



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



## نقش برخی از محرک‌های رشد در ارتقا کارایی مصرف کود

نگارندگان

یعقوب حسینی، عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس  
فریدون نورقلی‌پور، عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

نشریه فنی: 659

1404

---

#### مشخصات اثر

---

عنوان: نقش برخی از محرک‌های رشد در ارتقا کارایی مصرف کود

نگارندگان: یعقوب حسینی و فریدون نورقلی‌پور

ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات اسرار علم

کارشناس انتشارات: سمانه پورمنصور

ویراستار ادبی: آرش تافته

طراح جلد: سید هادی میرغیائی

سال انتشار: 1404

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این نشریه فنی با شماره 68240 در تاریخ 1404/8/10 در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به

ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

---

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

صندوق پستی: 311-31785

کد پستی: 3177993545

تلفن: 026-36201900

نمابر: 02636210121

پست الکترونیکی: info.swri@areeo.ac.ir

وبسایت: <http://www.swri.ir>

---

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارندگان است.

## فهرست مطالب

| صفحه    | عنوان                                                                |
|---------|----------------------------------------------------------------------|
| 1.....  | خلاصه                                                                |
| 1.....  | مقدمه                                                                |
| 5.....  | کارایی مصرف کود                                                      |
| 6.....  | محرك‌های رشد                                                         |
| 7.....  | مواد هیومیکی                                                         |
| 8.....  | طبقه‌بندی، ویژگی‌ها و کاربرد مواد هیومیکی                            |
| 9.....  | اثرات مواد هیومیکی بر عملکرد محصول در سامانه‌های کشت                 |
| 11..... | سازوکارهای تأثیر مواد هیومیکی بر جذب عناصر توسط گیاه                 |
| 13..... | عصاره‌های جلبکی                                                      |
| 15..... | اثر عصاره‌های جلبکی بر رشد گیاه                                      |
| 18..... | اسیدهای آمینه                                                        |
| 19..... | تأثیر اسیدهای آمینه بر جذب عناصر غذایی                               |
| 22..... | ریز جانداران تحریک‌کننده رشد گیاه                                    |
| 23..... | سازوکارهای تأثیر باکتری‌های محرك رشد بر جذب عناصر غذایی و تغذیه گیاه |
| 26..... | نمونه‌هایی از نتایج بررسی تأثیر محرك‌های رشد گیاه بر عملکرد و کارایی |
| 31..... | نتیجه‌گیری و توصیه‌های کاربردی                                       |
| 33..... | منابع                                                                |



## خلاصه

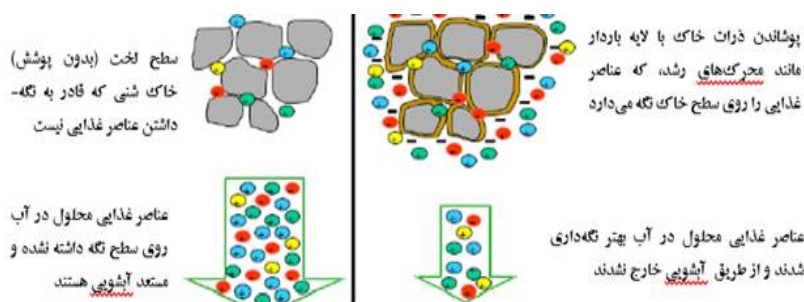
نیاز به افزایش تولید محصولات کشاورزی هم‌زمان با رشد جمعیت و همچنین برنامه‌های توسعه‌ای کشور در سال‌های اخیر، مصرف بیشتر کودهای شیمیایی را به دنبال داشته است. باین وجود کارایی پایین استفاده از کودها، افزون بر بالا بردن هزینه تولید محصولات کشاورزی، نگرانی‌هایی را در بخش کشاورزی، محیط زیست، صنعت و بخش بهداشت به وجود آورده است. این موضوع موجب شده تا کارایی مصرف کودها به‌ویژه کودهای نیتروژنی به‌عنوان چالشی عمده برای کشاورزی جهان مطرح باشد. در صورتی که به طریقی بتوان مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داد و یا کارایی مصرف آنها توسط گیاه را افزایش داد؛ علاوه بر کمک به کاهش آلودگی زیست محیطی و به‌ویژه اراضی کشاورزی، می‌توان انتظار تولید محصول سالم و باکیفیت‌تری را نیز داشت و به دنبال آن سود بیشتری نصیب کشاورز خواهد شد. استفاده از مواد آلی (مواد محرک رشد)، با اتصال به عناصر غذایی سبب پایداری بیشتر و قابلیت استفاده بیشتر آنها می‌شوند و به همین علت کمتر شسته شده و یا به درون هوا آزاد می‌شوند؛ بنابراین می‌توانند کارایی مصرف کود را افزایش دهند. با توجه به وارداتی بودن بخش عمده کودهای حاوی عناصر فسفر و پتاسیم و تنگنانهایی که کشور در سال‌های اخیر در تأمین و واردات این کودها با آن مواجه بوده است، استفاده کارا تر از کودهای گفته شده و همچنین کودهای نیتروژنی (افزایش کارایی مصرف) با استفاده از محرک‌های رشد یک ضرورت می‌باشد.

## مقدمه

گیاهان برای رشد و تکمیل چرخه زندگی خود به 17 عنصر غذایی نیاز دارند؛ به عبارت دیگر این عناصر غذایی برای گیاهان ضروری هستند. تعدادی از این عناصر غذایی مانند کربن، اکسیژن و هیدروژن از طریق جذب دی‌اکسید کربن و آب توسط گیاه تأمین می‌شود. برخی از عناصر همچون کلسیم (در خاک‌های آهکی) نیز به‌واسطه اینکه در خاک مقدارشان به اندازه کافی وجود دارد لزومی ندارد که از طریق کود به خاک اضافه شوند. برای برخی دیگر از عناصر غذایی مانند مولیبدن اگرچه وجود آنها برای گیاه ضروری می‌باشد، لیکن مقداری که گیاه به آنها نیاز دارد، خیلی کم است و معمولاً در خاک به اندازه

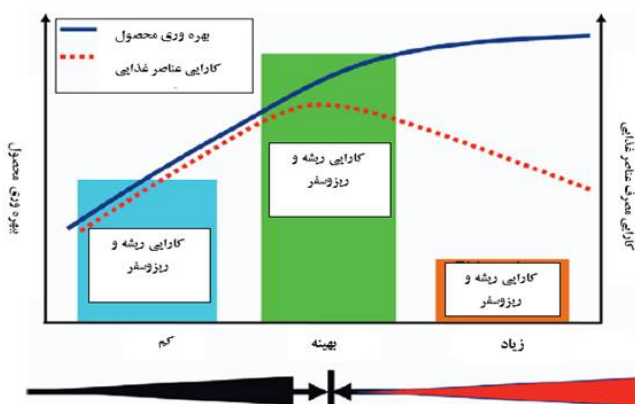
کافی وجود دارد و لازم نیست تا از طریق کود به خاک اضافه شوند. گروهی از عناصر غذایی ضروری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین عناصر کم‌مصرف (روی، آهن، منگنز و مس) معمولاً مقدارشان در خاک به اندازه کافی وجود ندارد و یا اینکه اگر وجود دارد به شکلی است که برای گیاه قابل جذب و استفاده نمی‌باشد. معمولاً در چنین شرایطی تأمین عناصر گفته شده برای گیاه، با کاربرد کود (شیمیایی و در مواردی کود آلی) محقق می‌شود.

مصرف کودهای شیمیایی در دنیا سابقه‌ای 180 ساله دارد، اما به طور تجاری حدود 100 سال از تولید و مصرف کود در دنیا می‌گذرد. مصرف کودهای شیمیایی در کشور ما از دهه 40 شروع شد. اگرچه در ابتدا کشاورزان به مصرف چنین کودهایی علاقه نشان نمی‌دادند ولی با گذشت زمان و ترویج این تفکر که هرچه کود مصرف شود، محصول بیشتری بدست خواهد آمد، مصرف کودهای شیمیایی افزایش یافت (قره‌داغی، 1389). اگرچه کاربرد کودهای شیمیایی روشی ارزان و مؤثر برای تأمین عناصر غذایی معدنی برای گیاهان است (Chen, 2006). اما برخی از ویژگی‌های خاک (که محیط رشد گیاه است) نقش مهمی در قابلیت استفاده از عناصر غذایی توسط گیاه دارد، برای مثال ویژگی بافت خاک ممکن است در کارایی استفاده از کود تأثیر قابل ملاحظه‌ای داشته باشد؛ اگر خاک دارای بافت درشت باشد برخی کودها با رواناب از مزرعه شسته می‌شوند (شکل 1) (Davered et al, 2004)، و اگر دارای بافت ریز باشد کود ممکن است به شکل غیرقابل استفاده برای گیاهان تبدیل شود (Sanchez et al, 2001).



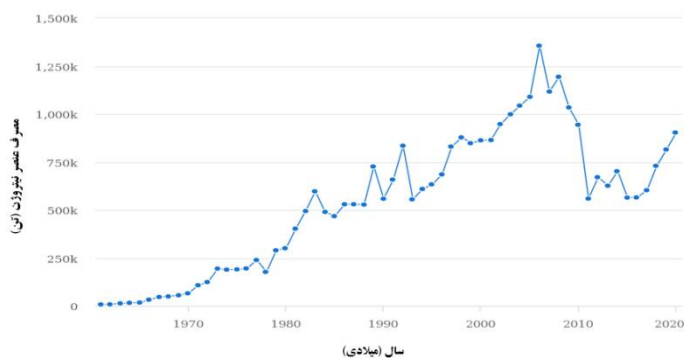
شکل 1- تصویر شماتیک افزایش نگهداری عناصر غذایی در خاک‌های شنی با افزودن برخی از مواد محرک رشد

کشاورزان برای جبران کاهش قابلیت جذب عناصر کودی و یا خروج آنها از طریق رواناب و آبشویی، مقدار مصرف کود را افزایش می‌دهند و بیش از آن چیزی که مورد نیاز واقعی گیاه است کود استفاده کنند و این امر سبب کاهش کارایی مصرف کود (شکل 2)، آلودگی خاک، آب و یا حتی هوا می‌شود (Vance, 2001).

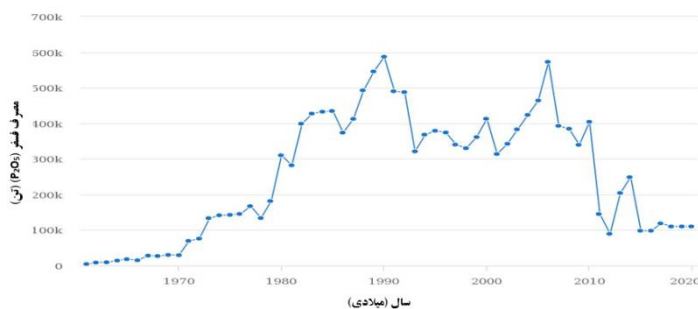


شکل 2- مصرف کود بیش از نیاز واقعی گیاه سبب کاهش کارایی مصرف کود می‌شود.

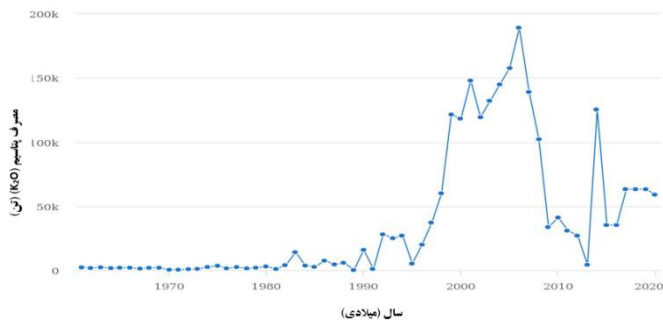
همچنین تولید صنعتی کودهای شیمیایی یک فرایند انرژی‌بر است که نقش مؤثری در افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و اثرات گلخانه‌ای دارد (Vance, 2001). از طرف دیگر، نیاز به افزایش تولید محصولات کشاورزی هم‌زمان با رشد جمعیت و همچنین برنامه‌های توسعه‌ای کشور در سال‌های اخیر، مصرف بیشتر کودهای شیمیایی را به دنبال داشته است (شکل‌های 3 تا 5). همان‌گونه که اشاره شد کارایی پایین استفاده از کودها، نگرانی‌هایی را در بخش کشاورزی، محیط‌زیست، صنعت و بخش بهداشت به وجود آورده است. این موضوع موجب شده تا کارایی مصرف کودها به‌ویژه کودهای نیتروژنی به‌عنوان چالشی عمده برای کشاورزی جهان مطرح باشد (کشاورز، 1392). در صورتی که به طریقی بتوان مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داد؛ علاوه بر کمک به کاهش آلودگی زیست‌محیطی و به‌ویژه اراضی کشاورزی، می‌توان انتظار تولید محصول سالم و باکیفیت‌تری را نیز داشت و به دنبال آن سود بیشتری نصیب کشاورز خواهد شد. در این راستا استفاده از مواد محرک رشد که می‌توانند کارایی مصرف کود را افزایش دهند، از مهم‌ترین راهکارهاست (King and Torbert, 2007).



شکل 3- روند مصرف عنصر نیتروژن (N) در اراضی کشاورزی ایران از قبل از 1970 تا 2020 میلادی (FAO stat., 2022)



شکل 4- روند مصرف فسفر ( $P_2O_5$ ) در اراضی کشاورزی ایران از قبل از 1970 تا 2020 میلادی (FAO stat., 2022)



شکل 5- روند مصرف عنصر پتاسیم ( $K_2O$ ) در اراضی کشاورزی ایران از قبل از 1970 تا 2020 میلادی (FAO stat., 2022)



باتوجه به وارداتی بودن بخش عمده کودهای حاوی عناصر فسفر و پتاسیم و تنگنمایی که کشور در سال‌های اخیر در تأمین و واردات این کودها با آن مواجه بوده است (که انعکاس این موضوع در شکل‌های 4 و 5 نیز مشاهده می‌شود)، استفاده کاراتر از کودهای گفته شده با استفاده از محرک‌های رشد یک ضرورت می‌باشد. در مورد کودهای نیتروژنی نیز به دلیل کارایی کم مصرف کود و تلفات زیاد ناشی از آن که منجر به خسارت‌های متعدد اکولوژیکی می‌شود، افزایش کارایی مصرف کود اهمیت زیادی دارد.

### کارایی مصرف کود

در مدیریت تغذیه گیاه دو مفهوم کارایی استفاده از عنصر غذایی در گیاه و کارایی استفاده از کود به کار می‌رود. این دو مفهوم برخی مواقع به یک معنی استفاده می‌شوند و برخی مواقع نیز متفاوت بوده و مکمل یکدیگر هستند. به‌طور کلی کارایی استفاده از عناصر غذایی در گیاه به‌صورت حداکثر عملکرد اقتصادی و یا ماده خشک تولیدشده ناشی از کاربرد یک واحد عنصر غذایی و یا جذب یک واحد از عنصر غذایی توسط گیاه تعریف می‌شود. کارایی کود بیان‌کننده افزایش عملکرد محصول به‌زای افزایش یک واحد کود مصرفی می‌باشد (مشیری و موسوی، 1397). در معادلات زیر محاسبه کارایی استفاده هر یک از کودهای شیمیایی حاوی عناصر اصلی (شامل اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم) و یا مجموع آنها آورده شده است.

$$FUE_U = \frac{Y_t - Y_c}{U} \quad (1)$$

$$FUE_{TSP} = \frac{Y_t - Y_c}{SPT} \quad (2)$$

$$FUE_{SOP} = \frac{Y_t - Y_c}{SOP} \quad (3)$$

$$FUE_{(U \& TSP \& SOP)} = \frac{Y_t - Y_c}{U + TSP + SOP} \quad (4)$$

$Y_t$ : عملکرد محصول در تیمار مصرف کود شیمیایی (کیلوگرم در هکتار)

$Y_c$ : عملکرد محصول در تیمار شاهد (عدم مصرف کود شیمیایی) (کیلوگرم در هکتار)

FUE : کارایی مصرف کود هر کدام از کودهای مصرفی یا مجموع آنها (کیلوگرم محصول بر کیلوگرم کود)

U : کود اوره (کیلوگرم در هکتار)

TSP : کود سوپر فسفات تریپل (کیلوگرم در هکتار)

SOP : کود سولفات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)

### محرک‌های رشد

اصطلاح محرک رشد<sup>1</sup> یک اصطلاح نسبتاً جدید است و استفاده آن در مجامع علمی هنوز دارای ابهام می‌باشد (du Jardin, 2012). یک تعریف کلی از محرک رشد توسط du Jardin (2012) ارائه شده است: "محرک‌های رشد گیاهی، موادی هستند که فاقد عناصر غذایی و یا زنده‌کش‌ها (سموم گیاهی) هستند و وقتی در محیط‌های رشد گیاه در فرمول‌های خاص به کار می‌روند، می‌توانند فرایندهای فیزیولوژیکی در گیاهان را از طریق فراهم کردن شرایط برای رشد، توسعه و یا پاسخ مناسب به تنش بهبود ببخشند". نمونه دیگر از تعریف محرک رشد: محرک رشد یک محصول فرموله شده با منشأ بیولوژیکی است که باروری گیاه را نه از طریق عناصر ضروری شناخته شده، تنظیم‌کننده‌های رشد و یا ترکیبات محافظت‌کننده، بهبود می‌دهد (Yakhin et al., 2017).

اخیراً اتحادیه اروپا وابسته به پارلمان و شورای اروپا در سال 2019 محرک رشد را به عنوان "یک محصول تحریک‌کننده فرآیند تغذیه گیاهی که مستقل از محصولاتی که محتوی عناصر غذایی هستند، با یگانه‌هدف بهبود یک یا چند تا از ویژگی‌های ذیل در گیاه یا ریزوسفر گیاه" تعریف نمود؛ الف- کارایی مصرف عناصر غذایی، ب- تحمل به تنش‌های غیرزنده، ج- ویژگی‌های کیفی و د- قابلیت استفاده تغذیه محدود در خاک یا ریزوسفر (EU, 2019). در این تعریف "مواد محرک رشد" در دو کلاس بنام‌های الف- مواد محرک رشد غیر میکروبی و ب- مواد محرک رشد میکروبی تقسیم می‌گردد (EU, 2019). مواد محرک رشد غیر میکروبی شامل اسیدهای هیومیک و فولویک، عصاره‌جلبک‌های دریایی،

<sup>1</sup> Biostimulant

کیتوزان و پروتئین‌های تجزیه شده (هیدرولیز شده) می‌باشند؛ در حالیکه ریزوباکتریوم‌ها و قارچ‌های میکوریزا آربسکولار به عنوان مواد محرک رشد میکروبی تقسیم شده‌اند (Salmina et al., 2021).

مواد محرک رشد میکروبی از طریق بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش تولید فیتوهورمون و افزایش تحمل به تنش‌های خشکی و شوری (Salmina et al., 2021) و مواد محرک رشد غیر میکروبی (عصاره جلبک‌های دریایی...) از طریق افزایش جوانه‌زنی، ریشه‌دهی، رشد گیاه، و عملکرد، گلدهی، عمر انبارداری پس از برداشت و مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده و کنترل آفات و بیماری‌ها روی گیاه اثرگذارند (Salmina et al., 2021).

نشان داده شده است که چهار گروه اصلی محرک‌های رشد: 1- مواد هیوئیکی<sup>1</sup> 2- اسیدهای آمینه<sup>2</sup>، 3- عصاره گیاهان (جلبک‌های) دریایی<sup>3</sup> و 4- میکروارگانیزم‌های تحریک‌کننده رشد گیاه<sup>4</sup>، بر روی رشد ریشه و جذب عناصر توسط گیاهان اثر گذارند (Halpern et al., 2015).

استفاده از محرک‌های رشد توجه روزافزونی پیدا کرده است؛ زیرا اثبات کرده است که این توانایی را دارد که می‌تواند فرایندهای فیزیولوژیکی و شیمیایی در گیاه را در یک حالت پایدار و دوستدار طبیعت تنظیم کرده و در نتیجه سبب بهبود عملکرد و تولید حتی در شرایط ورودی ناچیز سیستم، گردد و موجب ارتقا سازگاری یا تحمل به تنش‌های محیطی شود (Rouphael and Colla, 2020; Yakhin et al., 2017). کاربرد مواد محرک رشد گیاهی، همچنین، نقش مثبتی در حلالیت عناصر غذایی؛ کاهش مصرف بالای کودهای شیمیایی و کم کردن هزینه‌های تولید دارد (Granada et al., 2018; Mondal et al., 2017).

### مواد هیومیکی

مواد هیومیکی موادی طبیعی هستند که در زیر مجموعه مواد آلی طبقه‌بندی می‌شوند و از تجزیه سلول‌های مرده و فعالیت متابولیکی میکروب‌های خاک به وجود می‌آیند و این پتانسیل را دارند که به طور موفقیت‌آمیزی در کشت محصولات گوناگون استفاده شوند

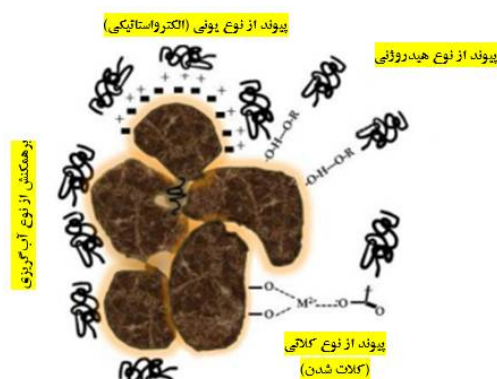
<sup>1</sup> Humic Substances (HS)

<sup>2</sup> Amino Acids (AA)

<sup>3</sup> Seaweed Extracts (SE)

<sup>4</sup> Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)

(MacCarthy, 2001)، اگرچه مواد هیومیکی در ساختار مولکولی و وزن متفاوت‌اند، اما آنها در زمره موادی طبقه‌بندی می‌شوند که می‌توانند ساختمان خاک برای تولید محصول را بهبود دهند (Halpern et al., 2015). مطالعات متعدد، فواید مواد هیومیکی را بهبود خاکدانه خاک، افزایش خاصیت بافری خاک، گنجایش تبادل کاتیونی و افزایش نگهداری آب در خاک ذکر کرده‌اند (Salmina et al., 2021). مواد هیومیکی می‌توانند ساختمان ریشه‌ها، برگ‌ها و ساقه را طوری متأثر سازند که جذب عناصر غذایی توسط گیاه افزایش یابد (Halpern et al., 2015). آزمایش‌های مزرعه‌ای نشان داد که اثر مستقیم مواد هیومیکی بر رشد گیاه ناشی از افزایش جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف بوده است (Xu et al., 2011). مواد هیومیکی با فعالیت‌های اکسین در گیاه بر همکنش داشته و سبب بهبود توسعه و فیزیولوژی گیاه از طریق تغییر در فتوسنتز، تنظیم و متابولیسم گیاه می‌گردد (Salmina et al., 2021). شکل 6 انواع ارتباط بین کلوئیدهای معدنی و مواد هیومیکی در خاک را نشان می‌دهد.



شکل 6 - ارتباط بین کلوئیدهای معدنی و مواد هیومیکی با انواع فعل و انفعالات و پیوندهای شیمیایی مشخص می‌شود و این پیوندها باعث پایداری ساختار خاک می‌شوند.

### طبقه‌بندی، ویژگی‌ها و کاربرد مواد هیومیکی

مواد هیومیکی بر اساس اندازه مولکول و خواص آن تقسیم می‌شوند. این مواد به سه دسته تقسیم می‌شوند؛ فولویک اسید (FA)، هیومیک اسید (HA) و هیومین. دو گروه

فولویک و هیومیک اسید در توزیع و تهیه عناصر کم‌مصرف برای گیاه دخالت دارند. مقدار کاربرد آنها ممکن است بر اساس روش کاربرد، مرحله رشد گیاه و هدف از کاربرد آن متغیر باشد (Ekin, 2019). اسید هیومیک می‌تواند مستقیم در خاک مصرف شود (مایع یا جامد) و یا از طریق محلول‌پاشی یا کودآبیاری مصرف گردد (Jindo et al., 2020). ترکیب اسیدهای هیومیک شامل 53/8 تا 58/7 درصد کربن، 32/8 تا 38/3 درصد اکسیژن، 3/2 تا 6/2 درصد هیدروژن، 0/8 تا 4/3 نیتروژن و 0/1 تا 1/5 درصد گوگرد می‌باشد (Steelink, 2002).

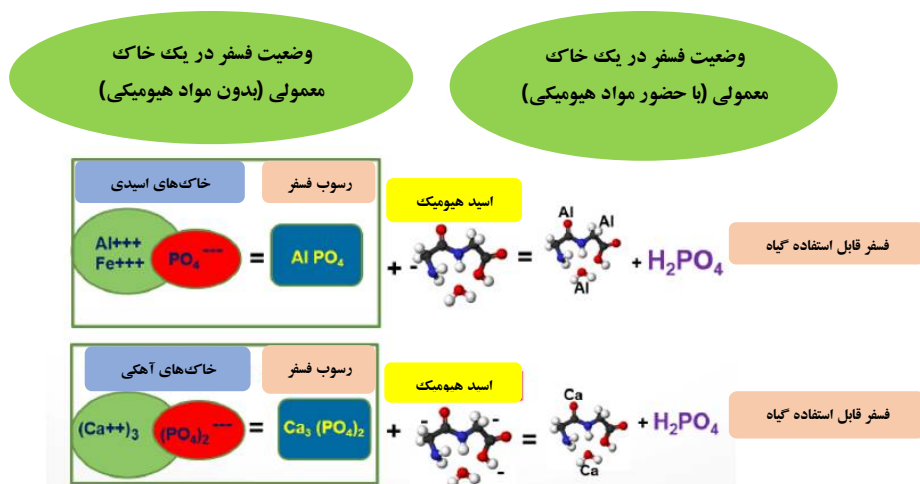
اسیدهای فولویک از ترکیبات با وزن مولکولی کم و متوسط تشکیل شده که می‌تواند وارد ریشه، ساقه و برگ گیاه شود (Pettit, 2013). اسیدهای فولویک محلول در آب هستند و به راحتی با آب آبیاری و بارندگی (آبیاری یا بارندگی سنگین) شسته می‌شود (Malan, 2015). در شرایط خشکسالی، اسید فولویک مولکول‌های آب را جذب و کمک می‌کند تا خاک مرطوب بماند و به انتقال عناصر غذایی (همچون آهن، کلسیم، مس، روی و منیزیم) از طریق ریشه برای سیستم متابولیکی گیاه کمک می‌کند (Yazawa et al., 2014). همچنین تحمل به خشکسالی گونه‌های مختلف گیاهی بعد از محلول‌پاشی با اسید فولویک افزایش یافته است.

هیومین بخشی از مواد هیومیکی است که نه در آب، نه در قلیا و نه در اسید محلول نیست. این ماده از مولکول‌های با وزن خیلی زیاد و فوق‌العاده مقاوم به تجزیه تشکیل شده است (Pettit, 2013). به سبب این ویژگی‌ها، مطالعات کمی روی هیومین‌ها انجام شده و فقط اطلاعات محدودی در مورد ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی آن قابل دسترس می‌باشد. تعدادی از کارکردهای مهم شامل بهبود نگهداری ظرفیت آب در خاک، بهبود ساختمان و پایداری خاک، سیستم تبادل کاتیونی و افزایش حاصلخیزی خاک می‌باشد (Pettit, 2013).

### اثرات مواد هیومیکی بر عملکرد محصول در سامانه‌های کشت

کاربرد مواد هیومیکی در کاهش نیاز کودهای شیمیایی در سامانه زراعی با نهاده بالا هم در شرایط خاکی و غیرخاکی مفید است (Vernieri et al., 2006). در کشت‌های با سامانه کشاورزی متراکم استفاده بیش از اندازه از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها باعث تخریب خاک و منابع آب و کاهش کیفیت و سلامت محیط می‌شود (Ekin, 2019)؛ بنابراین مخلوط کردن اسیدهای هیومیک با بستر خاک می‌تواند خواص فیزیکی و شیمیایی

خاک که به نوبه خود سبب افزایش قابلیت عناصر غذایی برای رشد گیاه می‌شود را بهبود دهد (شکل 7). این امر ممکن است از طریق افزایش ماده آلی خاک، کاهش pH و شوری خاک، افزایش تبادل کاتیونی و کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک اتفاق بیفتد (Ali and Mindari, 2016). در آزمایشی از اسید هیومیک (به مقدار 1/5 و 3 کیلوگرم در هکتار) به تنهایی و در ترکیب با کودشیمیایی با مقدار کامل (40:60 کیلوگرم در هکتار؛ کودهای نیتروژن- فسفر) و نصف آن (20:30 کیلوگرم در هکتار) از مقادیر توصیه شده کودهای نیتروژن- فسفر (N-P) استفاده شد (Khan et al; 2010). کاربرد اسید هیومیک در مقدار 3 کیلوگرم در هکتار به همراه نصف مقدار توصیه شده کود شیمیایی در نسبت (20:30 کیلوگرم نیتروژن- فسفر در هکتار) تأثیری مثبت در عملکرد گندیم دیم داشت. در سال آزمایش در مقایسه با تیمار مقدار توصیه شده فقط 5/9 افزایش عملکرد مشاهده شد؛ اما در سال دوم تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار وجود نداشت. در این آزمایش مشاهده شد که با کم کردن کود شیمیایی به مقدار 50 درصد می‌توان عملکرد و رشد گیاه را در حد کفایت نگه داشت. این کاهش سبب کاهش هزینه‌های ورودی می‌شود و در نتیجه سبب سود بیشتر و تولید اقتصادی و پایدار محصول می‌گردد. بنابراین اسید هیومیک پتانسیل بالایی برای کاربرد به عنوان یک ماده ارزان برای بهبود حاصلخیزی خاک در کشت پایدار دارد. پیشنهاد شده است که اسید هیومیک در خاک به همراه کاهش مصرف کود شیمیایی استفاده شود (Khan et al; 2010). همچنین گزارش شده که کاربرد اسید هیومیک سبب افزایش کارایی نیتروژن در دو گیاه ذرت و گندم گردید (Kong et al., 2022). در آزمایشی نشان داده شد که مصرف اسید هیومیک به تنهایی و به همراه کود فسفر می‌تواند با تأثیر بر سیستم ریشه‌ای و تارهای کشنده، جذب فسفر و در نتیجه ماده خشک گیاهی را افزایش دهد. همچنین اسید هیومیک ضمن افزایش عملکرد محصول، افزایش کارایی مصرف کود فسفر را در نیشکر بهبود بخشید (پهروان و همکاران، 1398). همچنین مصرف کود اوره با پوشش گوگردی و اسید هیومیک، افزایش کارایی مصرف نیتروژن را به دنبال داشت. بنابراین می‌توان گفت با مصرف اوره با پوشش گوگردی به عنوان کود پایه و کاربرد اسید هیومیک، ضمن افزایش عملکرد گندم، هدرروی نیتروژن را کاهش داد (عباسی و حمزه‌ئی، 1396).



اجزای موجود که در محلول غذایی حضور دارند (Russo and Berlyn, 1990). چنین هم‌افزایی ممکن است در مورد افزودن مواد هیومیکی به خاک هم اتفاق بیفتد. اثرات این هم‌افزایی روی گیاه به بهبود فرایندهای فیزیولوژیکی، فعالیت‌های آنزیمی و تغذیه با عناصر معدنی منجر شود (Morard et al., 2011). در خاک‌های فقیر و خاک‌های شور تخریب شده، افزودن مواد هیومیکی سبب آزاد شدن یون‌های هیدروژن به محلول خاک شده که نتیجه آن کاهش pH خاک است (Ali and Mindari, 2016; Olk et al., 2019). این امر سبب جذب بیشتر آب و عناصر غذایی به‌وسیله ریشه شده که نتیجه آن انتقال این عناصر به اندام‌های مختلف گیاه و افزایش کارایی عناصر غذایی در گیاه است (Salmina et al., 2021). مواد هیومیکی تغذیه عناصر کم‌مصرف همچون آهن، روی و مس در گیاه را بهبود می‌دهند. مواد هیومیکی وقتی در خاک یا کشت بدون خاک استفاده می‌شوند، به سبب حضور گروه‌های حاوی اکسیژن، نیتروژن و گوگرد در ساختمان خود، می‌توانند با عناصر میکرو کمپلکس‌های پایدار تشکیل دهند (Zanin et al., 2019). این امر به نوبه خود به حفظ عناصر کم‌مصرف در محلول و فرم‌های قابل‌استفاده، به‌ویژه در pH‌های بیشتر خاک‌ها کمک می‌کند. در خاک‌های آهکی باقابلیت دسترسی محدود آهن، افزودن مواد هیومیکی می‌تواند باعث تشکیل پایدار و محلول کمپلکس آهن - موادهیومیکی شود که منجر به بهبود تغذیه گیاهی می‌شود (Cieschi and Lucena, 2018).

پایداری مواد هیومیکی برای کمپلکس‌های یونی می‌تواند سبب قابلیت استفاده فسفر در خاک یا کشت‌های بدون خاک، از طریق پیوند فسفات به مواد هیومیکی به واسطه پل آهن، گردد (Ali and Mindari, 2016). این امر از رسوب فسفر جلوگیری و افزایش جذب فسفر به‌وسیله ریشه‌ها را توجیه می‌کند. جدا از تحریک حلالیت و قابلیت استفاده عناصر در کشت‌های خاکی و غیرخاکی، مواد هیومیکی می‌توانند سبب تغییراتی در مورفولوژی ریشه و تنظیم فعالیت‌های غشاهای گیاه مرتبط با جذب عناصر، مسیرهای اولیه و ثانویه متابولیسم گیاهی و همچنین توازن هورمونی و رادیکال‌های اکسیژن (اکسیژن فعال) شوند (Olaetxea et al., 2016). این تغییرات جذب عناصر به‌وسیله ریشه گیاهان را تسهیل می‌کنند (Salmina et al., 2021). اگرچه کاربرد به‌صورت محلول‌پاشی یک روش رایج کاربرد مواد هیومیکی در تولید محصولات است؛ اما اطلاعات کاملی روی عمل این روش



وجود ندارد. اخیراً در یک مطالعه، تمایز اثرگذاری کاربرد اسید هیومیک بر رشد گیاه با دو روش متفاوت (روش برگ‌پاشی و روش کاربرد از طریق ریشه در محلول‌های کشت خاکی و یا غیرخاکی) نشان داده شد (De Hita et al., 2020). براین اساس دو آزمایش در شرایط مشابه بر روی گیاه خیار در کشت هیدروپونیک در گلخانه انجام شد و اسید هیومیک هم با روش برگ‌پاشی و هم کاربرد از طریق ریشه استفاده گردید؛ نتایج نشان داد که با هر دو روش بهبود در رشد ساقه و ریشه خیار حاصل گردید و همچنین افزایش غلظت ایندول-3-استیک اسید (IAA) در ریشه و سایتوکینین در ساقه مشاهده گردید؛ لیکن در روش برگ‌پاشی افزایش در غلظت آبسزیک اسید (ABA) ریشه یا فعالیت  $H^+$ -ATPase غشا پلاسمایی برای مدتی کوتاه اتفاق افتاد. همچنین در هر دو روش غلظت‌های جاسمونیک اسید و جاسمونیل-ایزو لئوسین در ریشه افزایش یافت. کاربرد مواد هیومیکی در محیط ریشه، تعداد ریشه‌های ثانویه و همچنین رشد ریشه را تحریک کرد درحالی‌که، کاربرد مواد هیومیکی به‌صورت برگ‌پاشی سبب کاهش حضور ریشه‌های ثانویه و افزایش طول ریشه اصلی و وزن خشک‌ریشه گردید (De Hita et al., 2020). این اثرات متفاوت با تغییر روش کاربرد مواد هیومیکی، نتیجه تغییر در غلظت دو تنظیم‌کننده گیاهی در ریشه، یعنی IAA و ABA می‌باشد (Salmina et al., 2021). اگرچه کاربرد مواد هیومیکی با روش‌های متفاوت سبب غلظت‌های متفاوت ABA و IAA در ریشه‌ها و ساقه‌ها گردید، اما اثرات مشابهی از کاربرد هر دو روش همچون افزایش در غلظت IAA، سایتوکینین‌ها، JA و JA-Ile مشاهده گردید (Hita et al., 2020).

### عصاره‌های جلبکی

کاربرد عصاره جلبک‌ها به سبب اثرات مفید آنها در کشاورزی پایدار، دستاوردهای جالبی داشته است. جلبک‌های دریایی به‌عنوان یکی از ارزشمندترین منابع دریایی برای مدت طولانی در برخی صنایع مانند تغذیه انسان، تغذیه حیوانات، به‌عنوان کود و مواد خام مصرف می‌شود. برخی از جلبک‌های دریایی خاصیت تحریک رشد گیاه دارند. به سبب اثرات مفید آنها، کاربرد این منابع دریایی به‌عنوان یک عملیات در کشاورزی پذیرفته شده است (Fornes et al., 2002). استفاده از عصاره جلبک‌های دریایی به دلیل پتانسیل

استفاده در کشاورزی آلی و پایدار، تجزیه‌پذیری، غیرسمی بودن، عدم ایجاد آلودگی و بی‌خطر بودن برای طبیعت روبه‌افزایش است (Yakhin et al., 2017). عصاره‌های جلبک به‌عنوان یک منبع خوب مواد آلی و عناصر غذایی برای اصلاح شرایط خاک به‌منظور افزایش رشد گیاه در نظر گرفته شده‌اند (Khan et al., 2009). امروزه شکل‌های مختلف عصاره جلبک در بازار در دسترس هستند که شامل فرم‌های مایع، گرانوله و پودری هستند (Thirumaran, 2009). با تغییر رویکرد تدریجی به‌طرف محصول سالم، تقاضا برای افزایش استفاده از کودهای زیستی و محرک‌های رشد افزایش‌یافته است (Salmina et al., 2021). عمده عصاره‌های جلبکی تجاری در دسترس از جلبک‌های قهوه‌ای به‌ویژه از نوع *Ascophyllum nodosum* و *Ecklonia maxima* تولید شده‌اند (Renaut et al., 2019). کاربرد عصاره‌های جلبکی حداقل بخشی از رشد گیاه، عملکرد و بهبود محصول به سبب اینکه حاوی کربوهیدرات‌ها، هورمون‌های گیاهی (ABA، اکسین‌ها، سیتوکنین‌ها و جیبرلین‌ها)، شبه هورمون‌های تنظیم‌های کننده رشد گیاهی (brassinosteroids, betanes)، جاسمون‌ها، پلی آمین‌ها، سالیسیلات‌ها و پپتیدهای سیگنالی، عناصر ریزمغذی (آهن، مس، روی، کبالت، مولیبدن، منگنز، و نیکل) ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه هستند را سبب می‌شوند (Craigie, 2011). عصاره‌های جلبکی می‌توانند مستقیماً به‌صورت محلول‌پاشی یا خاکی استفاده شوند تا فرایندهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی را تحریک و سبب بهبود جذب عناصر غذایی شوند (Salmina et al., 2021). در جدول 1 تعدادی از محصولات تجاری عصاره جلبکی که در دنیا استفاده می‌شوند آورده شده است (Salmina et al., 2021).

جدول 1- تعدادی از محصولات تجاری عصاره جلبکی در کشاورزی دنیا (Salmina et al., 2021)

| ردیف | نام محصول | نوع (منشأ) جلبک                | رفرنس‌ها                                                |
|------|-----------|--------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1    | Acadian   | <i>Ascophyllum nodosum</i>     | Khan et al. (2009)                                      |
| 2    | Kelpak    | <i>Ecklonia maxima</i>         | Jennings and Steinberg (1997)<br>Anderson et al. (2006) |
| 3    | Kelp      | <i>Ecklonia radiate</i>        | Wernberg et al. (2016)                                  |
| 4    | Kelp      | <i>Saccharina japonica</i>     | FAO (2016)                                              |
| 5    | Kelp      | <i>Undaria pinnatifida</i>     | FAO (2016)                                              |
| 6    | AgroKelp  | <i>Macrocystis pyrifera</i>    | Khan et al. (2009)                                      |
| 7    | Acid Buf  | <i>Lithothamnium calcareum</i> | Khan et al. (2009)                                      |
| 8    | Maxicrop® | <i>Ascophyllum nodosum</i>     | Abetz and Young (1983)                                  |

ادامه جدول 1- تعدادی از محصولات تجاری عصاره جلبکی در کشاورزی دنیا  
(Salmina et al., 2021)

| ردیف | نام محصول          | نوع (منشأ) جلبک                 | رفرنس‌ها               |
|------|--------------------|---------------------------------|------------------------|
| 9    | Rygex®             | <i>Ascophyllum nodosum</i>      | Shukla et al. (2019)   |
| 10   | Super Fifty®       | <i>Ascophyllum nodosum</i>      | Shukla et al. (2019)   |
| 11   | AlgaeGreen™        | <i>Ascophyllum nodosum</i>      | Lola-Luz et al. (2013) |
| 12   | AZAL5®             | <i>Ascophyllum nodosum</i>      | Shukla et al. (2019)   |
| 13   | Seasol®            | <i>Ascophyllum nodosum</i>      | Shukla et al. (2019)   |
| 14   | Actiwave®          | <i>Ascophyllum nodosum</i>      | Shukla et al. (2019)   |
| 15   | SeaSpray           | <i>Macrocystis integrifolia</i> | Temple et al. (1989)   |
| 16   | Seasol or Agrikelp | <i>Durvillaea potatorum</i>     | Temple et al. (1989)   |

### اثر عصاره‌های جلبکی بر رشد گیاه

استفاده از عصاره‌های جلبکی به‌عنوان یک ماده آلی، دوستدار محیط، زیست و همچنین با کاربرد آسان و ارزان‌قیمت برای رشد محصول و تولید در سامانه‌های کشت کم‌نهاده پیشنهاد می‌شود. عصاره‌های جلبکی اثر مثبت روی جذب عناصر غذایی گیاه دارد (Rathore et al., 2009). آنها با تأثیر بر فرایندهای خاک و به طور مستقیم با تأثیر بر فیزیولوژی گیاه جذب عناصر غذایی را افزایش دادند. سازوکار اثر گذاری بر پروسه‌های خاک از طریق بهبود ساختمان خاک و افزایش حلالیت عناصر کم‌مصرف صورت گرفت (Miransari, 2013). آنها به طور مستقیم بر فیزیولوژی گیاهی از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و افزایش آلودگی ریشه توسط قارچ میکوریزا اثر می‌گذارند (Bedini et al., 2009). جلبک‌های قهوه‌ای تولید مقدار زیادی پلی‌ساکارید همچون آلژینات‌ها و فوکویدان‌ها می‌کند، که این مواد به یون‌های فلزی در خاک باند می‌شوند و تولید ژل می‌کنند که به نگهداری آب و ساختمان خاکدانه کمک می‌کند (Khan et al., 2009). این امر به گیاه اجازه می‌دهد تا با یک سیستم ریشه‌ای قویتر استقرار پیدا نماید. تأثیر مثبت عصاره‌های جلبکی بر جذب عناصر غذایی توسط گونه‌های گیاهی در جدول 2 نشان داده شده است.

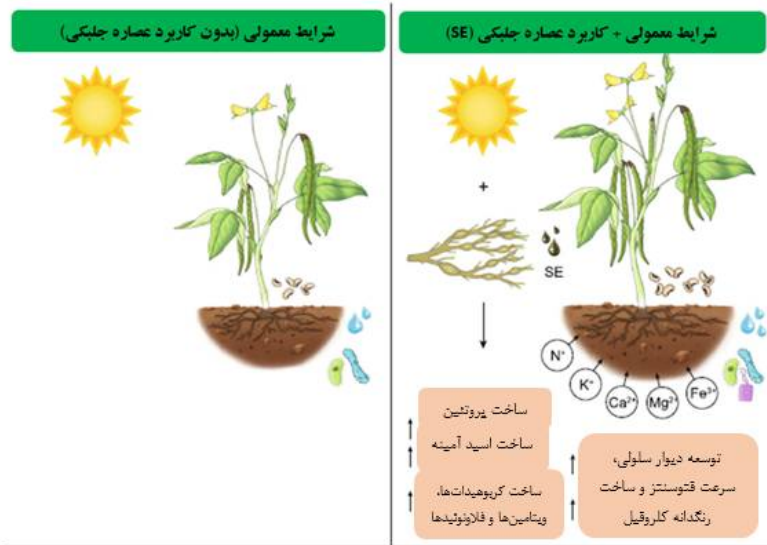
جدول 2- انواع جلبک‌های مورد استفاده با تأثیر مثبت در محصولات مختلف

(Salmina et al., 2021)

| ردیف | گونه گیاهی         | نوع جلبک (محصول تجاری)                | عناصری که تخت تأثیر مثبت عصاره جلبک قرار گرفتند | رفرنس‌ها                      |
|------|--------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1    | سوبا               | <i>Kappaphycus alvarezii</i>          | N, P, K, and S                                  | Rathore et al. (2009)         |
| 2    | گندم               | <i>Ecklonia maxima</i> (Kelpak)       | K                                               | Beckett and van Staden (1989) |
| 3    | کاهو               | <i>Ecklonia maxima</i> (Kelpak)       | Ca, K, and Mg                                   | Crouch et al. (1992)          |
| 4    | خیار               | <i>Ecklonia maxima</i> (Kelpak)       | P                                               | Nelson and van Staden (1984)  |
| 5    | توت‌فرنگی          | <i>Ascophyllum nodosum</i> (Actiwave) | Fe                                              | Spinelli et al. (2009)        |
| 6    | انگور              | <i>Ascophyllum nodosum</i> (Maxicrop) | N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn and Cu              | Turan and Kose (2004)         |
| 7    | گوجه‌فرنگی         | <i>Sargassum horneri</i>              | P and K                                         | Yao et al. (2020)             |
| 8    | گونه خاصی ذکر نشده | <i>Ulva reticulate</i>                | Ca, P, and K                                    | Hong et al. (2007)            |
| 9    | ذرت                | <i>Ascophyllum nodosum</i>            | Zn and Mn                                       | Bradacova et al. (2016)       |
| 10   | ذرت                | <i>Ascophyllum nodosum</i>            | N, P, K, and Mn                                 | Mpanga et al. (2019)          |
| 11   | ذرت                | <i>A Laminaria spp</i>                | Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Mo, Zn, and B            | Ertani et al. (2018)          |
| 12   | ذرت                | <i>Ascophyllum nodosum</i>            | Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Mo, Zn, and B            | Ertani et al. (2018)          |

کاربرد عصاره‌های جلبکی سبب افزایش تعداد گره‌ها به واسطه وجود سایتوکینین که در عصاره جلبک‌های قهوه‌ای است، گردید. مصرف عصاره‌های جلبکی به صورت خاکی یا محلول‌پاشی منجر به افزایش توده ریشه یا نسبت ریشه به اندام هوایی در گیاهان گوناگون از قبیل خیار، جو، گوجه‌فرنگی و توت‌فرنگی شد (Salmina et al., 2021). ریشه‌های متراکم‌تر سبب جذب عناصر غذایی بیشتر می‌شود (Khan et al., 2009). جلبک آسکوفیلوم نودوسوم سبب افزایش سطح برگ و غلظت عناصر نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و آهن برای درختان میوه گردید (Hancock and Scorza, 2008). حضور هورمون‌های

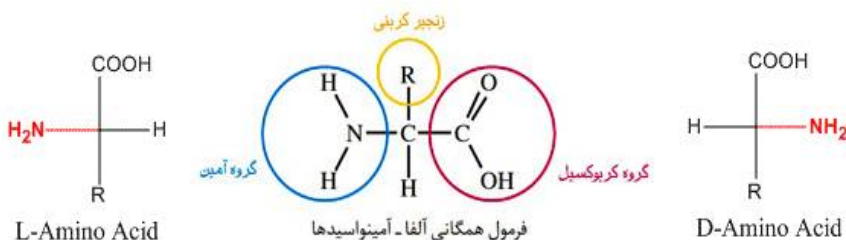
گیاهی در عصاره‌های جلبکی موجب تحریک رشد ریشه و جذب عناصر غذایی می‌شود (Rathore et al., 2009). کاربرد عصاره جلبکی غلظت عناصر میکرو همچون مس، روی، آهن و منگنز در ذرت را افزایش داد (Layek et al., 2017). ترکیبات کلات کننده (از قبیل مانیتول) موجود در عصاره‌های جلبکی قابلیت استفاده عناصر غذایی کم‌مصرف را برای گیاه افزایش می‌دهد (Shah et al., 2013). این افزایش جذب عناصر غذایی به‌وسیله گیاهان به سبب کاربرد عصاره‌های جلبکی، به تنظیم به‌وسیله ژن‌هایی که نقل‌وانتقال عناصر غذایی را کدبندی می‌کنند نسبت داده می‌شود که این امر در نهایت رشد گیاه را به دنبال دارد (El Boukhari et al., 2020; Gonzalez-Gonzalez et al., 2020). عصاره جلبکی می‌تواند فعالیت میکروبی را به‌وسیله تغییر در تهویه خاک، ظرفیت نگهداری آب در خاک، عناصر و pH افزایش دهد (Zodape, 2001). بدیهی است افزایش جذب عناصر افزایش رشد گیاه را به همراه دارد. محرک رشد عصاره‌های جلبکی قادرند در خاک سبب استقرار رشد محیطی ریشه از طریق بالابردن تنوع میکروبی و افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی مثل تنفس، پویایی نیتروژن و معدنی شدن عناصر غذایی باشد (شکل 8).



شکل 8 - برخی از سازوکارهای تأثیر عصاره جلبکی بر رشد گیاه

## اسیدهای آمینه

اسیدهای آمینه یک خانواده بزرگی از ترکیبات بیولوژیکی هستند که دارای یک گروه آمینی و گروه کربوکسیلیک اسید هستند (شکل 9). اسیدهای آمینه‌ای که پروتئین‌های طبیعی از آنها ساخته می‌شوند همگی دارای یک گروه آمینی (آلفا) بر روی کربن متصل به گروه کربوکسیلیک اسید می‌باشند. تنها 20 اسید آمینه در ساختمان پروتئین‌ها دخالت دارند، اما بیش از 250 عدد آنها شناخته شده هستند که در گیاهان کارکردهای مختلفی از قبیل حفاظت در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده، سیگنال‌دهی، ذخیره نیتروژن و کلاته کردن فلزات به‌صورت سیدروفور دارند (Vranova et al., 2011). محرک‌های رشد تجاری حاوی اسید آمینه اغلب مخلوطی از اسید آمینه‌های مختلف و دارای زنجیرهای کوتاه هستند تا ماده خالص (du Jardin, 2012). این مخلوط‌ها پروتئین هیدرولاسیت‌ها نامیده می‌شوند و از هیدرولیز پروتئین از منبع گیاهی (Schiavon et al., 2008)، حیوانی (Maini, 2006) و میکروبی (du Jardin, 2012) مشتق می‌شوند؛ اغلب از محصولات اضافی صنعتی و ضایعات کشاورزی مثل بقایای محصولات (du Jardin, 2012)، پوست حیوانات (Vasileva-Tonkova et al., 2007)، پر (Graziotin et al., 2007; Jie et al., 2008) و خون (Polo et al., 2006). پروتئین هیدرولاسیت‌ها به عنوان محرک‌های رشد گیاهی که می‌توانند به صورت محلول‌پاشی، خاکی و یا تیمار کردن بذر بکار روند، فروخته می‌شوند (du Jardin, 2012; Maini, 2006).



شکل 9- ساختمان اسید آمینه، که دارای یک گروه آمینی و یک گروه کربوکسیلیک اسید می‌باشد.

گیاهان قادرند اسیدآمین‌ها را به طور مستقیم از طریق ریشه‌شان جذب کنند که ممکن است یا در توده آبی حل و به طرف آوند چوبی حرکت کنند (Biernath et al., 2008)، یا از طریق حامل‌های ویژه‌ای که در ریشه‌ها قرار دارند، جذب شوند (Néasholm et al., 2009) و یا از طریق پخشیدگی به داخل برگ جذب شوند (Kolomaznik et al., 2012). گیاهان می‌توانند در بعضی شرایط، اسیدآمین‌ها را به عنوان منبع تأمین نیتروژن استفاده کنند و در گیاهان ویژه‌ای، اسیدآمین‌ها منبع اصلی نیتروژن است (Schimel and Chapin, 1996). با تأکید یادآوری می‌شود که وقتی اسیدآمین‌ها به عنوان منبع نیتروژن استفاده می‌شود، دیگر تعریف محرک رشد بر آن صدق نمی‌کند (du Jardin's, 2012). زیرا مقدار عناصر غذایی در محرک رشد قابل ملاحظه نیستند. اما غلظتی از اسیدآمین‌ها که معمولاً به عنوان محرک رشد استفاده می‌شود آن قدر کم است که اثرات مثبت آن را نمی‌توان به افزایش قابلیت دسترسی به نیتروژن نسبت داد.

کاربرد اسیدآمین‌ها در برگ و ریشه گیاه می‌تواند افزایش جذب عناصر و افزایش کارایی مصرف آن را برای عناصر پرمصرف و هم کم‌مصرف را سبب شود. مخلوط اسیدآمین‌ها تجاری سبب افزایش عملکرد ذرت، حتی وقتی مقدار کود نیتروژن در نصف کاربرد آن قطع شد، گردید (Maini, 2006). کلسیم می‌تواند به وسیله گیاه بهتر استفاده شود اگر با اسیدآمین‌ها مصرف شود. استفاده از مخلوط اسیدآمین‌ها و کلسیم در سیب و گوجه‌فرنگی سبب شد تا کمبود کلسیم کاهش یابد (Maini, 2006). اما، Otero و همکاران (2006) دریافتند که مخلوط اسیدآمین‌ها و کلسیم در کیوی فروت مؤثر نیست. اسیدآمین‌ها سبب افزایش کارایی محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف شد و مخلوط سولفات آهن II و آسیدآمین‌ها در محلول‌پاشی بر علیه نکروزه شدن در انگور مؤثر بودند (Maini, 2006).

### تأثیر اسیدهای آمینه بر جذب عناصر غذایی

کاربرد اسیدآمین‌ها می‌تواند تغذیه گیاه را به طور مستقیم از طریق تحت‌تأثیر قراردادن فرایندهای خاکی و تحت‌تأثیر قراردادن فیزیولوژی گیاه بهبود ببخشد. سازوکار اثر بر فرایندهای خاک شامل 1- تحریک جمعیت‌های میکروب‌های مفید و معدنی کردن عناصر غذایی خاک و 2- اصلاح حلالیت عناصر کم مصرف در خاک از طریق کلات کردن و

کاهش (احیا) می‌باشند. مکانیزم‌هایی که که فیزیولوژی گیاهی را به‌طور مستقیم متأثر می‌کند شامل: 1- بهبود تحرک عناصر غذایی کم‌مصرف در گیاه، 2- تغییرات در مورفولوژی ریشه و 3- افزایش آنزیم‌های آلی شدن نیترات می‌باشند. در زیر برای هر کدام از سازوکارهای گفته شده، توضیحاتی آورده شده است:

کاربرد اسیدآمینه در خاک فعالیت میکروبی را افزایش می‌دهد، و این امر می‌تواند سبب بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک شود (Garcia-Martinez et al., 2010). به‌ویژه افزایش در فعالیت زیستی در خاک سبب شکستن سریع‌تر مواد آلی گردد که عناصر را از شکل آلی به شکل‌های معدنی قابل استفاده گیاه تبدیل می‌کند (Garcia-Martinez et al., 2010).

اسیدآمینه می‌تواند عناصر آهن، روی، منگنز و مس را کلات نماید و از این طریق قابلیت جذب آنها را از طریق ریشه و برگ با کمک حامل‌های ویژه مانند حامل لیزین هیستیدین<sup>1</sup>، اسید آمینه پرمیز<sup>2</sup> را آسان نماید (Ghasemi et al., 2012). در طبیعت، گیاهان اغلب اسیدآمینه‌های غیرپروتئینی ویژه که به‌عنوان سیدروفورها شناخته می‌شوند از ریشه به داخل خاک ترشح می‌کنند تا قابلیت استفاده عناصر ریزمغذی را بهبود دهند (Dakora and Phillips, 2002).

اسیدآمینه‌های ویژه‌ای ممکن است قابلیت استفاده عناصر ریزمغذی را با عمل کردن به‌عنوان یک احیاکننده، افزایش دهند. Zhou و همکاران (2007) نشان دادند که کاربرد سیستمین برای ریشه‌های ذرت در محلول هیدوپونیک سبب افزایش در جذب مس گردید. آنان فرض کردند که سیستمین به‌عنوان یک احیاکننده عمل می‌کند و سبب تغییر ظرفیت مس می‌شود که ممکن است برای ریشه‌ها قابلیت استفاده بالاتری داشته باشد.

کلات‌های از نوع اسیدآمینه مهم‌ترین ترکیبات برای جابه‌جایی عناصر کم‌مصرف در داخل گیاه هستند. تعداد زیادی از مطالعات وجود دارند که نشان می‌دهند که نیکوتیان آمین<sup>3</sup>، یک اسیدآمینه غیرپروتئینی، مسئول انتقال عناصر ریزمغذی در آوند آبکش است (Curie et al., 2009; Schmidke and Stephan, 1995). همچنین نشان داده شده است که نیکوتیان آمین، تأثیری مثبت بر روی فرایندهای فیزیولوژی گیاهی، حتی وقتی از بیرون

<sup>1</sup> Lysine histidine transporter 1 (LHT1)

<sup>2</sup> Amino acid permease 1 (AAP1)

<sup>3</sup> Nicotianamine



اضافه می‌شود، دارد و بنابراین می‌تواند به‌عنوان یک محرک رشد<sup>1</sup> در نظر گرفته شود (Yuan et al., 2013).

کاربرد یا اضافه‌کردن اسیدآمین به روی مورفولوژی ریشه تأثیر دارد. کاربرد L-glutamate برای ریشه سبب جلوگیری از رشد ریشه‌های اولیه و تحریک رشد انشعابات (ریشه‌های فرعی) شد (Walch-Lui et al., 2006). همچنین توسعه ریشه‌های موئین نزدیک نوک ریشه را تحریک کرد (Walch-Lui et al., 2006). این اثر فقط ویژه L-glutamate بود و در پاسخ به کاربرد 21 اسیدآمین دیگر و از جمله D-glutamate اتفاق نیفتاد (Walch-Lui et al., 2006). نشان داده شده است که تریپتوفان<sup>2</sup> یک اثر تحریک‌کنندگی متفاوت روی رشد ریشه دارد که آن را به این واقعیت نسبت می‌دهند که این اسیدآمین پیش‌ماده تولید اکسین است (Walch-Lui et al., 2006).

نشان داده شده است که اسیدآمین به سبب تحریک آنزیم‌های آلی شدن نیترات از طریق عمل هورمونی می‌شود. Maini (2006) ذکر کرد که تعدادی از مطالعات نشان دادند که محلول پاشی اسیدآمین تجاری سبب افزایش فعالیت NR می‌شوند. Schiavon و همکاران (2008) یک بررسی دقیقی را هدایت کردند و نشان دادند که اسید آمین مشتق شده از آبکافت یا هیدرولیز پروتئین‌های یونجه و کاربرد آن در مقدار 0/1 میلی گرم در لیتر تأثیر معنی‌داری روی آنزیم‌های آلی‌سازی نیترات در گیاه ذرت رشد کرده در محلول هوگلند داشت. آنزیم‌های اندازه‌گیری شده در ریشه و برگ‌ها شامل <sup>3</sup>NR، <sup>4</sup>NiR، <sup>5</sup>GS و <sup>6</sup>GOGAT بودند. تیمار اسید آمین منجر به افزایش معنی‌دار آماری در همه آنزیم‌های آلی‌ساز نیترات اندازه‌گیری شده، هم در ریشه و هم ساقه شد. با اعمال تیمار، غلظت کلی نیتروژن بدون تغییر ماند، اما غلظت نیترات کاهش یافت که نشان می‌دهد تیمار اعمال شده سبب شد تا گیاه نیترات را سریعتر به شکل آلی درآورند. آنزیم‌های سوخت و ساز کربن نیز به طور مثبتی متأثر شدند که این امر نشان می‌دهد که سوخت و ساز کربن و

<sup>1</sup> Biostimulant

<sup>2</sup> Tryptophan

<sup>3</sup> Nitrate reductases

<sup>4</sup> Nitrite reductase

<sup>5</sup> Glutamine synthetase

<sup>6</sup> Glutamate synthase

نیتروژن با هم تنظیم می‌شوند و این موضوع کمک می‌کند تا گیاه توازن نسبت کربن به نیتروژن را تنظیم نماید (Ertani et al., 2009).

### ریز جانداران تحریک‌کننده رشد گیاه

گونه‌هایی از باکتری‌ها و قارچ‌ها می‌توانند در تحریک رشد گیاه نقش مؤثری ایفا نمایند. استفاده از این گونه‌های میکروبی طی دو دهه اخیر در راستای مقابله با مشکلات کشاورزی مدرن، افزایش چشمگیری داشته است (غفاری‌نژاد و همکاران، 1399). ریزجانداران محرک رشد گیاه در توده خاک یا ریزوسفر حضور دارند و رشد گیاه را در برخی شرایط تحریک می‌کنند (Bashan and de Bashan, 2005). برای مثال نشان داده شده است که باکتری‌های محرک رشد گیاه از چند طریق تأثیر مثبت روی رشد گیاه دارند که شامل کنترل پاتوژن (Bashan and de Bashan, 2005)، افزایش تحمل به شوری (Alavi et al., 2013)، افزایش مقاومت به عناصر سنگین و دیگر مواد سمی (Lucy et al., 2004)، افزایش رشد و عملکرد (Alam et al., 2011) و ارتقای تغذیه گیاه (Richardson et al., 2009) است. باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌توانند با بذر تلقیح شوند و یا به صورت مستقیم در خاک تلقیح گردند (Smith, 1992). این باکتری‌ها معمولا با مواد حامل مثل پیت، کود دامی، کمپوست، خاک‌اره یا ورمی‌کولیت مخلوط می‌شوند (Smith, 1992). این حامل‌ها یک محیط مطبوع و مناسب را برای باکتری‌های محرک رشد گیاه، وقتی آنها در ابتدا به محیط پیچیده و دشوار خاک وارد می‌شوند، فراهم می‌کنند (van Veen et al., 1997). تلقیح موفق نیازمند وجود شرایط مطلوب حفظ و و فهم درست اکولوژی خاک منطقه است.

نتایج بسیاری از مطالعات نشان می‌دهند باکتری‌های محرک رشد گیاه، اثر مثبتی بر تغذیه گیاه دارند. بسته به سازوکار اثرگذاری، آنها می‌توانند جذب یک یا طیفی از عناصر غذایی را تحت تأثیر قرار دهند. برای مثال، باکتری‌های محرک رشدی که هم‌زیستی میکوریزایی را متأثر می‌سازند، جذب چند عنصر را تحت تأثیر قرار می‌دهند، درحالی‌که باکتری‌های محرک رشدی که جذب عنصر را از طریق تثبیت نیتروژن یا حل کردن فسفر و یا آهن متأثر می‌سازند فقط جذب آن عنصر خاص را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

### سازوکارهای تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر جذب عناصر غذایی و تغذیه گیاه

برخی از باکتری‌های محرک رشد گیاه از طریق تثبیت نیتروژن در تغذیه گیاه مؤثر هستند. تثبیت نیتروژن از اولین سازوکارهای کشف شده باکتری‌های محرک رشد گیاه، در تأثیرگذاری بر رشد گیاه بود. مایه تلقیح تجاری ریزوبیوم تثبیت‌کننده نیتروژن که تشکیل‌دهنده رابطه همزیستی با لگوم‌ها است از دهه 1890 در دسترس بوده است (Vessey, 2003). باکتری‌های جنس ریزوبیوم برای هر گونه از لگوم‌ها اختصاصی هستند. استفاده از باکتری‌های غیر ریزوبیومی تثبیت نیتروژن در غیر لگوم‌ها با موفقیت زیادی همراه نبوده است (Vessey, 2003). بسیاری از باکتری‌های محرک رشد گیاه که تثبیت آزاد نیتروژن انجام می‌دهند، رشد گیاه را به سبب توانایی‌شان برای تثبیت نیتروژن بهبود می‌بخشند.

نشان داده شده است که برخی باکتری‌های محرک رشد گیاه از طریق افزایش حلالیت فسفر سبب بهبود تغذیه گیاه می‌شوند (Vessey, 2003). دامنه غلظت فسفر کل در خاک‌های کشاورزی معمولاً بین 400 تا 1200 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است. اما در شرایط عادی تنها یک میلی‌گرم فسفر در هر کیلوگرم خاک در شکل قابل استفاده گیاه مثل  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  و  $\text{HPO}_4^{2-}$  است (Rodríguez and Fraga, 1999). شکل‌های نامحلول فسفر در خاک‌های کشاورزی به‌فرم غیرآلی و آلی وجود دارند. شکل غیرآلی غیر محلول بین 20 تا 50 درصد کل فسفر خاک را تشکیل می‌دهد (Richardson, 2001)، که معمولاً در فرم یون‌های فسفات، که دربرگیرنده استر فسفات، اینوزیتول فسفات و ملکول‌های بزرگ غیر قابل توصیف آلی است، می‌باشد (Richardson, 2001).

باکتری‌ها از چند راهبرد برای حل کردن ترکیبات غیرآلی و آلی فسفر استفاده می‌کنند. آنها برای حل کردن ترکیبات غیرآلی فسفر، اسیدهای آلی همچون اسیدهای گلکونیک و سیتریک می‌سازند که ترکیبات نامحلول فسفر را کلات می‌کنند و pH را پایین می‌آورند که هر دو این موارد سبب افزایش حلالیت فسفر می‌شوند (Gamalero and Glick, 2011). سازوکار دیگر این است که پروتون آزاد می‌شود و با کاهش pH، بدون اینکه کلات کردن اتفاق بیفتد، حلالیت را افزایش می‌دهند (Gamalero and Glick, 2011). باکتری‌ها

همچنین با معدنی کردن فسفر آلی باعث افزایش قابلیت استفاده فسفر می‌شوند (Gamalero and Glick, 2011).

توانایی حل فسفریکی از ویژگی‌های معمول باکتری‌های ریز و سفری است (Richardson, 2001). تعداد زیادی از این نوع باکتری‌ها جداسازی شده‌اند و شامل جنس‌های *treptomyces* *Enterobacter* *Burkholderia* *Rhizobium* *Bacillus* *Pseudomonas* *Erwinia* و *Flavobacterium* *Aereobacter* *Micrococcus* *Achromobacter* می‌باشند (Gamalero and Glick, 2011; Rodriguez and Fraga, 1999). با این حال، لزوماً همه باکتری‌های با توانایی حل فسفر، وقتی با خاک تلقیح می‌شوند، ممکن است برای گیاه اثر مفید نداشته باشند (Richardson, 2001). زیرا احتمال دارد یک سازوکار (در اینجا حل کردن فسفر) که در یک کشت آزمایشگاهی خوب کار می‌کند، در شرایط خاکی خوب کار نکند و علت آن، برای مثال، عدم پیشرفت و تکثیر این باکتری‌ها در خاک باشد (Richardson, 2001).

همچون فسفر، آهن نیز در خاک‌ها به فراوانی وجود دارد؛ اما اغلب به شکل غیرمحلول (اکسید آهن سه‌ظرفیتی) همچون هماتیت، گئوتایت و فروهایدریت است (Masalha et al., 2000). آهنی که قابلیت جذب توسط گیاه را داشته باشد، به‌ویژه در خاک‌های آهکی، غیرقابل استفاده است. زیرا شرایط بازی است و آهن با حلالیت کمتر عرضه می‌شود (Masalha et al., 2000). باکتری‌های خاصی تولید سیدروفورهای می‌کنند که آهن را کلات می‌کنند و حلالیت آن را افزایش می‌دهند. Masalha و همکاران (2000) نشان دادند که جذب آهن به‌وسیله گیاه ذرت و آفتاب‌گردان در خاک‌های آهکی که استریل نشده بودند نسبت به آنهایی که استریل شده بودند، بیشتر است که نشان می‌دهد ریز جانداران خاک اثر مفیدی بر جذب آهن دارند. به طور مشابه، Sharma و همکاران (2003) نشان دادند که گونه سودوموناس<sup>1</sup> جذب آهن را افزایش و نکروزه شدن را در لوییا کاهش داد. Masalha و همکاران (2000) و Sharma و همکاران (2003) نیز بهبود در تغذیه آهن گیاه را به سیدروفورهای باکتریایی نسبت دادند. Vansuyt و همکاران (2007) ملاحظه کردند که سیدروفور تولید شده به‌وسیله *Pseudomonas fluorescens* به‌وسیله

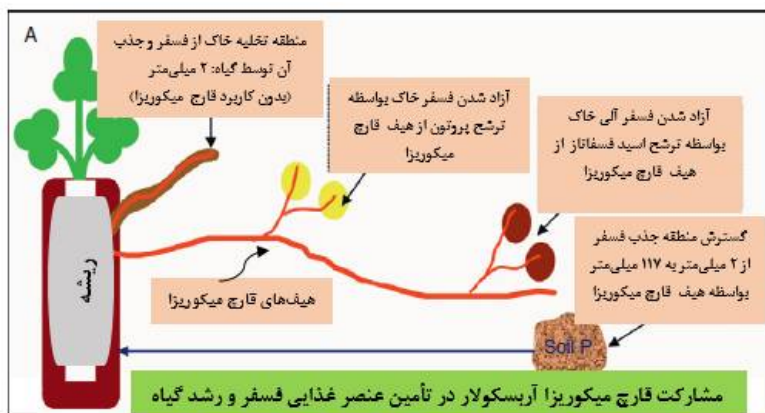
<sup>1</sup> *Pseudomonas* sp.

ریشه‌های گیاه به آسانی جذب می‌شود. Duijff و همکاران (1994) ملاحظه کردند که سیدروفور تولید شده به وسیله باکتری‌های محرک رشد گیاه به طور معنی‌داری در تغذیه آهن گیاه مشارکت دارند، زیرا بخش عمده سیدروفور تولید شده طبیعی به وسیله گیاه، خیلی سریع توسط ریزوباکترها تجزیه می‌شوند و در عمل این سیدروفور تولید شده به وسیله باکتری‌های محرک رشد گیاه است که می‌تواند در جذب آهن گیاه مفید باشد.

یکی از جالب‌ترین سازوکارهایی که بوسیله آن باکتری‌های محرک رشد گیاه، تغذیه گیاه را ارتقا می‌دهند، تحریک رابطه همزیستی بین قارچ میکوریزا و ریشه‌های گیاه می‌باشد (Frey-Klett et al., 2007). باکتری‌های محرک رشدی که این رابطه را تحریک می‌کنند، باکتری‌های کمک‌کننده میکوریزا<sup>1</sup> نامیده می‌شوند (Frey-Klett et al., 2007). قارچ‌های میکوریزی بیش از 80 درصد کل گیاهان خشکی را آلوده کرده‌اند (Giovannetti and Sbrana, 1998) و آنها با افزایش سطح جذب ریشه (شکل 10) و ترشح مواد کلات‌کننده یا آنزیم و حل کردن عناصر غذایی غیرمحلول، نقش قابل ملاحظه‌ای در تغذیه گیاه ایفا می‌کنند (Marschner and Dell, 1994). بسیاری از باکتری‌های محرک رشد گیاه همچون جنس‌های *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Agrobacterium*, *Klebsiella*, *Azospirillum*, *Arthrobacter*, *Burkholderia*, *Paenibacillus*, *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, *Alcaligenes* و *Brevibacillus* موجب تحریک رشد قارچ‌های میکوریزایی می‌شوند (Frey-Klett et al., 2007). شش سازوکار اصلی برای تحریک رشد قارچ‌های میکوریزایی توسط باکتری‌های کمک‌کننده میکوریزا (MHB) وجود دارد: (1) تحریک جوانه‌زنی اسپوره‌های قارچ‌ها (Frey-Klett et al., 2007)، (2) تحریک رشد میسلیم‌ها (Frey-Klett et al., 2007)، (3) پالایش خاک از سمومی که از رشد میکوریزا جلوگیری می‌کنند یا به‌طور مثبتی شیمی ریزوسفر و یا محیط را در جهت تشویق رشد میکوریزا تغییر می‌دهند (Frey-Klett et al., 2007; Garbaye, 1994; Johansson et al., 2004)، (4) ارتقای قدرت پذیرش ریشه برای آلودگی با میکوریزا (Frey-Klett et al., 2004; Garbaye, 1994; Johansson et al., 2007)، (5) تحریک انشعابات ریشه از طریق عمل هورمونی (Frey-Klett et al., 2007)، و (6) افزایش قابلیت دسترسی به عناصری مانند

<sup>1</sup> Mycorrhiza Helper Bacteria (MHB)

نیتروژن و فسفر، بنابراین همیاری بین قارچ میکوریزی و گیاه را تحریک می‌کند، زیرا هر دو این عناصر را نیاز دارند (Garbaye et al., 2004; Johansson et al., 1994).



شکل 10- تصویر شماتیک سازوکار تأثیر قارچ میکوریز بر افزایش جذب فسفر

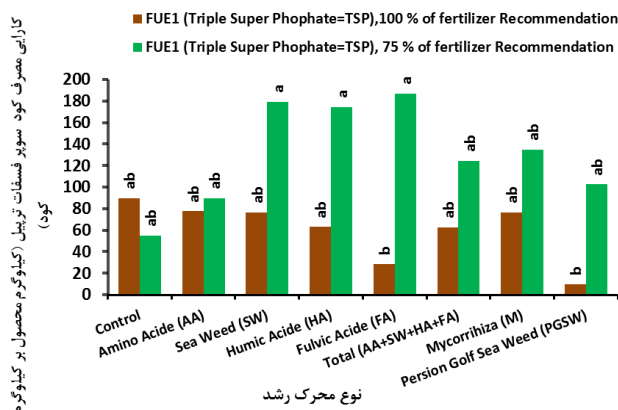
نمونه‌هایی از نتایج بررسی تأثیر محرک‌های رشد گیاه بر عملکرد و کارایی

مصرف کود گیاهان زراعی و باغی در برخی از نقاط کشور

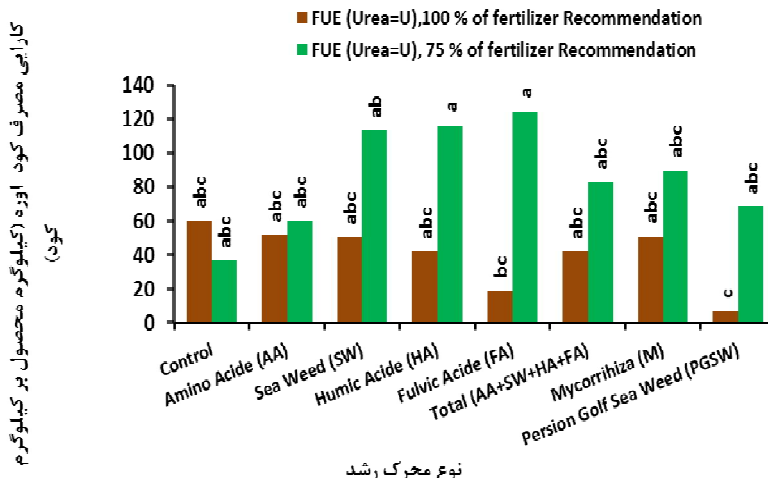
خوشبختانه در سال چند سال اخیر انجام آزمایش‌های تأثیر استفاده از محرک‌های رشد بر روی محصولات مختلف باهدف افزایش کارایی مصرف کود و همچنین تعدیل تنش‌های محیطی در نقاط مختلف کشور در دستور کار مؤسسه تحقیقات خاک و آب قرار گرفت. در حال حاضر تقریباً همه آزمایش‌های مذکور به اتمام رسیدند و گزارش‌های مربوطه نیز تهیه شده است. در ادامه نتایج آزمایش‌های تأثیر مواد محرک رشد بر کارایی مصرف کودهای شیمیایی مصرف شده در چند محصول (باغی و زراعی) آورده شده است.

در پژوهشی بر روی گوجه‌فرنگی، مصرف کود شیمیایی در سه سطح: صفر، 75 و 100 درصد مقدار توصیه شده بر اساس آزمایش خاک و کاربرد محرک‌های رشد گیاهی اسیدآمین، اسید فولویک، عصاره جلبک دریایی، اسید هیومیک نشان داد که اگرچه کود شیمیایی به‌تنهایی سبب افزایش عملکرد گوجه‌فرنگی گردید؛ اما کاربرد توأم آن با مواد محرک رشد، تأثیر آن را بر افزایش عملکرد ارتقا بخشید. در هرمزگان کاربرد کود شیمیایی

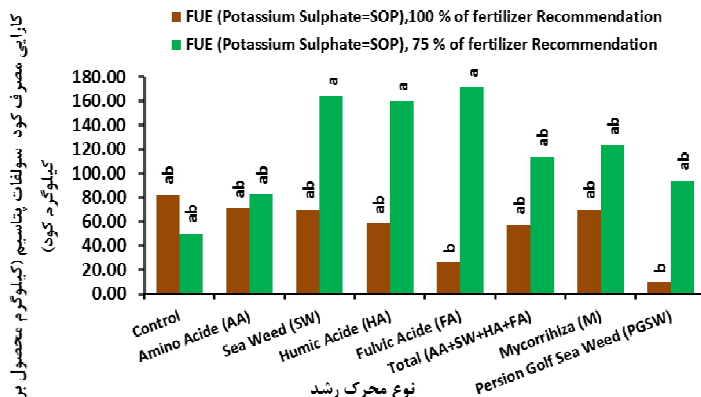
حاوی عناصر اصلی به مقدار 75 درصد توصیه کودی به همراه کاربرد محرک‌های رشد (عصاره جلبک دریایی، اسید هیومیک و اسید فولیک) بیشترین تأثیر را بر عملکرد کل (به ترتیب افزایش 47، 47 و 50 درصدی) و همچنین محصول بازارپسند (به ترتیب افزایش 100، 120 و 100 درصدی) داشت، اما در بوشهر بالاترین عملکرد (85 تن در هکتار) از کاربرد هم‌زمان تیمار ترکیبی محرک‌های رشد و کاربرد کود شیمیایی حاوی عناصر اصلی به مقدار 100 درصد توصیه کودی حاصل شد. در هر دو استان هرمزگان و بوشهر بالاترین کارایی مصرف کود در همه تیمارهای کاربرد محرک رشد و یا عدم مصرف محرک رشد، متعلق به کود سوپر فسفات تریپل بود و پس از آن بالاترین کارایی مصرف کود از آن کود سولفات پتاسیم بود. کود اوره در مقایسه با دو کود دیگر پایین‌ترین کارایی مصرف کود را دارا بود که احتمالاً به دلیل راه‌های هدررفت بیشتر این کود در مقایسه با دو کود دیگر است. عدم کاربرد محرک رشد در مقایسه با کاربرد محرک رشد (از هر نوع)، سبب کارایی پایین‌تر هر سه نوع کود گفته شده و همچنین مجموع سه کود گردید. از میان محرک‌های رشد مورد استفاده، در هرمزگان بالاترین کارایی مصرف هر سه کود شیمیایی، با کاربرد اسید فولیک، عصاره جلبک و اسید هیومیک (شکل‌های 11، 12 و 13) و در بوشهر با کاربرد ترکیبی از محرک‌های رشد حاصل شد. (حسینی، 1400).



شکل 11- اثر نوع محرک رشد بر کارایی مصرف کود سوپرفسفات تریپل در گوجه فرنگی به هنگام مصرف 100 و 75 درصد توصیه کودی



شکل 12- اثر نوع محرک رشد بر کارایی مصرف کود آورده در گوجه فرنگی به هنگام مصرف 100 و 75 درصد توصیه کودی



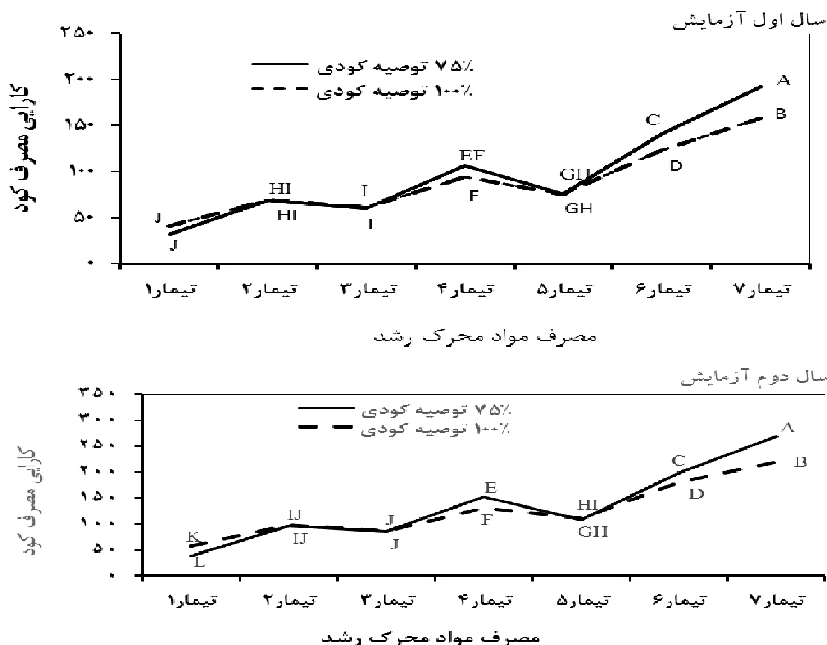
شکل 13- اثر نوع محرک رشد بر کارایی مصرف کود سولفات پتاسیم در گوجه فرنگی به هنگام مصرف 100 و 75 درصد توصیه کودی

در پژوهشی دیگر، کاربرد کود شیمیایی در سه سطح صفر، 75 و 100 درصد مقدار توصیه شده بر اساس آزمایش خاک و همچنین مصرف محرک‌های رشد گیاهی در ذرت مشخص شد بیشترین کارایی استفاده از نیتروژن با کاربرد 75 درصد توصیه کودهای اصلی



به همراه استفاده از عصاره جلبک دریایی حاصل گردید، به‌طوری که با مصرف هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی به همراه عصاره جلبک تجاری (در مقایسه با تیمار بدون کاربرد عصاره جلبکی) بیش از 18 کیلوگرم عملکرد نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد. بیشترین کارایی زراعی فسفر نیز با مصرف 75 درصد توصیه کودی به همراه کاربرد عصاره جلبک تجاری به دست آمد که مقدار آن 39/21 کیلوگرم محصول بر کیلوگرم فسفر بود. همچنین مصرف 100 درصد توصیه کودی فسفر به همراه کاربرد سه محرک رشد: عصاره جلبک تجاری + اسیدآمینه + اسید هیومیک نیز کارایی زراعی فسفر را به طور قابل‌ملاحظه افزایش داد. در مورد عنصر پتاسیم بالاترین مقدار کارایی زراعی این عنصر به مقدار 104/8 کیلوگرم بر کیلوگرم هنگامی به دست آمد که به همراه 100 درصد توصیه کودی پتاسیم از سه محرک رشد: عصاره جلبک تجاری + اسیدآمینه + اسید هیومیک نیز استفاده شد (طهرانی، 1400)

در مرکبات (پرتقال)، بیشترین کارایی مصرف کود در استان مازندران به ترتیب با کاربرد 75 درصد مقدار توصیه کودی کودهای شیمیایی حاوی عناصر اصلی به‌همراه کاربرد خاکی اسید هیومیک اسید به میزان 102 کیلوگرم محصول بر کیلوگرم کود و کاربرد 75 درصد مقدار توصیه شده کود توأم با استفاده از محلول‌پاشی فولویک اسید به میزان 99 کیلوگرم محصول بر کیلوگرم کود به‌دست آمد. در استان هرمزگان بیشترین کارایی مصرف کود به ترتیب با کاربرد 75 درصد مقدار توصیه شده کودهای شیمیایی به‌همراه تیمار ترکیبی مواد محرک رشد گیاهی (اسید هیومیک + اسید آمینه + عصاره جلبک دریایی + میکوریزا) به میزان 225 کیلوگرم محصول بر کیلوگرم کود و اثرمتقابل تیمار 100 درصد مقدار توصیه شده کودی در تیمار ترکیبی مواد محرک رشد گیاهی (اسید هیومیک + اسید آمینه + عصاره جلبک دریایی + میکوریزا) به میزان 185 کیلوگرم محصول بر کیلوگرم کود به‌دست آمد (شکل 19). در جنوب کرمان بیشترین کارایی مصرف کود به ترتیب با کاربرد 75 درصد مقدار کود توصیه شده توأم با استفاده از محلول‌پاشی فولویک اسید به میزان 55 کیلوگرم محصول بر کیلوگرم کود و کاربرد 75 درصد مقدار کود توصیه شده به‌همراه محلول‌پاشی اسید آمینه به میزان 46 کیلوگرم محصول بر کیلوگرم کود حاصل گردید (شه‌ابی‌ان، 1400).



شکل 19- تأثیر مصرف محرک‌های رشد و کود شیمیایی (70 و 100 درصد بر اساس آزمایش خاک)

بر کارایی مصرف کود در پرتقال - استان هرمزگان (شهپایان، 1400 و صالح و همکاران، 1402)

(تیمار 1: شاهد، تیمار 2: اسید آمینه (محلول پاشی)، تیمار 3: اسید فولیک (محلول پاشی)، تیمار 4: عصاره جلبک دریایی (محلول پاشی)، تیمار 5: اسید هیومیک (مصرف خاکی)، تیمار 6: میکوریزا (مصرف خاکی)، تیمار 7: ترکیب اسید آمینه + جلبک دریایی + میکوریزا + اسید هیومیک)

در کشت برنج که بستر آن یک محیط غرقابی است، شرایط برای هدرروی و یا از دسترس خارج شدن بخشی از عناصر غذایی مهیاتر است. از این رو ارتقا کارایی مصرف کودهای مصرفی می‌تواند به صرفه‌جویی در مصرف کود و آلودگی محیط‌زیست (به‌ویژه در شرایط شکننده شمال کشور) کمک شایانی نماید. در آزمایشی در برنج با کاربرد کود شیمیایی در سه سطح مصرف کودهای حاوی عناصر اصلی (بدون مصرف کود شیمیایی، 75 و 100 درصد مقدار توصیه شده بر اساس آزمایش خاک) و همچنین مصرف محرک‌های رشد گیاهی نشان داد که مصرف کود شیمیایی بر اساس 75 درصد توصیه کودی باعث افزایش کارایی مصرف کود شد. در دو منطقه قراخیل و رشت با مصرف کمتر

کود به میزان 75 درصد مقدار توصیه شده در مقایسه با مصرف 100 درصد توصیه کودی، کارایی هر سه عنصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم افزایش داشت. همچنین با محاسبه کارایی مصرف کود مشاهده شد که مصرف مواد محرک رشد، کارایی مصرف کود شیمیایی را افزایش داده است. به‌طوری‌که بیشترین کارایی زراعی مصرف نیتروژن مربوط به تیمار محلول‌پاشی 5 در هزار اسید هیومیک به همراه مصرف 75 درصد کودهای شیمیایی توصیه شده بود (چراتی آرائی، 1402).

### نتیجه‌گیری و توصیه‌های کاربردی

- آنچه مسلم است کاربرد محرک‌های رشد می‌توانند علاوه بر کمیت و کیفیت محصول و همچنین تعدیل تنش‌های محیطی، کارایی مصرف کودها (عناصر غذایی) را افزایش دهند.
- افزایش کارایی مصرف کود می‌تواند به کاهش مصرف کود منجر شود. کاهش مصرف کود علاوه بر حفظ محیط‌زیست، می‌تواند به تولید محصول سالم کمک نماید.
- از آنجاکه در مقایسه با مقدار کاربرد کودهای شیمیایی در مزارع و باغات، مقدار خیلی کمتری از محرک‌های رشد استفاده می‌شود، در اغلب موارد کاربرد آنها (محرک‌های رشد) دارای توجیه اقتصادی می‌باشد.
- باتوجه‌به روش‌های متنوعی که برای کاربرد محرک‌های رشد وجود دارد، کاربرد آنها در مراحل مختلف رشد گیاه امکان‌پذیر است.
- مقدار کاربرد محرک‌های رشد باتوجه‌به روش مصرف تغییر می‌کند؛ معمولاً در روش‌های کاربرد خاکی و کودآبیاری در مقایسه با محلول‌پاشی مقدار مصرف افزایش می‌یابد. بر اساس تجارب به‌دست‌آمده در مؤسسه تحقیقات خاک و آب در روش محلول‌پاشی غلظت 5 در هزار برای اغلب محرک‌های رشد، مناسب می‌باشد.
- بدیهی است در هنگام محلول‌پاشی محرک‌های رشد باید اصول و شرایط محلول‌پاشی رعایت گردد.
- افزایش کارایی مصرف کود می‌تواند به کاهش مصرف کود منجر شود.

- گزینش محرک‌های رشد برای مصرف، باید مطابق باهدف موردانتظار صورت گیرد. برای مثال اگر هدف از مصرف اسیدآمینة تعدیل تنش‌های محیطی است، باید اسیدهای آمینة تعدیل‌کننده تنش همچون پرولین باشد. اگر هدف افزایش کارایی جذب عناصر است توصیه می‌شود اسیدهای آمینة گلوتامیک، گلیسین و اسپارتیک استفاده شود.
- معمولاً انواعی از اسیدآمینة که حاوی اسیدآمینة آزاد بالاتری هستند برای محلول‌پاشی و از برندهایی که حاوی اسیدآمینة پیتیدی هستند برای مصرف خاکی توصیه می‌شوند.
- به هنگام محلول‌پاشی عناصر غذایی، باهدف جذب بیشتر عناصر غذایی، توصیه می‌شود از محرک‌های رشدی همچون اسیدآمینة و یا عصاره جلبک در محلول کودی استفاده شود.
- به‌طور کلی توصیه می‌شود به هنگام محلول‌پاشی از مخلوط‌کردن محرک‌های رشد با سموم به‌ویژه سموم محافظتی همچون سموم مسی اجتناب گردد.
- در مورد محرک‌های رشد حاوی موجودات زنده باید شرایط نگهداری قبل از مصرف آنها مناسب باشد؛ به‌ویژه شرایط مناسب دمایی فراهم گردد.
- به هنگام خرید هر ماده کودی و از جمله محرک‌های رشد، باید دقت شود که روی بسته مربوطه شماره "ثبت مواد کودی" وجود داشته باشد و از طریق سامانه پیامکی 3000646424 راست‌آزمایی صورت گیرد.

## منابع

- 1- بهروان، خ.ر، ر. خراسانی، ا. فتوت، ع. معزی و م. نقوی. 1398. اثر کاربرد اسید هیومیک و کود فسفر بر رشد ریشه، جذب و جریان به درون فسفر در گیاه نیشکر. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، 5 (33): 709-727.
- 2- حسینی، ی. 1400. اثر مواد محرک رشد گیاهی بر کارایی مصرف کود در گوجه‌فرنگی. گزارش نهایی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
- 3- چراتی آرای، ع. 1402. اثر مواد محرک رشد گیاهی بر کارایی مصرف کود در برنج. گزارش نهایی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
- 4- شهبان، م. 1400. اثر مواد محرک رشد گیاهی بر کارایی مصرف کود در پرتقال. گزارش نهایی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
- 5- صالح، ج.، م. شهبان و م.م. طهرانی. 1402. اثرات متقابل کودهای شیمیایی و مواد محرک رشد بر عملکرد و کارایی مصرف کود در پرتقال. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، 13 (2): 27-51.
- 6- طهرانی، م.م. 1400. اثر مواد محرک رشد گیاهی بر بهبود کارایی مصرف کود در ذرت. گزارش نهایی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
- 7- عباسی، ه. و ج. حمزه‌ئی. 1396. اثر منابع مختلف کودهای محتوی نیتروژن پایه و اسیدهیومیک بر عملکرد و برخی از صفات فیزیولوژیک گندم رقم پیشتاز. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. 9 (35): 73-88.
- 8- غفاری‌نژاد، س.ع، ف. نورقلی‌پور و م.ن. غیبی. 1399. محرک‌های رشد گیاهی، نقش آنها در فیزیولوژی گیاه، جذب عناصر غذایی و مقابله با تنش‌های محیطی. نشریه مدیریت اراضی، 8 (1): 47-68.

- 9- قره‌داغی، ه. 1389. بررسی چالش‌های مصرف کود در ایران طی سال‌های 1373 تا 1388 (بررسی موردی: استان خوزستان). پروژه کارشناسی، گروه مهندسی علوم خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- 10- کشاورز، پ. 1392. راهبردهای مدیریتی افزایش کارایی مصرف نیتروژن در کشاورزی. نشریه مدیریت اراضی، 1 (1): 47-53.
- 11- مشیری، ف. و س. م. موسوی. 1397. وضعیت کارایی مصرف کود در ایران: چالش‌ها و راهکارها، دوازدهمین کنگره ملی پیشگامان پیشرفت، تهران [https:// civilica.com](https://civilica.com/doc/845243) . /doc/ 845243
- 12- Alam, M., Khaliq, A., Sattar, A., Shukla, R.S., Anwar, M., Dharni, S., 2011. Synergistic effect of arbuscular mycorrhizal fungi and *Bacillus subtilis* on the biomass and essential oil yield of rose-scented geranium (*Pelargonium graveolens*). Arch. Agron. Soil Sci. 57: 889–898.
- 13- Alavi, P., Starcher, M., Zachow, C., Mueller, H., Berg, G., 2013. Root-microbe systems: The effect and mode of interaction of stress protecting agent (SPA) *Stenotrophomonas* *hizopila* DSM14405T. Front. Plant Sci. 4: 141.
- 14- Ali, M., Mindari, W., 2016. Effect of humic acid on soil chemical and physical characteristics of embankment. In: MATEC Web of Conferences, 58, p. 01028
- 15- Assouline, S., 2011. Bulk density of soils and impact on their physical properties. In: Glin~ski, J., Horabik, J., Lipiec, J. (Eds.), Encyclopedia of Agrophysics, vol. 95. Springer Dordrecht, Heidelberg, London. New York, p. 100.
- 16- Bashan, Y., de Bashan, L.E., 2005. Bacteria: plant growth-promoting. In: Hillel, D. (Ed.), Encyclopedia of Soils in the Environment, vol. 1. Elsevier, Oxford, pp. 103–115.
- 17- Bedini, S., Pellegrino, E., Avio, L., Pellegrini, S., Bazzoffi, P., Argese, E., 2009. Changes in soil aggregation and glomalin-related soil protein content as affected by the arbuscular mycorrhizal fungal species *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*. Soil Biol. Biochem. 41, 1491-1496.
- 18- Biernath, C., Fischer, H., Kuzyakov, Y., 2008. Root uptake of N-containing and N-free low molecular weight organic substances by maize: a 14 C/15N tracer study. Soil Biol. Biochem 40, 2237–2245.
- 19- Chen, J., 2006. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility 20. In: International

- Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use, vol. 16. Land Development Department, Bangkok, Thailand.
- 20- Cieschi, M., Lucena, J., 2018. Iron and humic acid accumulation on soybean roots fertilized with leonardite iron humates under calcareous conditions. *J. Agric. Food Chem.* 66, 13386-13396.
  - 21- Craigie, J.S., 2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *J. Appl. Phycol.* 23, 371-393.
  - 22- Curie, C., Cassin, G., Couch, D., Divol, F., Higuchi, K., Le Jean, M., Misson, J., Schikora, A., Czernic, P., Mari, S., 2009. Metal movement within the plant: contribution of nicotianamine and yellow stripe 1-like transporters. *Ann. Bot. Lond.* 103, 1-11.
  - 23- Dakora, F.D., Phillips, D.A., 2002. Root exudates as mediators of mineral acquisition in lownutrient environments. *Plant Soil* 245, 35-47.
  - 24- Daverede, I.C., Kravchenko, A.N., Hoeft, R.G., Nafziger, E.D., Bullock, D.G., Warren, J.J., Gonzini, L.C., 2004. Phosphorus runoff from incorporated and surface-applied liquids wine manure and phosphorus fertilizer. *J. Environ. Qual.* 33: 1535-1544.
  - 25- De Hita, D., Fuentes, M., Fernández, V., Zamarreño, A.M., Olaetxea, M., Garcí'a-Mina, J.M., 2020. Discriminating the short-term action of root and foliar application of humic acids on plant growth: emerging role of jasmonic acid. *Front. Plant Sci.* 11, 493.
  - 26- Du Jardin, P., 2012. The Science of Biostimulants - A Bibliographic Analysis. (Final report for EU). Contract 30-CEO455515/00-96. p. 37.
  - 27- Duijff, B.J., De Kogel, W.J., Bakker, P.A.H.M., Schippers, B., 1994. Influence of pseudobactin358 on the iron nutrition of barley. *Soil Biol. Biochem.* 26: 1681-1688.
  - 28- Ekin, Z., 2019. Integrated use of humic acid and plant growth, promoting rhizobacteria to ensure higher potato productivity in sustainable agriculture. *Sustainability* 11, 3417.
  - 29- El Boukhari, M.E.M., Barakate, Y., Bouhia, M., Lyamlouli, K., 2020. Trends in seaweed extract-based biostimulants: manufacturing process and beneficial effect on soil-plant systems. *Plants* 9, 359.
  - 30- Ertani, A., Cavani, L., Pizzeghello, D., Brandellero, E., Altissimo, A., Ciavatta, C., Nardi, S., 2009. Biostimulant activity of two protein hydrolyzates in the growth and nitrogen metabolism of maize seedlings. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172, 237-244.
  - 31- EU, 2019. Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 Laying Down Rules on the Making Available on the Market of EU Fertilising Products and Amending Regulations (EC) No

- 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and Repealing Regulation (EC) No 2003/2003. Available at: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ EN/ TXT/ PDF/? uri¼OJ:L:2019:170:FULL&from¼EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2019:170:FULL&from=EN). (Accessed 4 August 2020).
- 32- FAO, 2005. The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production.
- 33- Fornes, F., Sanchez-Perales, M., Guadiola, J.L., 2002. Effect of a seaweed extract on the productivity of 'de Nules' clementine Mandarin and Navelina orange. *Bot. Mar.* 45, 486-489.
- 34- Frey-Klett, P., Garbaye, J.A., Tarkka, M., 2007. The mycorrhiza helper bacteria revisited. *New. Phytol.* 176: 22-36.
- 35- Gamalero, E., Glick, B.R., 2011. Mechanisms used by plant growth-promoting bacteria. In: Maheshwari, D.K. (Ed.), *Bacteria in Agrobiolgy: Plant Nutrient Management*. Springer, Berlin Heidelberg, pp. 17-46.
- 36- Garbaye, J., 1994. Tansley review No. 76 helper bacteria: a new dimension to the mycorrhizal symbiosis. *New. Phytol.* 128: 197-210.
- 37- García-Martínez, A.M., Díaz, A., Tejada, M., Bautista, J., Rodríguez, B., Santa María, C., Revilla, E., Parrado, J., 2010. Enzymatic production of an organic soil biostimulant from wheat-condensed distiller solubles: effects on soil biochemistry and biodiversity. *Proc. Biochem.* 45, 1127-1133.
- 38- Ghasemi, S., Khoshgofarmanesh, A.H., Hadadzadeh, H., Jafari, M., 2012. Synthesis of ironamino acid chelates and evaluation of their efficacy as iron source and growth stimulator for tomato in nutrient solution culture. *Plant Growth Regul.* 31, 498-508.
- 39- Giovannetti, M., Sbrana, C., 1998. Meeting a non-host: the behaviour of AM fungi. *Mycorrhiza* 8: 123-130.
- 40- Gonzalez-Gonzalez, M.F., OcampoAlvarez, H., SantacruzRuvalcaba, F., Sanchez-Hernandez, C.V., Casarrubias-Castillo, K., Becerril-Espinosa, A., Castaneda-Nava, J.J., Hernandez-Herrera, R.M., 2020. Physiological, ecological, and biochemical implications in tomato plants of two plant biostimulants: arbuscular mycorrhizal fungi and seaweed extract. *Front. Plant Sci.* 11, 999.
- 41- Granada, C.E., Passaglia, L.M.P., De Souza, E.M., Sperotto, R.A., 2018. Is phosphate solubilization the forgotten child of plant growth-promoting rhizobacteria? *Front. Microbiol.* 9, 2054.
- 42- Grazziotin, A., Pimentel, F.A., Sangali, S., de Jong, E.V., Brandelli, A., 2007. Production of feather protein hydrolysate by keratinolytic bacterium *Vibrio* sp. kr2. *Bioresour. Technol.* 98, 3172-3175.
- 43- Halpern, M, A. Bar-Taly, M. Ofeky, D. Minzy, T. Mullerx and U. Yermiyahu. 2015. The Use of Biostimulants for Enhancing Nutrient Uptake. *Advances in Agronomy*, 130: 141-174.



- 44- Hancock, J., Scorza, R., 2008. Peach. In: Hancock, J. (Ed.), Temperate Tree Fruit Breeding. Springer, New York, USA, pp. 265-298.
- 45- Jie, M., Raza, W., Xu, Y.C., Shen, Q.R., 2008. Preparation and optimization of amino acid chelated micronutrient fertilizer by hydrolyzation of chicken waste feathers and the effects on growth of rice. J. Plant Nutr. 31, 571-582.
- 46- Jindo, K., Olivares, F.L., Malcher, D.J.P., Sańchez-Monedero, M.A., Kempenaar, C., Canellas, L.P., 2020. From Lab to Field: role of humic substances under open-field and greenhouse conditions as biostimulant and biocontrol agent. Front. Plant Sci. 11, 426.
- 47- Johansson, J.F., Paul, L.R., Finlay, R.D., 2004. Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. FEMS Microbiol. Ecol. 48:1-13.
- 48- Khan, R.U., Rashid, A., Khan, M.S., Ozturk, E., 2010. Impact of humic acid and chemical fertilizer application on growth and grain yield of rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.). Pakistan J. Agric. Res. 23, 113-121.
- 49- Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S., Jithesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M., Critchley, A.T., Craigie, J.S., Norrie, J., Prithiviraj, B., 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. J. Plant Growth Regul. 28, 386-399.
- 50- King, K.W., Torbert, H.A., 2007. Nitrate and ammonium losses from surface-applied organic and inorganic fertilizers. J. Agric. Sci. 145: 385-393.
- 51- Kolomazník, K., Pecha, J., Friebrov\_a, V., Jan\_a\_cov\_a, D., Va\_sek, V., 2012. Diffusion of biostimulator into plant tissues. Heat. Mass Transf. 48, 1505-1512.
- 52- Kong, B., Q. Wu, Y. Li, T. Zhu, Y. Ming, C. Li, C. Li, F. Wang, S. Jiao, L. Shi and Z. Dong. 2022. The Application of humic acid urea improves nitrogen use efficiency and crop yield by reducing the nitrogen loss compared with urea. Agriculture 12: 1-16.
- 53- Layek, J., Das, A., Ghosh, A., Sarkar, D., Idapuganti, R., Boragohain, J., Yadav, G., Lal, R., 2017. Foliar application of seaweed sap enhances growth, yield and quality of maize in Eastern Himalayas. Proc. Natl. Acad. Sci. India B Biol. Sci. 89, 1-9.
- 54- Lucy, M., Reed, E., Glick, B.R., 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. Antonie Leeuwenhoek 86: 1-25.
- 55- Maccarthy, P., 2001. The principles of humic substances. Soil Sci. 166, 738-751.

- 56- Maini, P., 2006. The experience of the first biostimulant, based on amino acids and peptides: a short retrospective review on the laboratory researches and the practical results. *Fertil. Agrorum* 1, 29–43.
- 57- Malan, C., 2015. Review: humic and fulvic acids. A practical approach. In: *Sustainable Soil Management Symposium*. Stellenbosch, 5e6 November 2015. Agrilibrum Publisher, Cape Town, South Africa.
- 58- Marschner, H., Dell, B., 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant Soil* 159:89–102.
- 59- Masalha, J., Kosegarten, H., Elmaci, E. O., Mengel, K., 2000. The central role of microbial activity for iron acquisition in maize and sunflower. *Biol. Fert. Soils* 30: 433–439.
- 60- Mccauley, A., 2017. Soil pH and organic matter. *Nutr. Manag. Modul.* No. 8, 1-12.
- 61- Mindari, W., Aini, N., Kusuma, Z., Syekhfani, S., 2014. Effects of humic acid-based cation buffer on chemical characteristics of saline soil and growth of maize. *J. Degraded Min. Lands Manag.* 2, 259-268.
- 62- Miransari, M., 2013. Soil microbes and the availability of soil nutrients. *Acta Physiol. Plant.* 35, 3075-3084.
- 63- Mondal, T., Datta, J.K., Mondal, N.K., 2017. Chemical fertilizer in conjunction with biofertilizer and vermicompost induced changes in morpho-physiological and bio-chemical traits of mustard crop. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 16, 135e144.
- 64- Morard, P., Eyheraguibel, B., Morard, M., Silvestre, J., 2011. Direct effects of a humic-like substance on growth, water, and mineral nutrition of various species. *J. Plant Nutr.* 34, 46-59.
- 65- N€asholm, T., Kielland, K., Ganeteg, U., 2009. Uptake of organic nitrogen by plants. *New. Phytol.* 182, 31–48.
- 66- Olaetxea, M., Mora, V., Garcí'a, A.C., Santos, L.A., Baigorri, R., Fuentes, M., Garnica, M., Berbara, R.L., Zamarren˜o, A.M., Garcia-Mina, J.M., 2016. Root-shoot signaling crosstalk involved in the shoot growth promoting action of rhizospheric humic acids. *Plant Signal. Behav.* 11, e1161878.
- 67- Olk, D.C., Bloom, P.R., Perdue, E.M., Mcknight, D., Chen, Y., Farenhorst, A., Senesi, N., Chin, Y.P., Schmitt-Kopplin, P.H., Hertkorn, N., Harir, M., 2019. Environmental and agricultural relevance of humic fractions extracted by alkali from soils and natural waters. *J. Environ. Qual.* 48, 217-232.
- 68- Otero, V., Barreal, M.E., Merino, A., Gallego, P.P., 2006. Calcium fertilization in a kiwifruit orchard. *Acta Hort.* 753, 515–520.

- 
- 69- Pettit, R.E., 2013. Organic Matter, Humus, Humate, Humic Acid, Fulvic Acid, and Humin. Texas A&M University, College Station, pp. 5-20.
- 70- Polo, J., Barroso, R., R\_odenas, J., Azc\_on-Bieto, J., C\_aceres, R., Marf\_a, O., 2006. Porcine hemoglobin hydrolysate as a biostimulant for lettuce plants subjected to conditions of thermal stress. HortTechnology 16, 483-487.
- 71- Rathore, S.S., Chaudhary, D.R., Boricha, G.N., Ghosh, A., Bhatt, B.P., Zodape, S.T., Patolia, J.S., 2009. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean. (Glycine max) under rainfed conditions. South Afr. J. Bot. 75, 351-355.
- 72- Renaut, S., Masse, J., Norrie, J.P., Blal, B., Hijri, M., 2019. A commercial seaweed extract structured microbial communities associated with tomato and pepper roots and significantly increased crop yield. Microb.Biotechnol. 12, 1346-1358.
- 73- Richardson, A.E., 2001. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. Funct. Plant Biol. 28: 897-906.
- 74- Richardson, A.E., Barea, J.M., McNeill, A.M., Prigent-Combaret, C., 2009. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. Plant Soil 321: 305-339.
- 75- Rodriguez, H., Fraga, R., 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnol. Adv. 17: 319-339.
- 76- Rouphael, Y., Colla, G., 2020. Editorial: biostimulants in agriculture. Front. Plant Sci. 11, 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>.
- 77- Russo, R.O., Berlyn, G.P., 1990. The use of organic biostimulants to help low input sustainable agriculture. J. Sustain. Agric. 1, 19-42.
- 78- Salmina N. Mokgehle, Hintsa T. Araya, Nadia A. Araya, Michael W. Bairu, Manaka J. Makgato, Motiki M. Mofokeng, Phomolo Maphothoma, Christian P. du Plooy, Stephen O. Amoo, 2021. Biostimulant applications in low-input cultivation systems to enhance nutrition efficiency of crops. In: Biostimulants for Crops from Seed Germination to Plant Development, pp. 237-261. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823048-0.00001-0>
- 79- Sanchez, L., Diez, J.A., Vallejo, A., Cartagena, M.C., 2001. Denitrification losses from irrigated crops in central Spain. Soil Biol. Biochem. 33, 1201-1209.
- 80- Schiavon, M., Ertani, A., Nardi, S., 2008. Effects of an alfalfa protein hydrolysate on the gene expression and activity of enzymes of the tricarboxylic acid (TCA) cycle and nitrogen metabolism in Zea mays L. J. Agric. Food Chem. 56, 11800-11808.

- 81- Schimel, J.P., Chapin III, F.S., III, 1996. Tundra plant uptake of amino acid and  $\text{NH}_4^+$  nitrogen in situ: plants complete well for amino acid N. *Ecology* 77, 2142–2147.
- 82- Schmidke, I., Stephan, U.W., 1995. Transport of metal micronutrients in the phloem of castor bean (*Ricinus communis*) seedlings. *Physiol. Plant* 95, 147–153.
- 83- Shah, M.T., Zodape, S.T., Chaudhary, D.R., Eswaran, K., Chikara, J. 2013. Seaweed sap as an alternative liquid fertilizer for yield and quality improvement of wheat. *J. Plant Nutr.* 36, 192-200.
- 84- Sharma, A., Johri, B.N., Sharma, A.K., Glick, B.R., 2003. Plant growth-promoting bacterium *Pseudomonas* sp. strain GRP3 influences iron acquisition in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilzeck). *Soil Biol. Biochem.* 35: 887–894.
- 85- Smith, R.S., 1992. Legume inoculant formulation and application. *Can. J. Microbiol.* 38:485–492.
- 86- Taghadosi, M., Hasani, N., and Sinki, J. 2012. Irrigation stress and spraying with humic acid and seaweed extract in antioxidant enzymes and proline in sorghum. *Crop Production under Environmental Stresses*, 4(1), 1-12.
- 87- Steelink, C., 2002. Investigating humic acids in soils. *Anal. Chem.* 74, 326-333.
- 88- Thirumaran, G., Arumugan, M., Arumugan, R., Anantharaman, P., 2009. Effect of seaweed liquid fertilizer on growth pigment concentration of *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) taub. *Am. Eurasian J. Agron.* 2, 50-56.
- 89- Van Veen, J.A., van Overbeek, L.S., van Elsas, J.D., 1997. Fate and activity of microorganisms introduced into soil. *Microbiol. Mol. Biol. R.* 61: 121–135.
- 90- Vance, C.P., 2001. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. *Plant nutrition in a world of declining renewable resources.* *Plant Physiol.* 127, 390–397.
- 91- Vansuyt, G., Robin, A., Briat, J.F., Curie, C., Lemanceau, P., 2007. Iron acquisition from Fe-pyoverdine by *Arabidopsis thaliana*. *Mol. Plant Microbe. Interact.* 20: 441–447.
- 92- Vasileva-Tonkova, E., Nustorova, M., Gushterova, A., 2007. New protein hydrolysates from collagen wastes used as peptone for bacterial growth. *Curr. Microbiol.* 54, 54–57.

- 
- 93- Vernieri, P., Borghesi, E., Tognoni, F., Ferrante, A., Serra, G., Piaggese, A., 2006. Use of biostimulants for reducing nutrient solution concentration in floating system. *Acta Hortic.* 718, 477-484.
- 94- Vessey, J.K., 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil* 255:571-586.
- 95- Von Wandruszka, R., 2000. Humic acids: their detergent qualities and potential uses in pollution remediation. *Geochem. Trans.* 1, 10.
- 96- Walch-Liu, P., Liu, L.H., Remans, T., Tester, M., Forde, B.G., 2006. Evidence that L-glutamate can act as an exogenous signal to modulate root growth and branching in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell. Physiol.* 47, 1045-1057.
- 97- Xu, B., Xu, W., Huang, J., Shan, L., Li, F., 2011. Biomass production and relative competitiveness of a C3 legume and a C4 grass co-dominant in the semiarid Loess Plateau of China. *Plant Soil* 347, 25-39.
- 98- Yakhin, O.I., Lubyantsev, A.A., Yakhin, I.A., Brown, P.H., 2017. Biostimulants in plant science: a global perspective. *Front. Plant Sci.* 7, 2049.
- 99- Yazawa, H., Ogiso, M., Kumagai, H., Uemura, H., 2014. Suppression of ricinoleic acid toxicity by *ptl2* overexpression in fission yeast *Schizosaccharomyces pombe*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 98, 9325-9337.
- 100- Yuan, L., Wu, L., Yang, C., Lv, Q., 2013. Effects of iron and zinc foliar applications on rice plants and their grain accumulation and grain nutritional quality. *J. Sci. Food Agric.* 93, 254-261.
- 101- Zanin, L., Tomasi, N., Cesco, S., Varanini, Z., Pinton, R., 2019. Humic substances contribute to plant iron nutrition, acting as chelators and biostimulants. *Front. Plant Sci.* 10, 675.
- 102- Zodape, S.T., 2001. Seaweeds as a biofertilizer. *J. Sci. Ind. Res.* 60, 378-382.