بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات علوم باغبانی
پژوهشکده پسته

نقش مواد هیومیکی در کشاورزی

نگارنده:

مریم افروشه
اعضاء هیأت علمی پژوهشکده پسته

۱۳۹۶

نشریه شماره ۹۱

وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

موسسه تحقیقات علوم باغبانی

پژوهشکده پسته

نقش مواد هیومیکی در کشاورزی

نگارنده:

مریم افروشه

عضو هیات علمی پژوهشکده پسته

۱۳۹۶

نام نشریه: نقش مواد هیومیکی در کشاورزی

نویسنده: مریم افروشه

ناشر: کارگروه انتشارات پژوهشکده پسته

ویراستاران علمی: علی اسماعیل‌پور، علی تاج آبادی‌پور، سیدجواد حسینی‌فرد، ناصر صداقتی، ماریه نادی

چاپ اول: ۱۳۹۶

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

امور فنی: فاطمه کاظمی، غلامرضا ابارقی

مسئولیت صحت مطالب با نویسنده است.

شماره ثبت در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی ۵۲۵۹۹ به تاریخ ۹۶/۸/۲۳ می باشد.

قیمت:

نشانی: رفسنجان، میدان شهید حسینی، پژوهشکده پسته

صندوق پستی: ۴۳۵-۷۷۱۷۵

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه: ٥

منابع مواد هیومیکی در طبیعت ٦

مراحل تشکیل مواد هیومیکی ٧

خواص مواد هیومیکی ١٢

١- نقش مواد هیومیکی در بهبود ساختار فیزیکی خاک ١٣

٣- نقش مواد هیومیکی در ریشه‌زایی ١٣

٤- نقش مواد هیومیکی در حفظ رطوبت خاک ١٤

٥- نقش مواد هیومیکی در تحریک رشد ریزجانداران خاک ١٥

٦- نقش مواد هیومیکی در جلوگیری از سرمازدگی گیاه ١٥

٧- نقش مواد هیومیکی در آزادسازی مواد معدنی ١٦

٨- نقش مواد هیومیکی در افزایش تحمل به تنش شوری ١٧

٩- نقش مواد هیومیکی در افزایش تحمل به تنش خشکی ١٧

١٠- نقش مواد هیومیکی در کاهش سمیت کودها و فلزات سنگین ١٧

١١- نقش مواد هیومیکی در تغییرات pH در خاک ١٩

١٢- نقش مواد هیومیکی درتامین متوازن عناصرغذایی ١٩

١٣- نقش مواد هیومیکی در بهبود کیفیت محصول ٢٠

١٤- نقش مواد هیومیکی در افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک ٢٠

١٥- نقش مواد هیومیکی در افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی ٢١

١٦- نقش مواد هیومیکی در انتقال موج انرژی به سلول‌های گیاهی ٢١

١٧-دوام کودهای هیومیکی در خاک ٢٢

١٨- نقش ترکیبات هیومیک در سازگاری با محیط زیست ٢٣

نتیجه گیری کلی ٢٣

منابع: ٢٥

مقدمه:

پسته یکی از مهمترین محصولات باغی است که با نام ایران درآمیخته و تولید آن در کشور ما سابقه طولانی و تاریخی دارد. پسته به عنوان یکی از محصولات استراتژیک، جایگاه خاصی در تولیدات کشاورزی دارد و بخش عمده‌ای از صادرات غیرنفتی را تشکیل می دهد. سازگاری این محصول با شرایط نامساعد محیطی از جمله شوری آب و خاک، مقاومت به خشکی و کم‌آبی سبب گردیده تا جایگاه ویژه‌ای در مناطقی که شرایط نامناسب کشت برای سایر محصولات باغی و زراعی است، داشته باشد(شیبانی و همکاران، ۱۳۷۳).

پسته جزء محصولات سازگار به شرایط خشک و نیمه خشک است اما خشکسالی‌های مداوم و برداشت بی رویه آب در سال‌های اخیر و بدنبال آن کاهش کیفیت منابع آب، عملکرد را به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر قرار داده است. شوری آب و خاک در سطح وسیع، مهم‌ترین عوامل محدودکننده در مناطق پسته خیز استان کرمان که بیش از ۷۰ درصد سطح کشت پسته را دارا است، می باشد(Malakoti *et al.*, 2002). استفاده بیش از حد متعارف از کودهای شیمیایی و مواد اصلاح کننده خاک (گچ و آهک) در اراضی با آب و خاک شور، برای رسیدن به عملکرد بالا، باعث افزایش غلظت نمک در ناحیه ریشه گردیده است و محصول درختان پسته به جای سال‌آوری به چندین سال‌آوری تبدیل گردیده است. این کاهش تولید اقتصادی باعث شده است که صنعت پسته ایران در خطر جدی و تهدیدی به نام بازار پسته آمریکا قرار بگیرد. در چنین شرایطی، با توجه به جایگاه اقتصادی و اهمیت پسته در کشور و جهان، به منظور دسترسی به عملکرد بالا، استفاده از ترکیبات آلی مبتنی بر حفاظت محیط زیست، حائز اهمیت است.

مواد آلی هیومیکی، ترکیبات پلیمری طبیعی می‌باشند که در نتیجه پوسیدگی مواد آلی خاک، پیت، لیگنین و غیره به وجود می‌آیند و جهت افزایش کمی و کیفیت محصول به کار گرفته می‌شوند (Nardi *et al.*, 2002). در خصوص نحوه اثر مواد هیومیکی گزارش‌های متعددی وجود دارد. اثر مستقیم آن به عنوان ترکیبات شبه‌هورمونی (Nardi *et al.*, 2002; Zheng *et al.*, 2004) و اثر غیرمستقیم آن‌ها به صورت افزایش جذب عناصر غذایی از طریق خاصیت کلات‌کنندگی و احیاکنندگی، حفظ نفوذپذیری غشاء، افزایش متابولیسم ریزجانداران در خاک، بهبود وضعیت فیزیکی خاک و افزایش رشد ریشه و ساقه گزارش شده است (Sanchez-Sanchez *et al.*, 2002; Atiyeh *et al.*, 2002).

دلایل استفاده از مواد هیومیکی:

- ✓ کمک به افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش‌های زیستی(آفات وبیماری‌ها) و در نتیجه کاهش مصرف سموم.
- ✓ کمک به افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های غیرزیستی(شوری، خشکی، فلزات سنگین، دما و ...)
- ✓ احیای توازن در خاک‌هایی که قبلاً بطور نامناسب کوددهی شده‌اند
- ✓ صرفه‌جویی در مصرف کود شیمیایی و کاهش هزینه‌ها.
- ✓ سازگاری با محیط زیست و فقدان نگرانی از آلوده شدن آب‌های سطحی و زیرزمینی.
- ✓ کاهش هزینه‌های کارگری به دلیل استفاده از حجم کم در مقایسه با کودهای حیوانی (Grasset and Amble, 1998; Nardi *et al*., 2002)

منابع مواد هیومیکی در طبیعت

مواد هیومیکی از منابع بسیار متنوع از جمله اقیانوس، لجن، خاک، هوموس، تورب، زغال قهوه‌ای، لئوناردیت، زغال سنگ و... استخراج می‌شود. بهترین منبع آن، لئوناردیت است.

جدول۱: معرف‌های استخراج کننده مواد آلی هیومیکی (Stevenson, 1982)

منابع طبیعی	لئوناردیت (Australia)	لئوناردیت (Europe/USA)	تورب سیاه	تورب نارس	زغال قهوه‌ای	ضایعات حیوانی	کمپوست	خاک	لجن	زغال سنگ سیاه
اسید هیومیک %	۸۵	۴۰	۱۰	۱۰	۱۰	۵	۲	۱	۱	۰
اسید فولویک %	۱۰	۱۰	۴۰	۲۰	۳۰	۱۵	۵	۵	۵	۱

مراحل تشکیل مواد هیومیکی

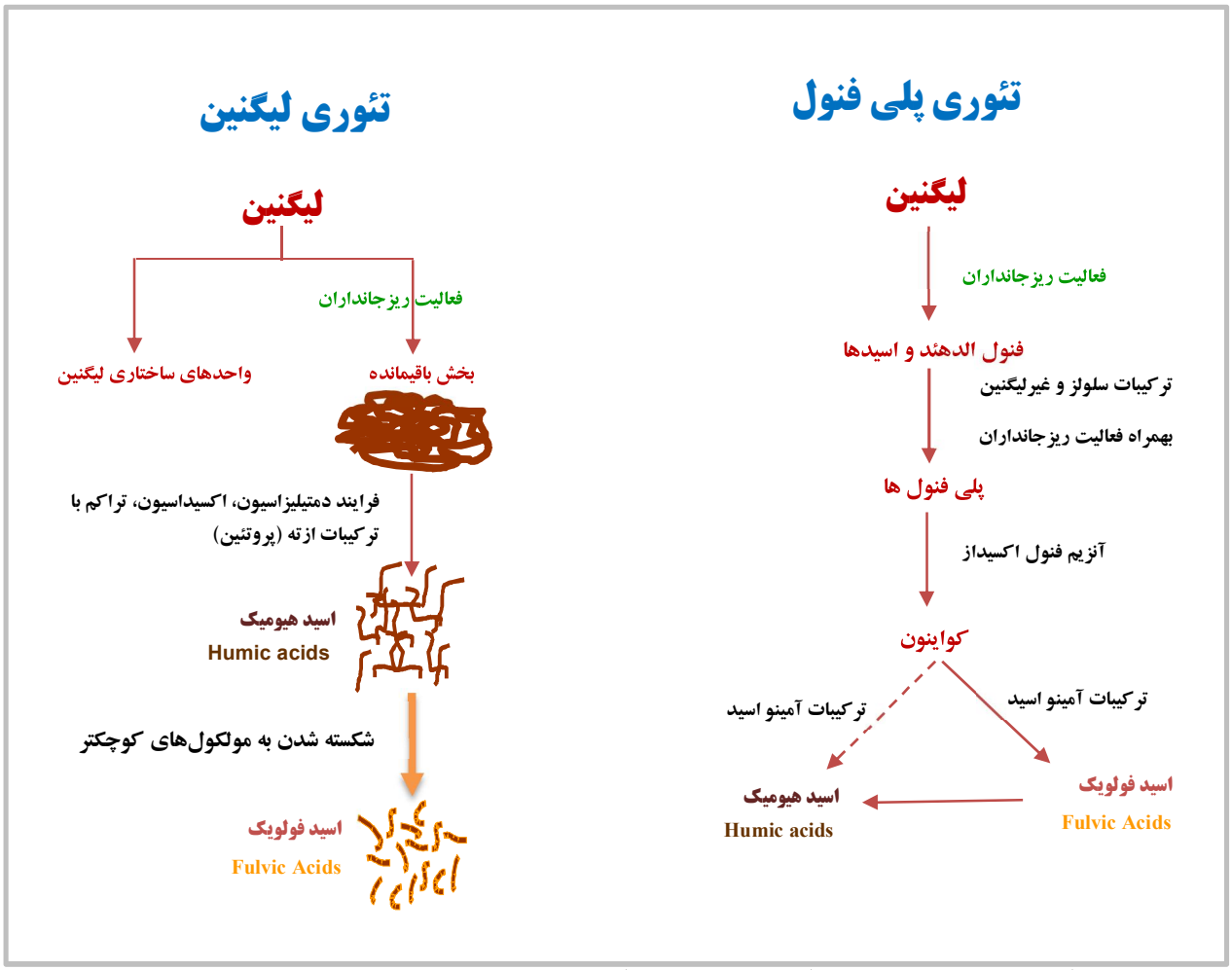
فرایند تشکیل مواد هیومیکی برای مدت زمان طولانی مورد مطالعه قرار گرفته است، اما فرایند تشکیل هنوز موضوعی اساسی است و در این زمینه تحقیقات هنوز ادامه دارد. نظریات مختلف در ارتباط با تشکیل هوموس در خاک ارائه شده است. با این حال، تنها دو نظریه پذیرفته شده است. نظریه واکسمن(۱۹۳۶) مواد هیومیک مشتق شده از لیگنین بیان می کند(Stevenson, 1982).

نظریه پلی فنول که اخیرا پذیرفته شده است، اینطور بیان می کند که پلی‌فنول عامل تشکیل مواد هیومیکی در برخی گیاهان که حاوی لیگنین کمی یا فاقد لیگنین می باشند، به عنوان پیش‌ساز ترکیبات هیومیکی است. این ترکیبات پلی فنول دارای سایت‌های(محل‌های) واکنش زیادی برای اجازه به تحولات بیشتر از جمله برخی واکنش‌های متراکم شدن می‌باشند (Burdon, 2001; Davies *et al*., 2001).

پوشش گیاهی تخریب شده به عنوان منبع اصلی تبدیل مواد آلی به مواد هیومیکی در محیط زیست شناخته شده است. هیومیکی شدن یک فرایند زمانبر پیوسته است و هوموس خاک یک سیستم پویا از هر دو اجزای شیمیایی فعال و غیرفعال است(Gonzalez *et al*., 2003).

مواد هیومیکی، ماده آلی متشکل از اجزای مختلف با طیف وسیع از نظر وزن، واکنش‌پذیری و ماهیت شیمیایی است. ترکیبات موجود در مواد هیومیک، به چگونگی و شرایط تجزیه بقایا مثل دما، رطوبت، pH ، پتانسیل اکسایش و کاهش و غیره وابسته است.

این مراحل مطابق با پیشرفت در درجه هیومیکی شدن، غالبا سبب تشدید در شدت بازی و تیرگی، به‌ویژه برای اسید هیومیک خاک و بخش‌های محلول در باز و نامحلول در اسید است. قسمت اعظم ماده آلی به فرم بقایای گیاهی، هیومین، اسید هیومیک و اسید فولویک می‌باشد که مراحل تشکیل مواد هیومیکی در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱: تئوری های تشکیل مواد هیومیکی (Stevenson, 1982; Burdon, 2001)

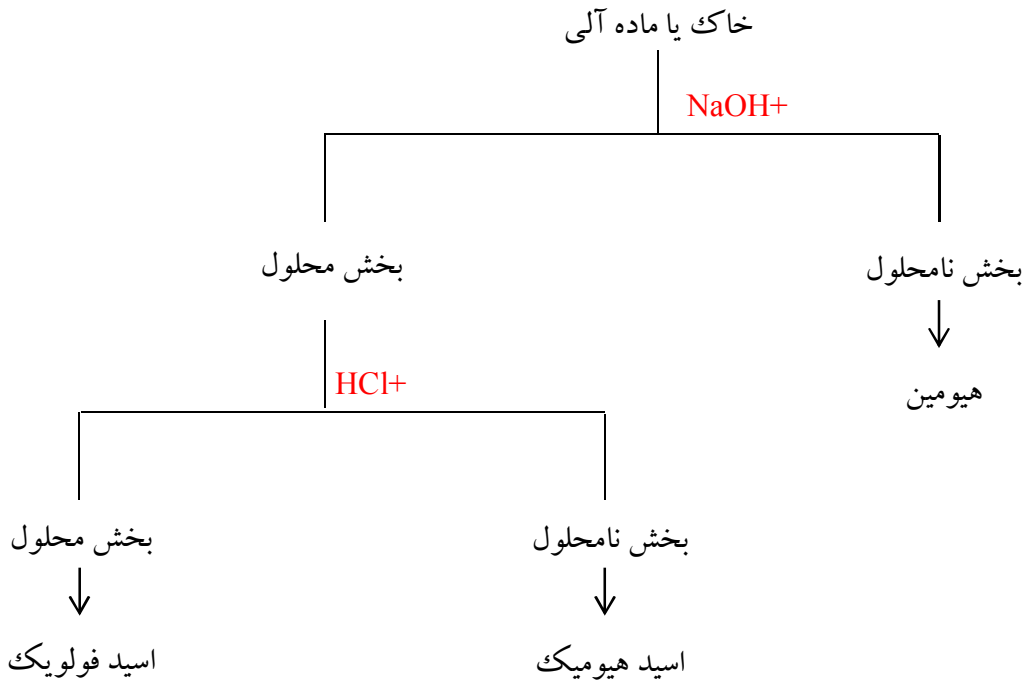
در شکل ۲ خصوصیات شیمیایی مواد آلی هیومیکی بیان شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، هر چه از سمت هیومین به اسید هیومیک و سپس اسید فولویک پیش می‌رویم، از شدت رنگ، مقدار کربن، درجه پلیمریزاسیون و جرم مولکولی کاسته می‌شود ولی مقدار اکسیژن، حلالیت و اسیدیته افزایش می‌یابد(Stevenson, 1982).

هیومین	اسید هیومیک		اسید فولویک	
Black	Gray black	Dark brown	Yellow brown	Light yellow
	افزایش شدت رنگ			
	افزایش درجه پلیمریزاسیون			
۳۰۰۰۰۰	افزایش وزن مولکولی			۲۰۰۰dolton
٪۶۲	افزایش محتوای کربن			٪۴۵
٪۳۰	کاهش محتوای اکسیژن			٪۴۸
۵۰۰	کاهش تبادل اسیدی شدن			۱۴۰۰ (mmol/100g)
	کاهش درجه حلالیت			

شکل ۲: خصوصیات شیمیایی ترکیبات هیومیک (Stevenson, 1982)

مواد آلی هیومیکی شامل هیومین، اسید هیومیک و اسید فولویک است. این تقسیم بندی، بر اساس حلالیت در محلول‌های آبی با pH مختلف می باشد(Varanini and Pinton, 1995). هیومین بخش نامحلول در تمامی محدوده‌ی pH است. اسید هیومیک در pH اسیدی، نامحلول و اسید فولویک بخش محلول درتمامی محدوده‌های pH است.

روند انحلال مواد آلی هیومیکی در اسید و باز بصورت زیر است:



روش‌های بسیاری برای استخراج مواد هیومیکی(اسید هیومیک و اسید فولویک) از خاک و منابع دیگر وجود دارد. معرف‌های متفاوتی از بازهای قوی، نمک‌های خنثی (اسید آلی) تا حلال‌های آلی وجود دارد. فرایند استخراج قلیایی با تیمار مواد هیومیکی توسط یک قلیا (سود رقیق ۰/۱ تا ۰/۵ مولار) آغاز می‌شود. پس از انحلال مواد هیومیکی در قلیا، اسید اضافه می‌شود. ماده رسوب یافته به صورت لجن سیاه، هیومات و مایع رویی، فولوات می‌باشد (Ghabbour and Davies, 2014). معرف‌های استخراج کننده مواد آلی هیومیکی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول۱: معرف‌های استخراج کننده مواد آلی هیومیکی (Stevenson, 1982)

معرف	مواد هیومیکی استخراج شده(٪)
هیدروکسید سدیم	۸۰
پیروفسفات سدیم	۳۰
کیلیت‌های آلی کاپفرون،هیدروکسی کینولین	۳۰
اسید فرمیک(HCOOH)	۵۵

تشکیل مواد هیومیک به جز بازمانده‌هایی که از تجزیه کامل در امان هستند و ساختمان مشخصی دارند، از واکنش‌های تعادلی شیمیایی تبعیت نمی‌کند. در نتیجه ساختمان طبیعی مواد هیومیکی از نظر عناصر موجود، بدلیل واکنش غیرتعادلی، نامنظم و دارای واحد ساختمانی مشخص نیست(Kleinhempel, 1970). تفاوت در سن، منشاء و ژنتیک باعث تشکیل ترکیباتی با خواص شیمیایی و مورفولوژیکی متفاوت می‌شود. مواد هیومیکی اغلب به صورت زنجیره‌های بلند کربنی با وزن مولکولی بالا در حدود ۵۰۰ تا ۱۰/۰۰۰/۰۰۰ دالتون هستندکه این مقدار بستگی به نوع مواد هیومیکی و روش اندازه‌گیری دارد. ترکیبات عنصری اسید فولویک و اسید هیومیک شامل ترکیبات کربن (C)، اکسیژن (O)، هیدروژن (H)، نیتروژن (N) و گوگرد (S) می‌باشند(جدول ۲).

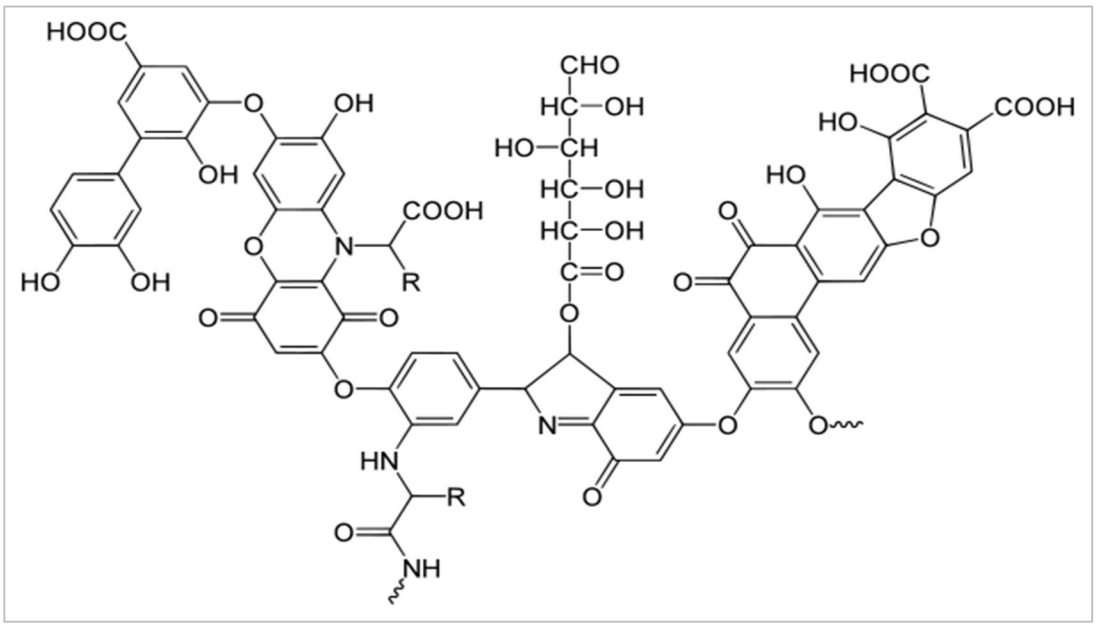
جدول۲: ترکیب عنصری اسید فولویک و اسید هیومیک (Kurková *et al.*, 2004)

مواد هیومیکی	کربن (C%)	هیدروژن (H%)	اکسیژن (O%)	نیتروژن (N%)
اسید هیومیک	۵۲-۶۲	۳-۵/۵	۳۰-۳۳	۳/۵-۵
اسید فولویک	۴۴-۴۹	۳/۵-۵	۴۴-۴۹	۲-۴

علاوه بر نوع عناصر، ترکیب گروه‌های قرار گرفته شده در ساختمان، تفاوت در ساختار و خواص شیمیایی ویژه‌ای را برای این دو ترکیب را ایجاد می‌کند (Purdue, 1988; Tan *et al.*, 1991). از تفاوت‌های ساختاری بین این دو ترکیب می‌توان به این موضوع اشاره کرد که اکسیژن

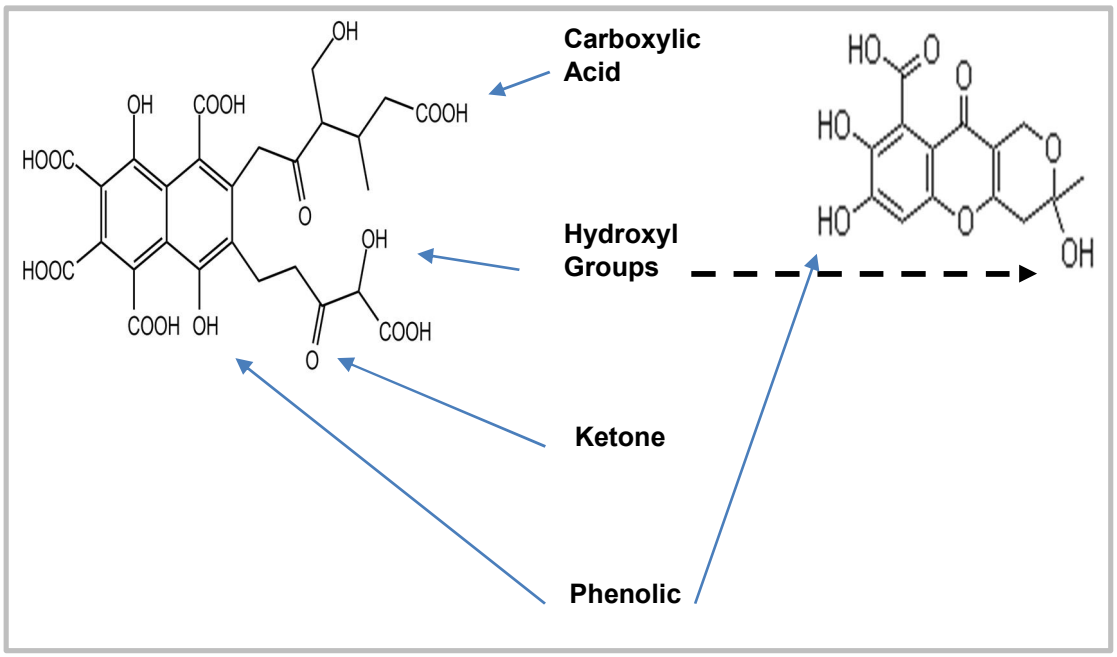
در اسید هیومیک، به عنوان جزء ساختاری هسته می باشد اما در اسید فولویک در گروه‌های عاملی (کربوکسیلیک اسید، هیدروکسیل، کتون و فنول) وجود دارد. قدرت اسیدی بالا در اسید فولویک(۱٤۰۰ mmol/100g) به دلیل گروه‌های کربوکسیلیک اسید بیشتر در مقایسه با اسید هیومیک (۸۷۰–٤۰۰ mmol/100g) می‌باشد(Wang *et al.*, 2001) . این نتایج در شکل ۲ نیز ذکر شده است.

علی‌رغم مطالعات وسیعی که روی ساختار شیمیایی مواد هیومیکی صورت گرفته است، به‌علت جرم مولکولی بالای آن‌ها ساختار دقیقی وجود ندارد (Nimmagadda *et al.*,2007; Michael, 2001). با استفاده از روش‌های مختلفی چون طیف‌سنجی جرمی و NMR [1] ، گروه‌های عاملی درون ترکیبات هیومیک شناسایی شده است به‌طوری که در شکل ۳ و ٤ ساختار پیشنهادی بخشی از مولکول‌های مواد هیومیکی نمایش داده شده است (Lin *et al.*,1999; Pena-Mendez *et al.*, 2005).



شکل ۳: بخشی از ساختار شیمیایی اسید هیومیک ارائه شده توسط بافل (Buffle *et al.*, 1977)

[1] Nuclear Magnetic Resonance(NMR)



شکل ٤: بخشی از ساختار شیمیایی اسید فولویک ارائه شده توسط استیونسون (Stevenson, 1982)

خواص مواد هیومیکی

مواد هیومیکی در واقع طیف وسیعی از ترکیبات آلی ـمعدنی گوناگون نظیر اسیدهای آمینه، پپتیدها، فنول‌ها، آلدئیدها و اسیدهای نوکلئیک در پیوند با انواع کاتیون‌ها می‌باشند که در مجموع ترکیب بسیار پیچیده وشگفت انگیزی را ساخته‌اند که می‌توانند میلیون‌ها سال در طبیعت دوام بیاورد و اعمال بسیار شگرفی را انجام دهد که قابل قیاس با هیچ ترکیب دیگری نیست. مواد هیومیکی، در واقع ٦٠ درصد مواد آلی خاک را تشکیل می‌دهد. میزان ایده‌ال مواد آلی در خاک‌های کشاورزی بین ٤ تا ٦ درصد است. مواد هیومیک مخلوط‌های پیچیده و ناهمگنی از دگرگونی‌های بقایای گیاهی و میکروبی (فرایند هومیفیکاسیون[٢]) تشکیل می‌شوند (Picolo, 2002).

به علت ساختار مولکولی ترکیبات هیومیکی، مزایای زیادی را می‌توان برای آن‌ها برشمرد. شواهد ارائه شده در ارتباط با اثرات مواد هیومیکی برروی رشد گیاهان بستگی به منبع آب یا خاک، پوشش گیاهی و شرایط استخراج اجزای هیومیکی و به طور عمده ترکیبات شیمیایی مختلف درگیر در آن‌ها دارد. مواد هیومیکی مولکول‌های شبه پلیمری هستند که تفاوت‌های کوچک در فرایند استخراج باعث ایجاد ترکیبات فعال بسیار مختلف می‌شوند(Picolo ,2002).

[2] Humification

۱- نقش مواد هیومیکی در بهبود ساختار فیزیکی خاک

خاک کشاورزی از چهار بخش مجزا تشکیل شده که شامل ٤٥ درصد مواد معدنی، ۲۵ درصد رطوبت، ۲۵ درصد هوا و ۵ درصد مواد آلی می‌باشد. مواد معدنی خاک را می توان به سه بخش عمده ماسه، لای و رس تقسیم‌بندی کرد. مواد غذایی مورد نیاز گیاه در بخش رس خاک و مواد آلی نگهداری می‌شود. گرچه ماسه و سیلت کمکی به رشد گیاه نمی کند، اما وجودشان برای افزایش نفوذپذیری خاک ضروری است. یک خاک ایده آل، شامل مخلوطی از ذرات شن، سیلت و رس که خصوصیات اجزای آن‌ها را تقریبا به نسبت مساوی نشان می‌دهد که خاک لوم نامیده می‌شود(سالاردینی، ۱۳۷۱).

نحوه قرارگیری ذرات خاک در کنار یکدیگر باعث ایجاد خاکدانه و ساختمان خاک می گردد. فایده ساختمان خاک آن است که در فضای بین ذرات و دانه های خاک خلل و فرجی ایجاد می کند که موجب سهولت حرکت آب و هوا در خاک می‌شود و عامل موثری در آب‌رسانی به گیاه ، تغذیه گیاه ، نفوذ و گسترش ریشه ها در خاک ، هدایت حرارتی خاک ، فعالیت خاکزیان و غیره است. آرایش ذرات خاک در تشکیل خاکدانه‌ها، اندازه و پایداری خاکدانه‌ها، بر روی تخلخل، نفوذپذیری و مقاومت آن‌ها بسیار مؤثر است و ماده آلی به دلیل ایجاد هسته مرکزی در تشکیل خاکدانه‌ها در پایداری و قوام آنها بسیار موثر است (سالاردینی و مجتهدی، ۱۳۷٦).اصولاً مواد آلی هیومیکی پیش از اینکه کود باشند، اصلاح کننده خاک هستند. پلیمرهای مواد هیومیکی، به طور موثر باعث اتصال ذرات مواد معدنی خاک و بهبود ساختمان خاک می گردند.

۳- نقش مواد هیومیکی در ریشه‌زایی

مواد هیومیکی به عنوان محرک ریشه‌زایی شناخته شده است. به همین دلیل در نهالستان‌ها مقدار اندکی مواد هیومیکی را، در چاله کاشت نهال می‌ریزند و با خاک مخلوط می کنند. همچنین برای تحریک رشد بذر، می‌توان آن را با اسید هیومیک و یا اسید فولویک آغشته کرد.

مهم‌ترین ساز وکار تحریک ریشه‌زایی، افزایش متابولیسم و نیز نفوذپذیری جدار سلول‌ها نسبت به آب و مواد غذایی می‌باشد. به علاوه گرم نگهداشتن خاک و حفظ رطوبت نیز در این جریان نقش داشته باشد (Nikbakht *et al.*, 2008; Cooper *et al.*, 1998).

توسعه سیستم ریشه اغلب به عنوان اثر اصلی مواد هیومیکی بر رشد گیاهان مختلف توسط محققین زیادی گزارش شده است. افزایش ریشه‌های جانبی و یا افزایش عمومی رشد ریشه در گیاهانی از جمله، گوجه فرنگی (Canellas *et al*., 2011; Adani *et al*., 1998) ، گندم ,.Tahir *et al*) (Jindo *et al*., 2012; Canellas *et al*., 2009; ذرت ، 2011 ; Peng *et al*., 2001) (Dobbss et al., آرابیدوبسیس، Eyheraguible *et al*., 2008; Canellas *et al*., 2002) *Lantana camara* (Costa *et al*., 2008) و در گیاه زینتی (2010; Canellas et al., 2010) گزارش شده است. همچنین افزایش وزن تر وخشک ریشه درگیاهان بامیه (Paksoy *et al.,* 2010)، افرای قرمز(Kelting *et al*., 1998) و ذرت (Alexandrova, 1977) نیز مشاهده شده است. به طور کلی، برخی مواد آلی هیومیکی باعث افزایش طول ریشه می‌شوند، در حالی که برخی دیگر باعث افزایش تراکم ریشه می‌شوند (Orlova and Arkhipchenko, 2009; Eyheraguible *et al*., 2008). افزایش رشد ریشه به طور عمده، مربوط به ساختارهای آبگریز و گروه‌های عاملی کربوکسیلیک(COOH) در مواد هیومیکی می‌باشد و انتشار ریشه های فرعی در ارتباط با ساختارهای آلیفاتیک (هیدروکربن‌های سیر شده) و اکسیژن‌دار مواد هیومیکی است و این ویژگی، به خصوص برای سازگاری گیاهان در شرایط تنش خشکی و شوری خاک اهمیت دارد(Andrés *et al*., 2016) .

٤- نقش مواد هیومیکی در حفظ رطوبت خاک

در تولید محصولات کشاورزی، حفظ رطوبت خاک یکی از نیازهای ضروری به شمار می‌رود. حفظ رطوبت خاک به‌خصوص برای مناطق خشک و کویری و زمین‌های شنی-ماسه‌ای که در بسترهای شیب‌دار قرار گرفته‌اند، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به مشکل کمبود آب و خشکسالی که با تغییر اقلیم و گرم شدن اتمسفر، شدیدتر نیز شده است، هر عاملی که بتواند به حفظ رطوبت خاک کمک کند، از دیدگاه کشاورزی بسیار با ارزش می باشد (Knicker *et al*., 2000).

در این رابطه مواد هیومیکی توانایی این را دارند که با مواد معدنی خاک پیوند تشکیل داده و شبکه‌ای تور مانند ایجاد کنند. این مجموعه قادر است حجم نسبتاً زیادی آب را در خود ذخیره نماید. هر چه بافت خاک سبک‌تر باشد، این تأثیر بیشتر است. تحقیقات نشان داده است که

استفاده از ترکیبات هیومیکی در خاک‌های شنی ماسه‌ای، ذخیره آب در خاک را تا ۱۰۰ برابر معمول افزایش می‌دهند (Ladd and Brisbane, 1967).

۵- نقش مواد هیومیکی در تحریک رشد ریزجانداران خاک

فعالیت‌های ریزجانداران مفید در خاک، برای پایداری خاک و رشد گیاه بسیار مهم هستند. مواد هیومیکی فعالیت ریزجانداران خاک را از طریق فراهم کردن میکروب‌های بومی با یک منبع کربن برای غذا، تحریک کرده و جمعیت آن‌ها را افزایش می‌دهد (Ladd and Brisbane, 1967). همچنین مواد هیومیکی با افزایش نفوذپذیری دیواره سلولی، با تسریع در تولید پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک در درون سلول و همچنین با مکانیسم‌های متعدد دیگری که هنوز کاملاً درک نشده‌اند، به رشد و تکثیر هر موجود زنده‌ای کمک می‌کند. به‌خصوص تأثیر آن بر رشد ریزجانداران مفید موجود در خاک که عمدتاً از قارچ‌ها هستند، بیشتر می‌باشد (Cavani *et al*., 2003).

٦- نقش مواد هیومیکی در جلوگیری از سرمازدگی گیاه

سرمازدگی گیاهان در اوایل فصل رشد (اسفند و فروردین)، یکی از مشکلات شایع در مناطق خشک و کویری است که به دلیل کمبود رطوبت و اختلاف شدید دمای شب و روز ایجاد می‌شود و هر ساله بخش زیادی از محصولات کشاورزی به این دلیل از بین می‌رود. تا به حال هیچ راه‌حل مطمئنی برای این مشکل یافت نشده است. نتایج تحقیقات حاکی از آن است که مواد آلی هیومیکی با مکانیسم‌هایی که ذکر خواهد شد، می‌تواند تا حدودی مانع سرمازدگی شود.

در مکانیسم نخست، مواد هیومیکی با افزایش فعالیت ریزجانداران خاک، سبب گرم شدن خاک در اطراف ریشه می‌شود. اگرچه جریان شیره گیاهی در درون آوندها در فصل زمستان کند و بطئی است، اما همین چرخش کند هم می‌تواند تا حدودی گرمای ریشه را به سرشاخه‌ها منتقل کند (Verma *et al*., 1975).

دومین مکانیسم، مربوط به حفظ بیشتر رطوبت خاک می‌باشد که به‌دلیل بالا بودن گرمای ویژه آب، مقدار کالری بیشتری در درون خاک ذخیره می‌شود. در طول روز آفتاب به سطح زمین می‌تابد و آن را گرم می‌کند و در شب، خاک خشک به‌سرعت گرما را از دست می‌دهد. اما

خاک مرطوب که مقدار بیشتری کالری ذخیره کرده است، آهسته‌تر خنک می‌شود، در نتیجه احتمال سرمازدگی کاهش می‌یابد.

سومین مکانیسم مواد هیومیکی برای مقابله با سرمازدگی این است که رنگ تیره‌ای به خاک می‌دهد و در نتیجه انرژی خورشیدی بیشتر به خاک جذب می‌شود. از طرفی، متابولیسم درون سلولی را افزایش داده و با این مکانیسم هم به مقابله با سرما کمک می‌کند (Wood, 1978).

۷- نقش مواد هیومیکی در آزادسازی مواد معدنی

آزادسازی مواد معدنی موجود در خاک با روش‌های مختلفی انجام می‌شود. مواد هیومیکی، غذا و محرک رشد ریزجانداران مفید خاک است و ریزجانداران نیز به روش‌های گوناگون به آزادسازی عناصر در خاک کمک می‌کنند. همچنین اسید فولویک به دلیل اسیدی بودن (pH = 4-5)مستقیماً می‌تواند عناصر غذایی تثبیت شده در خاک را آزاد کرده، توسط گروه‌های عاملی خود جذب نموده و با کلات کردن در زمان مناسب در اختیار ریشه گیاه قرار می‌دهند.

لازم به ذکر است که تنها وجود عناصر در خاک، ضمانتی برای جذب آنها نیست. در واقع بسیاری از مواد معدنی به صورت اکسید، کربنات و سولفید می‌باشند که قابل جذب برای گیاه نیستند. مهم‌ترین ترکیب قابل جذب معدنی برای گیاهان، سولفات عناصر فلزی می‌باشد. بنابراین مواد هیومیکی بطور مستقیم و غیرمستقیم به رهاسازی عناصر و جذب بهتر آن‌ها توسط ریشه گیاه کمک می‌کند (Cavani *et al*., 2003; Schmitt-Wagner *et al*., 2003).

در تحقیقی، کاربرد مواد هیومیکی در کاهش تنش شوری در گندم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تحت تنش شوری، کمترین مقدار کاربرد برگی و خاکی مواد هیومیکی جذب عناصر غذایی را در گندم افزایش داد(Asik et al., 2009). اثر مثبت مواد هیومیکی در افزایش جذب عناصر غذایی تحت تنش شوری در گیاهانی از جمله فلفل (Cimrin *et al*.,2010)، گلابی (Marino *et al*., 2010) و کدو (El- Nemr *et al*., 2012) ، میخک (Mazhar *et al*., 2012)، ذرت (Ceilk *et al*., 2010; Turan *et al*., 2011; Wafaa, 2012)، گوجه فرنگی (Adani *et al*., 1998) و انگور(Sanchez-sanchez *et al*., 2006) گزارش شده است.

۸- نقش مواد هیومیکی در افزایش تحمل به تنش شوری

شوری آب و خاک از جمله مهم‌ترین مشکلات موجود در تولیدات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک به ویژه مناطق پسته خیز استان کرمان می‌باشد. اگرچه برخی گیاهان و درختان نظیر پسته شوری را تحمل می‌کنند، اما تحمل این گیاهان نیز محدود است. متاسفانه گیاه قدرت جذب انتخابی و سیستم دفعی موثری برای خلاص شدن از شر ترکیبات ناخواسته را ندارد. لذا در مقابل تهاجم نمک‌های محلول از جمله کودهای شیمیایی پر مصرف (NPK) بی‌دفاع است. مواد آلی هیومیکی موجود در خاک همانند یک اسفنج عمل کرده و بسیاری از املاح محلول خاک از جمله کلرور سدیم را به خود جذب می‌نمایند و از محیط ریشه خارج می‌نمایند (Knicker *et al*., 2000).

۹- نقش مواد هیومیکی در افزایش تحمل به تنش خشکی

مواد آلی هیومیکی با اصلاح ساختمان و دانه‌بندی خاک، فضای بیشتری برای نفوذ آب ایجاد می‌کند و به عبارت دیگر سبب افزایش نفوذپذیری خاک می‌گردند. به علاوه آن‌ها با مولکول‌های آب پیوند تشکیل می‌دهند که تا حد زیادی مانع از تبخیر آب می‌گردد. از طرف دیگر مولکول‌های اسید فولویک (بخش ریز مولکول مواد هیومیکی) می‌توانند به درون بافت‌های گیاهی نفوذ کنند و با پیوند برقرار کردن با مولکول‌های آب، تعریق و تعرق گیاه را کاهش داده به حفظ آب در درون گیاه کمک نمایند (Delfine *et al*., 2005; Hartwigsen and Evans, 2000; Shah *et al*., 2001; Zhang and Ervin, 2004).

۱۰- نقش مواد هیومیکی در کاهش سمیت کودها و فلزات سنگین

آلودگی به فلزات سنگین در گیاهان در جریان کوددهی، به دلایل مختلفی ایجاد می‌گردد. مصرف کودهای غیراستاندارد که فلزات سنگین اضافی دارند، سبب سمیت در گیاهان و به دنبال آن باعث ایجاد مسمومیت در مصرف‌کننده‌ها از جمله انسان و حیوانات می‌شوند. همچنین مسمومیت به دلیل سم پاشی‌های مکرر، مصرف علف‌کش‌ها و یا سموم تولید شده از جمله آفلاتوکسین توسط موجودات زنده نیز، ایجاد می‌شود. مواد هیومیکی در همه موارد فوق می‌تواند از آسیب دیدن گیاه، حیوان و یا انسان تا حدود زیادی پیشگیری کند. به همین دلیل استفاده از مواد هیومیکی را نه تنها در کشاورزی به‌عنوان اصلاح کننده خاک بکار می‌برند، بلکه در سال‌های

اخیر کاربردهای وسیعی در تصفیه فاضلاب‌های صنعتی و نیز احیای زمین‌های آلوده به مواد شیمیایی و رادیو اکتیو پیدا کرده است (Preemozic *et al.*, 2007).

این توانایی‌ها بیشتر ناشی از ساختار شیمیایی این مولکول‌های بی نظیر است. به دلیل وجود شاخه‌های جانبی متعدد در فرمول گسترده مواد آلی هیومیکی، این ماده امکان ترکیب شدن با انواع کاتیون‌ها و آنیون‌های مختلف را دارد. همچنین این ترکیبات با کاتیون‌های فلزات سنگین، ایجاد ترکیبات نامحلولی می‌کنند که به هیچ وجه قابل جذب توسط گیاه و موجودات زنده دیگر نیستند(Kaschel *et al.* 2002).

از طرف دیگر، بسیاری از سمومی که ترکیبات آلی- معدنی با وزن مولکولی کم دارند، با پیوند شدن به گروه‌های عاملی در شاخه‌های جانبی، غیرفعال شده و از تاثیر منفی آن‌ها بر محیط زیست به شدت کاسته می‌شود(شکل ۵). بسیاری از مسمومیت‌ها در رابطه با کوددهی، زمانی ایجاد می‌شود که یا کود اضافی مصرف شده باشد و یا در زمان نامناسب بکار رفته باشد. در این موارد نیز ترکیبات آلی هیومیکی همچون مخزنی اسفنجی، کودهای اضافی را به خود جذب کرده و در زمان مناسب در اختیار ریشه گیاه قرار می‌دهد (Candan and Tarhan, 2003; Lee and Bartlett, 1976; Lguirati *et al.*, 2004).

شکل۵: نقش مواد هیومیکی در ایجاد کلات با فلزات چندظرفیتی

۱۱- نقش مواد هیومیکی در تغییرات pH در خاک

در ارتباط با مواد هیومیکی، شدت اسیدی یا قلیایی بودن آنها بستگی زیاد به نحوه استخراج و فرم قابل استفاده آن‌ها دارد. در ارتباط با اسید هیومیک در حلال‌های قلیایی قابل حل می باشد. بنابراین همراه با ترکیباتی شیمیایی که خاصیت قلیایی دارند، در بازار وجود دارند. اسید فولویک هم در اسید و هم در محلول‌های قلیایی قابل حل است. همچنین این مواد آلی، در تغییرات شدید pH ، نقش بافر را ایفا می کند و از تغییر سریع اسیدیته و یا قلیائیت خاک، جلوگیری می کند. که خود این عامل نیز به حفظ بسیاری از موجودات زنده خاک‌زی کمک می کند(Cavani *et al.*, 2003; Schmitt-Wagner *et al.*, 2003).

۱۲- نقش مواد هیومیکی درتامین متوازن عناصرغذایی

برای رسیدن به عملکرد مطلوب محصولات کشاورزی، تأمین عناصر مورد نیاز گیاه و حفظ تعادل عناصر غذایی در گیاه بسیار مهم است. کودهای آلی (حیوانی و گیاهی) به دلیل اینکه کودهای ارگانیک هستند و مشتق‌شده از موجود زنده دیگری می‌باشند، نوعی تعادل زیستی را به همراه دارند و منجر به افزایش مواد هیومیکی در خاک می‌شوند. اما از طرف دیگر، مصرف کودهای شیمیایی موجب برهم خوردن توازن عناصرغذایی در خاک می گردند و در نتیجه، به دلیل اثرات متقابل بین آن‌ها در خاک و گیاه، جذب عناصر توسط ریشه و انتقال در گیاه اختلال به وجود می‌آید. به عنوان مثال غلظت بالای فسفر می‌تواند مانع جذب آهن، روی و کلسیم شود (Cooper *et al.*, 1998).

از طرفی بالا بودن غلظت یک عنصر و جایگزینی آن با سایر عناصر ضروری در گیاه باعث می‌شود آنزیم‌هایی که به این ترتیب فعال می‌شوند، دیگر کارایی لازم را نداشته باشند. هر عنصر به صورت اختصاصی، ده‌ها و گاهی صدها آنزیم و یا هورمون گیاهی را فعال می کند. کمبود یا فقدان آن اگر منجر به مرگ نشود، از کارایی و تولید به نحو قابل توجهی می کاهد. به عنوان مثال عنصر روی، کوفاکتور ده‌ها آنزیم در گیاه می‌باشد. اگر قرار باشد به دلیل کمبود روی عنصری مثل آهن یا منیزیم جایگزین آن شود، باعث ایجاد اختلال در متابولیسم گیاه می گردد(Cavani *et al.*, 2003; Schmitt-Wagner *et al.*, 2003).

۱۳- نقش مواد هیومیکی در بهبود کیفیت محصول

نتایج تحقیقات، افت تدریجی کیفیت محصولات کشاورزی حاضر را به دلیل کاهش کمیت و کیفیت منابع موجود نسبت به گذشته نسبت می‌دهند. به عنوان مثال، غلات امروزی نسبت به محصولات مشابه نیم قرن پیش، بین ۳۰ تا ۵۰ درصد مواد معدنی کمتری دارند. مواد هیومیکی از طریق مکانیسم‌های متعدد سبب جذب بهتر مواد معدنی و بهبود کیفیت محصول می‌گردند. علاوه بر این، مواد هیومیکی با بهبود تولید قند، پروتئین و ویتامین در گیاه، تأثیر مثبتی بر فرایند فتوسنتز دارد و از این طریق، محتوای غذایی محصولات کشاورزی را افزایش می‌دهند. همچنین این ترکیبات آلی با تقویت دیواره سلولی، نفوذپذیری دیواره را نسبت به قارچ‌های فاسدکننده در غلات، میوه‌جات و سبزیجات کاهش داده و خاصیت انبارداری محصولات را افزایش می‌دهند(Cavani *et al*., 2003; Schmitt-Wagner et *al*., 2003).

۱٤- نقش مواد هیومیکی در افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک

کلات‌ها[3] ترکیبات آلی هستند که به دلیل ساختارهای ویژه شیمیایی خود، می‌توانند در نقل و انتقال عناصر فلزی از خاک به ریشه گیاه به عنوان واسطه عمل کنند. غالب مواد معدنی نظیر اکسیدها، کربنات‌ها و سولفیدها در خاک تثبیت شده و قابلیت جذب آن‌ها برای گیاهان کاهش می‌یابد. نقش مواد هیومیکی خاک از یک طرف، آزاد کردن عناصر نامحلول از خاک و از طرف دیگر، حفظ و نگهداری این عناصر در گروه‌های عاملی ساختار خود و انتقال آن در زمان مناسب به ریشه گیاه است که به این عمل تبادل کاتیونی گفته می‌شود. به عبارت دیگر مواد هیومیکی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک[4] را افزایش می‌دهد (Grasset *et al*., 2002; Gonzalez-Vila *et al*., 1994).

امروزه کلات‌های مصنوعی متعددی در صنایع شیمیایی تولید و جهت انتقال کاتیون‌های مختلف به گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد که از مهمترین آن‌ها می‌توان به EDTA و EDDHA اشاره کرد که کاربردشان در کودهای شیمیایی مرسوم است. اما این کلات‌های مصنوعی به نوعی آلاینده محیط زیست محسوب می‌شوند وکاربردشان در کشت‌های ارگانیک اکیداً ممنوع است.

---

[3] - Chalators
[4] - Cation exchangeable capacity

اما مواد هیومیکی و برخی ترکیبات آن‌ها نظیر اسید فولویک ، ضمن اینکه نقش کلات‌ها را به خوبی ایفا می‌کنند، برای محیط زیست نیز هیچ‌گونه ضرری ندارند (Grasset *et al*., 2002).

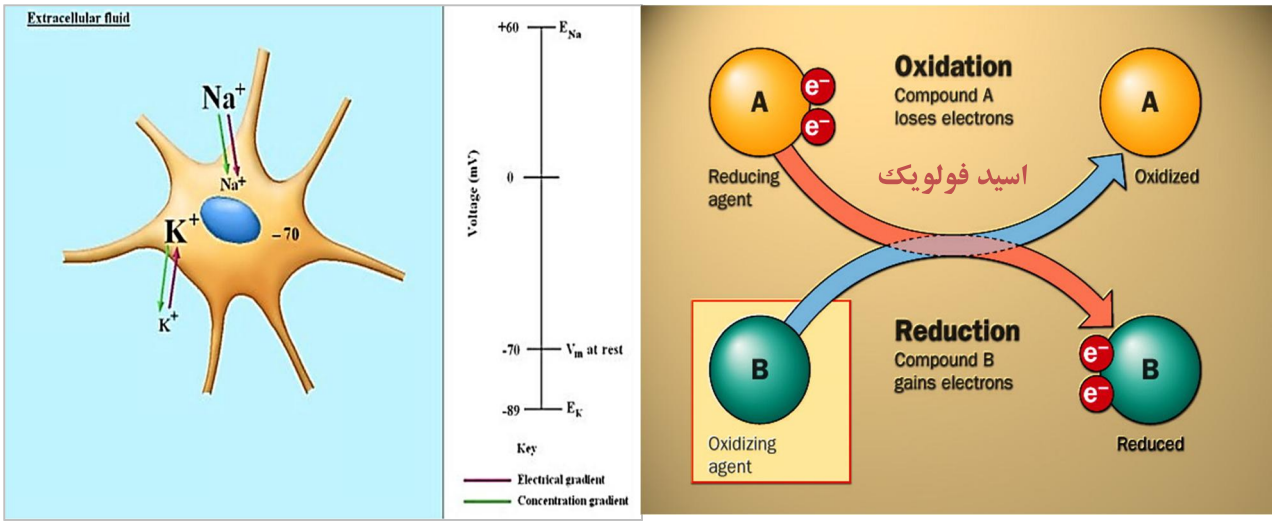
۱۵- نقش مواد هیومیکی در افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی

مواد هیومیکی، تولید ترکیبات آنتی اکسیدانی را در گیاهان افزایش می‌دهد و رادیکال‌های آزاد که نتیجه‌ای از تنش‌های خشکی، گرما، نور و ماوراء بنفش و استفاده از علفکش‌ها می‌باشند، را کاهش می‌دهد. رادیکال‌های آزاد به عنوان مولکول‌های مخرب شناخته شده‌اند و عوامل اکسیدکننده قوی هستند که به لیپیدها، پروتئین‌ها و DNA داخل سلول‌های گیاهی صدمه می‌زنند. در مقابل، آنتی‌اکسیدان‌ها، متابولیت‌ها و آنزیم‌هایی هستند که رادیکال‌های آزاد را از بین برده و گیاهان را در برابر صدمات رادیکال‌های آزاد حفظ می‌کنند. از جمله مواد آنتی اکسیدان می‌توان به مواد محلول در چربی مانند ویتامین E، بتاکاروتن و مواد محلول در آب مثل ویتامین C و آنزیم‌های مختلف اشاره کرد (Harper *et al*., 2000).

۱۶- نقش مواد هیومیکی در انتقال موج انرژی به سلول‌های گیاهی

در واکنش‌های زیست شیمیایی، ماده ای که الکترون می‌دهد کاهنده(ماده احیا کننده یا کاهش دهنده) و ماده‌ای که الکترون می‌گیرد اکسایننده(اکسید کننده یا اکسایشی) است. در سلول‌های زنده برای غلبه بر محدودیت‌های متابولیکی، واکنش‌های انرژی‌خواه (+ΔG) و واکنش‌های انرژی‌زا (-ΔG) به هم متصل و جفت می‌شوند. به این ترتیب انرژی حاصل از واکنش‌های انرژی‌زا صرف انجام واکنش‌های انرژی‌خواه می‌شود(شریعتی و مددکار حق‌جو، ۱۳۸۳). بنابراین، کارکرد صحیح مکانیسم‌های داخل سلول‌های گیاهان تحت تاثیر شیب پتانسیل الکتریکی صحیح آن‌ها می‌باشد. از بین مواد هیومیکی، اسید فولویک یک الکترولیت (ماده‌ای قابل حل در آب با قابلیت هدایت جریان الکتریکی) بسیار قدرتمند است که می‌تواند سلول‌ها را از نظر بار الکتریکی متعادل کند (Lee and Bartlett, 1976) و با ایجاد تعادل شیمیایی طبیعی و شیب پتانسیل الکتریکی متناسب با آن، از تجزیه سلول و مرگ آن جلوگیری می‌نماید. به عبارت دیگر، این ترکیب آلی هیومیکی، به‌طور فعال در مکانیسم انتقال گیرنده- پذیرنده بار طی فرایند اکسید (Oxidation) و احیا (Reduction) در داخل سلول برای حفظ شیب جریان پتانسیل اسمزی نقش دارد (شکل ٦). همان‌طور که در شکل ٦ مشخص است. انتقال سدیم در جهت شیب غلظت بدون صرف انرژی

می‌باشد اما در انتقال پتاسیم، شیب الکتریکی در خلاف شیب غلظت همراه با صرف انرژی می‌باشد. در سلول‌های در حال رشد که متابولیسم فعال دارند، هزینه انرژی بین ۰/۷ تا ۰/۹ است. اگر هزینه انرژی از حد ۰/۵ سقوط کند، زیست پایداری داخلی(هموستازی) در متابولیسم مختل می‌شود و پایدار نمی‌ماند. در این صورت سلول می‌میرد. اسید فولویک با جفت کردن دو سیستم رداکس با پتانسیل متفاوت، تعادل شیمیایی را برقرار می‌کند(سیستمی که منفی‌تر است الکترون را به سیستمی که مثبت‌تر است می‌دهد). بنابراین، ورود پتاسیم را تسهیل می‌کنند که نتیجه آن افزایش فشار داخل سلولی و تقسیم سلول است. همچنین افزایش انرژی در داخل سلول، منجر به افزایش تولید کلروفیل و میزان فتوسنتز خواهد شد(Giasuddin *et al*., 2007).



شکل٦: نقش اسید فولویک در تنظیم تعادل شیمیایی و شیب پتانسیل الکتریکی در درون سلول

۱۷-دوام کودهای هیومیکی در خاک

بر عکس کودهای شیمیایی که دوام کمی در خاک دارند و به شکل‌های مختلف نظیر تجزیه، تبخیر، تصعید، آبشویی و یا تثبیت از دسترس گیاه خارج می‌شوند، هوموس و مواد هیومیکی پایداری بی‌نظیری در خاک دارند و تنها ریزجانداران مفید خاک می‌توانند آن را به‌عنوان منبع انرژی مورد استفاده قرار دهند. وجود مقادیر بیش از حد نمک‌های محلول در خاک می‌تواند اسید هیومیک را اشباع کرده و بطور موقت و یا دائم از کار بیندازد. با این وجود مواد هیومیکی همانند یک کاتالیزور در نقل و انتقال عناصر از خاک به گیاه بطور دائم عمل می‌کند، اما خودش مصرف نمی‌شود. به علاوه تبخیر، تصعید، آبشویی و یا تثبیت، هیچ‌کدام بر روی مواد آلی

هیومیکی تأثیر ندارند. به همین دلیل اغلب، بخش مهمی از مواد آلی مصرف شده برای سال‌ها در خاک باقی می‌ماند (Preemozic *et al*., 2007).

۱۸- نقش ترکیبات هیومیک در سازگاری با محیط زیست

مهم‌ترین خصوصیات مواد هیومیکی سازگاری با محیط زیست می‌باشد. در واقع ترکیبات هیومیکی از مواد آلی طبیعی و با واسطه ریزجانداران خاک طی یک فرایند بسیار طولانی ساخته می‌شود. آنچه به عنوان اصلاح کننده خاک و یا کودهای هیومیکی در بازارعرضه می‌شود نیز قاعدتاً منشاء طبیعی داشته و نوعی هوموس است که از منابع مختلف زیستی به جای مانده و پس از فرآوری و تغلیظ عرضه می‌شود (Hasanzade Daluie, 1994; Samavat and Malakuti, 2005).

مواد هیومیکی، اگر به اندازه مناسب و در فصل مناسب داده شود، می‌تواند شرایط مناسب رشد گیاهان را فراهم کند. امروزه بسیاری از آب‌های سطحی و نیز بخش مهمی از آب‌های زیرزمینی به انواع سموم و کودهای شیمیایی آلوده می‌باشند. مواد هیومیکی توانایی جذب این آلاینده ها را دارد و با آن‌ها کمپلکس های نامحلولی تشکیل می‌دهد که از خطرات آن‌ها برای محیط زیست به نحو بارزی می‌کاهد.

اگرچه در ساختار مواد هیومیکی ترکیبات آروماتیک(هیدروکربن های اشباع نشده) نیز وجود دارند، ولی این ترکیبات آزاد نیستند و در پیوند محکمی با سایر ترکیبات آلیفاتیک (هیدروکربن‌ها اشباع شده) و معدنی پلیمری را می‌سازند که ترکیب واحدی است و شباهت به هیچ یک از اجزای سازنده‌اش را ندارند. این ترکیب با طبیعت سازگار است و خطری برای گیاه و یا محیط زیست ندارد (Candan and Tarhan, 2003; Lee and Bartlett, 1976).

نتیجه گیری کلی

مواد هیومیکی از ترکیبات بسیار مهم خاک هستند که خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و حاصلخیزی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مواد هیومیکی، ترکیبات آلی با قابلیت‌های بسیار زیاد می‌باشند از جمله، قابلیت جذب عناصر غذایی را توسط گیاه افزایش می‌دهد و از آب شویی و از دست رفتن آن‌ها جلوگیری می‌کند، به همین علت مصرف کودهای شیمیایی در خاک در حضور این ترکیبات به نصف کاهش می‌یابد. اسید هیومیک در حالی‌که نتیجه بهتری برای

کشاورز به بار می‌آورد، تا حد زیادی از هزینه‌های سرسام‌آور خرید کودهای شیمیایی، مسمومیت و سفتی خاک می‌کاهد. هنگامی که مواد هیومیکی به خاک رس اضافه شوند، باعث شکستن سله خاک و در نتیجه افزایش نفوذ آب به خاک و رشد و نمو بهتر ریشه می‌شوند. از طرفی، هنگامی که مواد هیومیکی به خاک شنی اضافه گردند، باعث افزایش توانایی این خاک برای حفظ رطوبت و شسته نشدن عناصر غذایی ضروری گیاه می‌گردند (Siripinyanond *et al*., 2002). از آنجایی که مواد هیومیکی مسئول بسیاری از واکنش های شیمیایی پیچیده در خاک هستند، به عنوان یک جزء کلیدی از فعالیت های کشاورزی پایدار و اکوسیستم‌های زمینی در نظر گرفته می‌شوند. اثرات مواد هیومیکی برروی رشد گیاهان بستگی به منبع، غلظت و وزن مولکولی اجزای هیومیکی و به طور عمده ترکیبات شیمیایی مختلف درگیر در آن‌ها دارد.

امینیان و همکاران(۱۳۹۴) اثرات اسید هیومیک و کلسیم (به عنوان ماده اصلاح کننده خاک) در تنش شوری ds/m ۳۸ در گیاهان پسته و جو، مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد ترکیبات اصلاح کننده، وزن تر و خشک ریشه، ارتفاع و قطر ساقه، تعداد، سطح برگ و جذب عناصر غذایی را افزایش داد. موثرترین غلظت اسید هیومیک و کلسیم، ۸ و ۳ گرم درکیلوگرم به ترتیب بوده است. در تیمار اسید هیومیک، میزان شوری به طور معنی‌دار به ds/m ۳۲ کاهش یافت و نسبت جذب سدیم نیز به طور معنی‌دار کاهش یافت. یافته‌های تحقیقات این پژوهشگران، اهمیت و کارایی مطلوب اسید هیومیک و کلسیم در تحمل به تنش شوری در گیاهان پسته و جو نشان داد.

به طور کلی در جدول زیر موارد کلی اثر مواد هیومیکی آورده شده است.

اسید فولویک	اسید هیومیک
وزن مولکولی متوسط	وزن مولکولی بالا
سریع و راحت از طریق برگ جذب می شوند	به راحتی از طریق برگ جذب نمی شوند
به سرعت در خاک تخریب و مصرف می شود نقش در فعالیت ریزجانداران مفید خاک دارد	در خاک پایدار است منبع غذا برای ریزجانداران مفید در خاک می باشد
دارای اثر کوتاه مدت در خاک است،در دسترس توسط ریشه گیاه است و سریع توسط گیاهان جذب می شود	دارای اثرات بلند مدت در خاک است، با گذشت زمان در خاک تبدیل به ترکیبات آلی و قابل جذب دیگر می‌شود
اتصال قوی با بیشتر ذرات خاک ندارد، به راحتی از خاک آبشویی شده و از دست می رود، تاثیرات بلند مدت ندارد	به ذرات خاک متصل می شود، به راحتی آبشویی نمی‌شود، رطوبت و عناصر غذایی را در خاک حفظ می کند و مزایای پایدار در ناحیه ریشه دارد
نحوه تاثیر سریع، موثر از طریق برگ، تاثیرکم در خاک	نحوه تاثیر آهسته، موثر از طریق خاک، تاثیر بالایی در خاک

منابع:

امینیان، پ.، رضوی زاده، ر. وجوانشاه، ا. ۱۳۹۴. بررسی نقش هیومیک اسید و کلسیم بر روی تحمل به تنش شوری در گیاهان پسته و جو. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه پیام نور اصفهان. ۱۶۱ص.

سالاردینی، ع. ا. ۱۳۷۱. حاصلخیزی خاک ، انتشارات دانشگاه تهران.۴۴۱ صفحه.

سالاردینی،ع.ا. و مجتهدی،م. ۱۳۷۶ . اصول تغذیه گیاه(جلد دوم). انتشارات دانشگاه تهران.۳۱۴ صفحه.

شریعتی، م. و مددکار حق‌جو، م. ۱۳۸۳. کتاب فیزیولوژی گیاهی: جذب و انتقال مواد از خلال غشا، نشر دانشگاه اصفهان. ۲۳۸ ص.

شیبانی، ا، فریورمهین، ح، وطن‌پور ازقندی، ع .۱۳۷۳. پسته و تولید آن در ایران، انتشارات سازمان تحقیقات آموزش ترویج کشاورزی، ۵۹ ص.

همایی،م. ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری. چاپ اول. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۵۸. تهران. ایران.

Adani, F., Genevini, P., Zaccheo, P. and Zocchi, G. 1998. The effect of commercial humic acid on tomato plant growth and mineral nutrition. *Journal of Plant Nutrition.* 21:561–575.

Alexandrova, I.V. 1977. Soil organic matter and the nitrogen nutrition of plants. *Soil Science*. 9: 293-301.

Andrés Calderín García,a, Luiz Gilberto Ambrosio de Souza, Marcos Gervasio Pereira, Rosane Nora Castro, José María García-Mina, Everaldo Zonta, Francy Junior Gonçalves Lisboa, and Ricardo Luis Louro Berbara. 2016. Structure-Property-Function Relationship in Humic Substances to Explain the Biological Activity in Plants. *Science Reports*. 6: 20798.

Ashraf, M., Harris, P.J.C. 2005. Abiotic Stresses: Plant Resistance through Breeding and Molecular Approaches. Haworth Press, New York, USA.

Asik, B.B., Turan, M.A., Celik, H. and Katkat, A.V. 2009. Effects of humic substances on plant growth and mineral nutrients uptake of wheat (*Triticum durum* cv. Salihli) under conditions of salinity. *Asian Journal of Crop Science.* 1: 87-95.

Atiyeh, R. M., Lee, S. and Edwards, C. A. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm processed organic wastes on plant growth. *Bioresearch Technology*. 84: 7-14.

Ayuso, M., Hernandez, T., Garcia, C. and Pascual, J.A. 1996. Stimulation of Barley growth and nutrient absorption by humic substances originat- ing from various organic materials. *Bioresource Technol*ogy. 57: 251– 257.

Burdon, J. 2001. Are the traditional concepts of the structures of humic substances realistic? *Soil Science*. 166(11): 752-769.

Candan, N. and Tarhan, L. 2003. Relationship among chlorophyll-carotenoid content, antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation levels by Mg2+ deficiency in the *Mentha pulegium* leaves. *Plant Physiology and Biochemistry*. 41: 35–40.

Canellas, L.P, Dantas, D.J, Aguiar, N.O. 2011. Probing the hormonal activity of fractionated molecular humic omponents in tomato auxin mutants. *Annals of Applied Biology*. 159: 202–211.

Canellas, L.P., Olivares, F.L., Okorokaova-Façanha, A.L. and 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*ogy. 130:1951–1957.

Canellas, L.P., Piccolo, A. and Dobbss, L.B. 2010. Chemical composition and bioactivity properties of size-fractions separated from a vermicompost humic acid. *Chemosphere*. 78: 457–466.

Canellas, L.P., Spaccini, R. and Piccolo, A. 2009. Relationships between chemical characteristics and root growth promotion of humic acids isolated from Brazilian oxisols. *Soil Science*. 174: 611–620.

Cavani, L., Ciavatta, C. and Gessa, C. 2003. Identification of organic matter from peat, leonardite and lignite fertilisers using humification parameters and electrofocusing. *Bioresource Technology*. 86: 45– 52.

Çelik, H., Vahap, K.A., Bulent, A.B. and Turan, M.A. 2010. Effect of humus on growth and nutrient uptake of maize under saline and calcareous soil conditions. *Agriculture*. 97(4):15-22.

Çimrin, K.M., Türkmen, O., Turan, M. and Tuncer, B. 2010. Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress of pepper seedling. *African Journal of Biotechnology*. 9(36): 5845-5851.

Cooper, R.J., Liu, C.H. and Fisher, D.S. 1998. Influence of humic substances on rooting and nutrient content of creeping bentgrass. *Crop Science*. 38: 1639-1644.

Costa, G., Labrousse, P., Bodin, C. et al. 2008. Effects of humic substances on the rooting and development of woody plant cuttings. *Acta Horticulturea*. 779:255–261.

Davies, G., Ghabbour, E.A., Steelink, C. 2001. Humic acids: Marvelous products of soil chemistry. *Journal of Chemical Education*. 78(12): 1609.

Delfine, S., Tognetti, R., Desiberio, E. and Alvino, A. 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum. Wheat Agronomy Sustainable Development. 25: 183-191.

Dobbss, L.B., Canellas, L.P., Olivares, F.L., Aguiar, N.O., Peres, L.E.P., Azevedo, M., Spaccini, R., Piccolo, A. and Façanha, A.R. 2010. Bioactivity of chemically transformed humic matter from vermicompost on plant root growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58: 3681-3688.

El-Nemr, M.A., El-Desuki, M., El-Bassiony, A.M. and Fawzy, Z. F. 2012. Response of growth and yield of cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) to different foliar applications of humic acid and bio-stimulators. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 6:630–637.

Eyheraguibel, B., Silvestre, J. and Morard, P. 2008. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresource Technology*. 99: 4206–4212.

Ghabbour, E.A., Davies, G. 2014. Understanding humic substances: advanced methods, properties and applications. Woodhead Publishing.

Giasuddin, A. B. M., Kanel, S. and Choi, H. 2007. Adsorption of humic acid onto nanoscale zerovalent iron and its effect on arsenic removal. *Environmental Science & Technology*. 41(6):2022–2027.

Gonzalez, M.G., Conti, M.E., Palma, R.M., Arrigo, N.M. 2003. Dynamics of humic fractions and microbial activity under no-tillage or reduced tillage, as compared with native pasture (*Pampa Argentina*). Biology and fertility of soils. 39(2): 135-138.

Gonzalez-Vila, F.J., Del Rio, J.C., Almendros, G. and Martin, F. 1994. Structural relationship between humic fractions from peat and lignites from Miocene Granada basin. *Fuel*. 73, 215– 221.

Grasset, L. and Amble`s, A. 1998. Structure of humin and humic acid from an acidic soil as revealed by phase transfer catalyzedhydrolysis. Org. *Geochem*. 29: 881– 891.

Grasset, L., Guignard, C. and Amble`s, A. 2002. Free and esterified aliphatic carboxylic acids in humin and humic acids from apeat sample as revealed by pyrolysis with tetramethylammonium hydroxide or tetraethylammonium acetate. Org. *Geochemistry*. 33: 181– 188.

Harper, S.M., Kerven, G.L., Edwards, D.G. and Ostatek-Boczynski, Z. 2000. Characterisation of fulvic and humic acids from leaves of Eucalyptus camaldulensis and from decomposed hay. *Soil Biochemical*. 32: 1331-1336.

Hartwigsen, J. A. and Evans, M. R. 2000. Humic acid seed and substrate treatments promote seedling root development. *Horticultural Science*. 35(7): 1231-1233.

Hasanzade daluie, M. 1994. Effect of foliar application time with humic acid on yield, component yield protein and nitrogen remobilization and dry matter of two wheat cultivars. Ph.D. Thesis. Fac. Agri. Fedowsi Univ Mashhad, Iran. (In Persian with English summary).

Jindo, K., Martim, S.A., Navarro, E. C. et al. 2012. Root growth promotion by humic acids from composted and non-composted urban organic wastes. *Plant Soil*. 353:209–220.

Kaschel, A., Römheld, V. and Chen, Y. 2002. Cadmium binding by fractions of dissolved organic matter and humic substances from municipal solid waste compost. *Journal of Enviromental Quality*. 31: 1885– 1892.

Kelting, M., Harris, J.R., Fanelli, J. and Appleton, B. 1998. Bio-stimulants and soil amendments affect two-year posttransplant growth of red maple and Washington hawthorn. *HortScience*. 33:819-822.

Kleinhempel, D. 1970. *Albrecht Thaer Arch.* 14: 3.

Knicker, H., Schmidt, M.W.I. and Ko¨gel-Knabner, I. 2000. Nature of organic nitrogen in fine particle size separates of sandy soils of highly industrialized areas as revealed by NMR spectroscopy. *Soil Biology & Biochemistry*. 32: 241–252.

Kurková, M., Klika, Z., Kliková, Ch., Havel, J. 2004. Humic acids from oxidised coal I. Elemental composition, titration curves, heavy metals in HA symplex, nuclear

magnetic resonance spectra of HAs and infrared spectroscopy. *Chemosphere*. 54: 1237.1245.

Ladd, J.N. and Brisbane, P.G. 1967. Release of amino acids from soil humic acids by proteolytic enzymes. *Australian Journal of Soil Research*. 5: 161–171.

Lee, Y. S. and Bartlett, R. J. 1976. Stimulation of plant growth by humic substances. *American Journal of Soil Seince Society*. 40: 876-879.

Lguirati, A., Elmousadik, A. and Hafidi, M. 2004. Contribution alade Marche de re habilitation des sites de de´charges au Maroc. In: Proceedings of *the First International Symposium on the Management of Liquid and Solid Residues (Malisore)*, Mohammadia, Morocco, 26–27 April 2004, p. 131.

Lin, C.N., Huang, Y.J., Hao, O.J. 1999. Ultrafiltration processes for removing humic substance: Effect of molecular weight fractions and PAC treatment water. *Research*. 33: 1252-1264.

Liu, C., Cooper, R.J. and Bowman, D.C. 1996. Humic acid application affects photosynthesis, root development, andnutrient content of creeping bentgrass. *Crop Science*.33: 1023–1025.

Malakoti, M., Keshavarz, P., Saadat, S., and Kholdbarin, J. 2002. Nutrition plants in saline conditions. Publication of Agriculture. Department of Horticulture. Press, 98p. (In Persian)

Mao, J.D., Hu, W.G., Schmidt-Rohr, K., Davies, G., Ghabbour, E.A. and Xing, B. 2000. Quantitative characterization of humic substances by solid-sate carbon-13 nuclear magnetic resonance. *Soil Science Society of America Journal.* 64, 873e884.

Marino, G., Cellini, A., Masia, A. et al. 2010. In vitro treatment with a low molecular weight humic acid can improve growth and mineral uptake of pear plantlets during acclimatization. *Acta Horticulture*. 884:565–572.

Mazhar, A. A. M., Shedeed, S. I., Abdel-Aziz, N. G. and Mahgoub, M. H. 2012. Growth, flowering and chemical constituents of *Chrysanthemum indicum* L. plant in response to different levels of humic acid and salinity. *Journal of applied sciences*. 8:3697–3706.

McSheehy, S. and Szpunar, J. 2000. Speciation of arsenic in edible algae by bidimensional size-exclusion anion exchange HPLC with dual ICP-MS and electrospray MS/MS detection. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 15: 79e87.

Michael, K. 2001. Oxidized lignites and extracts from oxidizwd lignites in agriculture. *Soil Science*. 1-23.

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. and Vianello, A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*. 34 (11): 1527-1536.

Nikbakht, A., Kafi, M., Babalar, M., Xia, Y.P., Luo, A. and Etemadi, N.A. 2008. Effect of humic acid on plant growth, nutrient uptake, and post-harvest life of Gerbera. *Journal of Plant Nutrition*. 31: 2155-2167.

Nimmagadda, R.D. and McRae, C. 2007. Characterisation of the backbone structures of several fulvic acids using a novel selective chemical reduction method. *Organic Geochemistry*. 38:1061–1072.

Orlova, O.V., Arkhipchenko, I.A. 2009. Humic substances of composts from municipal Solid wastes as a promising plant growth stimulator. *Russian Agricultural Sciences*. 35: 175-178.

Paksoy, M., Türkmen, O. and 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. *African Journal Biotechnology*. 9(33): 5343-5346.

Pena-Mendez, E. M., Havel, J. and Patocka, J. 2005. Humic substances. Compounds of still unknown structure: applications in agriculture, industry, environment, and biomedicine. *Journal of Applied Biomedicine*. 3:13-24.

Peng, A., Xu, Y. and Wang, Z. J. 2001. The effect of fulvic acid on the dose effect of selenite on the growth of wheat. *Biological Trace Element Research Journal*. 83:275–279.

Piccolo, A. 2002. The supramolecular structure of humic substances: A novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. *Advances in Agronomy*. 75 : (57-134).

Preemozic Z., Palmucci HE., Tamborenea J. and Nakama M. 2007. Chlorination: phytotoxicity and effects on the production and quality on *lactuca sativa*. *International Journal of Experimental Botany*, 76, 103- 117.

Preemozic Z., Palmucci HE., Tamborenea J. and Nakama M. 2007. Chlorination: phytotoxicity and effects on the production and quality on *lactuca sativa*. *International Journal of Experimental Botany*. 76: 103- 117.

Purdue, E.M. 1988. Measurements of binding site concentrations in humic substances. Metal Speciation: Theory, Analysis and Application. Lewis Publishers, Chelsea Michigan. P, 135-154, 11 fig, 1 tab, 26 ref. U. S. EPA Cooperative Agreement CR 813471-01.

Samavat, S., Malakuti, M. 2005. Important use of organic acid (humic and fulvic) for increase quantity and quality agriculture productions. *Water and soil researcher technical issue*. 463: 1- 13.

Sanchez- Sanchez, A., Sanchez –Andreu, J., Juarez, M., Jorda, J. and Bermudez, D. 2006. Improvement of iron uptake in table grape by addition of humic substances. *Journal of Plant Nutrition*. 29: 259-272.

Sanchez-Sanchez, A., Sanchez-andreu, J., Juarez, M., Jorda, J. and Bermudez, D. 2002. Humic substances and amino acids improve effectiveness of chelate FeEDDHA in lemon trees. *Journal of Plant Nutrition*. 25(11): 2433–2442.

Schmitt-Wagner, D., Friedrich, M.W., Wagner, B. and Brune, A. 2003. Phylogenetic diversity, abundance, and axial distribution of bacteria in the intestinal tract of two soil-feeding termites (*Cubitermes spp*.). *Applied and Environmental Microbiology*. 69: 6007–6017.

Shah, K., Kumar, R. G., Verma, S. and Dubey, R. S. 2001. Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxidation generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Science.* 161, 1135–1144.

Siripinyanond, A., Barnes, R.M. and Amarasiriwardena, D. 2002. Flow field-flow fractionation-inductively coupled plasma mass spectrometry for sediment bound trace metal characterization. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 17: 1055-1064.

Stevenson, F.J. 1982. Humus chemistry genesis, composition, reactions. Willey Interscience, New York.

Tahir, M. M., Khurshid, M., Khan, M. Z., Abbasi, M. K. and Hazmi, M.H. 2011. Lignite-derived humic acid effect on growth of wheat plants in different soils. *Pedosphere*. 2:124–131.

Tan, K.H., Leonard, R.A., Asmussen, L.E., Lobartine, J.C., Gingle, A.R. 1991. Composition of humic acids extracted under air and nitrogen atmosphere. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*. 22:(9-10): 861-877.

Turan, M. A., B. B. Asik, A.V. Katkat. and Celik, H. 2011. The effects of soil-applied humic substances to the dry weight and mineral nutrient uptake of maize plants under soilsalinity conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 39(1): 171-177.

Varanini, Z., Pinton, R. 1995. Humic substances and plant nutrition. In: Lu¨ttge, U., (Ed.), Progress in Botany, vol. 56. *Springer*, Berlin, pp. 97 – 117.

Verma, L., Martin, J.P. and Haider, K. 1975. Decomposition of carbon-14- labeled proteins, peptides, and amino acids; free and complexed with humic polymers. *Soil Science Society of America Proceedings*. 39:279–284.

Wafaa, H. M. 2012. Effects of Humic Acid and Calcium Forms on Dry Weight and Nutrient Uptake of Maize Plant under Saline Condition. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 6(8): 597-604.

Wang, Y., Combe, C., Clark, M.M. 2001.The effects of pH and calcium on the diffusion coefficient of humic acid. *Journal of Membrane Science*. 183(1): 49-60.

Wood, T.G. 1978. Food and feeding habits of termites, in: Brian, M.V. (Ed.), Production Ecology of Ants and Termites. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 55–80.

Zhang, X. and Ervin, E. H. 2004. Cytokinin-containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokine and drought resistance. *Crop Science*. 44: 1-10.

Zheng, Y., Graham, T., Richard, S. and Dixon, M. 2004. Potted gerbera production in a subirrigation system using low-concentration nutrient solutions. *Hort Science*. 39(6): 1283-1286.