● مواد آلی خاک و اهمیت آن در کشاورزی

سلمان میرزائی | دانش آموخته دکتری خاک‌شناسی و مسئول بخش تغذیه گیاه شرکت ملی کشت و صنعت و دامپروری پارس

چکیده

مشابه اجزاء معدنی، مواد آلی خاک (Soil organic matter) نیز علی‌رغم مقدار کم، اثرات مهمی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارد. افزون براین، میزان کربن موجود در مواد آلی خاک‌های کل جهان بیش از چهار برابر کربن موجود در پوشش گیاهی آن است از این‌رو مواد آلی خاک نقش مهمی در چرخه کربن ایفا می‌کند. هدف از این مقاله، مروری بر مواد آلی خاک و اهمیت آن در سامانه‌های کشاورزی است.

کلمات کلیدی: کربن، کمپوست، کود آلی، میکروارگانیسم.

مقدمه

کربن آلی خاک یکی از ارکان بسیار مهم در رسیدن به کشاورزی پایدار و امنیت غذایی می‌باشد (شکل ۱). مواد آلی خاک ترکیبی از بقایای گیاهی و جانوری تجزیه شده، مواد ترشح شده، بافت‌های زنده و مرده میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. میزانِ مواد آلی خاک بین ۰/۱ تا پنج درصد وزنی در افق سطحی خاک‌های معدنی تا ۱۰۰ درصد در خاک‌های آلی متغیر است. معمولاً مواد آلی خاک، رنگ تیره به خاک‌ها می‌دهد و از تجزیه آن دی‌اکسید کربن ($CO^{۲}$) و یون‌هایی مانند: آمونیوم (NH_4^+)، نیترات (NO_3^-)، فسفات (PO_4^{3-}) و سولفات (SO_4^{2-}) تولید می‌شود. سطح ویژه بالا مواد آلی خاک ۸۰۰ تا ۹۰۰ متر مربع در گرم و ظرفیت تبادل کاتیونی آن نیز برابر ۱۵۰ تا ۳۰۰ سانتی‌مول بار در کیلوگرم می‌باشد. مواد آلی خاک ظرفیت نگهداشت آب در خاک (تا ۲۰ برابر) و قابلیت چسبیدگی ذرات خاک را افزایش داده که باعث تقویت خاکدانه‌سازی و افزایش تهویه در خاک می‌گردد. همچنین مواد آلی خاک، منبع مهمی برای عناصر ماکرو و میکرو مغذی بوده و به‌دلیل سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، جاذب بسیار مهم برای فلزات سنگین و برخی از آفت‌کش‌ها است.

شکل ۱- خاک سالم، کشاورزی پایدار و در نتیجه آن امنیت غذایی

عوامل مؤثر بر مقدار کربن آلی خاک

عوامل مختلفی بر میزان کربن آلی خاک مؤثر هستند که عبارت‌اند از: زمان، اقلیم، پوشش گیاهی، مواد مادری و توپوگرافی. این عوامل، سطح تعادل کربن آلی خاک را بعد از یک دوره زمانی تعیین می‌کنند؛ لذا میزان کربن آلی خاک در خاک‌های مختلف متفاوت می‌باشد.

۱- اقلیم: یک فاکتور بسیار مهم در کنترل میزان کربن آلی خاک است، زیرا در گسترش نوع گونه‌های گیاهی، مقدار مواد گیاهی تولید شده و میزان فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک مؤثر است. در دماهای پایین رشد گیاه جهت تولید ماده آلی بیشتر از تجزیه میکروبی بوده، ولی عکس آن در دماهای بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد صادق است. بنابراین، با حرکت از اقلیم گرم‌تر به اقلیم سردتر، به میزان ماده آلی خاک افزوده می‌شود.

۲- پوشش گیاهی: معمولاً پوشش گیاهی غالب در مناطق نیمه‌مرطوب و نیمه‌خشک، گونه‌های علفی و در مناطق مرطوب درختان هستند. ماده آلی تولید شده در علفزارها، بیشتر از جنگل‌ها بوده و خاک های بیابانی کمترین میزان ماده آلی را دارند.

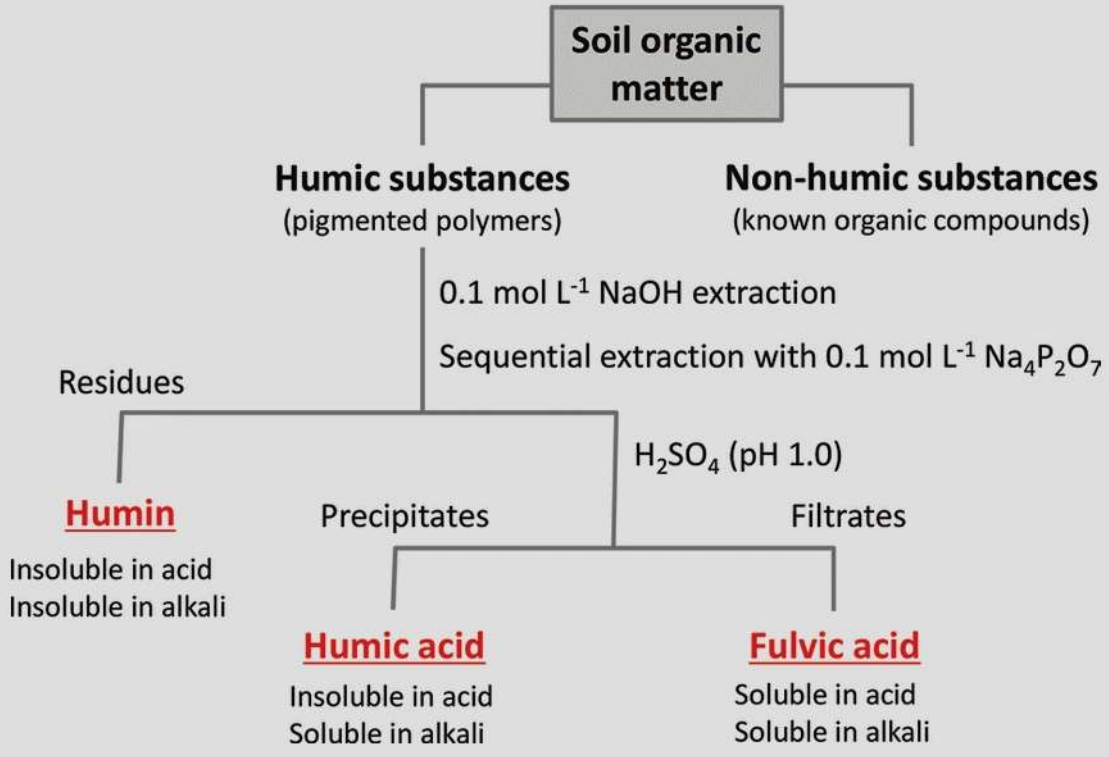
۳- مواد مادری: اثر این فاکتور بر روی میزان کربن آلی خاک، به‌دلیل اثر مواد مادری بر نوع بافت خاک است، به‌طوری‌که خاک‌های رسی کربن آلی بالایی نسبت به خاک‌های شنی دارند.

۴- توپوگرافی: این فاکتور میزان ماده آلی خاک را از طریق اقلیم، رواناب، تبخیر و تعرق تحت تأثیر قرار می‌دهد. در خاک‌های زهدار به دلیل تهویه پایین میزان کربن آلی خاک بیشتر است. در شیب‌های رو به شمال (دما پایین و رطوبت بالا)، میزان کربن آلی خاک در مقایسه با شیب‌های رو به جنوب (دما بالا و رطوبت پایین)، بیشتر است.

اجزاء تشکیل دهنده کربن آلی خاک

اجزاء ماده آلی خاک شامل موجودات زنده (زیست توده) و بافت‌های مرده غیر قابل تشخیص (هوموس) می‌باشد (شکل ۲). به‌طور کلی، عناصر تشکیل دهنده ماده آلی شامل: کربن (۵۲ تا ۵۸ درصد)، اکسیژن (۳۴ تا ۳۹ درصد)، هیدروژن (۳ تا ۵ درصد) و نیتروژن (۳ تا ۴ درصد)، و درصدی از عناصر فسفر، گوگرد و ریزمغذی می‌باشد.

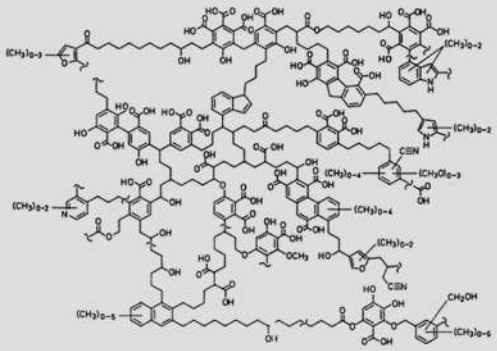
هوموس (گیاخاک)، به مواد آلی تجزیه شده بدون بافت‌های گیاهی قابل مشاهده، پایدار و مقاوم گفته می‌شود و از دو بخش مهم تشکیل شده است:



شکل ۲- طبقه‌بندی اجزاء مواد آلی خاک

۱- مواد غیرهیومیکی: که حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد هوموس خاک را تشکیل می‌دهد. این مواد به لحاظ شیمیایی دارای پیچیدگی کمتری بوده و در مقابل تجزیه میکروبی مقاومت کمتری نسبت به مواد هیومیکی دارند. مواد غیرهیومیکی شامل: اسیدهای آلی با وزن مولکولی پایین، پروتئین‌ها، آمینواسیدها، چربی‌ها و غیره می‌باشد.

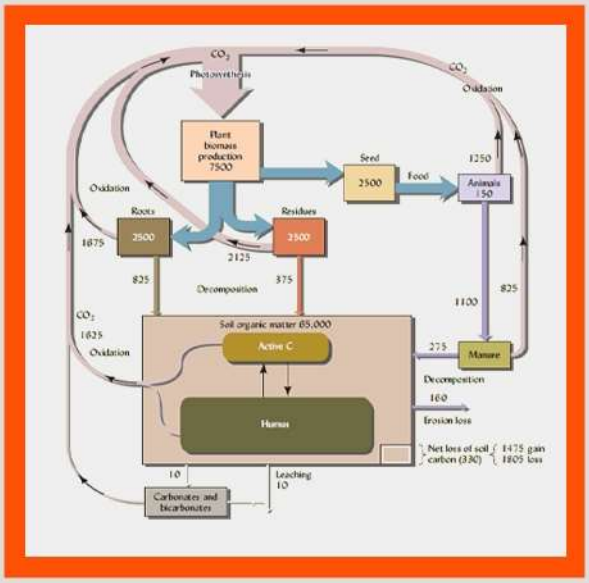
۲- مواد هیومیکی: که حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد هوموس خاک را تشکیل می‌دهد. مواد هیومیکی به لحاظ شیمیایی دارای پیچیدگی بیشتری بوده و از ترکیبات متعدد فنلی تشکیل یافته است. مواد هیومیکی معمولاً دارای رنگ تیره و بی‌شکل می‌باشد. این مواد شامل: اسید هیومیک (محلول در شرایط بازی و غیرمحلول در شرایط اسیدی)، اسید فولویک (محلول در شرایط بازی و اسیدی)، و هیومین (غیرمحلول در اسید و باز) است (شکل ۲). از نسبت‌های اتمی مانند: هیدروژن به کربن (H/C)، اکسیژن به کربن (O/C)، و نیتروژن به کربن (N/C)، می‌توان در شناسایی نوع مواد هیومیکی استفاده کرد. براساس گزارشات، نسبت اکسیژن به کربن بهترین عامل در تشخیص نوع مواد هیومیکی است، که در خاک نسبت آن برای اسید هیومیک حدود ۰/۵ و برای اسید فولویک حدود ۰/۷ می‌باشد. گروه‌های عاملی مهم اسیدی در ترکیبات هیومیکی، شامل: گروه کربوکسیل (R—COOH) و گروه فنلی (Ar—OH)، است که اسیدیته اسید فولویک بالاتر از اسید هیومیک است.



شکل ۳- فرمول شیمیایی اسید هیومیک ($C_{308}H_{328}O_{90}N_5$)

چرخه و ترسیب کربن

عنصر کربن شالوده‌ی تمام حیات است. ترکیباتی که بافت‌های زنده گیاه را تشکیل می‌دهند عمدتاً از اتم‌های کربن تشکیل یافته‌اند. چرخه کربن در روی زمین، خود داستان حیات در این سیاره است زیرا شامل خاک، گیاهان، حیات جانوری و اتمسفر می‌باشد. مسیرهای اصلی چرخه کربن در یک اکوسیستم زراعی در شکل ۴ نشان داده شده است. به‌طور مثال: در طول فصل رشد، گیاه ذرت به‌طور متوسط ۱۷۵۰۰ کیلوگرم در هکتار ماده خشک از طریق فرآیند فتوسنتز تولید می‌کند که معادل ۷۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کربن می‌باشد. این میزان کربن به‌طور مساوی بین ریشه، بقایای گیاهی روی سطح خاک و دانه تقسیم می‌شود و هر قسمت ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار کربن خواهد داشت. دانه برداشت شده توسط حیوانات تغذیه می‌شود که حدوداً ۵۰ درصد آن (۱۲۵۰ کیلوگرم در هکتار)، اکسید و به فرم CO_2 آزاد و ۱۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به کود حیوانی تبدیل می‌شود. با تجزیه مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها، به ترتیب ۷۵، ۶۷ و ۸۵ درصد از کربن موجود در کود حیوانی، ریشه و بقایای گیاهی روی سطح خاک، به‌صورت CO_2 به اتمسفر بازگشت داده می‌شود. همان‌طور که از شکل ۴ مشخص است، در مجموع ۱۴۷۵ کیلوگرم در هکتار کربن به‌صورت مواد آلی در خاک باقی می‌ماند. در این مثال، میزان کربن آلی در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک برابر ۶۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد. افزون بر این، مقداری از کربن در نتیجه تجزیه ماده آلی خاک، فرسایش، آبشویی و نیز با تبدیل به کربنات‌ها و بی کربنات‌ها از خاک و دسترس گیاه خارج می‌شود.



شکل ٤- چرخه کربن در یک اکوسیستم زراعی

کربن اتمسفر در سال‌های دور به طور متوسط برابر ۲۸۰ پی پی‌ام بود. امروزه با وجود انقلاب صنعتی و به کارگیری سوخت های فسیلی در صنعت، میزان متوسط جهانی آن به ۴۰۹/۸ پی‌پی‌ام افزایش یافته است. میزان کربن در اتمسفر در فرم گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن، متان و ... بیش از ۴۰ درصد افزایش یافته است. افزایش سطح گازهای گلخانه‌ای به خصوص گاز دی‌اکسید کربن نگرانی‌های زیادی را در زمینه گرم شدن کره زمین ایجاد کرده است. افزایش سطح گازهای گلخانه‌ای بیشتر به خاطر سطح بالای استفاده از سوخت‌های فسیلی (مانند فرآورده‌های نفتی و زغال سنگ)، جنگل‌زدایی و کشاورزی سنتی می‌باشد. برای مقابله با ازدیاد میزان کربن در اتمسفر، روش‌های متفاوتی وجود دارد که می‌توان به استفاده از انرژی‌های غیرکربنی مانند انرژی آب، باد، خورشید و هسته‌ای اشاره کرد. از دیگر روش‌های کاهش کربن اتمسفر می‌توان به ترسیب کربن اشاره کرد. مدیریت کاربری اراضی، زراعی و خاک اهمیت زیادی در میزان کربن خاک و از این‌رو ترسیب کربن دارد. به کارگیری راه‌کارهای خاک‌ورزی حفاظتی مانند بدون خاک‌ورزی و یا حداقل خاک‌ورزی از جمله روش‌های بسیار موثر در جهت جلوگیری از تجزیه و معدنی شدن مواد آلی خاک و در نتیجه ترسیب کربن می‌باشد. استفاده از گیاهان پوششی مانند بقولات و رعایت تناوب زراعی نیز موجب ترسیب کربن می‌گردد.

کاربرد مواد آلی در کشاورزی

افزودن مستقیم مواد آلی خام و تجزیه نشده به اراضی کشاورزی: گیاهان جهت تکمیل رشد خود، به عناصر غذایی مانند: هیدروژن، کربن، اکسیژن، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، گوگرد، آهن، روی، مس، منگنز، بور، مولیبدن، کلر و نیکل نیاز دارند. گیاهان عناصر کربن و اکسیژن را از هوا، هیدروژن را از آب و سایر عناصر مورد نیاز خود را از خاک تأمین می‌کنند (شکل ۵). با افزودن مواد آلی به خاک، بخشی از عناصر مورد نیاز گیاه در نتیجه تجزیه مواد آلی به‌وسیله میکروارگانیسم های خاک تأمین می‌شود.

شکل ۵- برخی از عناصر مورد نیاز گیاهان جهت رشد و نمو

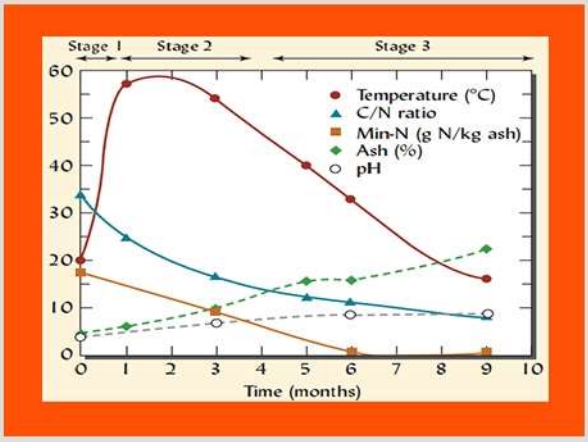
جهت استفاده از بقایای گیاهی، کود دامی و غیره جهت تأمین نیاز غذایی گیاه، بایستی نسبت کربن به نیتروژن (C/N)، آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. به‌طور متوسط، میکروارگانیسم‌های خاک جهت تبدیل هشت اتم کربن، به یاخته‌های خود نیاز به یک اتم نیتروژن دارند؛ لذا میکروارگانیسم‌های خاک دارای نسبت C/N برابر هشت می‌باشد. با توجه به این‌که ۳۳ درصد کربن تجزیه شده وارد یاخته‌های میکروارگانیسم می گردد؛ بنابراین، میکروارگانیسم‌ها جهت تجزیه ۲۴ اتم کربن نیاز به یک اتم نیتروژن دارد و نسبت C/N غذای مورد استفاده آن‌ها ۲۴ می‌باشد. اگر نسبت C/N مواد آلی اضافه شده به خاک بالاتر از ۲۴ باشد، میکروارگانیسم‌ها نیتروژن مورد نیاز خود جهت تجزیه مواد آلی را از نیتروژن خاک تأمین کرده و به‌دنبال آن گیاهان با کمبود نیتروژن مواجه می‌شوند. به‌عنوان مثال: فرض کنید بقایای گیاه ذرت به میزان ۱۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار؛ وزن خشک با ۴۵ درصد کربن و ۰/۷۵ درصد نیتروژن، به خاک افزوده شود (60C/N=). با این توصیف میزان کربن و نیتروژن موجود در بقایای گیاهی به‌ترتیب برابر ۴۵۰۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. ۳۳ درصد از کل کربن به‌وسیله میکروب‌ها هضم (۱۴۸۵ کیلوگرم در هکتار) و باقیمانده آن به‌صورت دی‌اکسیدکربن به اتمسفر بر می‌گردد. با در نظر داشتن نسبت C/N برابر ۸ برای میکروارگانیسم‌ها، برای هضم ۱۴۸۵ کیلوگرم کربن (۱۴۸۵ تقسیم بر ۸)، نیاز به ۱۸۵/۶ کیلوگرم نیتروژن است و نیتروژن موجود در بقایای گیاهی ۷۵ کیلوگرم است (۱۰۰۰۰×۰/۰۰۷۵). بنابراین، جهت جلوگیری از تخلیه و کمبود نیتروژن در محیط ریشه، بایستی ۱۱۰/۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۱۸۵-۷۵)، به خاک اضافه شود.

منابع کودهای آلی در کشاورزی

الف) کمپوست: کمپوست مواد آلی از نوع هوموس است که از بقایای گیاهی و در شرایط هوازی در خارج از محیط خاک تشکیل می‌شود. مراحل فرآیند کمپوست‌سازی شامل (شکل ۶):

- مرحله کوتاه معتدل‌دوستی اولیه (Initial mesophilic): در این مرحله، شکر و منابع غذایی قابل استفاده دیگر به‌سرعت مورد سوخت و ساز میکروبی قرار می‌گیرد و دما به ۴۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد.
- مرحله گرمادوستی (Thermophilic): این مرحله در طول یک تا دو هفته بعد انجام می‌گیرد و طی آن دما به ۵۰ تا ۷۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. موجودات گرمادوست، سلولز و سایر مواد مقاوم را تجزیه می‌کنند. مخلوط کردن مکرر در طول این مرحله جهت هوادهی و اکسیژن‌رسانی، یکنواختی دما و مقدار کافی رطوبت (۵۰ تا ۷۰ درصد)، ضروری است.
- مرحله معتدل‌دوستی ثانویه (Second mesophilic): مرحله عمل‌آوری هوموس بوده و دما نزدیک دمای محیط می‌باشد. این مرحله ممکن است ماه‌ها طول بکشد.

کمپوست کردن بقایای گیاهی و کودهای دامی تازه دارای مزایایی از جمله: ذخیره مطمئن، مدیریت آسان، عدم رقابت برای نیتروژن (به‌دلیل نسبت C/N پایین)، سمیت‌زدایی، حذف بذرهای علف‌های هرز و کاهش امراض گیاهی می‌باشد.



شکل ۶- کمپوست و تغییرات دمایی در مراحل مختلف کمپوست‌سازی

ب) کود اسید هیومیک و فولویک: در کشاورزی امروزی، کاربرد کود اسید هیومیک به‌همراه اسید فولویک جایگاه ویژه‌ای دارد (شکل ۷). مزایای کاربرد کود اسیدهیومیک و فولویک در کشاورزی شامل:

- با افزایش خاصیت چسبندگی، نفوذپذیری (آب، هوا و ریشه) و نگهداشت آب در خاک، باعث تقویت ساختمان خاک شده و در نتیجه مقاومت گیاهان به خشکی و شوری افزایش می‌یابد.
- به‌دلیل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و کلات‌کنندگی خاک، موجب افزایش قابلیت دسترسی و جذب عناصر غذایی برای گیاهان می‌شود. بنابراین، درصد جوانه‌زنی بذر، رشد

اندام‌های ریشه و ساقه، میزان فتوسنتز و به‌دنبال آن عملکرد کیفی و کمی محصولات زراعی و باغی افزایش می‌یابد.
- با تحریک فعالیت‌های میکروبی و میکروارگانیسم‌های مفید خاک، مقاومت به بیماری‌های گیاهی افزایش می‌یابد.

شکل ۷- اسید هیومیک جامد و مایع

نتیجه‌گیری

ماده آلی یک جزء فعال و پیچیدهٔ خاک است که تاثیر زیادی بر خصوصیات و نقش خاک در اکوسیستم اعمال می‌کند. ماده آلی دارای دو بخش مهم یعنی مواد هیومیکی و غیرهیومیکی در خاک است که هر دو بخش نقش مهمی در حفظ پایداری ساختمان خاک، کلات کردن عناصر غذایی و نیز فعالیت‌های زیستی خاک دارد. استفاده از کودهای آلی مانند کمپوست و اسید هیومیک به همراه اسید فولویک در مقایسه با مصرف مستقیم بقایای گیاهی و کود حیوانی در خاک به دلایل متعددی که اشاره گردید، کارکرد مناسب‌تری در زمینه بهبود حاصلخیزی خاک خواهد داشت.

منابع

Abanades, J.C., Arias, B., Lyngfelt, A., Mattisson, T., Wiley, D., Li, H., Ho, M.T., Mangano, E., Brandani, S. 2015. Emerging CO2 capture systems. International Journal of Greenhouse Gas Control. 40, 126-166.

Chen, Y., Clapp, C.E., Magen, H. 2004. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: the role of organo-iron complexes. Soil Science and Plant Nutrient. 50, 1089-1095.

Jones, D.L., Healey, J.R., Willett, V.B., Farrar, J.F., Hodge, A. 2005. Dissolved organic nitrogen uptake by plants-an important N uptake pathway? Soil Biology and Biochemistry. 37, 413-23.

Mirzaee, S., Ghorbani-Dashtaki, S., Mohammadi, J., Asadi, H., Asadzadeh, F. 2016. Spatial variability of soil organic matter using remote sensing data. Catena. 145: 118-127.