلزی**

اسیدهای آمینه دارای خاصیت کلات کنندگی عناصر به‌ویژه عناصر کم‌مصرف می‌باشند. استفاده هم‌زمان اسیدهای آمینه و عناصر کم‌مصرف، باعث سهولت جذب و انتقال این عناصر در گیاه می‌شود. گلیسین و گلوتامیک اسید دو اسیدآمینه شناخته‌شده می‌باشند که از قدرت بالای کمپلکس کنندگی فلزات برخوردار هستند (Ghasemi et al., 2013).

**کمک به تعادل میکروفلور خاک**

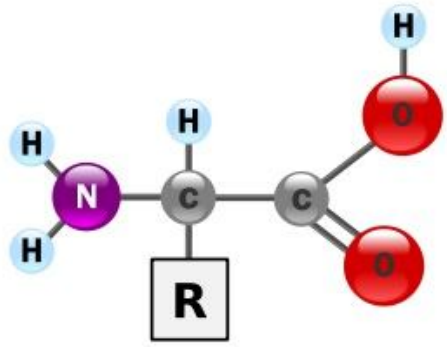
میکروفلور اشاره به اجتماع باکتری‌ها و دیگر ریز جانداران در اکوسیستم دارد. حفظ تعادل فلور میکروبی در خاک‌های کشاورزی مسئله‌ی مهم در راستای فرآیند بهتر معدنی شدن مواد آلی خاک و همچنین بهبود ساختمان و حاصلخیزی خاک اطراف ریشه می‌باشد. متیونین از پیش‌نیاز ساخت فاکتورهای رشدی است که باعث استحکام دیواره سلولی فلورای میکروبی خاک می‌شود. اسیدهای آمینه در قالب مواد پروتئینی نقش کلیدی را به‌عنوان بخش بزرگی از نیتروژن مواد آلی خاک در چرخه نیتروژن خاک دارند (Narro et al., 1967). ریز جانداران می‌توانند انواع مولکول‌های معدنی و آلی را برای برآورده ساختن نیازهای خود مورداستفاده قرار دهند (Geisseler et al., 2010).

**نفوذ اسیدهای آمینه از طریق تغذیه برگی**

نفوذ ترکیبات با وزن مولکولی کم (مانند یون‌ها، اسیدهای آلی، اسیدهای آمینه، قند) از دیواره سلولی اپیدرمی، یک فرایند غیر متابولیکی است که به‌وسیله پخشیدگی و پتانسیل الکتروشیمیایی ایجادشده توسط افزایش بار منفی در غشای کوتیکولی رخ می‌دهد (Tyree et al., 1992).

**ساختمان اسیدهای آمینه**

هر اسیدآمینه، از یک کربن نامتقارن بنام کربن آلفا تشکیل‌شده است که با چهار گروه مختلف کربوکسیل (-COOH)، اتم هیدروژن، گروه آمین ($-NH_2$) و یک زنجیره جانبی (-R) پیوند برقرار می‌کند (شکل ۹). بنابراین، فرمول عمومی اسیدهای آمینه $NH_2$-$RC^*H$-COOH می‌باشد که در این فرمول R گروه مشخصه هر اسیدآمینه و علامت ستاره روی کربن، نشان‌دهنده اتم کربن نامتقارن است. استخلاف R ممکن است یک زنجیره کربنی و یا یک حلقه‌کربنی باشد (محمدی، ۱۳۸۶).



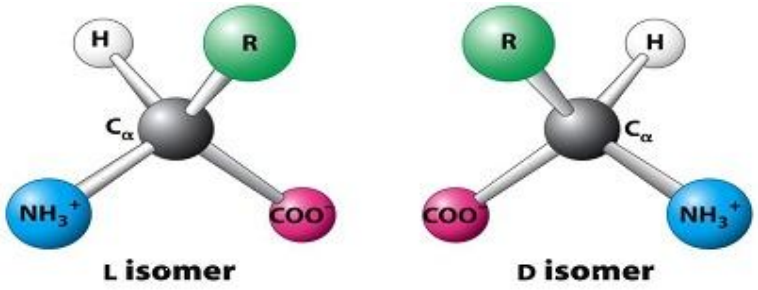

**شکل ۹- ساختار کلی اسیدآمینه آلفا (α) (David et al., 2008)**

عوامل دیگری مانند الکل، آمین، کربوکسیل و گوگرد نیز می‌توانند در ساختار R شرکت کنند. بنابراین اختلاف هر اسیدآمینه با سایر اسیدهای آمینه، در زنجیره جانبی آن می‌باشد. زنجیره جانبی اسیدآمینه ممکن است خود دارای چندین اتم کربن باشد و آن‌ها را به ترتیبی که از کربن آلفا فاصله می‌گیرند، با حروف بتا (β)، گاما (γ)، دلتا (δ) و غیره نشان می‌دهند. ساده‌ترین اسیدآمینه، گلیسین است که در آن R یک اتم هیدروژن است (محمدی، ۱۳۸۶).

**ایزومری در اسیدهای آمینه**

اسیدهای آمینه L و D ایزومرهای یکدیگر می‌باشند، به این معنا که هر دو اسیدآمینه دارای فرمول مولکولی یکسان هستند، اما ساختار فضایی آن‌ها با یکدیگر متفاوت است (شکل ۱۰). به‌عبارت‌دیگر، تعداد اتم‌ها در هر دو مولکول مساوی است اما ترتیب قرار گرفتن آن‌ها متفاوت می‌باشد. اگر در ساختار فضایی یک اسیدآمینه، گروه آمین که به کربن آلفا متصل است در سمت چپ قرار گیرد، اسیدآمینه از نوع L خواهد بود و درصورتی‌که گروه آمین در طرف راست کربن آلفا قرار گیرد، اسیدآمینه از نوع D تشکیل می‌شود (David et al., 2008). درواقع ایزومرهای L و D تصاویر آیینه یکدیگرند. گلیسین تنها اسیدآمینه‌ی است که کایرال نیست و ایزومر ندارد زیرا در ساختار آن دو اتم هیدروژن به کربن آلفا متصل شده است و کربن آلفا در این اسیدآمینه با سه گروه مختلف هیدروژن، آمین و کربوکسیل در ارتباط است (David et al., 2008).

برخلاف قندهای طبیعی که از نوع D هستند، اسیدهای آمینه طبیعی همگی از نوع L می‌باشند. درواقع، هر دو شکل ایزومری اسیدهای آمینه، به‌طور طبیعی وجود دارند اما در موجودات زنده و متابولیت‌های آن‌ها ایزومرهای نوع L فراوان‌تر هستند (David et al., 2008). گیاهان برخلاف دیگر موجودات زنده قادر به تولید D-اسیدآمینه‌ها نمی‌باشند. ژن‌های رمزگذاری D-اسیدآمینه اکسیداز در باکتری‌ها، قارچ‌ها و جانوران وجود دارند، اما این ژن‌ها در هیچ یک از ژنوم‌های گیاهی مشاهده نشده‌اند. بنابراین توانایی محدود برای متابولیسم ترکیباتی مانند D-آلانین و D-سرین باعث شده که این ترکیبات به‌شدت برای گیاهان سمی باشند. ایزومر D-اسیدهای آمینه به تعداد کمی از اسیدهای آمینه مانند D-آلانین و D-اسیدگلوتامیک در پیوند پپتیدوگلیکان و برخی آنتی‌بیوتیک‌ها محدود می‌شوند (David et al., 2008).




**شکل ۱۰- ساختار ایزومرهای L و D اسیدآمینه‌ها (David et al., 2008)**

### نقش اسیدهای آمینه در گیاه

جدول ۱۳، نقش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی اسیدهای آمینه در گیاهان را نشان داده است (Baqir et al., 2019). اسیدهای آمینه به‌عنوان واحدهای ساختاری پروتئین‌ها، ترکیبات فعال زیستی با عملکردهای تخصصی و متنوع هستند و نمی‌توان همه آن‌ها را به یک اندازه ضد تنش دانست. برای مثال، پرولین به‌عنوان قوی‌ترین اسموپروتکتانت و آنتی‌اکسیدان، تحمل گیاه را به تنش‌های غیر زیستی مانند خشکی، شوری، سرما و گرما به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد؛ آرژنین در تحمل به شرایط سخت محیطی و تقویت تقسیم سلولی و ریشه‌زایی مؤثر است؛ تریپتوفان عمدتاً به‌عنوان پیش‌ساز هورمون اکسین بر رشد رویشی و عملکرد محصول تأثیر می‌گذارد؛ گلیسین بیشتر فتوسنتز را فعال کرده و تشکیل کلروفیل را تقویت می‌کند؛ و متیونین در تسریع رسیدن میوه و فعال‌سازی ریشه دخیل است. بنابراین، انتخاب نوع و غلظت اسیدآمینه باید کاملاً هدفمند و بر اساس هدف نهایی (رشد رویشی، افزایش عملکرد، بهبود کیفیت یا تحمل تنش خاص) انجام شود تا بیشترین کارایی را در مدیریت پایدار تولید محصولات کشاورزی داشته باشد.

**جدول ۱۳- نقش اسیدهای آمینه در گیاه (Baqir et al., 2019)**

| اسیدآمینه | نماد | نقش اسیدآمینه در گیاه | فرمول ساختاری | وزن مولکولی |
|---|---|---|---|---|
| گلیسین | Gly | فعال‌سازی فتوسنتز و افزایش کارایی آن؛ کمک به تشکیل کلروفیل، تشویق رشد رویشی و نقش در گرده‌افشانی و میوه‌دهی | $H_2N—CH_2—COOH$ | ۷۵ |
| آلانین | Ala | تأثیر بر سرعت رشد گیاه و فعال‌سازی تشکیل کلروفیل | $CH_3—CH(NH_2)—COOH$ | ۸۹ |
| والین | Val | تأثیر بر سرعت رشد، تشکیل ریشه و تولید بذر | $(CH_3)_2CH—CH(NH_2)—COOH$ | ۱۱۷ |
| متیونین | Met | تسریع رسیدن میوه (ورود به چرخه اتیلن) و نقش در فعال‌سازی ریشه | $CH_3—S—(CH_2)_2—CH(NH_2)—COOH$ | ۱۴۹ |
| ایزولوسین | Ile | افزایش سیستم هوایی، رشد و عملکرد زودرس | $CH_3—CH_2—CH(CH_3)—CH(NH_2)—COOH$ | ۱۳۱ |

| اسیدآمینه | نماد | نقش اسیدآمینه در گیاه | فرمول ساختاری | وزن مولکولی |
|---|---|---|---|---|
| ترئونین | Thr | افزایش تحمل گیاه به بیماری‌ها | $CH_3—CH(OH)—CH(NH_2)—COOH$ | ۱۱۹ |
| سیستئین | Cys | افزایش فرآیندهای حیاتی و تنظیم آن‌ها در گیاه و افزایش مقاومت به بیماری | $HS—CH_2—CH(NH_2)—COOH$ | ۱۲۱ |
| فنیل‌آلانین | Phe | بهبود سلول‌های گیاهی و تشکیل جنین | $C_6H_5—CH_2—CH(NH_2)—COOH$ | ۱۶۵ |
| سرین | Ser | افزایش تحمل گیاه به بیماری‌ها، فعال‌سازی کلروفیل و نقش در تعادل هورمونی داخل گیاه | $HO—CH_2—CH(NH_2)—COOH$ | ۱۰۵ |
| تیروزین | Tyr | افزایش تحمل گیاه به بیماری‌ها | $HO—C_6H_4—CH_2—CH(NH_2)—COOH$ | ۱۸۱ |
| لیزین | Lys | افزایش سیستم هوایی، رشد و عملکرد زودرس | $H_2N—(CH_2)_4—CH(NH_2)—COOH$ | ۱۴۶ |
| لوسین | Leu | افزایش سیستم هوایی، رشد و عملکرد زودرس | $(CH_3)_2CH—CH_2—CH(NH_2)—COOH$ | ۱۳۱ |
| اسید گلوتامیک | Glu | افزایش سیستم هوایی، رشد و عملکرد زودرس | $HOOC—(CH_2)_2—CH(NH_2)—COOH$ | ۱۴۷ |
| اسید آسپارتیک | Asp | افزایش مقاومت گیاه به بیماری‌ها | $HOOC—CH_2—CH(NH_2)—COOH$ | ۱۳۳ |
| سیستئین | Cys | افزایش فرآیندهای حیاتی و تنظیم آن‌ها در گیاه و افزایش مقاومت به بیماری | $HS—CH_2—CH(NH_2)—COOH$ | ۱۲۱ |
| هیدروکسی‌پرولین | Hyp | افزایش تحمل به شرایط سخت (گرما، سرما، خشکی، شوری) | – | – |
| پرولین | Pro | افزایش تحمل به شرایط سخت؛ فعال‌سازی جوانه‌زنی دانه گرده، تنظیم پتانسیل اسمزی، حفظ خواص کلوئیدی پروتوپلاسم سلول و حذف اثر منفی رادیکال‌های آزاد | – | ۱۱۵ |
| هیدروکسی‌لیزین | Hyl | افزایش رشد محصول و عملکرد زودرس | – | – |
| هیستیدین | His | افزایش رشد محصول، عملکرد زودرس و تقویت عملکرد فسفر داخل گیاه | – | ۱۵۵ |
| آرژنین | Arg | افزایش تحمل به شرایط سخت (گرما، سرما، خشکی، شوری)؛ نقش در تشکیل کلروفیل، تقویت تشکیل ریشه، تقسیم سلولی و تشکیل پلی‌آمید | $H_2N—C(=NH)—NH—(CH_2)_3—CH(NH_2)—COOH$ | ۱۷۴ |
| تریپتوفان | Trp | کمک به تشکیل اکسین فعال IAA مورد نیاز برای رشد گیاه و نقش در عملکرد زودرس | – | ۲۰۴ |

ازاین‌رو، با توجه به اهمیت اسیدهای آمینه در بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه از خاک، استفاده از این ترکیبات در کشاورزی قویاً توصیه می‌شود. در جدول ۱۴ زمان مصرف اسیدهای آمینه برای برخی از گیاهان زراعی آورده شده است (جدول ۱۴).

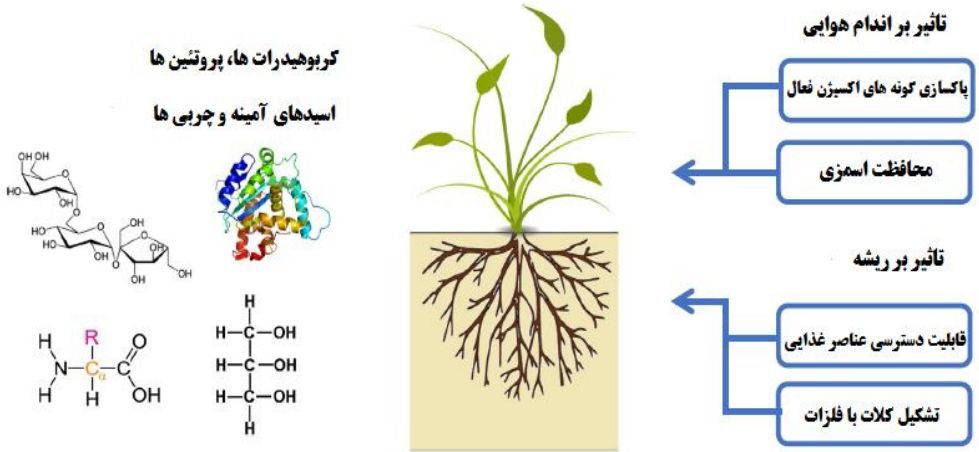
**جدول ۱۴- زمان مصرف اسیدهای آمینه در محصولات مختلف زراعی**

| گیاه | مراحل مصرف | منبع |
|---|---|---|
| گندم | شروع پنجه‌زنی، تکمیل پنجه‌زنی | طهرانی و همکاران، ۱۳۹۳ |
| جو | شروع پنجه‌زنی، تکمیل پنجه‌زنی | |
| ذرت | ۴-۶ برگی، گرده افشانی | |
| چغندرقند | ۸-۶ برگی و ۱۸-۱۶ برگی | |
| پنبه | ۴۰ روز پس از کاشت | |
| کلزا | ساقه دهی و غنچه‌دهی | |
| سویا | تشکیل ساقه‌های جانبی و غلاف دهی | |
| حبوبات | تشکیل ساقه‌های جانبی و غلاف دهی | |

مقدار مصرف با توجه به درصد اسیدهای آمینه و توصیه شرکت تولیدکننده متفاوت است.

### نقش پروتئین‌های هیدرولیز شده و ترکیبات حاوی اسیدهای آمینه در شرایط شور

این ترکیبات به روش‌های گوناگون، قادرند تحمل به تنش را در گیاهان افزایش دهند (شکل۱۱). در پژوهشی، محرک زیستی استخراج‌شده از پروتئین هیدرولیز شده‌ی یونجه (*Medicago sativa* L.) و حاوی تریاکونتانول و ایندول-۳-استیک اسید (IAA)، برای گیاه ذرت در شرایط تنش شوری (۱۲ دسی‌زیمنس‌برمتر) مصرف شد. نتایج نشان داد گیاهان تیمار شده، حاوی فلاوونوئید، پرولین و پتاسیم بیشتری در مقایسه با شاهد (عدم مصرف محرک رشد) بودند (Ertani *et al.*, 2015).




**شکل۱۱ – سازوکارهای مرتبط با اثر محرک‌های رشد حاوی کربوهیدرات، پروتئین، اسیدآمینه و چربی بر گیاهان متأثر از شوری (Van Oosten et al., 2017)**

برخی مطالعات نیز نشان داده‌اند که اسیدهای آمینه از طریق افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و حذف گونه‌های فعال اکسیژن باعث حفظ استحکام غشای سلولی از خسارت اکسیداتیو ناشی از تنش شوری می‌شوند (Rai, 2002). بر اساس مطالعات موجود، تریپتوفان به‌عنوان پیش‌ساز هورمون اکسین در گیاه عمل

می‌کند (Sarwar and Frankenberger, 1994). به‌علاوه، این اسیدآمینه در رشد و نمو گیاه و نیز پاسخ دفاعی گیاه به تنش‌ها نقش دارد. آرژنین برای رشد طبیعی ریشه موردنیاز است و در تنظیم فعالیت برخی آنزیم‌های گیاهی دخالت دارد (Xia *et al.,* 2005). هیستیدین نقش مهمی در آنزیم موردنیاز در ساخت پلی آمین، اوره و اکسید نیتروژن در گیاه دارد و می‌تواند در کاهش تنش اکسیداتیو کمک کند (Xia *et al.,* 2005).

**مصرف اسیدهای آمینه در شرایط دیم و تنش خشکی**

مطالعات انجام‌شده بر روی استفاده از آمینواسید در شرایط دیم و تنش کم آبی نشان‌دهنده تأثیر مثبت این ترکیب برافزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات است. به‌عنوان‌مثال در مطالعه‌ای که محمودی و همکاران (۱۳۹۲) بر روی گندم دیم رقم آذر ۲ در مناطق مختلف انجام دادند گزارش کردند که استفاده از اسیدهای آمینه در شرایط دیم سبب افزایش قابل‌توجه عملکرد گندم دیم شد. در مطالعه‌ای که رفیع و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی تأثیر کاربرد اسیدهای آمینه اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی در شرایط معمول و تنش خشکی بر خصوصیات کمی و کیفی گندم پرداختند گزارش کردند که استفاده از اسیدهای آمینه به‌صورت محلول‌پاشی در دو مرحله پنج زنی و ظهور سنبله با غلظت پنج در هزار، سبب افزایش عملکرد گندم در شرایط تنش خشکی شد. برخی مطالعات انجام‌شده در زمینه استفاده از اسیدهای آمینه در شرایط دیم در جدول ۱۵ گزارش شده است.

**جدول ۱۵ - برخی مطالعات انجام‌شده در زمینه استفاده از اسیدهای آمینه در کشت‌های دیم**

| عنوان مطالعه | نتیجه | منبع |
|---|---|---|
| کاهش تنش خشکی در گندم ( Triticum aestivum L.) با محلول‌پاشی اسیدآمینه و مخمر | استفاده از اسیدهای آمینه سبب افزایش تحمل گندم در شرایط کم‌آبی شد | Haider et al., 2021 |
| اثر تحقیقاتی اولیه اسید سالیسیلیک و اسیدآمینه بر روی گیاه نخودفرنگی ( Pisum sativum) در اواخر فصل بر رشد و تولید محصول | نتایج تائید کرد که محلول‌پاشی اسیدهای آمینه با غلظت ۲۲۵ میلی‌گرم در لیتر ۳۰ روز پس از جوانه‌زنی بیشترین تأثیر را بر عملکرد گیاه داشت. | Ahmad et al., 2023 |
| اثر فسفر و اسیدآمینه بر رشد و عملکرد نخودفرنگی | نتایج نشان داد که تیمار ۲ میلی‌لیتر در لیتر اثرات مثبت و معنی‌داری را نشان داد که در آن طول بوته، سطح برگ، کلروفیل، تعداد غلاف، وزن غلاف، عملکرد غلاف، تعداد دانه، کربوهیدرات و پروتئین به‌جز تعداد غلاف، دارای اثرات مثبت و معنی‌داری بود. | Al-Juboori and Mohammed., 2021 |

**توصیه کلی:**

- استفاده از آمینواسید به‌صورت محلول‌پاشی با غلظت سه در هزار برای گندم در مرحله تکمیل پنجه‌زنی و شکم خوش و برای حبوبات در مرحله قبل از گلدهی
- استفاده از آمینواسید با غلظت پنج در هزار همراه با سرک اوره برای گندم

**عصاره جلبک دریایی**

استفاده از جلبک دریایی تازه به‌عنوان منبع ماده آلی و کود در کشاورزی از زمان‌های قدیم شناخته‌شده است، اما اخیراً محرک رشد بودن آن ثابت‌شده است. بیش از ۶۰ سال از تولید تجاری اولین عصاره جلبک دریایی برای استفاده در کشاورزی می‌گذرد. طبق گزارش FAO (۲۰۱۸) مقدار قابل‌توجهی از عصاره جلبک‌های دریایی (۱۵ میلیون تن در سال) به‌عنوان محرک رشد، اصلاح‌کننده خاک و مکمل تغذیه‌ای در کشاورزی استفاده می‌شود.

پلی ساکاریدها و اولیگوساکاریدها، لامینارین، آلژینات‌ها و کاراژینازها و محصولات تجزیه آن‌ها از ترکیبات مهم عصاره جلبک دریایی هستند که بر فیزیولوژی گیاه تأثیر دارند. تعدادی از این ترکیبات درواقع منحصراً از منبع جلبک استخراج می‌شوند که این امر دلیل افزایش علاقه به این گروه از موجودات در ساخت مواد محرک رشد است. اغلب گونه‌های جلبک که از آن‌ها این عصاره‌ها تهیه می‌شود، به شاخه جلبک‌های قهوه‌ای تعلق دارند که دومین گروه فراوان جلبک‌ها با حدود ۲۰۰۰ گونه است که آسکوفیلوم[1]، فوکوس[2] و لامیناریا[3] گونه‌های اصلی آن می‌باشند؛ اما کاراژیناز[4] از جلبک‌های قرمز استخراج می‌شود که از یک شاخه فیلوژنی مجزا منشأ گرفته است (Du jardin et al., 2015).

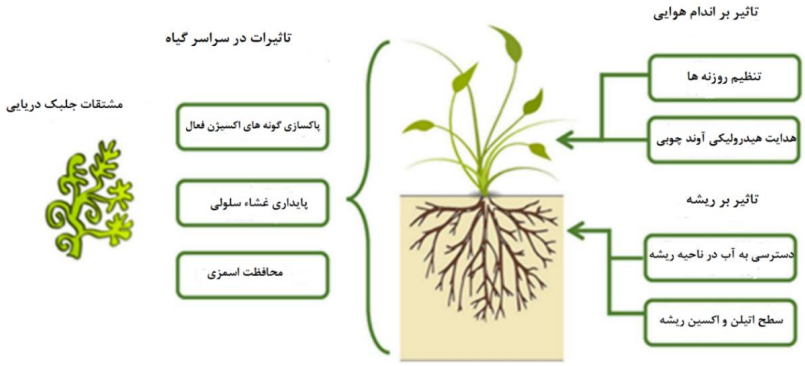
گروه‌های تجاری متنوعی از عصاره جلبک‌های دریایی برای استفاده در کشاورزی و باغبانی در دنیا وجود دارند. عصاره جلبک‌های دریایی بر خاک و گیاه تأثیر می‌گذارند (Craigie et al., 2008، Craigie 2011 , Khan et al., 2009). این عصاره‌ها به‌عنوان کلات کننده، بهبوددهنده جذب عناصر غذایی توسط گیاه، بهبوددهنده ساختمان و تهویه خاک عمل می‌کنند (González et al., 2013). این مواد را می‌توان به‌صورت مصرف خاکی، برگ پاشی و محلول در کشت هیدروپونیک استفاده کرد.

1- Ascophyllum
2- Fucus
3- Laminaria
4- Carrageenan

اثرات تحریک رشد عصاره جلبک‌های دریایی به حضور هورمون‌های گیاهی و ترکیبات با وزن مولکولی کم نسبت داده‌شده است؛ بااین‌حال، مطالعات متعدد دیگر نشان داده‌اند که ترکیبات با وزن مولکولی بالاتر، مانند پلی‌ساکاریدها و پلی‌فنول‌ها، می‌توانند به‌عنوان محرک‌های رشد مؤثر عمل کنند. این ترکیبات نه‌تنها رشد گیاه را تحریک می‌کنند، بلکه از طریق اثرات دگرآسیب‌زا[1] و افزایش تحمل به تنش‌های محیطی (مانند خشکی، شوری و تنش‌های اکسیداتیو)، به بهبود تحمل گیاه و ارتقای عملکرد کمک می‌کنند (González et al., 2013).

**نقش عصاره جلبک دریایی در شرایط شور**

عصاره‌های جلبک دریایی به‌عنوان محرک رشد گیاهی از مسیرهای گوناگون تحمل گیاه به تنش غیرزنده (به‌ویژه شوری) را افزایش می‌دهند (شکل‌های ۱۲ ، ۱۳ و ۱۴). ترکیبات فعال زیستی موجود در عصاره جلبک‌ها، قادرند تحمل گیاه را در برابر تنش‌ها بهبود بخشند (جدول‌های ۱۸، ۱۷ و ۱۶).

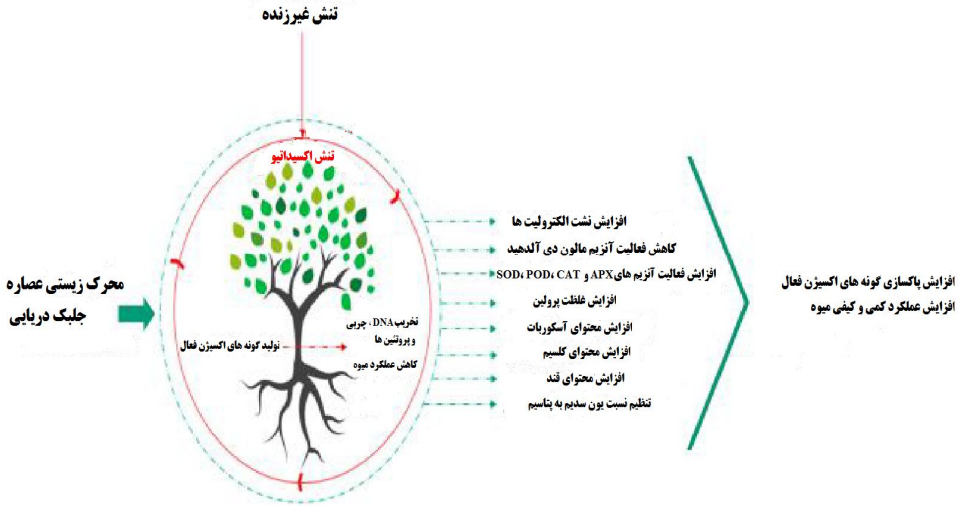



**شکل ۱۲- خلاصه سازوکارهای مهم عصاره جلبک بر تحمل به تنش شوری (Van Oosten et al., 2017)**

1- allelopathic




**شکل ۱۳- تأثیر مثبت عصاره جلبک دریایی بر کل سامانه خاک - گیاه در شرایط تنش غیرزنده (Van Oosten et al., 2017)**




**شکل ۱۴- تأثیر عصاره جلبک دریایی بر گونه‌های اکسیژن فعال در گیاه متأثر از تنش غیرزنده (EL- Boukhari et al., 2020) - (SOD: سوپراکسیداز دیسموتاز؛ POD: پراکسیداز؛ CAT: کاتالاز؛ APX: آسکوربات پراکسیداز)**

**جدول ۱۶- ترکیب شیمیایی عصاره‌ی جلبک دریایی *Ascophyllum nodosum* (El-Nwehy *et al.*,2020)**

| عنصر | نیتروژن | فسفر | پتاسیم | منیزیم | کلسیم | سدیم | آهن | منگنز | روی | مس |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| غذایی | درصد ماده خشک | | | | | | میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک | | | |
| غلظت | ۱۳/۳ | ۲/۲۲ | ۲/۱۳ | ۰/۲۲ | ۰/۳۳ | ۰/۰۱ | ۱۹۳۶ | ۶۸ | ۲۱ | ۱۸ |

*متوسط میزان آلجینیک اسید: ۲۴-۱۰ درصد

**جدول ۱۷- محتوای اسیدآمینه‌ی موجود در عصاره جلبک *Ascophyllum nodosum* (El-Nwehy et al.,2020)**

| آسپارتیک | ترئونین | سرین | گلوتامیک | پرولین | گلایسین | آلانین | والین | متیونین | ایزولوسین | لوسین | تایروزین | فنیل آلانین | هیستیدین | لایزین | آرجنین | سیستئین | کل اسیدآمینه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| درصد | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ۱/۸۵ | ۸/۰۳ | ۰/۷ | ۲/۲۴ | ۰/۶۷ | ۱/۰۷ | ۱/۵۵ | ۱/۱ | ۳/۳۰ | ۰/۷۱ | ۰/۲۹ | ۰/۵۳ | ۰/۸۷ | ۰/۲۴ | ۰/۷ | ۰/۹۸ | ۰/۲۲ | ۱۵/۸۹ |

**جدول ۱۸- مقدار هورمون‌های گیاهی موجود در جلبک دریایی *Ascophyllum nodosum*، با استفاده از روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (El-Nwehy et al., 2020)**

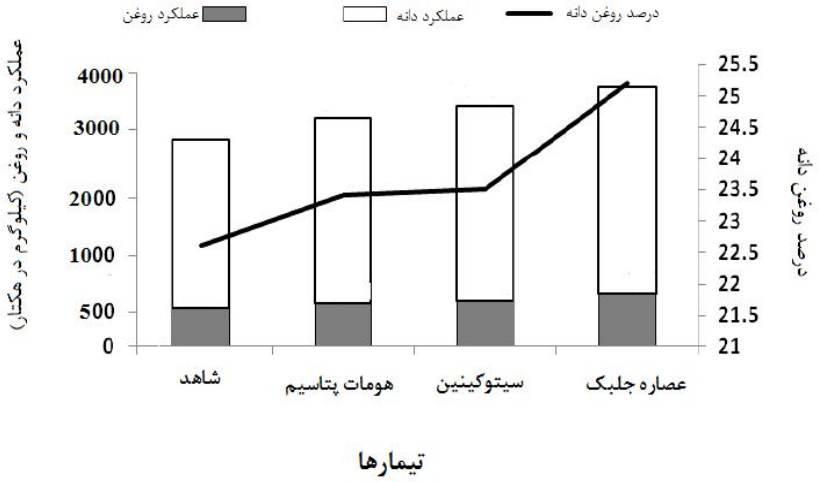
| نوع هورمون گیاهی | اسید ایندول استیک | اسید ایندول بوتریک | اسید جیبرلیک |
|---|---|---|---|
| | میلی‌گرم در گرم | | |
| غلظت | ۱۳/۶۶ | ۳/۲۵ | ۱/۱۹ |

در پژوهشی، مصرف محرک زیستی حاوی عصاره‌ی جلبک دریایی *Ascophyllum nodosum*، در کاهو و کلزا در شرایط تنش شوری (۸۰ میلی مولار کلرید سدیم)، باعث افزایش قابل‌توجه عملکرد و وزن خشک ریشه این گیاهان شد (Guinan *et al.,* 2018).

استفاده از عصاره جلبک دریایی *Sargassum muticum* و *Jania rubens* در شرایط شور (تا ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم) در گیاه نخود، اثرات مضر نمک را با تنظیم سوخت‌وساز اسیدآمینه، متعادل کردن محتوای یون در گیاه و بهبود شرایط محافظتی آنتی اکسیدانی، به میزان قابل‌توجهی کاهش داد. در این شرایط، ریشه‌ها، اسیدهای آمینه‌ای مانند سرین، ترئونین، پرولین و اسید آسپارتیک را برای مهار تنش شوری تولید می‌کنند (Abdel Latef *et al.,* 2017).

افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن آفتابگردان با محلول‌پاشی عصاره جلبک (*A. nodosum*) در شرایط تنش شوری خاک و آب (هفت دسی‌زیمنس‌برمتر) مشاهده شد (El-Nwehy *et al.,* 2018). افزایش نسبی عملکرد روغن، دانه و درصد روغن دانه، به ترتیب ۳۷، ۲۳ و ۱۲ درصد نسبت به شاهد بود (شکل ۱۵).

در پژوهش دیگری، محلول‌پاشی عصاره جلبک، اثر معنی‌داری بر عملکرد کلزا در شوری‌های بالاتر از هشت دسی‌زیمنس‌برمتر آب آبیاری نداشت ولی تا شوری شش دسی‌زیمنس‌برمتر آب آبیاری، تأثیر مثبت و معنی-داری بر عملکرد دانه داشت (نورقلی‌پور و همکاران، ۱۴۰۰).




**شکل۱۵ - تأثیر عصاره جلبک دریایی بر عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن آفتابگردان در شرایط تنش شوری (El-Nwehy et al., 2018)**

**مصرف عصاره جلبک دریایی در شرایط غرقابی**

**Kavitha** و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای که به بررسی اثر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی بر رشد و عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) پرداختند، گزارش کردند که عصاره جلبک دریایی به میزان ۰/۳ درصد در دو مرحله ۵۰ درصد گلدهی و در مرحله شیری شدن دانه به‌طور قابل‌توجهی ویژگی‌های رشد و عملکرد بالاتری را ثبت کرد.

در مطالعه‌ای که Deepana و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی اثر عصاره جلبک دریایی بر عملکرد برنج ( *Oryza sativa* var. ADT53) و حاصلخیزی خاک در منطقه دلتای تامیل نادوی هند پرداختند، گزارش کردند که کاربرد خاکی عصاره جلبک دریایی به میزان ۲/۵ کیلوگرم در هکتار همراه با محلول‌پاشی (۰/۵ درصد دو بار) می‌تواند گزینه امیدوارکننده‌ای در شرایط کشت برنج باشد. Chen و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای که به بررسی تأثیر مکمل عصاره جلبک دریایی بر روی جامعه باکتریایی ریزوسفر برنج در مراحل پنجه‌زنی و خوشه‌دهی پرداختند، گزارش کردند که کاربرد سه کیلوگرم در هکتار عصاره جلبک دریایی تنها در دوره پنجه‌زنی، بهترین تأثیر را بر رشد برنج دارد.

**توصیه کلی برای گیاه برنج**

- استفاده از جلبک دریایی به‌صورت محلول‌پاشی با غلظت سه در هزار برای برنج در مرحله پنجه‌زنی
- استفاده از جلبک دریایی به مقدار دو کیلوگرم در هکتار همراه با سرک اوره برای برنج

**مصرف عصاره جلبک دریایی در شرایط دیم و تنش خشکی**

مطالعات در زمینه تأثیر عصاره جلبک دریایی در افزایش تحمل گیاه به تنش‌ها نشان‌دهنده اثر مثبت این ترکیب می‌باشد. برخی مطالعات انجام‌شده در زمینه استفاده از جلبک‌های دریایی در شرایط دیم در جدول ۱۹ گزارش‌شده است.

**جدول ۱۹ - برخی مطالعات انجام‌شده در زمینه استفاده از جلبک دریایی در کشت‌های دیم**

| عنوان مطالعه | نتیجه | منبع |
|---|---|---|
| کاهش آثار منفی تنش خشکی در نخود با کاربرد اسید هیومیک و عصاره جلبک دریایی | استفاده از محلول‌پاشی با ترکیبات اسید هیومیک و عصاره جلبک دریایی صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و شاخص برداشت در ارقام مختلف تحت تأثیر قرارداد. | حق‌پرست و همکاران، ۱۳۹۱ |
| بررسی تأثیر کاربرد اسیدآمینه، اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی در شرایط نرمال و تنش خشکی بر خصوصیات کمی و کیفی گندم در منطقه بهبهان | استفاده از جلبک دریایی به‌صورت محلول‌پاشی با غلظت ۵ در هزار در مرحله پنجه‌زنی و ظهور سنبله سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم شد | رفیع و همکاران، ۱۴۰۰ |
| بهبود جذب عناصر غذایی، عملکرد و اجزای عملکرد گندم با ترکیبات محرک رشد تحت آبیاری نرمال و تنش خشکی | محلول‌پاشی جلبک دریایی سبب افزایش تحمل گندم در شرایط تنش خشکی شد. | رجایی، ۱۴۰۱ |

**توصیه کلی:**

- استفاده از جلبک دریایی به‌صورت محلول‌پاشی با غلظت سه در هزار برای گندم در مرحله پنجه‌زنی و ظهور سنبله و برای حبوبات در مرحله قبل و بعد از گلدهی با غلظت دو در هزار
- استفاده از جلبک دریایی با غلظت دو در هزار همراه با سرک اوره برای گندم

**توصیه مصرف محرک‌های رشد گیاه در برخی محصولات مهم زراعی و باغی**

با توجه به توضیحات ارائه شده در مراحل قبل:

- مصرف مواد محرک رشد گیاهی با توجه به نوع ماده محرک رشد استفاده‌شده ازلحاظ مقدار و زمان مصرف و روش استفاده متفاوت خواهد بود. مواد محرک رشد بهتر است در دوره‌های حساس فیزیولوژیکی رشد گیاه استفاده گردند.

- در مورد گیاه کلزا مصرف اسید هیومیک به‌صورت کودآبیاری در دو مرحله از رشد شامل آبیاری دوم و مرحله خروج از روزت و در هر مرحله به مقدار ۳-۵ کیلوگرم در هکتار می‌تواند مصرف گردد. کاربرد مواد محرک رشد اسیدآمینه، جلبک دریایی و اسید فولویک به‌صورت محلول‌پاشی در مرحله خروج از روزت و نیز قبل باز شدن غنچه‌های گل و به مقدار ۳-۵ در هزار می‌تواند مصرف گردد. این ترکیبات به‌صورت بذر مال پیش از کشت نیز می‌توانند مصرف گردند. بررسی انجام‌شده در موسسه تحقیقات خاک و آب نشان داد که مصرف محلول‌پاشی اسید هیومیک، افزایش معنی‌داری در عملکرد گیاه کلزا ایجاد ننمود (نورقلی پور و همکاران، ۱۴۰۲).
- در مورد گیاه گندم این دوره‌های مصرف در مرحله آبیاری دوم، پنجه‌زنی و ساقه دهی خواهد بود (با همان مقادیر ذکرشده برای کلزا).
- در مورد درخت انار اسید هیومیک در آب آبیاری در دو مرحله، مرحله اول قبل از بیدار شدن درختان (اسفندماه) و مرحله دوم در زمان بسته شدن میوه‌ها در خردادماه هرکدام به میزان ۲۰ گرم برای هر درخت می‌تواند مصرف شود. اسیدفولویک، اسیدهای آمینه و عصاره جلبک دریایی به‌صورت محلول‌پاشی در دو مرحله (مرحله اول بعد از بسته شدن میوه‌ها و مرحله دوم در زمان گردویی شدن میوه‌ها با غلظت پنج در هزار قابل‌مصرف است.
- در مورد درختان پسته اسید هیومیک در آب آبیاری به مقدار ۲۰ گرم برای هر درخت در دو مرحله شامل قبل از بیدار شدن درختان (اسفندماه) و بعد از ارزنی شدن میوه‌ها، می‌تواند مصرف شود. اسیدفولویک، اسیدهای آمینه و عصاره جلبک دریایی، به‌صورت محلول‌پاشی در دو مرحله (بعد از ارزنی شدن میوه‌ها و شروع مغز بستن) با غلظت پنج در هزار، قابل‌مصرف است.
- برای تولید سیب‌زمینی مصرف اسید هیومیک پس از سبز شدن غده‌ها به همراه آب آبیاری به میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار، محلول‌پاشی اسیدآمینه-روی در دو مرحله (غده‌زایی و ابتدای حجیم شدن غده)، محلول‌پاشی اسیدآمینه-پتاسیم یا اسیدآمینه-کلسیم در دو مرحله (ابتدا و اواسط مرحله حجیم شدن غده‌ها) قابل توصیه است. اسیدآمینه-عنصر غذایی با غلظت پنج در هزار می‌تواند محلول‌پاشی شود (رفیع ۱۴۰۲).
- در مرکبات کاربرد اسیدآمینه، جلبک دریایی و فولویک اسید به‌صورت محلول‌پاشی و با غلظت پنج در هزار و در دو زمان پس از ریزش گل و فندقی شدن میوه و هیومیک اسید نیز به میزان ۲۰ گرم به ازای هر درخت از طریق آب آبیاری در دو زمان آغاز گلدهی و پس از ریزش گل می‌تواند در اختیار درختان

قرار گیرد.

- در گیاه گوجه‌فرنگی کاربرد اسیدآمینه، جلبک دریایی و فولویک اسید به‌صورت محلول‌پاشی و با غلظت پنج در هزار و در دو زمان شروع گلدهی و اواسط میوه دهی و هیومیک اسید نیز به میزان ۳-۵ کیلوگرم در هکتار از طریق آب آبیاری در دو زمان آبیاری دوم و شروع گلدهی می‌تواند در اختیار بوته‌ها قرار گیرد.
- در گیاه برنج مصرف خاکی اسید هیومیک به میزان پنج کیلوگرم در هکتار در دو مرحله، ابتدا حدود ۱۰ الی ۱۵روز قبل از انتقال نشا به زمین اصلی همراه با سرک اوره در خزانه می‌تواند انجام گیرد و در مرحله دوم همراه با کاربرد کودهای پایه در زمین اصلی انجام شود. زمان محلول‌پاشی ترکیبات اسیدآمینه، جلبک دریایی و اسید فولویک به مقدار ۳-۵ در هزار در دو مرحله، ابتدا داخل خزانه و حدود ۱۰ الی ۱۵ روز قبل از انتقال نشا به زمین اصلی در خزانه و مرحله دوم پس از انتقال نشا به زمین اصلی و در مرحله پنجه‌زنی محلول‌پاشی می‌تواند انجام شود.
- دوره‌های مصرف برای گیاه ذرت شامل آبیاری دوم و هشت برگی برای مصرف اسید هیومیک به مقدار ۳-۵ کیلوگرم در هکتار و محلول‌پاشی ترکیبات اسیدآمینه، جلبک دریایی و اسید فولویک به مقدار ۳-۵ در هزار در دو مرحله هشت برگی و قبل از گلدهی می‌باشد.

**معیارهای مواد محرک رشد گیاه برای تولید محصولات گواهی‌شده و ارگانیک**

در سال‌های اخیر، تقاضا برای محصولات ارگانیک، در جهان افزایش‌یافته است. استفاده از کودهای شیمیایی در سطح وسیع و نیز مصرف سموم دفع آفات و بیماری‌ها از سوی دیگر، باعث شده تا سلامت غذایی جامعه بشری با خطر مواجه شود. در این میان، کاهش و یا حذف این سموم و یا عناصر سنگین موجود در برخی کودهای شیمیایی، می‌تواند در افزایش امنیت غذایی جامعه تأثیر به‌سزایی داشته باشد. از ورود کشاورزی ارگانیک به ایران، چندان نمی‌گذرد ولی در همین زمان اندک، اقبال مناسبی توسط کشاورزان پیشرو به این مقوله، صورت گرفته است. غالب کشاورزان استقبال‌کننده، شامل باغداران محصولات مختلف هستند، زیرا تبدیل باغ‌های سنتی به باغ‌های ارگانیک و افزایش امید به صادرات میوه‌های این باغ‌ها، آن‌ها را به آینده این سامانه‌ها، خوش‌بین‌تر کرده است. نکته قابل‌تأمل آن است که، مدیریت ارگانیک، مدیریتی چندجانبه است و به‌صرف مصرف نکردن کود شیمیایی و یا سموم به‌دست نخواهد آمد و اجرای آن، نیازمند برخی کارهای مقدماتی می‌باشد. همچنین، پس از عبور از مرحله گذار، باید پایشی پیوسته برای انجام مدیریت در باغ یا مزرعه انجام

شود. در دسترس بودن عناصر غذایی نیتروژن و فسفر به عنوان یک عامل اصلی محدودکننده عملکرد در بسیاری از سیستم‌های کشاورزی ارگانیک شناخته شده است (De Pascale و همکاران، ۲۰۱۷). موادی از جمله اسیدهای هیومیک، هیدرولیزهای پروتئینی گیاهی و عصاره جلبک های دریایی و/یا کاربرد مایه تلقیح‌های میکروبی شامل ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه، قارچ‌های مایکوریز آربوسکولار در شرایط کشت ارگانیک، برای بهبود جذب عناصر و بهبود رشد گیاه مورد استفاده قرار گیرد (Joshi و همکاران، ۲۰۲۱).

**ملاحظات زیست‌محیطی استفاده از محرک‌های رشد گیاه**

تأثیر محرک‌های رشد بر بوم‌سازگان خاک و ملاحظات زیستی آن‌ها، از جنبه‌های مختلف قابل‌بررسی است. از یک‌سو، مصرف این مواد، به‌خودی‌خود، تأثیر منفی بر خاک ندارد زیرا مقادیر اندکی از آن‌ها به خاک وارد می-شود و با توجه به اثرهای فوق‌العاده‌ای که بر رشد و عملکرد گیاهان دارند، می‌توانند به کاهش مصرف کودهای شیمیایی کمک کنند (Roulia, 2022). از سوی دیگر نشان داده‌شده که مصرف این مواد، تهویه خاک را افزایش می‌دهد. این مواد قادرند آلودگی عناصر سنگین در خاک‌ها را کاهش دهند و بنابراین به‌عنوان یک اصلاح‌گر مناسب معرفی می‌شوند (Roulia, 2022).

با توجه به مسئولیت سازمان ملی استاندارد ایران به‌عنوان مدیر کمیته در دبیرخانه کمیته فنی ایزو با عنوان کودها و بهسازهای خاک "ISO/TC 134"، در شانزدهمین اجلاسیه بین‌المللی کمیته فنی ایزو، تصمیم به تدوین و به‌روزرسانی استانداردهای بین‌المللی در زمینه کودها و بهبوددهنده‌های خاک (مواد محرک رشد) گرفته شد (ISO. 2015). در این کمیته، پذیرش و تدوین استانداردهای اروپایی توسط کمیته فنی TC134، ایجاد دسترسی به مدارک و استانداردهای اروپایی برای نمایندگان کمیته فنی ISO/TC 134 و همکاری آزمایشگاه‌های اتحادیه اروپا با کمیته فنی TC134 به‌منظور انجام آزمون‌های بین آزمایشگاهی، موردتوجه قرار گرفت (https://www.inso.gov.ir/portal/home/?NEWS/150911/757569/1022573).

در حال حاضر مطابق شیوه‌نامه ثبت مواد کودی موسسه تحقیقات خاک و آب که در سال ۱۳۹۳ تدوین‌شده است، غلظت عناصر سنگین در مواد کودی آلی ارائه شده ولی این حدود فعلا در این شیوه نامه برای بهبود دهنده‌های رشد آلی ارائه نشده است (فصل چهارم: مواد کودی آلی در شیوه‌نامه ) (بی‌نام ۱۳۹۳). مقدار ماده موثره بهبود دهنده‌های رشد آلی در شیوه‌نامه ثبت مواد کودی در جدول ۲۰ ارائه شده است.

**جدول۲۰ –مقدار ماده موثره در بهبود دهنده‌های رشد آلی**

| نوع بهبوددهنده رشد | حالت ماده | ماده مؤثره |
|---|---|---|
| **اسیدآمینه** | مایع | ۵ درصد وزنی اسیدآمینه |
| | جامد | ۲۵ درصد وزنی اسیدآمینه |
| **اسید هیومیک** | مایع | ۷درصد وزنی اسید هیومیک |
| | جامد | ۵۰درصد وزنی اسید هیومیک |
| **اسیدفولویک** | مایع | ۵ درصد وزنی اسیدفولویک |
| | جامد | ۲۵ درصد وزنی اسیدفولویک |
| **جلبک دریایی** | مایع | ۴ درصد وزنی آلژینات |
| | جامد | ۸ درصد وزنی آلژینات |

**منابع**


- آرمین، م؛ و مصلحی، ج. ۱۳۹۱. واکنش عملکرد و اجزای عملکرد نخود به زمان و مقدار مصرف هیومیک اسید. فصلنامه دانش نوین کشاورزی پایدار. ۸ (۶): ۹-۱.
- انتظاری، س.، خلعتبری، م.، نصری، م؛ و ذاکری محمدآبادی، ا. ۱۳۸۷. تأثیر محلول‌پاشی اسیدآمینه بر کم‌آب یاری زراعت گندم در دشت ورامین. مجله علمی پژوهشی گیاه و زیست‌بوم. ۱۴: ۷۶-۶۴.
- بی‌نام. ۱۳۹۳. شیوه‌نامه ثبت مواد کودی موسسه تحقیقات خاک و آب. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج.
- حق‌پرست، م.، ملکی فراهانی، س.، مسعود سینکی، ج؛ و زارعی، ق. ۱۳۹۱. کاهش آثار منفی تنش خشکی در نخود با کاربرد اسید هیومیک و عصاره جلبک دریایی. مجله تولید گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی. سال چهارم، شماره اول. ۷۱-۵۹.
- رجایی، م. ۱۴۰۱. بهبود جذب عناصر غذایی، عملکرد و اجزای عملکرد گندم با ترکیبات محرک رشد تحت آبیاری نرمال و تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۲۰ (۲): ۱۶۲-۱۴۷.
- رفیع م. ر. ۱۳۹۶. تأثیر تغذیه برگی آمینوکلات‌های روی بر جذب، توزیع آپوپلاسمی و سیمپلاسمی و جزءبندی درون‌سلولی روی در برگ، شاخص‌های رشد، عملکرد و کیفیت پیاز. رساله دکتری، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک. اصفهان، ایران.
- رفیع م. ر. ۱۴۰۲. تأثیر محرک‌های رشد گیاهی بر عملکرد و کیفیت ارقام سیب‌زمینی در منطقه بهبهان. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
- رفیع، م. ر.، مصلحی، م؛ و جواد زاده، م. ۱۴۰۰. بررسی تأثیر کاربرد اسیدآمینه، اسیدفولویک و عصاره جلبک دریایی در شرایط نرمال و تنش خشکی بر خصوصیات کمی و کیفی گندم در منطقه بهبهان.

تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۴ (۱): ۱۴۱-۱۳۱.

- سبزواری، س.، ح. ر. خزاعی و م. کافی. ۱۳۸۸. اثر اسید هیومیک بر رشد ریشه و بخش هوایی ارقام سایونز و سبلان گندم. مجله آب‌وخاک علوم و صنایع کشاورزی، ۲۳ (۲): ۹۴-۸۷.
- شبانی، ر؛ و آرمین، م. ۱۳۹۵. اثر محلول‌پاشی کود اوره و اسید هیومیک در شرایط دیم بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود. نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک. ۱ (۱): ۸۸-۷۷.
- عبدمیشانی س و جعفری شبستانی ج، .۱۳۶۵ اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و میزان بذر بر عملکرد گندم پاییزه. مجله علوم کشاورزی ایران، ۱۷(۳ و ۴): .۴۵-۵۱.
- گالشی س و مشایخی ک، .۱۳۷۵ بررسی اثر آبیاری در مراحل مختلف رشد بر عملکرد دو رقم گندم اینیا و خزر. علوم کشاورزی و منابع طبیعی،:۳ .۵۷-۶۳.
- مجیدی، ع؛ و خلیل زاده، غ. ۱۴۰۲. تأثیر قارچ‌های میکوریز آربسکولار و هیومیک- فولویک اسید بر ویژگی‌های زراعی گندم در شرایط دیم. نشریه زراعت دیم ایران. ۱۲ (۱): ۸۳-۶۷.
- محبی، م.، قبادی، م. ا؛ و چقازردی، ح. ر. ۱۴۰۱. اثر تیمار بذر با سالیسیلیک اسید، هیومیک اسید و روی بر عملکرد گندم دوروم در شرایط دیم. مجله بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات. ۱ (۳): ۳۱۸-۳۳۴.
- محمدی، ر.، ۱۳۸۶. بیوشیمی لنینجر (ترجمه)، ویراش سوم، نشر آییژ.
- محمودی، ح.، نریمانی، م.، صالحی، ف.، نبئی، م.، افروز، ع.، محمدی، ا.، جسوریه، ع .ر؛ و عطاریلر، ج. ۱۳۹۲. بررسی اثرات محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر عملکرد گندم دیم رقم آذر ۲ در شرایط آنفارم. مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور. شماره سند ملی 1056189 -R.
- محمودی، ح؛ و علیزاده، خ. ۱۳۹۳. تأثیر کاربرد اسیدهای آمینه آزاد بر عملکرد کمی و کیفی ماشک رقم گل‌سفید (Vicia panonica) در شرایط دیم. نشریه زراعت دیم ایران. ۲ (۲): ۱۲۷-۱۱۵.
- میرزاپور، م.ه؛ و نورقلی‌پور، ف. ۱۴۰۰. اثر برخی مواد محرک رشد گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در خاک آهکی شور. نشریه علمی پژوهش‌های خاک. الف. ۳۶ (۲): ۱۷۶-۱۶۳.
- نورقلی‌پور ف.، میرزاپور م. ه.، محمدنژاد ی، منتجبی ن. ا.، نائینی م. ر.، رضایی م. ا. ، جعفر نژادی ع. ا.، موسی نژاد کرمانی م.، زارع مهرجردی م.، زاهدی فرد ن.، رضائی ح؛ و غفاری نژاد س. ع . ۱۴۰۲. اثر مواد محرک رشد گیاهی بر گیاهان گندم، کلزا، انار و پسته در شرایط شور. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی ملی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
- نورقلی‌پور، ف.، میرزاپور، م.ه.، منتجبی، ن؛ و محمدنژاد، ی. ۱۴۰۰. اثر مواد محرک رشد گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان گندم، کلزا، انار و پسته در شرایط شور. گزارش نهایی پروژه. شماره فروست ۶۰۷۸۵. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. تهران. ایران.

- نیسی، ح.، رفیعی الحسینی، م.، تدین، م. ر.، احمد پور، س. ر؛ و کریمی، ا. ۱۴۰۲. ارزیابی اثر هیومیک اسید و فولویک اسید با منابع مختلف کود نیتروژنه بر صفات زراعی برنج عنبر پور در سیستم کشت مستقیم. به زراعی کشاورزی. ۲۵ (۴): ۱۰۰۸-۹۹۵.
- Abdel-Latef, A.A.H., Srivastava, A.K., Saber, H., Alwaleed, E.A. and Tran, L.S.P. 2017. *Sargassum muticum* and *Jania rubens* regulate amino acid metabolism to improve growth and alleviate salinity in chickpea. Sci. Rep. 7: 1–12.
- Abdul-Qados, A. M. S. 2009. Effect of arginine on growth, yield and chemical constituents of wheat grown under salinity condition. Acad. J. Plant Sci. 2: 267-278.
- Acosta-Motos, J.R.; Penella, C.; Hernández, J.A.; Díaz-Vivancos, P.; Sánchez-Blanco, M.J.; Navarro, J.M.; Gómez-Bellot, M.J.; Barba-Espín, G. Towards a sustainable agriculture: Strategies involving phytoprotectants against salt stress. *Agronomy* 2020, *10*, 194.
- Adejumo, S.A.; Oniosun, B.; Akpoilih, O.A.; Adeseko, A.; Arowo, D.O. Anatomical changes, osmolytes accumulation and distribution in the native plants growing on Pb-contaminated sites. *Environ. Geochem. Health* 2021, *43*, 1537–1549.
- Agami, R. Applications of ascorbic acid or proline increase resistance to salt stress in barley seedlings. *Biol. Plant.* 2014, *58*, 341–347.
- Ahmad, B., Hussain, F., Shuaib, M., Shahbaz, M., Hadayat, N., Shah, M., Yaseen, T., Rauf, A., Anwar, J., Khan, S. and Jabeen, A., 2023. Effect of Salicylic Acid and Amino Acid on Pea Plant (Pisum sativum) Late Season, Growth and Production. *Polish Journal of Environmental Studies*, *32*(3).
- Ahmad, R., Jabeen, N., 2009. Demonstration of growth improvement in sunflower (*Helianthus annuus* L.) by the use of organic fertilizers under saline conditions. Pak. J. Bot. 41, 1373-1384.
- Albuzio, A., Nardi S. and Gulli A. 1989. Plant growth regulator activity of small molecular size humic P fractions. Science of the Total Environment 81- 82:671–674.
- Ali, Q.; Ashraf, M.; Shahbaz, M.; Humera, H. Ameliorating effect of foliar applied proline on nutrient uptake in water stressed maize (*Zea mays* L.) plants. *Pak. J. Bot* 2008, *40*, 211–219.
- Al-Juboori, A.W. and Mohammed, M.M., 2021. Effect of phosphorous and amino acid on growth and yield of pea. *Int. J. Agricult. stat. sci*, *17*(1), pp.81-84.
- AlKahtani, M.D.; Hafez, Y.M.; Attia, K.; Rashwan, E.; Husnain, L.A.; AlGwaiz, H.I.; Abdelaal, K.A. Evaluation of silicon and proline application on the oxidative machinery in drought-stressed sugar beet. *Antioxidants* 2021, *10*, 398.
- Amin A. A., A. E. F. Gharib, M. El-Awadia, and E. S. M. Rashad. 2011. Physiological response of onion plants to foliar application of putrescine and glutamine. *Sci Hortic.* 129: 353–360.
- Aminian, R., Mohammadi, S., Hoshmand, S. and Khodombashi, M., 2011. Chromosomal analysis of photosynthesis rate and stomatal conductance and their relationships with grain yield in wheat (Triticum aestivum L.) under water-stressed and well-watered conditions. Acta Physiologiae Plantarum, 33, pp.755-764.
- Ampong K, Thilakaranthna M S and Gorim L Y. 2022. Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. https://doi.org/10.3389/fagro.2022.848621
- Anielak, A.M. and Kłeczek, A., 2022. Humus acids in the digested sludge and their properties. *Materials*, *15*(4), p.1475.
- Appel C., Ma L., 2002. Concentration, pH, and surface charge effects on cadmium and lead in three tropical soils. J. Environ. Qual., 31, 581-589
- Aranega-Bou, P.; de la O Leyva, M.; Finiti, I.; García-Agustín, P.; González-Bosch, C. Priming of

plant resistance by natural compounds. Hexanoic acid as a model. *Front. Plant Sci.* 2014, *5*, 488.

- Arjeh, J.; Pirzad, A.; Tajbakhsh, M.; Mohammadzadeh, S. Biochemical responses of sugar beet plant to phytoprotectants and vermicompost under moisture stress. *J. Plant Physiol. Breed.* 2021, *11*, 17–31.
- Arjumend, T, Abbasi M. K and Rafique E. 2015. Effects of lignitederived humic acid on some selected soil properties, growth, and nutrient uptake of wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under greenhouse conditions. Pakistan Journal of Botany 47(6): 2231–38.
- Arrobas, M., de Almeida, S.F., Raimundo, S., da Silva Domingues, L. and Rodrigues, M.Â., 2022. Leonardites rich in humic and fulvic acids had little effect on tissue elemental composition and dry matter yield in pot-grown olive cuttings. *Soil Systems*, *6*(1), p.7.
- Arshad M., A. Hussain, and A. Shakoor. 1995. Effect of soil applied L-tryptophan on growth and chemical composition of cotton. *Plant Nutr. J.* 18: 317–329.
- Arshad, M., and Frankenberger, W.T.J. 1990. Response of Zea mays and Lycopersicon esculentum to the ethylene precursors, L-methionine and applied to soil. Plant and Soil. 122: 219-227.
- Ashraf, M.F.M.R. and Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and experimental botany, 59(2), pp.206-216.
- Aslam, M., R. L. Travis, and D. W. Rains. 2001. Differential effect of amino acids on nitrate uptake and reduction systems in barley roots. *Plant Sci.* 160: 219–228.
- Atteya, A.M., 2003. Alteration of water relations and yield of corn genotypes in response to drought stress. *Bulg. J. Plant Physiol*, *29*(1-2), pp.63-76.
- Aydin, A. 2012. Humic acid application alleviate salinity stress of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage. Afr. J. Agric. Res. 7: 1073–1086.
- Baqir, H.A., Zeboon, N.H. and Al-Behadili, A.A.J., 2019. The role and importance of amino acids within plants: A review. *Plant Archives*, *19*(2), pp.1402-1410.
- Berbara, R.L.L., and García A.C. 2014. Humic substances and plant defense metabolism. pp 297–319. In: P. Ahmad, and M.R. Wani (eds) Physiological mechanisms and adaptation strategies in plants under changing environment: volume 1. Springer Science + Business Media, New York.
- Bocanegra, M.P., Lobartini, J.C. and Orioli, G.A., 2006. Plant uptake of iron chelated by humic acids of different molecular weights. Communications in soil science and plant analysis, 37(1-2), pp.239-248.
- Boguta, P. and Sokołowska, Z., 2022. Interactions of humic acids with metal ions. Acta Agrophysica, 2(AAM004-), pp.1-113.
- Bougouffa, S.; Radovanovic, A.; Essack, M.; Bajic, V.B. DEOP: A database on osmoprotectants and associated pathways. *Database* 2014, *2014*, bau100.
- Boyer, J.S. Plant Productivity and Environment. *Science* 1982, *218*, 443–448.
- Brown, P. and Saa S. 2015. Biostimulants in agriculture. Frontiers in plant science 6:1-3.
- Bruce, T.J.; Matthes, M.C.; Napier, J.A.; Pickett, J.A. Stressful "memories" of plants: Evidence and possible mechanisms. *Plant Sci.*2007, *173*, 603–608.
- Brunetti, G., Senesi, N., Plaza, C., 2007. Effects of amendment with treated and untreated olive oil mill wastewaters on soil properties, soil humic substances and wheat yield. Geoderma. 138, 144-152.
- Buckau, G., Artinger, R., Fritz, P., Geyer, S., Kim, J.I., Wolf, M., 2000. Origin and mobility of humic colloids in the Gorleben aquifer system. Appl. Geochem. 15, 171-179.
- Bulgari, R., Cocetta G., Trivellini A., Vernieri P., and Ferrante A. 2015. Biostimulants and crop responses: a review. Biological Agriculture & Horticulture, 31: 1-17.
- Bulgari, R., Trivellini, A., and Ferrante, A. 2019. Effects of two doses of organic extract-based biostimulant on greenhouse lettuce grown under increasing NaCl concentrations. Front. Plant Sci. 9:

9.
- Burritt, D.J., 2012. Proline and the cryopreservation of plant tissues: functions and practical applications. Current frontiers in cryopreservation, 10, p.36249.
- Busnot, A., Busnot, F., Le Querler, J.F., Yazbeck, J., 1995. Caractérisation de materiel humique, d'origine terrestre de la région Bas-Normande. Thermochim. Acta 254, 319-330
- Butt, M.; Ayyub, C.; Amjad, M.; Ahmad, R. Proline application enhances growth of chilli by improving physiological and biochemical attributes under salt stress. *Pak. J. Agric. Sci.* 2016, *53*.
- Calvo, P., Nelson, L. and Kloepper, J. W., 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and soil*, *383*, pp.3-41.
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. 2015. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 2, 3. https://doi.org/10.1186/s40538-014-0030-9
- Canellas, L.P., Olivares, F.L., Okorokova-Façanha, A.L., Façanha, A.R., 2002. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence and plasma membrane H+-ATPase activity in maize roots. Plant Physiol. 130, 1951-1957.
- Canieren, O., Karaguzel, C. and Aydin, A., 2017. EFFECT OF PHYSICAL PRE-ENRICHMENT ON HUMIC SUBSTANCE RECOVERY FROM LEONARDITE. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, *53*(1).
- Carletti, P., Masi, A., Spolaore, B., De Laureto, P.P., De Zorzi, M., Turetta, L., Ferretti, M., Nardi, S., 2008. Protein expression changes in maize roots in response to humic substances. J. Chem. Ecol. 34, 804-18.
- Cesco, S., Nikolic, M., Römheld, V., Varanini, Z., Pinton, R., 2002. Uptake of 59Fe from soluble Fe-humate complexes by cucumber and barley plants. Plant Soil. 241, 121-128.
- Chaney K and Swift R S. 1986. Studies on aggregate stability. The effect of humic substances on the strength of re-formed soil aggregates. Journal of Soil Science 37(2): 337–43.
- Chapman, S.C. and Edmeades, G.O., 1999. Selection improves drought tolerance in tropical maize populations: II. Direct and correlated responses among secondary traits. Crop Science, 39(5), pp.1315-1324.
- Chen, C.L., Song, W.L., Sun, L., Qin, S., Ren, C.G., Yang, J.C., Feng, D.W., Liu, N., Yan, J., Cui, B.B. and Zhong, Z.H., 2022. Effect of seaweed extract supplement on rice rhizosphere bacterial community in tillering and heading stages. *Agronomy*, *12*(2), p.342.
- Chen, G.-L., X.-R. Gao, and X.-B. Zhang. 2002. Effect of partial replacement of nitrate by amino acid and urea on nitrate content of non-heading Chinese cabbage and lettuce in hydroponic condition. *Agric. Sci. China.* 1: 444–449.
- Chen, Y., Aviad, T., 1990. Effects of humic substances on plant growth. In: humic substances in soil and crop science; Selected Readinds, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison, pp. 161-186.
- Chen, Y., De Nobili, M., & Aviad, T. 2004. Stimulatory effects of humic substances on plant growth. In F. Magdoff & R. R. Weil (Eds.), Advances in Agronomy (Vol. 84, pp. 1–54). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)84001-3
- Chen, Y., Senesi, N., & Schnitzer, M. 1977. Information provided on humic substances by E4/E6 ratios. Soil Science Society of America Journal, 41(2), 352–358. https://doi.org/10.2136/sssaj1977.03615995004100020037x
- Chhabra, R., 1994. Soil salinity and water quality. Oxford and IBH Publ. Co. New Delhi
- Çimrin, K.M.Ö., Turan, T.M. and Tuncer, B. 2015. Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress of pepper seedling. Afr. J. Biotechnol. 9: 36.
- Clapp, C.E., Liu, R., Cline, V.W., Chen, Y., Hayes, M.H.B., 1998. Humic substances for

enhancing turfgrass growth. p. 227-234. *In:* G. Davies and E.A. Ghabbour (ed.) Humic substances: Structures, properties and uses. Royal Soc. Chem. Publ. Cambridge, UK.

- Colla, G., Svecova, E., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Reynaud, H., Canaguier, R., and Planques, B. 2013. Effectiveness of a plant-derived protein Hydrolysate to improve crop performances under different growing conditions. Acta Hortic. 1009: 175–180.
- Craigie, J. S. 2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. Journal of Applied Phycology. 23, 371–393.
- Craigie, J.S., S. L. MacKinnon, J. A. Walter. 2008. Liquid seaweed extracts identified using 1H NMR profiles. Journal of Applied Phycology. 20, 665–671.
- Cuin, T. A. and S. Shabala. 2007. Amino acids regulate salinity-induced potassium efflux in barley root epidermis. *Planta.* 225: 753-761.
- Cuin, T.A., and Shabala, S. 2015. Exogenously supplied compatible solutes rapidly ameliorate NaClinduced potassium efflux from barley roots. Plant Cell Physiology. 46 (12):1924–33.
- Dalir, N. and Khoshgoftarmanesh, A.H., 2014. Symplastic and apoplastic uptake and root to shoot translocation of nickel in wheat as affected by exogenous amino acids. Journal of plant physiology, 171(7), pp.531-536.
- Dantas, B.F., Pereira, M.S., Ribeiro, L.S., Maia, J.L.T., Bassoi, L.H., 2007. Effect of humic substances and weather conditions on leaf biochemical changes of fertigated guava tree, during orchard establishment. Rev. Bras. Frutic. Jaboticabal. 29, 632-638.
- Daur I and Bakhashwain A A. 2013. Effect of humic acid on growth and quality of maize fodder production. Pakistan Journal of Botany 45(S1): 21–25.
- David, L., and M. Cox. Nelson Michael. 2008. *Lehninger principals of biochemistry*. W. H. Freeman. Fifth edition. 1100 pp.
- De Pascale, S., Rouphael, Y. and Colla, G., 2017. Plant biostimulants: Innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. *Eur. J. Hortic. Sci*, *82*(6), pp.277-285.
- Deepana, P., Bama, K.S., Santhy, P. and Devi, T.S., 2021. Effect of seaweed extract on rice (Oryza sativa var. ADT53) productivity and soil fertility in Cauvery delta zone of Tamil Nadu, India. *Journal of Applied and Natural Science*, *13*(3), pp.1111-1120.
- Deng, M. D., T. Moureaux, I. Cherel, J. P. Boutin, and M. Caboche. 1991. Effects of nitrogen metabolites on the regulation and circadian expression of tobacco nitrate reductase. *Plant Physiol Biochem.* 29: 239-247.
- Diacono, M., Montemurro, F., 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. Agron. Sustain. Dev. 30, 401-422.
- Diatta J.B., Kociałkowski W.Z., Grzebisz W., 2003. Lead and zinc partition coefficients of selected soils evaluated by Langmuir, Freundlich, and linear isotherms. Comm. Soil Sci. Plant Analysis, 34, 2419-2439.
- Du Jardin, P., 2015. The Science of Plant Biostimulants—A bibliographic analysis. Ad hoc Study Report to the European Commission DG ENTR. 2012; http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/fertilizers/final report bio 2012en.pdf.
- EL- Arroussi, H., Benhima, R., Elbaouchi, A., Sijilmassi, B., EL- Mernissi, N., Aafsar, A., Meftah-Kadmiri, I., Bendaou, N., and Smouni, A. 2018. Dunaliella salina exopolysaccharides: A promising biostimulant for salt stress tolerance in tomato (*Solanum lycopersicum*). J. Appl. Phycol. 30: 2929-2941.
- EL- Boukhari, M.E., Barakate, M., Bouhia, Y. and Lyamlouli, K. 2020. Trends in Seaweed Extract Based Biostimulants: Manufacturing Process and Beneficial Effect on Soil-Plant System. Plants. 9: 359-382.
- El-Baky, H.H.A., Hussein, M.M., and El-Baroty, G.S. 2008. Algal extracts improve antioxidant

defense abilities and salt tolerance of wheat plant irrigated with sea water. Afr. J. Biochem. Res. 2: 151–164.

- Elewa, T.A.; Sadak, M.S.; Saad, A.M. Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. *Biosci. Res.* 2017, *14*, 21–33.
- El-Nwehy, S.S., El-Nasharty, A.B., and Rezk, A.E.H.I. 2018. Enhance sunflower productivity by foliar applications of some plant growth Bio-satinity conditions. Biosci. Resi. 15: 1763-1768.
- El-Nwehy, S.S., Rezk, A.I., El-Nasharty, A.B., Nofal, O.A., and Abdel-Kader, H.H. 2020. Influences of Irrigation with Diluted Seawater and Fertilization on Growth, Seed Yield and Nutrients Status of Salicornia Plants. Pak. J. Biol. Sci. 23 (10): 1267-1275.
- El-Sayed, M.A. and El-Sayed, M.T., 2020. Effect of humic acid, biofertilizers and mineral phosphate on soil microbial activity and productivity of pea plants under Toshka conditions. Alexandria Science Exchange Journal, 41(october-december), pp.489-511.
- El-Shabasi, M. S., S. M. Mohamed, and S. A. Mahfouz. 2005. *Effect of foliar spray with amino acids on growth, yield and chemical composition of garlic plants*. The 6th Arabian Conf. for Hort. Ismailia, Egypt.
- Engin V.T. 2013. The evaluation of Turkish leonardites, PhD Thesis, Dokuz Eylul University, Science Institute, Izmir-Turkey, p.119.
- Ertani, A., Cavani L., Pizzeghello D., Brandellero E., Altissimo A., Ciavatta C., and Nardi S. 2009. Biostimulant activity of two protein hydrolyzates in the growth and nitrogen metabolism of maize seedlings. Journal of plant nutrition and soil science 172:237-244.
- Ertani, A., Pizzeghello, D., Altissimo, A. and Nardi, S., 2013a. Use of meat hydrolyzate derived from tanning residues as plant biostimulant for hydroponically grown maize. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *176*(2), pp.287-295.
- Ertani, A., Schiavon, M., Muscolo, A. and Nardi, S., 2013b. Alfalfa plant-derived biostimulant stimulate short-term growth of salt stressed Zea mays L. plants. *Plant and soil*, *364*, pp.145-158.
- Ertani, A., Schiavon, M., Muscolo, A., and Nardi, S. 2015. Alfalfa plant-derived biostimulant stimulate short-term growth of salt stressed Zea mays L. plants. Plant oil. 364(1–2):145–58.
- Eyheraguibel, B., Silvestre, J., Morard, P. 2008. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. Biores. Technol. 99, 4206-4212.
- Fahramand M, Moradi H, Noori M, Sobhkhizi A, Adibian M,Abdollahi S and Rigi K. 2014. Influence of humic acid on increased yield of plants and soil properties. International Journal of Farming and Allied Sciences 3(3): 339–41
- FAO. 2018. Plant growth regulators (item). FAO statistics. http://www.fao.org/faostat/en/?#search/Plant-Growth%20Regulator.
- FAO. *The Impact of Disasters and Crises on Agriculture and Food Security: 2021*; Report; FAO, Rome, Italy, 2021.
- Farooq, M.; Nawaz, A.; Chaudhry, M.; Indrasti, R.; Rehman, A. Improving resistance against terminal drought in bread wheat by exogenous application of proline and gamma-aminobutyric acid. *J. Agron. Crop Sci.* 2017, *203*, 464–472.
- Garcia, C., Hernandez, T., Pascual, J.A., Moreno, J.L., Ros, M., 2000. Microbial activity in soils of SE Spain exposed to degradation and desertification processes. Strategies for their rehabilitation. p. 93-143. In C. Garcia and M.T. Hernandez (ed.) Research and perspectives of soil enzymology in Spain. CEBAS-CSIC, Spain.
- Geisseler, D., W. R., Horwath, R. G. Joergensen, and B. Ludwig. 2010. Pathways of nitrogen utilization by soil microorganisms a review. *Soil Biol Biochem*. 42: 2058-2067.
- Ghasemi, S., A. H. Khoshgoftarmanesha, M. Afyuni, and H. Hadadzadeh. 2013. The effectiveness of

foliar applications of synthesized zinc-amino acid chelates in comparison with zinc sulfate to increase yield and grain nutritional quality of wheat. Europ J Agron. 45: 68-74.

- González, A., Castro, J., Vera, J. and Moenne, A., 2013. Seaweed oligosaccharides stimulate plant growth by enhancing carbon and nitrogen assimilation, basal metabolism, and cell division. *Journal of Plant Growth Regulation*, *32*, pp.443-448.
- Guinan, K.J., Sujeeth, N., Copeland, R.B., Jones, P.W., O'Brien, N.M., Sharma, H.S.S., Prouteau, P.F.J., and O'Sullivan, J.T. 2018. Discrete Roles for Extracts of *Ascophyllum nodosum* in Enhancing Plant Growth and Tolerance to Abiotic and Biotic Stresses. Acta Hortic. 1009: 127-135.
- Gull, A.; Lone, A.A.; Wani, N.U.I. Biotic and Abiotic Stresses in Plants. In *Abiotic and Biotic Stress in Plants*; de Oliveira, A.B., Ed.;IntechOpen: Rijeka, Croatia, 2019; Chapter 1.
- Guminski, S., Sulej, J., Glabiszewski, J.J., 1983. Influence of sodium humate on the uptake of some ions by tomato seedlings. Acta Soc. Bot. Poloniae. 52, 149-164.
- Gunes¸ A., A. ˙Inal, and M. Aktas. 1996. Reducing nitrate content of NFT grown winter onion plants (*Allium cepa*) by partial replacement of NO3 with amino acid in nutrient solution. *Sci. Hortic*. 65: 203–208.
- Haider, I., Raza, M.A.S., Iqbal, R., Ahmad, S., Aslam, M.U., Israr, M., Riaz, U., Sarfraz, M., Abbas, N., Abbasi, S.H. and Abbas, Z., 2021. Alleviating the Drought Stress in Wheat (Triticum aestivum L.) by Foliar Application of Amino Acid and Yeast. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, *34*(1).
- Halpern, M., Bar-Tal, A., Ofek, M., Minz, D., Muller, T. and Yermiyahu, U., 2015. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. *Advances in agronomy*, *130*, pp.141-174.
- Hayat, S.; Hayat, Q.; Alyemeni, M.N.; Wani, A.S.; Pichtel, J.; Ahmad, A. Role of proline under changing environments: A review.*Plant Signal. Behav.* 2012, *7*, 1456–1466.
- Hoque, M. A., M. N. A. Banu, E. Okuma, K. Amako, Y. Nakamura, Y. Shimoishi, and Y. Murata. 2007. Exogenous proline and glycinebetaine ingresses NaCl-induced ascorbate glutathione cycle enzyme activities and proline improves salt tolerance more than glycinebetaine in tobacco Bright yellow-2 suspension- cultured cells. *J. Plant Physiol.* 164: 553-561.
- Hossain, M.A.; Kumar, V.; Burritt, D.J.; Fujita, M.; Mäkelä, P. Osmoprotectant-mediated abiotic stress tolerance in plants. In *Proline Metabolism and Its Functions in Development and Stress Tolerance*; Springer Nature: Cham, Switzerland, 2019; pp. 41–72.
- Hosseinifard, M., Stefaniak, S., Ghorbani Javid, M., Soltani, E., Wojtyla, Ł. and Garnczarska, M., 2022. Contribution of exogenous proline to abiotic stresses tolerance in plants: a review. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(9), p.5186.
- Hua-long, L.; Han-jing, S.; Jing-guo, W.; Yang, L.; De-tang, Z.; Hong-wei, Z. Effect of seed soaking with exogenous proline on seed germination of rice under salt stress. *J. Northeast Agric. Univ.* 2014, *21*, 1–6.
- Huang, B., 2000. Role of root morphological and physiological characteristics in drought resistance of plants. In Plant-environment interactions (pp. 57-82). CRC Press.
- ISO.2015. ISO/TC 134, Fertilizers, soil conditioners and beneficial substances. ISO 8157:2022. https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:8157:ed-3:v1:en.
- JACKSON J.A., MEHL J.P., NEUENDORF K.E., 2008, Glossary of Geology, American Geological Institute, p.800.
- Jamil, M.; Kharal, M.A.; Ahmad, M.; Abbasi, G.H.; Nazli, F.; Hussain, A.; Akhtar, M.F.u.Z. Inducing salinity tolerance in red pepper (*Capsicum annuum* L.) through exogenous application of proline and L-tryptophan. *Soil Environ.* 2018, *37*, 160–168.
- Jarukas, L., Ivanauskas, L., Kasparaviciene, G., Baranauskaite, 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.

- Joshi, N., Parewa, H.P., Joshi, S., Sharma, J.K., Shukla, U.N., Paliwal, A. and Gupta, V., 2021. Use of microbial biostimulants in organic farming. *Advances in Organic Farming*, pp.59-73.
- Jurgen, Z. 2013. New insights into the regulation of plant immunity by amino acid metabolic pathways. *Plant, Cell and Environment.* 36: 2085–2103.
- Kahraman A. 2017. Effect of humic acid applications on the yield components in chickpea. Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University 34(1): 218–22
- Kamara, A.Y., Menkir, A., Badu-Apraku, B. and Ibikunle, O., 2003. The influence of drought stress on growth, yield and yield components of selected maize genotypes. The journal of agricultural science, 141(1), pp.43-50.
- Kandil, H., 2014. Response of pea plants (*Pisum sativum* L.) to phosphorus levels and humic acid levels. Plant nutrition Dept. National Research CentralDokki.
- Kavitha, M.P., Ganesaraja, V. and Paulpandi, V.K., 2008. Effect of foliar spraying of seaweed extract on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). *Agricultural Science Digest*, *28*(2), pp.127-129.
- Kaya, M.U.H.A.R.R.E.M., Atak, M.E.H.M.E.T., Khawar, K.M., Çiftçi, C.Y. and Özcan, .E.B.A.H.A.T.T.I.N., 2005. Effect of pre-sowing seed treatment with zinc and foliar spray of humic acids on yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Int. J. Agric. Biol, 7(6), pp.875-878.
- Kelleher, B.P. and Simpson, A.J., 2006. Humic substances in soils: are they really chemically distinct?. *Environmental science & technology*, *40*(15), pp.4605-4611.
- Keutgen, A. and E. Pawelzik. 2008. Contribution of amino acids to strawberry fruit quality and their relevance as stress indicators under NaCl salinity. *Food Chem.* 111: 642-647.
- Khaled H and Fawy H A. 2011. Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. Soil and Water Research 6(1): 21–29.
- Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S., Jithesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M., Critchley, A.T., Craigie, J.S., Norrie, J. and Prithiviraj, B., 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of plant growth regulation*, *28*, pp.386-399.
- Khattak, R.A. and Muhammad, D., 2006. Effect of Pre-sowing seed treatments with humic acid on seedling growth and nutrient uptake. Internship Report, Department of Soil and Environmental Science, NWFP Agriculture University, Peshawar.
- King, B. J., M. Y. Siddiqi, T. J. Ruth, R. L. Warner, and A. D. Glass. 1993. Feedback regulation of nitrate influx in barley roots by nitrate, nitrite, and ammonium. *Plant Physiol.* 102: 1279–1286.
- Kirk, G. J. D. (2004). The Biogeochemistry of Submerged Soils. John Wiley & Sons.
- Klüpfel, L., Piepenbrock, A., Kappler, A. and Sander, M., 2014. Humic substances as fully regenerable electron acceptors in recurrently anoxic environments. Nature Geoscience, 7(3), pp.195-200.
- Kononowa M.M., 1966. Soil Organic Matter. Pergamon, Oxford.
- Kranner, I., Minibayeva, F.V., Beckett, R.P. and Seal, C.E., 2010. What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science. New Phytologist, 188(3), pp.655-673.
- Krupińska, I., 2017. Effect of organic substances on the efficiency of Fe (II) to Fe (III) oxidation and removal of iron compounds from groundwater in the sedimentation process. Civil and Environmental Engineering Reports.
- Kulikowska, D. and Bernat, K., 2022. Composting of municipal sewage sludge and lignocellulosic waste: nitrogen transformations and humic substances molecular weight. Energies, 16(1), p.376.
- Kumar, B., Pandey, D.M., Goswami, C.L. and Jain, S., 2001. Effect of growth regulators on photosynthesis, transpiration and related parameters in water stressed cotton. Biologia Plantarum, 44, pp.475-478.
- Lakhdar, A., Rabhi, M., Ghnaya, T., Montemurro, F., Jedidi, N., Abdelly, C., 2009. Effectiveness of compost use in salt-affected soil. J. Hazard. Mater. 171, 29-37

- Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S.K. and Becker, D.F., 2013. Proline mechanisms of stress survival. *Antioxidants & redox signaling*, *19*(9), pp.998-1011.
- Lindsay, W.L., 1981. Chemical equilibria in soils (p. 449pp).
- Linehan, D.J., 1976. Some effects of a fulvic acid component of soil organic matter on the growth of cultured excised tomato roots. S. Biol. Biochem. 8, 511-517.
- Lobartini, J.C., Orioli, G.A., Tan, K.H., 1997. Characteristics of soil humic acid fractions separated by ultrafiltration, Commun. Soil Sci. and Plant Anal. 28, 787-796.
- Lovley, D. R., Coates, J. D., Blunt-Harris, E. L., Phillips, E. J. P., & Woodward, J. C. (1996). Humic substances as electron acceptors for microbial respiration. Nature, 382, 445–448. https://doi.org/10.1038/382445a0
- Machado, R.M.A., T. Campos. 2013. Effect of nitrogen source on soil nitrate concentration and plant biomass, and quality of intermediate-day onions. In: NUTRIHORT: Nutrient Management, Innovative Techniques and Nutri-ent Legislation in Intensive Horticulture for an Improved Water Quality. PP. 365–369.
- Machado, V.P.D.O., Pacheco, A.C., and Carvalho, M.E.A. 2014. Effect of biostimulant application on production and flavonoid content of marigold (Calendula officinalis L.). Rev. Ceres. 61: 983-988.
- Mady, M.A. 2009. Effect of foliar application with yeast extract and zinc on fruit setting and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). J. Biol Chem. Environ. Sci. 4: 109-127.
- Maggioni, A., Varanini, Z., Nardi, S., Pinton, R., 1987. Action of soil humic matter on plant roots: Stimulation of ion uptake and effects on (Mg2+ K+) ATPase activity. Sci. Tot. Environ. 62, 355-363.
- Mahboob, W.; Khan, M.A.; Shirazi, M. Induction of salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings through exogenous application of proline. *Pak. J. Bot* 2016, *48*, 861–867
- Mali, P. C. and S. L. Mehta. 1977. Effect of drought on enzyme and free proline in rice varieties. *Phytochemistry*. 16: 1355-1358.
- Marschner, P. (2012). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (3rd ed.). Academic Press.
- Martin, H. 2011. Nectar: generation, regulation and ecological functions. *Trend Plant Sci*, 16(4): 191-200.
- Martínez, J.P., Silva, H.F.L.J., Ledent, J.F. and Pinto, M., 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (Phaseolus vulgaris L.). European journal of agronomy, 26(1), pp.30-38.
- Masciandaro, G., Ceccanti, B., Ronchi, V., Benedicto, S., Howard, L., 2002. Humic substances to reduce salt effect on plant germination and growth. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 33, 365-378.
- Mazahery-Laghab, H., Nouri, F. and Abianeh, H.Z., 2003. Effects of the reduction of drought stress using supplementary irrigation for sunflower (*Helianthus annuus*) in dry farming conditions.
- Mohamed, A. and El-Hamed, A.S., 2020. Efficiency of humic acid on wheat productivity and some soil properties under no-tillage system and water irrigation shortage. Fayoum Journal of Agricultural Research and Development, 34(2), pp.66-80.
- Monneveux, P., Sanchez, C., Beck, D. and Edmeades, G.O., 2006. Drought tolerance improvement in tropical maize source populations: evidence of progress. Crop science, 46(1), pp.180-191.
- Montemurro, F., Maiorana, M., Convertini, G., Ferri, D., 2007. Alternative sugar beet production using shallow tillage and municipal solid waste fertiliser. Agron. Sustain. Dev. 27, 129-137.
- Mora, V., Bacaicoa, E., Zamarreño, A. M., Aguirre, E., Garnica, M., Fuentes, M., & García-Mina, J. M. 2010. Action of humic acid on promotion of cucumber shoot growth involves nitrate-related changes associated with the root-to-shoot distribution of cytokinins, polyamines and mineral

nutrients. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 173(6), 905–913. https://doi.org/10.1002/jpln.200900287

- Muhammad, S., Shaukat, M., Yasin, M., Mahmood, A., Javaid, M.M., Al-Sadoon, M.K., Głowacka, A. and Ahmed, M.A., 2023. Compost and humic acid amendments are a practicable solution to rehabilitate weak arid soil for higher winter field pea production. Scientific Reports, 13(1), p.17519.
- Musgrave, M.E., 1994. Cytokinins and oxidative processes. p. 167-178. In: D.W.S. Mokand M.C. Mok (ed.) Cytokinins: Chemistry, activity and function. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
- Nardi, S., Concheri, G., Dell'Agnola, G., 1996. Biological activity of humus. In: Piccolo A, ed. Humic Substances in Terrestrial Ecosystems. The Netherlands: Elsevier. pp. 361-406.
- Nardi, S., Concheri, G., Pizzeghello, D., Sturaro, A., Rella, R., & Parvoli, G. 2021. Humic substances and plant defense metabolism. Frontiers in Microbiology, 12, 719653. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.719653
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., Vianello, A., 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. Soil Biol. Biochem. 34, 1527-1536.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Schiavon, M. and Ertani, A., 2016. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*, *73*(1), pp.18-23.
- Narro, S., N. Y amaguchi, and Y. Yokoo. 1981. Studieson natural antioxidants. II. Antioxidative activitiesof vegetables of Alliumspecies. *J Japan Soc*. 28: 291-296.
- Nayyar, H., Kaur, S., Singh, S. and Upadhyaya, H.D., 2006. Differential sensitivity of Desi (small-seeded) and Kabuli (large-seeded) chickpea genotypes to water stress during seed filling: effects on accumulation of seed reserves and yield. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *86*(13), pp.2076-2082.
- Nayyar, H., Kaur, S., Singh, S. and Upadhyaya, H.D., 2006. Differential sensitivity of Desi (small□seeded) and Kabuli (large□seeded) chickpea genotypes to water stress during seed filling: effects on accumulation of seed reserves and yield. Journal of the Science of Food and Agriculture, 86(13), pp.2076-2082.
- Nguyen, H.C.; Lin, K.H.; Ho, S.L.; Chiang, C.M.; Yang, C.M. Enhancing the abiotic stress tolerance of plants: From chemical treatment to biotechnological approaches. *Physiol. Plant*. 2018, *164*, 452–466.
- Nowack, B. and U. Baumann. 1998. Biodegradation of the photolysis products of Fe (III) EDTA. *Acta Hydroch Hydrob*. 26: 104-108.
- Ogbonnaya, C.I., Sarr, B., Brou, C., Diouf, O., Diop, N.N. and Roy-Macauley, H., 2003. Selection of cowpea genotypes in hydroponics, pots, and field for drought tolerance. *Crop Science*, *43*(3), pp.1114-1120.
- Ogbonnaya, C.I., Sarr, B., Brou, C., Diouf, O., Diop, N.N. and Roy□Macauley, H., 2003. Selection of cowpea genotypes in hydroponics, pots, and field for drought tolerance. Crop Science, 43(3), pp.1114-1120.
- Okuma, E., K. Soeda, M. Tada, and Y. Murata. 2000. Exogenous proline mitigates the inhibition of growth of Nicotiana tabacum cultured cells under saline conditions. *Soil Sci. Plant Nut.* 46: 257–263.
- Olk, D. C., Datta, A., & Dick, R. P. 2019. Environmental and agricultural relevance of humic fractions extracted by alkali from soils and natural waters. *Journal of Environmental Quality*, 48(2), 217–232. https://doi.org/10.2134/jeq2019.02.0041
- Omari Alzahrani, F., 2021. Metabolic engineering of osmoprotectants to elucidate the mechanism (s) of salt stress tolerance in crop plants. Planta, 253(1), p.24. *Pak. J. Bot*. 2018, *50*, 1735–1744

- Orlova, O.V., Arkhipchenko, I.A., 2009. Humic substances of composts from municipal Solid wastes as a promising plant growth stimulator. Russ. Agr. Sci. 35, 175-178.
- Ouni, Y., Ghnaya, T., Montemurro, F., Abdelly, C. and Lakhdar, A., 2014. The role of humic substances in mitigating the harmful effects of soil salinity and improve plant productivity.
- Paksoy, M., Türkmen, Ö. Dursun, A., 2010. Effects of potassium and humic acid on emergence, growth and nutrient contents of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) seedling under saline soil conditions. Afr. J. Biotechnol. 9, 5343-5346.
- Paschalidis, A. K. and A. K. Roubelakis-Angelakis. 2005. Sites and regulation of polyamine catabolism in the tobacco plant. Correlation with cell division/expansion, cell cycle progression and vascular development. *Plant Physiol.* 138: 2174-2184.
- Paul, K., Sorrentino, M., Lucini, L., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Bonini, P., Moreno, M.B.M., Reynaud, H., Canaguier, R., and Trtílek, M. 2019. A combined phenotypic and metabolomic approach for elucidating the biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate on tomato grown under limited water availability. Front. Plant Sci. 10:493.
- Perez-Aflocea, F., M. T. Estan, M. Caro, and G. Guerrier. 1993. Osmotic adjustment in *Lycopersicon esculentum* and *Lycopersicon pennellii* under sodium chloride and polyethylene glycol 6000 iso-osmotic stress. *Physiol. Plantarum.* 87: 493-498.
- Piccolo A, Pietramellara G and Mbagwu J S C. 1996. Effects of coal-derived humic substances on water retention and structural stability of Mediterranean soils. Soil Use and Management 12(4): 209–13
- Piccolo, A. and Spiteller, M., 2003. Electrospray ionization mass spectrometry of terrestrial humic substances and their size fractions. *Analytical and bioanalytical chemistry*, *377*, pp.1047-1059.
- Piccolo, A., Celano, G., Pietramellara, G., 1993. Effects of fractions of coal-derived humic substances on seed germination and growth of seedlings (Lactuga sativa and Lycopersicum esculentum). Biol. Fertil. Soil. 16, 11-5.
- Piccolo, A., Conte, P., Trivellone, E., van Lagen, B. and Buurman, P., 2002. Reduced heterogeneity of a lignite humic acid by preparative HPSEC following interaction with an organic acid. Characterization of size-separates by Pyr-GC-MS and 1H-NMR spectroscopy. *Environmental science & technology*, *36*(1), pp.76-84.
- Pinali, N., and Kaplan, M. 2003. Investigation of effect on nutrient uptake of humic acid applications of different forms to strawberry plant. J. Plant Nutri. 26: 835-843.
- Pinton, R., Varanini, Z., Vizotto, G., Maggioni, A., 1992. Soil humic substances affect transport properties of tonoplast vesicles isolated from oak roots. Plant Soil. 142, 203-210.
- Ponnamperuma, F. N. (1972). The chemistry of submerged soils. Advances in Agronomy, 24, 29–96. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60633-1
- Priya, M.; Sharma, L.; Singh, I.; Bains, T.; Siddique, K.H.; Bindumadhava, H.; Nair, R.M.; Nayyar, H. Securing reproductive function in mungbean grown under high temperature environment with exogenous application of proline. *Plant Physiol. Biochem.* 2019, *140*, 136–150.
- Qirat, M.; Shahbaz, M.; Perveen, S. Beneficial role of foliar-applied proline on carrot (*Daucus carota* L.) under saline conditions. *Pak. J. Bot.* 2018, *50*, 1735–1744
- Rady, A.A., 2012. A novel organo-mineral fertilizer can mitigate salinity stress effects for tomato production on reclaimed saline soil. South Afr. J. Bot. 81, 8-14.
- Rady, M.M.; Hemida, K.A. Sequenced application of ascorbate-proline-glutathione improves salt tolerance in maize seedlings. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2016, *133*, 252–259.
- Rai, V. K. 2002. Role of amino acids in plant responses to stresses. *Biol. Plantarum.* 45: 481-487.
- Rajagopal, V. and S. K. Sinha. 1980. Influence of exogenously supplied proline on relative water content in wheat and barley. *Indian J. Exp. Biol.* 18: 1523-1524.

- Rajpar I, Bhatti, M B, Zia-ul-Hassan A N and Tunio S D. 2011.Humic acid improves growth, yield, and oil content of Brassica compestris (L.). Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences 27(2): 125–33
- Rashad, E. S. M., H. M. El-Abagg, and A. A. Amin. 2003. Physiological effects of some bioregulators on growth and productivity of two broad bean cultivars. *Egypt. J. Appl. Sci.* 18: 132–149.
- RATANAPROMMANEE C., SHUTSRIRUNG A., 2014, X-Ray and Scanning Electron Microscope Characterization of Leonardite, International Graduate Research Conferance, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Thailand, pp.113-117.
- Ratanaprommanee C., Shutsrirung A., 2014, X-Ray and Scanning Electron Microscope Characterization of Leonardite, International Graduate Research Conference, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Thailand, pp.113-117.
- Rauthan, B.S., Schnitzer, M., 1981. Effects of soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber (*Cucumus sativus*) plants. Plant Soil. 63, 491-495.
- Raychev, T., Popandova, S., Józefaciuk, G., Hajnos, M., Sokoowska, Z., 2001. Physicochemical reclamation of saline soils using coal powder. Int. Agrophysics. 15, 51-54.
- Römheld, V., Neumann, G., 2006. The Rhizosphere: Contributions of the soil-Root Interface to Sustainable Soil Systems. In: Uphoff, N. et al. (ed.) Biological Approaches to Sustainable Soil Systems. CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 91-107.
- Rose, M.T., Patti, A.F., Little, K.R., Brown, A.L., Jackson, W.R. and Cavagnaro, T.R., 2014. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. *Advances in agronomy*, *124*, pp.37-89.
- Roulia, M. 2022. Humic Substances: A Novel Eco-Friendly Fertilizer. Agronomy. 12, 754.
- Saar, R.A. and Weber, J.H., 1982. Fulvic acid: modifier of metal-ion chemistry. *Environmental science & technology*, *16*(9), pp.510A-517A.
- Sadeghipour, O. Cadmium toxicity alleviates by seed priming with proline or glycine betaine in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Egypt. J. Agron.* 2020, *42*, 163–170.
- Saha, R., Saieed, M.A.U. and Chowdhury, M.A.K., 2013. Growth and yield of rice (Oryza sativa) as influenced by humic acid and poultry manure. Universal Journal of Plant Science, 1(3), pp.78-84.
- Samarah, N.H., 2005. Effects of drought stress on growth and yield of barley. *Agronomy for sustainable development*, *25*(1), pp.145-149.
- Samarah, N.H., 2005. Effects of drought stress on growth and yield of barley. Agronomy for sustainable development, 25(1), pp.145-149.
- Samarah, N.H., Mullen, R.E., Cianzio, S.R. and Scott, P., 2006. Dehydrin-Like Proteins in Soybean Seeds in Response to Drought Stress during Seed Filling. *Crop science*, *46*(5), pp.2141-2150.
- Samson, G., Visser, S.A., 1989. Surface-active effects of humic acids on potato cell membrane properties, Soil Biol. Biochem. 21, 343-347.
- Santa-Cruz, A., M. Acosta, F. Pérez-Alfocea, M. C. Bolarin. 1997. Changes in free polyamine levels induced by salt stress in leaves of cultivated and wild tomato species. *Physiol. Plant*. 101: 341–346.
- Sarojnee, D. Y., B. Navindra and S. Chandrabose, 2009. Effect of naturally occurring amino acid stimulants on the growth and yield of hot peppers (*Capsicum annum* L.). *J Animal Plant Sci.* 5(1): 414-424.
- Sarwar, M., and Frankenberger, W.J. 1994. Influence of L-tryptophan and auxins applied to the rhizosphere on the vegetative growth of (*Zea mays* L.). Plant and Soil. 160:97-104.
- Savvides, A., Ali, S., Tester, M. and Fotopoulos, V., 2016. Chemical priming of plants against multiple abiotic stresses: mission possible?. Trends in plant science, 21(4), pp.329-340.
- Schnitzer M., Khan S. U., 1972. Humic substances in the environment. Marcel Dekker, New York, 37-43.

- Schnitzer, M., Poapst, P.A., 1967. Effects of a soil humic compound on root initiation. Nature. 213, 598-599.
- Schulten H.R., Plage B., Schnitzer M., 1991. A chemical structure for humic substances. Naturwissenschaften, 78, 311-312.
- Sellamuthu K M and Govindaswamy M. 2003. Effect of fertilizer and humic acid on rhizosphere microorganisms and soil enzymes at an early stage of sugarcane growth. Sugar Technology 5(4): 273–77.
- Shaddad, M. The effect of proline application on the physiology ofraphanus sativus plants grown under salinity stress. *Biol. Plant.* 1990, *32*, 104–112.
- Shahbaz, M.; Mushtaq, Z.; Andaz, F.; Masood, A. Does proline application ameliorate adverse effects of salt stress on growth, ions and photosynthetic ability of eggplant (*Solanum melongena* L.)? *Sci. Hortic.* 2013, *164*, 507–511.
- Sharma, A., Shankhdhar, D. and Shankhdhar, S.C., 2013. Enhancing grain iron content of rice by the application of plant growth promoting rhizobacteria.
- Shen, M., B. Zhai, H. Dong, and J. Li. 1982. Studies on nitrate accumulation in vegetable crops. I. Evaluation of nitrate and nitrite in different vegetables. *Acta Hort. Sin*. 9: 41–48.
- Shepherd, A., McGinn, S.M. and Wyseure, G.C.L., 2002. Simulation of the effect of water shortage on the yields of winter wheat in North-East England. Ecological Modelling, 147(1), pp.41-52.
- Simon-Grao, S., Garcia-Sanchez, F., Alfosea-Simon, M., Simon, I., Lidon, V., and Ortega, W.M.R. 2016. Study on the foliar application of fitomare® on drought tolerance of tomato plants. International Journal of Plant Animal and Environmental Sciences. 6: 15-21.
- Sinaki, J.M., Heravan, E.M., Rad, A.S., Noormohammadi, G.H. and Zarei, G.H., 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (Brassica napus L.).
- Sinaki, J.M., Heravan, E.M., Rad, A.S., Noormohammadi, G.H. and Zarei, G.H., 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (Brassica napus L.).
- Singh, B. P., Cowie, A. L., & Smernik, R. J. 2010. Biochar carbon stability in a clayey soil as a function of feedstock and pyrolysis temperature. Soil Biology & Biochemistry, 42(9), 1411–1417. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.05.006
- Singh, M.; Kumar, J.; Singh, S.; Singh, V.P.; Prasad, S.M. Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: A review. *Rev. Environ. Sci. Bio Technol.* 2015, *14*, 407–426.
- Singh, M.; Singh, A.; Nehal, N.; Sharma, N. Effect of proline on germination and seedling growth of rice (Oryza sativa L.) under salt stress. *J. Pharmacogn. Phytochem.* 2018, *7*, 2449–2452.
- Singh, T. N., D. Asponall, and L. G. Paleg. 1972. Proline accumulation and varietal adaptation to drought in barley a potential metabolic measure of drought resistance. *Nat. New. Biol.* 236: 188-190.
- Stevenson, F. J. (1994). Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Sutton, R., and Sposito G. 2005. Molecular Structure in soil humic substances: the new view. Environmental Science & Technology 39:9009–9015**.**
- Swift R.S., 1989. Molecular weight, size, shape and charge characteristics of humic substances: some basic considerations. In: M.H.B. Hayes, P. MacCarthy, R. Malcolm, R. Swift (eds.), Humic substances II. In search of strusture, John Wiley & Sons, New York, 450-464.
- Takahashi, M., Terada, Y., Nakai, I., Nakanishi, H., Yoshimura, E., Mori, S., and Nishizawa, N. K. 2003. Role of nicotianamine in the intracellular delivery of metals and plant reproductive development. The Plant Cell. 15: 1263-1280.
- Tan, K. H. 1985. Scanning Electron Microscopy of Humic Matter as Influenced by Methods of Preparation. Soi Sci. Soc. Am. J., 49, 1185-

- 1191.https://doi.org/10.2136/sssaj1985.03615995004900050023x, 1985.
- Tan, K.H., 2014. Humic matter in soil and the environment: principles and controversies. CRC Press.
- Tattini, M., Bertoni, P., Landi A., Traversi, M.L., 1991. Effect of humic acids on growth and biomass partition of container grown olive plant. Acta Hortic. 294, 75-80.
- Tchiadje, N.F.T., 2007. Strategies to reduce the impact of salt on crops (rice, cotton and chilli) production: A case study of the tsunami-affected area on India. Desalination. 206, 524-530.
- Thakur, P. S. and V. K. Rai. 1982. Dynamics of amino acid accumulation in two differentially drought resistant Zea mays cultivars in response to osmotic stress. *Environ. Exp. Bot*. 22: 221-226.
- Thakur, S.K., Goswami, K., Kumar, A., Bhattacharjee, S. and Eswaran, S.V., 2023. Gwal pahari acid: Isolation, characterization of a new soil based plant growth promoting humic acid. Sustainable Development Research, 5(1), pp.p44-p44.
- Thimann, K.V., 1987. Plant senescence: A proposed integration of the constituent processes. p. 1-19. In: W.W. Thomson and E.A. Nothnagel (ed.) Plant senescence: Its biochemistry and physiology. Amer. Soc. Plant Physiol. Rockville, MD.
- Thomann, C., 1964. Les différentes fractions humiques de quelques sols tropicaux de l'Ouest africain. Cahiers de Pédologie O.R.S.T.O.M., 2 (3), 48-79.
- Trevisan, S., Francioso, O., Quaggiotti, S., Nardi, S., 2010. Humic substances biological activity at the plant-soil interface. Plant Signal. Behav. 5, 1-9.
- Türkmen, O., Demir, S., Sensoy, S., Dursun, A., 2005. Effects of arbuscular mycorrhizal fungus and humic acid on seedling development and nutrient content of pepper grown under saline soil conditions. J. Biol. Sci. 5, 568-574.
- Türkmen, Ö., Dursun, A., Turan, M., Erdinç, C., 2004. Calcium and Humic Acid Affect Seed Germination, Growth and Nutrient Content of Tomato (Lycopersicon esculentum L.) Seedlings Under Saline Soil Conditions. Acta Agr. Scan B-S-P. 54, 168-174.
- Türkmen, Ö., Şensoy, S., and Erdal, İ. 2000. Effect of Potassium on Emergence and Seedling Growth of Cucumber Grown in Salty Conditions. Yuzuncu Yil University, J. Agric. Sci. 10: 113-117.
- Tyree, M. T., C. R. Wescot, C. A. Tabor, and A. D. Morse. 1992. Diffusion and electric mobility of KCl within isolated cuticles of Citrus aurantium. *Plant Physiol*. 99: 1057-1061.
- 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. Chem. Biol. Technol. Agric. 4(5): 1-12.
- Van Overbeek, J. 1966. Plant Hormones and Regulators: Gibberellins, cytokinins, and auxins may regulate plant growth via nucleic acid and enzyme synthesis. Science. 152: 721-731.
- Varanini, Z., Pinton, R., 1995. Humic substances and plant nutrition, In: U. Lüttge (ed.), Progress in Botany, Vol. 56, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany, pp. 97-117.
- Vaughan, D., McDonald, I.R., 1971. Effects of humic acid on protein synthesis and ion uptake in beet discs. J. Exp. Bot. 22, 400-410.
- Venegas-Molina, J., Proietti, S., Pollier, J., Orozco-Freire, W., Ramirez-Villacis, D. and Leon-Reyes, A., 2020. Induced tolerance to abiotic and biotic stresses of broccoli and Arabidopsis after treatment with elicitor molecules. Scientific reports, 10(1), p.10319.
- Vranova, V., Rejsek, K., Skene, K.R. and Formanek, P., 2011. Non-protein amino acids: plant, soil and ecosystem interactions. *Plant and Soil*, *342*, pp.31-48.
- Wally, O.S., Critchley, A.T., Hiltz, D., Craigie, J.S., Han, X., Zaharia, L.I., Abrams, S.R. and Prithiviraj, B., 2013a. Regulation of phytohormone biosynthesis and accumulation in Arabidopsis following treatment with commercial extract from the marine macroalga Ascophyllum nodosum. *Journal of plant growth regulation*, *32*, pp.324-339.
- Wally, O.S., Critchley, A.T., Hiltz, D., Craigie, J.S., Han, X., Zaharia, L.I., Abrams, S.R. and Prithiviraj, B., 2013b. Erratum to: regulation of phytohormone biosynthesis and accumulation in

arabidopsis following treatment with commercial extract from the marine macroalga ascophyllum nodosum. *J. Plant Growth Regul*, *32*(2), pp.340-341.

- Wang, H. J., L. H. Wu, M. Y. Wang, Y. H. Zhu, Q. N. Tao, and F. S. Zhang. 2007. Effects of amino acids replacing nitrate on growth, nitrate accumulation, and macroelement concentrations in pak-choi (*Brassica chinensis* L.). *Pedosphere*. 17: 595–600.
- Wang, W., Vinocur, B. and Altman, A., 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. Planta, 218, pp.1-14.
- Wang, W.H., Bray, C.M., Jones, M.N., 1999. The fate of 14C-labelled humic substances in rice cells in cultures. J. Plant Physiol. 154, 203-211.
- Wani, A.; Ahmad, A.; Hayat, S.; Tahir, I. Is foliar spray of proline sufficient for mitigation of salt stress in Brassica juncea cultivars? *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2016, *23*, 13413–13423.
- Waqas, M., Ahmad, B., Arif, M., Munsif, F., Khan, A.L., Amin, M., Kang, S.M., Kim, Y.H. and Lee, I.J., 2014. Evaluation of humic acid application methods for yield and yield components of mungbean. *American Journal of Plant Sciences*, *2014*.
- Waqas, M., Ahmad, B., Arif, M., Munsif, F., Khan, A.L., Amin, M., Kang, S.M., Kim, Y.H. and Lee, I.J., 2014. Evaluation of humic acid application methods for yield and yield components of mungbean. American Journal of Plant Sciences, 2014.
- Wenke, L., D. Lianfeng, and Y. Qichang. 2009. Biogas slurry added amino acids decreased nitrate concentrations of lettuce in sand culture. *Acta Agric*. 59: 260–264.
- Wiszniewska, A. Priming Strategies for Benefiting Plant Performance under Toxic Trace Metal Exposure. *Plants* 2021, *10*, 623.
- Xia, G., and Yang, J. 2005. Effect of different Ca and Mg levels on uptake of mineral elements by tomato plants and fruits. Northern Horticulture. 2: 44-45.
- Yang, H.L., Hseu, Y.C., Hseu, Y.T., Lu, F.J., Lin, E., Lai, J.S., 2004. Humic acid induces apoptosis in human premyelocytic leukemia HL-60 cells. Life Sci. 75, 1817-1831.
- Zhang, X., Ervin, E.H., 2004. Cytokinin-containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance. Crop Sci. 44, 1737-1745.
- Zhou D., Gu Z., Xie S., Wu L., 1991. Effects of synergism and antagonism between metals on toxicity in soils. Pedosphere, 1, 177-197.
- Zhu, Y. 2002. Tillage and Corn–Soybean Rotation Effects on Nitrate Leaching Mea-sured with Passive Capillary Fiberglass Wick and Zero-Tension Pan Lysimeters. Pennsylvania State University.

## پیوست ۱- فهرست دستورالعمل های تغذیه تلفیقی محصولات زراعی

| ردیف | عنوان | سال انتشار | شابک/شماره نشریه |
|---|---|---|---|
| ۱ | دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گندم | ۱۳۹۴ | ۲-۶۰-۶۰۰۵۷۳۹-۹۷۸ |
| ۲ | دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه جو | ۱۳۹۴ | ۶-۹۷-۹۴۸۳-۶۰۰-۹۷۸ |
| ۳ | دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه برنج | ۱۳۹۴ | ۳-۹۸-۹۴۸۳-۶۰۰-۹۷۸ |
| ۴ | دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه ذرت | ۱۳۹۴ | ۳-۸۰-۹۵۱۶-۶۰۰-۹۷۸ |
| ۵ | دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه کلزا | ۱۳۹۴ | ۳-۶۳-۵۷۳۹-۶۰۰-۹۷۸ |
| ۶ | دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه پنبه | ۱۳۹۴ | ۴-۸۳-۹۵۱۶-۶۰۰-۹۷۸ |
| ۷ | دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه چغندرقند | ۱۳۹۴ | ۰-۹۹-۹۴۸۳-۶۰۰-۹۷۸ |
| ۸ | دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه حبوبات | ۱۳۹۴ | ۲-۹۵-۹۴۸۳-۶۰۰-۹۷۸ |
| ۹ | دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه کنجد | ۱۳۹۸ | ۵۸۹ |
| ۱۰ | دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گلرنگ | ۱۳۹۸ | ۵۸۷ |
| ۱۱ | دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه آفتابگردان | ۱۳۹۵ | ۵۳۹ |
| ۱۲ | راهنمای تغذیه گیاهی در پیاز | ۱۳۹۵ | ۵۴۳ |
| ۱۳ | راهنمای تغذیه گیاهی در خیار مزرعه ای و گلخانه ای | ۱۳۹۵ | ۵۴۲ |
| ۱۴ | مدیریت تغذیه گیاه در زعفران | ۱۳۹۶ | ۵۵۵ |
| ۱۵ | دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه سویا | ۱۳۹۹ | ۵۸۱ |
| ۱۶ | راهنمای تغذیه گیاهی در سیب زمینی | ۱۳۹۵ | ۵۴۵ |
| ۱۷ | مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در زراعت سیر | ۱۳۹۸ | ۵۵۹ |
| ۱۸ | راهنمای مدیریت تغذیه در فلفل شیرین در گلخانه و مزرعه | ۱۳۹۸ | ۵۶۰ |
| ۱۹ | راهنمای تغذیه گیاهی در گوجه فرنگی | ۱۳۹۵ | ۵۴۴ |
| ۲۰ | دستورالعمل مدیریت تلفیقی تغذیه و کوددهی محصول یونجه | ۱۳۹۹ | ۶۰۳ |

آدرس دسترسی به نشریات https://press-swri.areeo.ac.ir

## پیوست ۲- فهرست دستورالعمل های تغذیه تلفیقی محصولات باغی

| ردیف | عنوان | سال انتشار | شماره نشریه |
|---|---|---|---|
| ۱ | دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه درختان پسته | ۱۳۹۶ | ۵-۸۶-۹۵۱۶-۶۰۰-۹۷۸ |
| ۲ | دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه نخل خرما | ۱۳۹۶ | ۲-۸۷-۹۵۱۶-۶۰۰-۹۷۸ |
| ۳ | دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه درخت سیب | ۱۳۹۶ | ۶-۸۹-۹۵۱۶-۶۰۰-۹۷۸ |
| ۴ | راهنمای تغذیه درختان زرشک | ۱۳۹۸ | ۵۸۸ |
| ۵ | راهنمای تغذیه کیوی فروت | ۱۳۹۵ | ۱-۸۴-۹۵۱۶-۶۰۰-۹۷۸ |
| ۶ | دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه درختان مرکبات شمال و جنوب کشور | ۱۳۹۶ | ۰-۰۰-۹۸۰۷-۶۰۰-۹۷۸ |
| ۷ | دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه در درختان زیتون | ۱۳۹۶ | ۹-۸۸-۹۵۱۶-۶۰۰-۹۷۸ |
| ۸ | راهنمای تغذیه درخت عناب | ۱۳۹۸ | ۵۸۴ |
| ۹ | اصول تغذیه و مصرف بهینه کود در باغ های فندق استان قزوین و گیلان | ۱۴۰۲ | ۶۴۷ |
| ۱۰ | راهنمای تغذیه گیاهی انگور | ۱۳۹۶ | ۵۳۹ |

آدرس دسترسی به نشریات https://press-swri.areeo.ac.ir

Ministry of Agriculture Jihad
Agricultrul Research Education and Extention Organization
Soil and Water Research Institute of Iran (SWRI)
Office of Enviroment and Sustainable Development

# FertilizerApplication Guidelines in Accordance with the Soil Conservation Law (Volume Ninth) (Plant Growth Stimulants)






Fereydoun Nourgholipour
Ali Akbar Zare
Mohammad Hadi Mirzapour

2026