مجله ایمنی زیستی

دوره ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲

ISSN 2716-9804 الکترونیکی، ISSN 2717-0632 چاپی

سازوکارهای بیوچار برای کاهش آسیب‌پذیری گیاه در برابر بیماری‌ها

نوع مقاله: مروری

یاسر عظیم‌زاده[1*]، آرش محمدزاده[1]

۱-استادیار بخش تحقیقات مدیریت منابع، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران

yaser.azimzadeh@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲

صفحه ۶۰-۳۷

چکیده

بیوچار می‌تواند با سازوکارهای مختلف ازجمله بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش جمعیت و فعالیت ریزجانداران مفید، ایجاد محدودیت برای فعالیت ریزجانداران بیماری‌زا، جذب سموم تولید شده توسط عوامل بیماری‌زا، تحریک تولید آنتی‌بیوتیک‌ها، القای دفاع سیستمیک گیاه و تغییر در ترشحات ریشه، آسیب‌پذیری گیاهان در برابر برخی از بیماری‌ها را بدون مصرف سموم شیمیایی کاهش دهد. نقش بیوچار در کاهش بیماری‌های گیاهی به ویژگی‌های بیوچار، مقدار مصرف بیوچار، ویژگی‌های خاک، نوع گیاه و نوع عامل بیماری‌زا بستگی دارد. ویژگی‌های بیوچار تحت‌تأثیر نوع زیست‌توده و دمای تولید قرار می‌گیرد. علاوه‌بر آن، سازوکارهای بیوچار برای محافظت از گیاه در برابر هر یک از انواع عوامل بیماری‌زا ممکن است متفاوت باشد. بنابراین، با توجه به اهمیت نوع زیست‌توده و شرایط دمای کربونیزاسیون در کارایی بیوچار، پیشنهاد می‌شود بررسی قابلیت بیوچارهای تولید شده از زیست‌توده‌ها و شرایط دمایی مختلف در کاهش بیماری‌های گیاهی مورد توجه بیشتری قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تنش زیستی، دفاع سیستمیک، عوامل بیماری‌زای گیاهی.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

مقدمه

امروزه با جدی‌تر شدن چالش پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی از یک‌سو و لزوم افزایش کربن آلی خاک برای بهبود حاصلخیزی و تولید غذای جمعیت روزافزون جهان از سوی دیگر، استفاده از فناوری بیوچار اهمیت بیشتری پیدا کرده است. بیوچار یک ماده جامد کربنی مقاوم به تجزیه است که از حرارت‌دادن زیست‌توده در شرایط بدون اکسیژن یا اکسیژن محدود تولید می‌شود. فرآیند تبدیل زیست‌توده به بیوچار گرماکافت نامیده می‌شود. نوع زیست‌توده و شرایط دمایی گرماکافت اثر زیادی بر ویژگی‌های بیوچار تولید شده دارد. بیوچار با ترسیب کربن در خاک و افزایش پایدار کربن آلی خاک از یک‌سو کربن اتمسفر را برای مدت زمان بسیار طولانی در خاک ترسیب می‌کند و از سوی دیگر با بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک باعث افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود (Azimzadeh and Najafi, 2018). به‌عنوان مثال، بیوچار به‌علت تخلخل و سطح ویژه زیاد بعد از افزوده شدن به خاک، می‌تواند تخلخل، تهویه و ظرفیت نگهداری رطوبت خاک را افزایش دهد. همچنین، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم فراهمی عناصر غذایی را برای گیاه افزایش دهد (Azimzadeh and Najafi, 2017). خسارات ناشی از عوامل بیماری‌زای خاک در محصولات زراعی به میزان ۱۰ تا ۲۰ درصد تخمین زده می‌شود که در مقیاس جهانی خسارت قابل‌توجهی بوده و یکی از چالش‌های امنیت غذایی محسوب می‌شود (Deutsch et al. 2018).

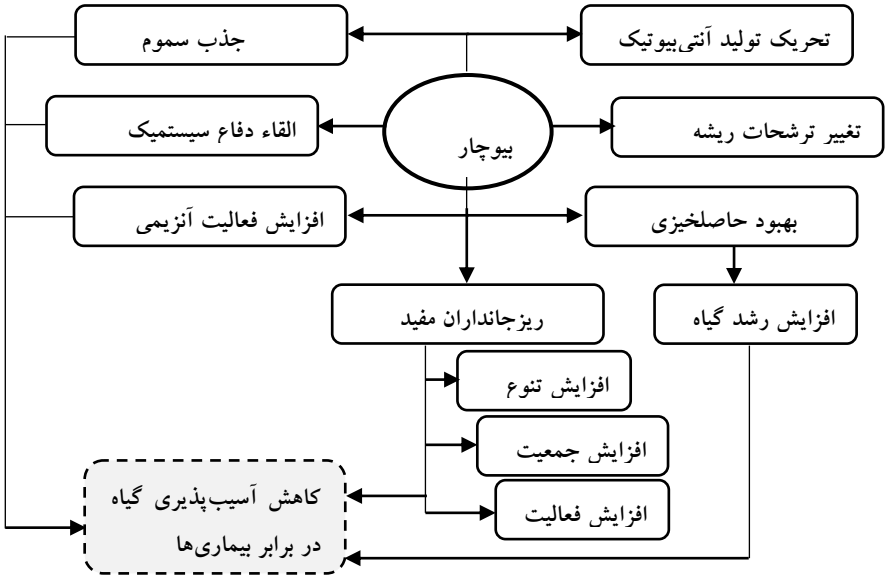
برای مقابله با بیماری‌های گیاهی و جلوگیری از خسارات ناشی از آن، انواع سموم شیمیایی در سطح گسترده تولید و به مصرف می‌رسد و روز به روز بر تنوع و حجم تولید این سموم افزوده می‌شود. این در حالی است که کاربرد سموم شیمیایی علاوه‌بر تحمیل هزینه‌های زیاد، خسارات جبران‌ناپذیری بر سلامت تولیدات کشاورزی، اجزای محیط زیست و بوم‌نظام وارد می‌کند (Jaiswal et al. 2017). بنابراین، استفاده از فن‌آوری‌ها، روش‌ها و مواد سازگار با محیط زیست برای کنترل بیماری‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیوچار می‌تواند با سازوکارهای مختلف آسیب‌پذیری گیاه را در برابر برخی از تنش‌های زیستی مانند برخی از بیماری‌ها کاهش دهد (Azimzadeh and Najafi, 2017). اثرات مفید زغال چوب بر سلامت گیاه بیش از ۱۵۰ سال پیش گزارش شده است (Graber and Elad, 2013). امروزه پژوهش‌ها در زمینه کاربرد بیوچار در خاک به‌عنوان یک اصلاح‌گر بسیار مورد توجه بوده و با یک شیب تند در حال افزایش است. به‌عنوان مثال، گزارش شده است که افزودن بیوچار به خاک می‌تواند توانایی سیستمیک گیاه را در برابر

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

بیماری‌های برگی ایجاد شده توسط ریزجانداران افزایش دهد (Graber et al. 2010).

Choudhary و همکاران (۲۰۱۸) از بیوچارهای تولید شده از زیست‌توده‌های مختلف برای مبارزه و کنترل بیماری پژمردگی باکتریایی ایجاد شده در گوجه‌فرنگی و تنباکو توسط عامل باکتریایی *Ralstonia solanacearum* که یکی از مهم‌ترین عوامل بیماری‌زای سبزیجات است، استفاده کردند. سازوکارهای درگیر در این اثر حفاظتی شامل بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها در ریزوسفر، کاهش تحرک باکتری *R. solanacearum* و ظرفیت کلنیزاسیون ریشه است. سازوکارهایی که به کمک آن بیوچار ممکن است گیاهان را در برابر بیماری‌ها محافظت کند متفاوت بوده و هنوز به‌طور کامل شناسایی نشده‌اند. با این حال، برخی از سازوکارهای شناخته شده شامل بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش رشد گیاه، افزایش تنوع، جمعیت و فعالیت ریزجانداران مفید خاک، افزایش فعالیت آنزیمی خاک، جذب سموم تولیدشده توسط عوامل بیماری‌زا، تحریک تولید آنتی‌بیوتیک‌ها، تغییر شیمیایی ترشحات ریشه و القاء سیستمیک سازوکارهای دفاعی گیاه است (شکل ۱) (Bonanomi et al. 2015; de Medeiros et al. 2021).

در ادامه، مهم‌ترین سازوکارهای بیوچار برای کاهش آسیب‌پذیری گیاهان در برابر بیماری‌های گیاهی مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۱- سازوکارهای بیوچار برای کاهش آسیب‌پذیری گیاه در برابر بیماری‌ها (Bonanomi et al. 2015; de Medeiros et al. 2021).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه

هریک از عناصر غذایی ضروری نقش‌های فیزیولوژیک خاصی در گیاه بر عهده دارند. اگر گیاه عناصر غذایی مورد نیاز خود را در موقع مناسب، به مقدار مناسب و به صورت متعادل دریافت کند، عناصر غذایی نقش فیزیولوژیکی خود را به موقع و به خوبی ایفا کرده و مقاومت گیاه در برابر تنش‌ها افزایش می‌یابد. به‌عنوان مثال، کلسیم نقش مهمی در انتخاب‌پذیری غشاهای سلولی داشته و پایداری غشاء، دیواره سلولی و تیغه میانی را افزایش و قابلیت نفوذ عوامل بیماری‌زا به درون سلول را کاهش می‌دهد و یا سلنیم و گوگرد نقش مهمی در مقابله گیاه با تنش‌های اکسیداتیو ایفا می‌کند (Graber and Elad, 2013). یکی از ابتدایی‌ترین و اصلی‌ترین سازوکارهای بیوچار برای افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌ها، بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه از طریق بهبود حاصلخیزی خاک است. اثرات مفید بیوچار بیشتر از آن که به القاء دفاع گیاهان مربوط شود به اثر تقویت کنندگی بیوچار مربوط است (Bonanomi et al. 2015). به‌عنوان مثال، بیوچار تخلخل، تهویه، جرم مخصوص ظاهری، ظرفیت نگهداری رطوبت، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربن آلی، فعالیت آنزیمی و تنوع، جمعیت و فعالیت ریزجانداران مفید خاک را افزایش و بدین‌ترتیب، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم فراهمی عناصر غذایی را در خاک افزایش داده و تغذیه گیاه را بهبود می‌بخشد. علاوه‌برآن، بیوچار بسته به نوع زیست‌توده اولیه و شرایط تولید می‌تواند مقادیری از عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف را مستقیماً به خاک بیافزاید. به‌طور معمول عناصر قلیایی پرمصرف مانند پتاسیم، کلسیم و منیزیم در بیوچارها نسبت به سایر عناصر غلظت بیشتری دارند. بیوچار همچنین به‌علت ظرفیت تبادل کاتیونی و سطح‌ویژه زیاد، می‌تواند عناصر غذایی محلول خاک را جذب و نگهداری کرده و از تثبیت و یا آب‌شویی آنها جلوگیری کرده و آنها را در اختیار ریشه گیاهان قرار دهد (Azimzadeh and Najafi, 2017).

بنابراین، با بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه و تغذیه متعادل، آسیب‌پذیری گیاه در برابر بیماری‌ها می‌تواند کاهش یابد. البته گیاهانِ دارای تغذیه مناسب همیشه در مقابل عوامل بیماری‌زای برگی و خاکی در امان نیستند و ممکن است فعالیت برخی از عوامل بیماری‌زا در بافت‌های غنی از نیتروژن گیاه تشدید شود. به‌عنوان مثال، در یک تحقیق، میزان نیتروژن زیاد برگ جو باعث افزایش عملکرد دانه جو شد ولی در مقابل، آلودگی به

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

سفیدک پودری (*Powdery mildew*) را در آن افزایش داد (Graham. 1983).

جذب و تثبیت فلزات سنگین

از مهم‌ترین آلاینده‌های غیرآلی خاک می‌توان به فلزات کاتیونی (مانند فلزات سنگین کاتیونی و فلزات رادیواکتیو) و فلزات یا شبه‌فلزات آنیونی (مانند آرسنیک، سلنیم، کروم و کبالت) اشاره کرد که هر یک از این آلاینده‌ها می‌تواند برای گیاه و ریزجانداران مفید خاک سمیت ایجاد کرده و رشد و عملکرد گیاه را دچار اختلال سازد. زیست‌فراهمی فلزات سنگین تحت‌تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد. به‌عنوان مثال، تحرک برخی از آن‌ها نظیر آرسنیک و مولیبدن با افزایش pH خاک افزایش می‌یابد و برخی دیگر نظیر مس، سرب و جیوه با پیوند شدن به کربن آلی محلول خاک (DOC) متحرک می‌شوند؛ برخی نظیر کروم و سلنیم به شرایط ردوکس (redox) خاک حساس هستند و برخی دیگر مانند کادمیم و روی در خاک و گیاه رفتارهای آنتاگونیستی (antagonistic) و یا سینرژیستی (synergistic) نشان می‌دهند (Yang et al. 2023). بنابراین، فلزات مختلف، سازوکارهای متفاوتی برای تحرک و زیست‌فراهمی دارند و بیوچار می‌تواند با تأثیر بر بسیاری از این سازوکارها، سرنوشت این آلاینده‌ها را در خاک و محیط زیست تحت‌تأثیر قرار دهد. از مهم‌ترین سازوکارهای بیوچار برای غیرمتحرک کردن فلزات می‌توان به افزایش pH، افزایش کربن آلی، تبادل یون، جذب سطحی، رسوب با خاکستر، بهبود ویژگی‌های خاک و تغییر شرایط ردوکس خاک اشاره کرد (Moola et al. 2022).

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیوچارهای تولید شده در دماهای کم تا متوسط (۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سلسیوس) نسبت به بیوچارهای تولید شده در دماهای زیاد (بیش از ۵۰۰ درجه سلسیوس)، دارای pH، سطح ویژه و درصد عناصر معدنی کمتری بوده ولی نسبت اکسیژن به کربن (O:C) و گروه‌های عاملی بیشتری دارند (Balmuk et al. 2023). با این حال، اهمیت گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار بیوچار مانند گروه‌های هیدروکسیل (R-OH)، کربوکسیل (R-COOH) و کربنیل (C=O-)، در غیرمتحرک‌سازی (immobilization) فلزات سنگین بیشتر از سطح ویژه بوده و بیوچارهای تولید شده در دمای گرماکافت پایین، توان زیادی برای تثبیت فلزات سنگین دارند (Uchimiya et al. 2010). Uchimiya و همکاران (۲۰۱۰) جذب سرب، نیکل، مس و کادمیوم را توسط بیوچار تهیه شده از کود مرغی مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که ترتیب جذب فلزات

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

توسط بیوچارهای تولید شده به‌صورت سرب>مس>کادمیوم>نیکل بود. آنان اظهار داشتند که تبادل پروتون با کاتیون‌های دوظرفیتی، تشکیل کمپلکس فلزات سنگین با گروه‌های عاملی سطحی (O-, =O, -CHO-)، تبادل با کاتیون‌های قلیایی و رسوب هیدروکسیدهای فلزات، از جمله سازوکارهای جذب فلزات سنگین توسط بیوچار است. بنابراین، بیوچار با تثبیت فلزات سنگین در خاک، از زیست‌فراهمی و سمیت آن‌ها برای گیاهان و ریزجانداران خاک می‌کاهد. با این حال، می‌توان با استفاده از روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلف، ظرفیت بیوچار را برای جذب و تثبیت فلزات سنگین و سایر آلاینده‌های فلزی و غیرفلزی خاک افزایش داد. به‌عنوان مثال، پژوهشگران نشان داده‌اند که با پیش‌تیمار کردن زیست‌توده قبل از گرماکافت با یک محلول حاوی اسید اکریلیک، می‌توان ظرفیت جذب سرب توسط بیوچار تولید شده را تا ۳۰ برابر افزایش داد (Lohan et al. 2023). همچنین، با آغشته کردن بیوچار با اکسیدهای آهن، می‌توان سطح ویژه زیاد بیوچار را با ویژگی‌های جذبی اکسیدهای آهن تلفیق کرده و از ظرفیت پیوند آلاینده–فلز برای غیرمتحرک‌سازی فلزات توسط بیوچار استفاده کرد. این مسئله در مورد آلاینده‌هایی نظیر آرسنیک که زیست‌فراهمی آن با افزودن بیوچار به خاک افزایش می‌یابد، اهمیت بیشتری دارد (Moola et al. 2022). علاوه‌بر اکسیدهای آهن، می‌توان بیوچارها را با ترکیبات غیرآلی دیگری نظیر فسفات‌ها یا کربنات‌ها نیز آغشته کرد؛ اما این کار ممکن است برخی دیگر از عناصر سمی نظیر آرسنیک را متحرک‌تر سازد. بنابراین، قبل از آغشته‌سازی بیوچار با این نوع ترکیبات، باید از نوع آلودگی خاک اطمینان حاصل شود (Lohan et al. 2023).

برهم‌کنش با قارچ‌های بیماری‌زا

قارچ‌های بیماری‌زا از رایج‌ترین و مخرب‌ترین عوامل بیماری‌زای گیاهی هستند. قارچ‌های بیماری‌زا باعث ایجاد علائم ظاهری متعددی مانند پوسیدگی، پژمردگی، بدشکلی، لکه‌های رنگی و کلروز در اندام‌های مختلف گیاه می‌شوند (Jaiswal et al. 2017). اصلی‌ترین قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی که باعث پوسیدگی ریشه گیاه می‌شوند متعلق به جنس‌های *Cylindrocladium*، *Armillaria*، *Dematophora*، *Phytophthora*، *Pythium*، *Rhizoctonia*، *Macrophomina* و *Fusarium* هستند. از این میان، جنس *فوزاریوم* فراوان‌ترین قارچ بیماری‌زا محسوب می‌شود که بر طیف وسیعی از محصولات کشاورزی در مناطق با

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

آب و هوای مختلف تأثیر گذاشته و موجب کاهش کمیت و کیفیت محصول می‌شود. همچنین، باعث تولید ترکیبات سمی (mycotoxin) در محصولات کشاورزی می‌شود (Alaylar et al. 2021). بیوچار می‌تواند با سازوکارهای متعددی ازجمله اثر بر رشد قارچ‌های میکروریز آربوسکولار (arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)، گیاه را در برابر عوامل بیماری‌زای قارچی مقاوم‌تر سازد. تأثیر مثبت بیوچار بر کاهش بیماری‌های قارچی گیاهان، مانند زنگ و کپک، اولین بار توسط آلن در سال ۱۸۴۷ گزارش شد (Allen. 1847) و به‌تازگی دوباره مورد توجه قرار گرفته است. نقش بیوچار در کنترل عوامل بیماری‌زای خاکزاد به‌علت برهم‌کنش مستقیم بیوچار با عامل بیماری‌زا، موثرتر از عوامل بیماری‌زای برگی است (Graber and Elad, 2013). گزارش شده است که اثر مثبت بیوچار در کاهش خسارت قارچ *Fusarium oxysporum* f.sp. lycopersici در گوجه‌فرنگی از طریق افزایش ریزجانداران مفید خاک و یا به‌طور مستقیم از طریق القاء مقاومت سیستمیک گیاه انجام می‌شود (Akhter et al. 2016). نتایج گزارشات نشان می‌دهد که گیاهان مارچوبه تلقیح شده با قارچ‌های میکوریز مقاومت بیشتری در برابر قارچ‌های *F. oxysporum* و *Fusarium proliferatum* نشان دادند و افزودن بیوچار به خاک میزان مقاومت گیاه در برابر قارچ‌های مهاجم را افزایش داد (Elmer and Pignatello, 2011). در یک بررسی دیگر، اصلاح خاک با بیوچار موجب بازدارندگی بیماری پوسیدگی ریشه ایجاد شده توسط *فوزاریوم* شد و کلنیزاسیون MAF را در گیاه افزایش داد (Matsubara et al. 2002). بنابراین، بیوچار با بهبود شرایط برای رشد و فعالیت قارچ‌های مفید مانند MAFs، به‌طور غیرمستقیم فعالیت قارچ‌های بیماری‌زا را محدود می‌سازد. به عقیده برخی از محققین، در مورد قارچ *Rhizoctonia solani*، القاء مقاومت سیستمیک گیاه سازوکار غالب بیوچار برای محدودسازی بیماری است که به‌عنوان یک سرکوب‌کننده قارچ و افزایش‌دهنده توان دفاعی گیاه عمل می‌کند (Verwaaijen et al. 2017).

بیوچار برای کاهش خسارات ناشی از عوامل‌بیماری‌زا سازوکارهای متعددی دارد. جدول ۱ سازوکارهای متعدد بیوچارهای مختلف بر عوامل بیماری‌زای گیاهی را در گیاهان مختلف نشان می‌دهد. اثر بیوچار بر بیماری‌های گیاهی به نوع بیوچار، مقدار مصرف بیوچار، ویژگی‌های خاک، نوع گیاه، نوع عامل بیماری‌ها و شرایط آزمایش بستگی دارد. به‌عنوان مثال، گزارش شده

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

است که مصرف مقادیر کمتر بیوچار (کمتر از ۱ درصد وزنی نسبت به وزن خاک) می‌تواند چندین بیماری قارچی را کنترل و آسیب‌های ناشی از آن را کاهش دهد اما استفاده از غلظت‌های زیاد بیوچار (بیشتر از ۳ درصد وزنی) اثرقابل‌توجهی بر آن بیماری‌ها ندارد (Gao et al. 2019). در یک مطالعه، نتایج پژوهش‌های مختلف بررسی و گزارش شده است که حدود ۸۵ درصد از پژوهش‌ها اثر مفید بیوچار بر کاهش شدت بیماری‌های گیاهی را نشان داده‌اند. در حالی‌که ۱۲ درصد از پژوهش‌ها اثر خنثی و ۳ درصد از گزارش‌ها اثر منفی بیوچار بر بیماری‌های گیاهی را نشان داده‌اند (Bonanomi et al. 2015). نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که کاربرد بیوچار، بروز بیماری میرایی قبل از ظهور خیار ناشی از قارچ *Pythium aphanidermatum* را تا ۷۱ درصد (Jaiswal et al. 2019) و لکه خاکستری برگ چچم چندساله ناشی از *Magnaporthe oryzae* را تا ۵۸ درصد (Wong et al. 2019) کاهش داده است.

همچنین، گزارش شده است که می‌توان بیماری پژمردگی ناشی از *R. solanacearum* در گوجه‌فرنگی (Choudhary et al. 2018)، کپک خاکستری ناشی از *Botrytis cinerea* در گوجه‌فرنگی، فلفل و توت‌فرنگی (Mehari et al 2015)، سفیدک پودری ناشی از *Leveillula Taurica* در گوجه‌فرنگی و سفیدک ناشی از *Podosphaera* در توت‌فرنگی (Harel et al. 2012) را با کاربرد بیوچار کنترل کرد.

جدول ۱- سازوکارهای اثرگذاری مثبت بیوچارهای مختلف بر گروه‌های مختلف آفات و عوامل بیماری‌زا در گیاهان مختلف

عوامل بیماری‌زا	گونه	گیاه	سازوکار	ماده اولیه بیوچار	مقدار بیوچار	شرایط تولید بیوچار	منبع
باکتری‌ها	*R. solanacearum*	گوجه‌فرنگی	افزایش جمعیت باکتری‌ها و اکتینومیست‌های خاک	پوست نارگیل و کلش گندم	۲ درصد وزنی	گرماکافت (۲ ساعت، ۵۰۰ °C)	Lu et al. (2016)
	R. solanacearum	گوجه‌فرنگی	کاهش تحرک و ازدحام عوامل بیماری‌زا و کلنیزاسیون ریزوسفر	چوب کاج	۳ درصد وزنی	گرماکافت (۷۰۰ °C)	Gu et al. (2017)
	R. solanacearum	تنباکو	بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و افزایش فراوانی باکتری های ریزوسفر	کلش برنج	۳ تن بر هکتار	نامشخص	Zhang et al. (2017)

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

قارچ‌ها	*L. taurica* *B. cinerea*	فلفل و گوجه‌فرنگی	القای مقاومت سیستمیک	چوب مرکبات	۱ و ۳ درصد وزنی	کوره زغال سنتی	Elad et al. (2010)
	F. oxysporum f. sp. asparagi *F. proliferatum*	مارچوبه	افزایش جمعیت آنتاگونیست‌ها مانند *سودوموناس* یا قارچ‌های MAFs	خاک‌اره	۱/۵ و ۳ درصد وزنی	گرماکافت (۷۰۰ °C – ۴۰۰ °C)	Elmer and Pignatello (2011)
	B. cinerea *Podosphaera aphanis* *Colletotrichum Acutatum*	توت‌فرنگی	فعال‌سازی مقاومت سیستمیک	ضایعات گیاه فلفل	۱ و ۳ درصد وزنی	گرماکافت (۴۵۰ °C)	Harel et al. (2012)
	R. solani	خیار	نامشخص	چوب اوکالیپتوس و ضایعات گلخانه‌ای	۱ و ۰/۵ درصد وزنی	گرماکافت (۳۵۰°C و ۶۰۰ °C)	Jaiswal et al. (2014)
	B. cinerea	گوجه‌فرنگی	القای مقاومت سیستمیک	ضایعات گلخانه‌ای	۱ و ۳ درصد وزنی	گرماکافت (۴۵۰ °C)	Mehari et al. (2015)
	R. solani	لوبیا	نامشخص	چوب اوکالیپتوس و ضایعات گلخانه‌ای	۱ درصد وزنی	گرماکافت (۳۵۰°C و ۶۰۰ °C)	Jaiswal et al. (2015)
	F. oxysporum f. sp. lycopersici	گوجه‌فرنگی	تغییر ترکیب ترشحات ریشه	زایدات چوب راش و بقایای زباله های باغ	۳ درصد حجمی	گرماکافت (۵۰۰ °C)	Akhter et al. (2016)
	B. cinerea	توت‌فرنگی	افزایش تنوع باکتریایی در ریزوسفر	چوب بلوط	۳ درصد وزنی	گرماکافت (۱۲ تا ۱۸ ساعت، ۶۵۰ °C)	De Tender et al. (2016)
	F. oxysporum f. sp. asparagi *F.proliferatum*	مارچوبه	افزایش کلنیزاسیون ریشه توسط قارچ‌های AMFs: رقابت با عامل بیماری‌زا برای مکان‌های کلنیزاسیون	چوب	۳ درصد وزن به حجم	نامشخص	Elmer (2016)
	Fusarium spp.	نامشخص	فعالیت قارچ‌کش دی متیل دی سولفید	چوب سخت *Eupatorium adenophorum*	۰/۵ درصد وزنی	گرماکافت (۸۰۰ °C– ۵۰۰ °C)	Wang et al. (2016)
	B. cinerea	گوجه‌فرنگی	افزایش تنوع ریزجانداران مفید و تغییر در فعالیت زیستی ریزوسفر	چوب اوکالیپتوس	۱ درصد وزنی	گودال زغال (۳۵۰°C)	Kolton et al. (2017)
	F. solani *Ilyonectria Destructans*	جینسنگ	تغییر در جامعه میکروبی	پوسته برنج	۵ تن بر هکتار	نامشخص	Eo et al. (2018)
اوومیست‌ها	*Phytophthora cinnamomic* *Phytophthora cactorum*	بلوط قرمز شمالی افرای سرخ	القای دفاع گیاه از طریق تنش سطح پایین	چوب کاج	۵ درصد حجمی	گرماکافت (۱ ساعت، ۶۰۰ °C– ۵۵۰ °C)	Zwart and Kim (2012)
	Pythium ultimum	فلفل شیرین، کاهو، ریحان، شمعدانی و	اثر منفی: افزایش کلنیزاسیون ریشه توسط عامل بیماری‌زا	مخلوط چند چوب نرم	۵۰ درصد حجمی	گرماکافت (۴۷۵ °C)	Gravel et al. (2013)

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

	گشنیز						
نماتدها	*Coslenchus, Hirschmanniella, Rotylenchus, and Tylenchus*	نامشخص	افزایش تنوع و تعداد نماتدهای انگلی غیرگیاهی	کلش گندم	۲/۴، ۱۲ و ۴۸ تن بر هکتار	گرماکافت (۵ ساعت، ۴۰۰ °C)	Zhang et al. (2013)
	Meloidogyne javanica, Tylenchulus semipenetrans, Pratylenchus spp., Helicotylenchus spp., and Criconemoid spp.	درخت انگور	افزایش ریزجانداران مفید	کود مرغی	۷ تن بر هکتار	گرماکافت (۵۵۰ °C)	Rahman et al. (2014)
	Meloidogyne graminicola	برنج	تجمع H_2O_2 و تقویت رونویسی ژن اتیلن	چوب بلوط	۱/۲ درصد وزن به حجم	گرماکافت (۱۲ تا ۱۸ ساعت، ۶۵۰ °C)	Huang et al. (2015)
	Pratylenchus penetrans	هویج	مقاومت القایی، سمیت مستقیم، تغییر pH	پوست و چوب مخروطیان	۵ درصد حجمی	گرماکافت (۵ ساعت، ۵۰۰ °C)	George et al. (2016)
	نماتدهای گره ریشه	نامشخص	فعالیت نماتدکش دی متیل دی سولفید	چوب سخت Eupatorium adenophorum	۲ درصد وزنی	گرماکافت (۸۰۰ °C– ۵۰۰ °C)	Wang et al. (2016)
	Pratylenchus coffeae	نامشخص	ترکیبات نماتدکش مشتق شده از بیوچار	چوب	۴ درصد وزنی	نامشخص	Rahayu and Sari (2017)
	Pratylenchus, Meloidogyne, Tylenchorhynchus, Tylenchidae, Trichodorus, and Mesocriconema	نامشخص	حفظ فعالیت نماتدکش	پوسته نارگیل	۴۰ تن بر هکتار	گرماکافت (۵۵۰ °C)	Gao et al. (2018)
مخلوطی از چندین عامل بیماری‌زا	بیماری کشت مجدد یا سندرم خاک بیمار	هلو	نامشخص	چوب کاج	۱۰ و ۲۰ درصد حجمی	گرماکافت (۷۰۰ °C)	Atucha and Litus (2015)
حشرات	*Sogatella furcifera*	برنج	محافظت از طریق تجمع برگی اسید جاسمونیک	درختان برگریز (۷۰٪)، دولومیت (۲۰٪) و ملاس (۱۰٪)	۱۰ درصد وزنی	نامشخص	Waqas et al. (2018)
کنه‌ها	*Polyphagotarsonemus Latus*	فلفل	القای مقاومت سیستمیک	چوب مرکبات	۱ و ۳ درصد وزنی	کوره زغال سنتی	Elad et al. (2010)
علف‌های هرز	*Setaria viridis*(چسبک)	چسبک	اثر منفی: کاهش اثر علف کش با جذب زیستی	چوب اوکالیپتوس	۱ و ۲ درصد وزنی	گرماکافت (۸۰۰ °C)	Graber et al. (2012)

* منظور از درصد وزنی و درصد حجمی به‌ترتیب نسبت وزن و حجم بیوچار به وزن و حجم خاک به صورت درصد است

.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

برهم‌کنش با ترکیب‌های سمی

ترکیب‌های سمی برای گیاه (phytotoxic) ممکن است از منابع مختلف وارد ریزوسفر گیاه شده و برای گیاه محدودیت ایجاد کند. به‌عنوان مثال، یک منبع برای این ترکیب‌های سمی مربوط به ترکیب‌های فنولی موجود در زیست‌توده‌های گیاهی است که به‌عنوان مالچ یا بقایای گیاهی به خاک افزوده می‌شوند. زیست‌توده برخی از گیاهان غلظت‌های قابل‌توجهی از چنین ترکیب‌های فنولی را وارد خاک می‌کنند. هیدروکسی‌متیل‌فورفورال (hydroxymethylfurfural) نیز به‌عنوان یک بازدارنده رشد مطرح است که ممکن است توسط کربن فعال جذب و بی‌اثر شود. بیوچار با ساختاری مشابه با کربن فعال، علاوه‌بر ترکیبات آلی سمی، می‌تواند هورمون‌های گیاهی را نیز جذب و عملکرد آن‌ها را تحت‌تأثیر قرار دهد (De Medeiros. 2021). با این‌حال، پژوهش‌های بسیار اندکی در رابطه با برهم‌کنش بیوچار با هورمون‌های گیاهی و سایر ترکیب‌های آلی پیام‌رسان در خاک انجام شده است.

فلزات سنگین نیز با ایجاد سمیت، رشد گیاه را کاهش می‌دهند؛ ولی نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داده است که بیوچار به‌علت سطح‌ویژه و گروه‌های عاملی زیاد، ظرفیت زیادی برای جذب فلزات سنگین دارد. علاوه‌بر آن، از آنجایی که به‌طور معمول زیست‌فراهمی بسیاری از فلزات سنگین با افزایش pH کاهش می‌یابد، بیوچار با افزایش pH خاک، زیست‌فراهمی فلزات سنگین را در خاک کاهش می‌دهد. بنابراین، افزودن بیوچار به خاک‌های آلوده به فلزات سنگین می‌تواند با کاهش زیست‌فراهمی فلزات سنگین، رشد و عملکرد گیاه را بهبود بخشد. در این رابطه، افزایش سه برابری در زیست‌توده کلزا با افزودن ۱۰ درصد بیوچار به خاک آلوده به فلزات سنگین گزارش شده است (Houben et al. 2013).

ترکیب‌های معدنی معمول در بیوچار شامل فسفات‌ها و نیترات‌های کلسیم، سیلویت (KCl)، کلرید سدیم، کوارتز و دی‌اکسید سیلیکون بی‌شکل (SiO_2)، کلسیت ($CaCO_3$) و مقادیر کمی انیدریت ($CaSO_4$) و اکسیدها و هیدروکسیدهای Ca، Mg، Al، Ti، Zn، Mn و Fe است (Amonette and Joseph, 2009). با حل شدن این ترکیب‌ها، عناصر غذایی وارد محلول خاک شده و می‌تواند بسته به شرایط، شوری و اسیدیته خاک را افزایش دهد. همچنین ممکن است غلظت سیلیسیم در محلول خاک افزایش یابد. تمام این سازوکارها می‌تواند مقاومت القایی گیاه را تحریک کند. بدین‌ترتیب، گیاهان رشد کرده در خاک‌های مخلوط با بیوچار، می‌توانند در مقابل ترکیب‌های آلی سمی پاسخ‌های سیستمیک نشان دهند (Graber et al. 2010).

جذب ترکیب‌های بازدارنده رشد توسط بیوچار علاوه‌بر گیاه، می‌تواند فراوانی و فعالیت

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

ریزجانداران را نیز افزایش دهد. ترکیب‌هایی نظیر کتیکول (catechol) که برای ریزجانداران سمی است، توسط بیوچار حاوی خاکستر زیاد به‌شدت جذب می‌شود (Kasozi et al. 2010). همچنین در یک تحقیق، افزودن بیوچار تولید شده به‌روش گرماکافت سریع به خاکی که با اسیدهای آروماتیک مانند اسیدهای سینامیک (cinnamic acid)، کوماریک (cumaric acid) و فرولیک (ferulic acid) آلوده شده بود، باعث افزایش کلنیزاسیون AMF در مارچوبه شد. گرافیت و کربن فعال که ویژگی‌های مشابه با بیوچار تولید شده در دمای بالا دارند، باعث افزایش کلنیزاسیون سویه‌های *Bacillus* تحت شرایط میزان نمک زیاد در محیط آگار شد (Matsuhashi et al. 1995). از سوی دیگر، بیوچار ممکن است با جذب ترکیب‌های آلی سیگنالی مانند فلاونوئیدها و ایجاد تداخل در عملکرد سیستم سیگنالی، کلنیزاسیون را تحت‌تأثیر قرار دهد (Lehmann et al. 2011).

جذب اسیدهای آلی و آنزیم‌های ترشح شده از عوامل بیماری‌زا

عوامل بیماری‌زای خاک با دیواره سلولی مقاوم و مانع غشایی پیچیده ریشه گیاه مواجه هستند. غشای ریشه گیاه از پلیمرهای زیستی مختلفی تشکیل شده و دارای پیوندهای شیمیایی مختلفی است. میکروب‌ها برای شکستن این پیوندها و رد شدن از این مانع، آنزیم‌هایی را ترشح می‌کنند که هر کدام در مقابل ترکیب خاصی از دیواره سلولی (مثلاً سلولز یا پکتین) عمل می‌کند. علاوه‌بر آن، عوامل بیماری‌زا می‌توانند ترکیب‌های بازدارنده مانند اسیدهای اگزالیک، فنیل استیک، ساکسینیک و لاکتیک را ترشح کنند. این ترکیب‌های آلی اسیدی، pH را در نزدیکی خود در بافت‌های آلوده کاهش می‌دهند و نقش مهمی در بیماری‌زایی دارند. بیوچار می‌تواند با جذب سطحی آنزیم‌ها و بسیاری از این ترکیب‌های بازدارنده، در برابر حمله میکروب‌های بیماری‌زا، نقش محافظتی ایفا کند و تماس آنها را با دیواره سلولی ریشه‌ها کاهش دهد. بیوچار دارای pH قلیایی بوده و دارای ظرفیت بافری بالایی است که می‌تواند اثر اسیدهای آلی مضر را در نزدیک ریشه تعدیل کند (Graber and Elad, 2013). کربن فعال با داشتن حجم منافذ و سطح ویژه زیاد می‌تواند آنزیم‌ها را به‌خوبی جذب سطحی کند. به‌عنوان مثال، ظرفیت جذب کربن فعال تجاری با سطح ویژه ۱۰۷۳ متر مربع بر گرم برای جذب سطحی آنزیم سلولاز در دمای ۳۰ درجه سلسیوس حدود ۱۵۶۵ میلی‌گرم بر گرم گزارش شده است (Graber and Elad, 20133). در یک بررسی، هم آنزیم β-گلوکوزیداز (β-glucosidase) و هم سوبسترا به‌قدری محکم به سطح کربن فعال جذب شدند که هیچ‌گونه فعالیت آنزیمی در سوبسترا مشاهده نشد. همچنین بیوچار چوبی با سطح ویژه کم، β-گلوکوزیداز را جذب

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

کرد ولی سلوبیوز توسط بیوچار جذب نشد (Lammirato et al. 2011). به‌عبارت دیگر، با اینکه بیوچار نتوانست با جذب سطحی، آنزیم را کاملاً غیرفعال کند، ولی فعالیت آن را حدود ۳۰ درصد کاهش داد که ممکن است به این دلیل باشد که غیرفعال‌سازی آنزیم توسط بیوچار به فراهمی سوبسترا بستگی دارد. همچنین، این سازوکار توضیح می‌دهد که چرا یک بیوچار در خاک‌های متفاوت اثرات متناقضی بر فعالیت چهار آنزیم β-گلوکوزیداز، β-N-استیل‌گلوکزآمینیداز (β-N-acetylglucosaminidase)، آمینوپپتیداز (Aminopeptidase) و لیپاز (Lipase) داشته است (Bailey et al. 2011).

بهبود هم‌زیستی میکوریزی و افزایش ریزجانداران مفید خاک

بیوچار بلافاصله بعد از تولید، استریل بوده و فاقد هرگونه ریزجاندار و سلول زنده است؛ ولی وقتی به خاک افزوده شد می‌تواند تنوع، زیتوده و فعالیت ریزجانداران و فعالیت‌های آنزیمی را در ریزوسفر و توده خاک تحت‌تأثیر قرار دهد (Lehmann et al. 2011). به‌عنوان مثال، گزارش شده است که بیوچار می‌تواند رابطه هم‌زیستی دو گروه مهم از قارچ‌های میکوریز شامل آربوسکولار میکوریز و اکتومیکوریز (ectomycoriza, EM) و گیاه را بهبود بخشد (Warnock et al. 2007). AMFها قارچ‌های هم‌زیست بسیاری از گیاهان آوندی هستند که در ریشه گیاهان کلنی تشکیل داده و رشد و سلامت گیاه را ارتقاء می‌بخشند. هم‌زیستی AMF-گیاه نتایج مفیدی را برای گیاه و قارچ دارد؛ ازجمله اینکه هیف‌های گسترده این قارچ‌ها در ریزوسفر و حتی خارج از ریزوسفر گسترده شده و باعث افزایش جذب آب و عناصر غذایی غیرمتحرک نظیر فسفر توسط گیاه می‌شود. با بهبود رابطه هم‌زیستی میکوریزی، آسیب‌پذیری گیاه در برابر بیماری‌ها نیز کاهش می‌یابد. پاسخ گیاه میزبان به میکوریز به‌طور معمول با اندازه‌گیری کلنیزاسیون ریشه ارزیابی می‌شود. گزارش شده است که بیوچار می‌تواند هم سرعت و هم درصد تشکیل EM هم‌زیست با ریشه کاج اروپایی (larch) را به‌میزان ۱۹ تا ۱۵۷ درصد افزایش دهد (Makoto et al. 2010). در یک بررسی، دو سال بعد از افزودن بیوچار به‌میزان ۶-۰/۶ تن بر هکتار به خاک، سرعت کلنیزاسیون AM در ریشه گندم به میزان ۴۰-۲۰ درصد افزایش یافت در حالی‌که در تیمارهای شاهد که بیوچار دریافت نکرده بودند، سرعت کلنیزاسیون به میزان ۲۰-۵ درصد بود (Solaiman et al. 2010). بیوچار با جذب عوامل آللوپاتیک (Allelochemicals) که کلنیزاسیون AMF با ریشه را محدود می‌سازد، کلنیزاسیون ریشه با AMF را افزایش می‌دهد (Elmer and Pignatello, 2011). بیوچار برای افزایش فراوانی و بهبود عملکرد

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

قارچ‌های میکوریز خاک سازوکارهای مختلف و متعددی دارد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Warnock et al. 2007):

• افزایش فراهمی عناصر مورد نیاز AMFها از طریق تحت‌تأثیر قرار دادن ویژگی‌های خاک

• اثرهای مفید یا مضر بر سایر ریزجانداران خاک

• تغییر فرآیندهای سیگنالی بین گیاه-AMF

• سمیت‌زدایی ترکیب‌های شیمیایی آللوئیک آلی و غیرآلی که بر کلنیزاسیون AMF مؤثر است.

• فرآهم کردن پناهگاه فیزیکی برای AMFs که آنها را از دسترس شکارچیان طبیعی محافظت می‌کند.

این سازوکارها ممکن است بر سایر قارچ‌های خاک که بر رشد گیاه اثر منفی دارند نیز مؤثر باشد. البته بیوچار همیشه بر قارچ‌های AMF اثر مثبت ندارد و کاهش فراوانی قارچ‌هایAM با افزودن بیوچار به خاک نیز گزارش شده است (Warnock et al. 2010). علت دقیق این کاهش مشخص نیست ولی می‌تواند ناشی از چندین فرضیه باشد (Lehmann et al. 2011):

- کاهش نیاز گیاه به هم‌زیستی میکوریزی به‌علت افزایش فراهمی آب و عناصر غذایی (مانند افزایش فراهمی فسفر)
- تغییر در برخی از ویژگی‌های خاک (مانند pH یا روابط آبی)
- اثرهای منفی مستقیم بیوچار با افزودن مقادیر زیادی از عناصر معدنی یا ترکیب‌های آلی مضر توسط بیوچار (مانند میزان زیاد نمک یا فلزات سنگین)
- جذب کربن آلی و عناصر دارای پیوندهای آلی توسط بیوچار.

دو سازوکار اول منحصر به محیط خاک است؛ در حالی‌که سازوکار سوم نتیجه ویژگی‌های بیوچار است و می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی متغیر باشد. سازوکار اول با اینکه بر قارچ‌های هم‌زیست اثر منفی دارد ولی می‌تواند بر فراهمی سایر ریزجانداران نظیر باکتری‌ها اثر مثبت داشته باشد. به‌عنوان مثال، گزارش شده است که افزودن بیوچار به خاک، بدون افزودن کود شیمیایی باعث افزایش کلنیزاسیون AMF با ریشه گندم شد؛ در حالی‌که افزودن کود، کارایی اثر بیوچار در کلنیزاسیون را کاهش داد (Blackwell et al. 2020)؛ در حالی که در مورد گره‌زایی ریزوبیوم‌ها عکس این گزارش مشاهده شده است (Ogawa and Okimori, 2010). در واقع، این مسئله را می‌توان با نیازهای متفاوت گیاه برای تشکیل رابطه هم‌زیستی با ریزجانداران که بر اثر محدودیت عناصر غذایی ایجاد می‌شود توضیح داد. وقتی کود حاوی نیتروژن به خاک افزوده می‌شود، نیتروژن کافی در اختیار گیاه قرار گرفته و ممکن است گیاه به نیتروژن حاصل از تثبیت زیستی نیازی نداشته

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

باشد. درحالی‌که در شرایطی که گیاه با محدودیت نیتروژن مواجه می‌شود، برای تأمین نیتروژن مورد نیاز خود، به ایجاد هم‌زیستی با ریزجانداران تثبیت‌کننده نیتروژن نیاز پیدا می‌کند. البته، غیر از نیتروژن، تغییر در فراهمی سایر عناصر در خاک نیز ممکن است بر جمعیت ریزوبیوم‌ها در خاک مؤثر باشد. به‌عنوان مثال، به عقیده برخی از پژوهشگران افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف مانند مولیبدن و بور بر اثر کاربرد بیوچار، احتمالاً یکی از دلایل اصلی بهبود تثبیت زیستی نیتروژن در لگوم‌ها است (Rondon et al. 2007). ولی این دلیل را نمی‌توان به فراوانی ریزوبیوم‌ها نیز تعمیم داد؛ زیرا گزارشاتی وجود دارد که نشان می‌دهد بیوچار بر وزن خشک و فعالیت گره‌های ریزوبیوم‌ها اثر چندانی نداشته است (Vantsis and Bond, 1950). علت بهبود تثبیت زیستی نیتروژن توسط بیوچار ممکن است به جذب مواد سمی توسط بیوچار نیز مربوط باشد. به‌عنوان مثال، به عقیده برخی از پژوهشگران جذب ترکیب‌های بازدارنده توسط بیوچار، گره‌زایی ریزوبیوم‌ها را افزایش و مدت زمان بین تلقیح و ظهور اولین گره‌ها را کاهش می‌دهد (Turner, 1955).

بنابراین، علاوه‌بر AMFها، بیوچار می‌تواند با تأمین عناصر مورد نیاز ریزوبیوم‌ها مانند بور و مولیبدون و همچنین جذب مواد سمی و بازدارنده ریزوبیوم‌ها، هم‌زیستی ریزوبیوم با گیاه را بهبود دهد (Graber and Elad, 2013). علاوه‌بر آن، گزارش شده است که زیست توده میکروبی خاک در حضور بیوچار افزایش می‌یابد (Lehmann et al. 2011). نتایج مطالعات نشان می‌دهد که ریزوسفر گیاهان حاوی جنس‌های باکتریایی مختلف مانند *سودوموناس*، *ازتوباکتر*، *باسیلوس*، *سراتیا*، *انتروباکتر* و سایر ریزجانداران محرک رشد گیاه است که به دلیل توان تحریک رشد گیاه و توان مهار قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی شناخته شده‌اند (Kolton et al. 2017; Alaylar et al. 2021). افزایش باکتری‌های محرک رشد گیاه بعد از افزودن بیوچار به خاک توسط پژوهشگران مختلف گزارش شده است (Kolton et al. 2017; Wong et al. 2019).در این رابطه، نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیوچار با افزایش جمعیت ریزجانداران مفید خاک و افزایش قدرت رقابت این ریزجانداران در برابر عوامل بیماری‌زا، آسیب‌پذیری گیاهان گوجه‌فرنگی و فلفل در برابر بیماری ناشی از قارچ‌های *B. cinerea* و *L. Taurica* را کاهش داد (Elad et al. 2010).

در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، بیوچار می‌تواند با افزایش pH و جذب فلزات سنگین، فراهمی آنها را در خاک کاهش و رشد و فعالیت ریزجانداران را در خاک افزایش دهد (Graber and Elad, 2013). بنابراین، اثر بیوچار بر فراوانی ریزجانداران در خاک بسیار پیچیده بوده و به

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

عوامل بسیاری بستگی دارد و اطلاعات بسیار کمتری در رابطه با اثر بیوچار بر ریزجانداران خاک از طریق افزایش فراهمی برخی از عناصر توسط بیوچار در دسترس است.

بازداشتن عوامل بیماری‌زای خاک با ترکیب‌های آلی بیوچار

بعد از فرآیند گرماکافت، ممکن است ترکیب‌های آلی مختلفی شامل خاکستر، روغن زیستی و مواد فرار در سطح بیوچار باقی بماند. مواد فرار بیوچار در طی فرآیند گرماکافت تشکیل شده و شامل طیف گسترده‌ای از ترکیب‌های آلی فرار و نیمه‌فرار شامل انواع مختلفی از مولکول‌های آلی شامل پیرولیگنوز اسید (pyroligneous acids)، بنزوئیک اسید، هیدروکسی و استوکسی اسید (hydroxy and acetoxy acids)، n–آلکانوئیک اسید (n-alkanoic acids)، آمین‌ها، دیول‌ها (diols)، تریول‌ها (triols)، فنول‌ها، الکل‌ها، آلدهیدها، کتون‌ها، مونومرها و دیمرهای لیگنین، قندها، کربوکسیلیک‌ها، آلیفاتیک‌ها، اسیدهای چرب و فوران‌ها می‌باشند (Graber et al. 2010; Spokas et al. 2011).

سرنوشت این ترکیب‌های باقی‌مانده بر سطح بیوچار، بعد از افزوده شدن آن به خاک و در طول زمان هنوز مشخص نشده است. انتظار می‌رود که ترکیب‌های قابل‌حل در آب مانند اسیدها، الکل‌ها، آلدهیدها، کتون‌ها و قندها که توسط ریزجانداران خاک به‌راحتی متابولیزه می‌شوند، اثرهای مثبتی بر ریزجانداران خاک داشته باشند در حالی‌که ممکن است حضور ترکیب‌هایی مانند هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)، زایلنوز (xylenols)، اکرولین (acrolein)، فرمالدهید، کرسولز (cresol) و سایر ترکیب‌های کربوکسیلی سمّی که بسته به شرایط گرماکافت ممکن است از طریق بیوچار به خاک افزوده شوند، دارای اثرهای ضدباکتریایی و ضدقارچی باشند (Painter, 1998). پژوهشگران ترکیب‌هایی مانند اتیلن گلایکول ، پروپیلن گلایکول ، بوتیریک اسید ، هیدروکسی پروپیونیک اسید ، بنزوئیک اسید، 2–فنوکسی اتانول (۲–phenoxyethano) و کوئینون‌ها (Quinones) را در بیوچار شناسایی کرده‌اند که بر رشد میکروبی اثرهای بازدارنده دارند (Graber et al. 2010). علاوه‌برآن، چندین تولیدکننده آنتی‌بیوتیک نظیر سودوموناس‌های فلورسنت نیز بعد از افزودن بیوچار به خاک، در ریزوسفر گیاه فلفل شناسایی شده است (Graber et al. 2010).

ریزجانداران تولیدکننده آنتی‌بیوتیک می‌توانند در مقابل عوامل بیماری‌زای خاک اثرات آنتاگونیستی داشته باشند. بسیاری از نگرانی‌هایی که در ارتباط با اثرات منفی بیوچار بر بیوتای خاک مطرح است

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

در ارتباط با بخش فراهم یا قابل معدنی شدن بیوچار (مواد فرار) و همچنین عناصری نظیر Na و Cl است. در بلندمدت نگرانی این مواد کمتر می‌شود چون مواد فرار معدنی می‌شوند و نمک‌ها از خاک شسته خواهند شد. با اینحال، باید در اصلاح خاک با بیوچار اثرات آنها در کوتاه مدت در نظر گرفته شود.

جذب سطحی و تغییر ترکیب ترشحات ریشه

ریشه به‌طور معمول انواع مختلفی از ترکیب‌های آلی را ترشح می‌کند. ترشحات ریشه شامل یون‌ها، آب، آنزیم‌ها، اکسیژن آزاد، موسیلاژ و طیف وسیعی از فراورده‌های اولیه و ثانویه‌ی حاصل از سوخت وساز سلولی (متابولیت‌ها) دارای کربن است. ترکیب‌های آلی ترشح شده از ریشه را به‌طور کلی می‌توان در سه گروه عمده قرار داد: ۱) آنزیم‌ها و پلی‌ساکاریدهای با وزن مولکولی بالا، ۲) ترکیب‌های با وزن مولکولی متوسط شامل فلاونوئیدها، استروئیدها، تنظیم‌کننده‌های رشد، نوکلئوتیدها، تانن‌ها، کربوهیدرات‌ها، استروئیدها، ترپنوئیدها، آلکانوئیدها، پلی‌استیلن‌ها و ویتامین‌ها که در مقادیر بیشتری توسط ریشه‌ها ترشح می‌شوند و ۳) ترکیب‌های با وزن مولکولی کم شامل قندها و پلی‌ساکاریدهای ساده (مانند آرابینوز، فروکتوز، گلوکز، مالتوز، مانوز و الیگوساکاریدها)، آمینواسیدها (مانند آرژینین، آسپاراژین، آسپارتیک، سیستئین، سیستین و گلوتامین)، اسیدهای آلی (مانند استیک، آسکوربیک، بنزوئیک، فرولیک و مالیک اسید) و ترکیب‌های فنولی و سایر متابولیت‌های ثانویه که تنوع بیشتری در ترشحات ریشه نسبت به ترکیب‌های با وزن مولکولی بالا دارند ولی مقدار این ترکیب‌ها در ترشحات ریشه کمتر از ترکیب‌های با وزن مولکولی بالا است (Azimzadeh et al. 2016; Carvalhais et al. 2011; Graber and Elad, 2013).

ترشحات ریشه اثر مهمی بر رشد و فعالیت ریزجانداران خاک دارد. بیوچار با داشتن توانایی جذب سطحی مولکول‌های آلی بزرگ و کوچک، می‌تواند ترکیب‌های ترشح شده از ریشه را جذب نموده و شیمی ریزوسفر و درنتیجه، فعالیت میکروبی و رشد گیاه را تحت‌تأثیر قرار دهد که این مسئله به‌نوبه خود ممکن است ریزوسفر را برای عوامل بیماری‌زا نامناسب سازد (Graber and Elad, 2013). به‌عنوان مثال، افزودن زغال فعال به محلول غذایی گوجه‌فرنگی در کشت هیدروپونیک باعث کاهش قابل‌توجه غلظت کربن محلول و افزایش قابل‌توجه وزن خشک گیاه و عملکرد میوه شد (Yu et al. 1993).

با این‌حال، اطلاعات ما در این زمینه بسیار محدود بوده و نیاز به تحقیقات بیشتر در این زمینه است.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

نتیجه‌گیری

بیوچار به‌عنوان یک ماده کربنی با پایداری زیاد در خاک، ضمن افزایش کربن آلی و افزایش حاصلخیزی خاک، با سازوکارهای مختلف آسیب‌پذیری گیاهان مختلف را در برابر بیماری‌ها کاهش می‌دهد. بنابراین، با کاربرد بیوچار علاوه‌بر افزایش کربن آلی و حاصلخیزی خاک، می‌توان آسیب‌پذیری گیاه در برابر بیماری‌های گیاهی را بدون مصرف سموم شیمیایی کاهش داد. با این حال، به‌علت پیچیدگی سیستم خاک-ریزوسفر-گیاه، برهم‌کنش‌های پیچیده فیزیکی، شیمیایی و زیستی بیوچار در خاک و وضعیت نابالغ پژوهش‌های بیوچار، شناخت ما از سازوکارهای بیوچار برای القای دفاع سیستمیک گیاه یا کاهش آسیب‌پذیری گیاه در برابر عوامل بیماری‌زا بسیار محدود است. با این حال، برخی از مهم‌ترین سازوکارهای شناخته شده بیوچار برای کاهش آسیب‌پذیری گیاه در برابر بیماری‌ها را می‌توان به صورت زیر جمع‌بندی کرد:

• بیوچار ممکن است فراهمی و جذب عناصر غذایی خاک را افزایش دهد و به این وسیله رشد گیاه و مقاومت گیاه در برابر ریزجانداران بیماری‌زا افزایش یابد.

• بیوچار ممکن است منجر به تغییر در فراوانی و تنوع جمعیت میکروبی خاک شود. این تغییرها می‌تواند از طریق تولید آنتی‌بیوتیک‌های میکروبی، رقابت بر سر منابع و یا ایجاد مزاحمت برای ریزجانداران بیماری‌زا، منجر به محافظت مستقیم گیاه در برابر میکروب‌های بیماری‌زای خاک شود. ریزجانداران مفید نیز می‌توانند رشد گیاه را بهبود ببخشند.

• بیوچار ممکن است تولیدات سمی ریزجانداران بیماریزای خاک، مانند آنزیم‌های برون‌سلولی و اسیدهای آلی را جذب کند و از این طریق از گیاه در برابر حمله فیزیکی عوامل بیماری‌زای خاکی محافظت کند.

• ترکیب‌های آلی سمی مرتبط با بخش فراهم بیوچار ممکن است ریزجانداران بیماریزای موجود در خاک را محدود سازد.

• بیوچار ممکن است با جذب سطحی ترشحات ریشه، شیمی ترشحات ریشه را در ریزوسفر تغییر دهد و این تغییرها ممکن است به ضرر ریزجانداران بیماری‌زا و به نفع ریزجانداران مفید خاک باشد.

• ترکیب‌های فعالِ ردوکس بیوچار، ممکن است در بسیاری از واکنش‌های زیستی و شیمیایی انتقال الکترون در ریزوسفر شرکت کرده و فرآیندهای مهمی را که به انتقال الکترون در سیستم گیاه-میکروب-خاک بستگی دارند، تحت‌تأثیر قرار دهد.

• برخی از مواد شیمیایی موجود در بیوچار یا ریزجانداران ممکن است باعث القای سازوکارهای

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

دفاع سیستمیک گیاه شوند.

نقش بیوچار در کاهش بیماری‌های گیاهی به ویژگی‌های بیوچار، مقدار مصرف بیوچار، ویژگی‌های خاک، نوع گیاه و نوع آفت یا بیماری بستگی دارد. ویژگی‌های بیوچار تحت‌تأثیر نوع زیست‌توده و دمای تولید قرار می‌گیرد. علاوه‌بر آن، بیوچار با باکتری‌ها، قارچ‌ها، نماتدها و حشرات برهم‌کنش‌های متفاوتی دارد و سازوکارهای بیوچار برای محافظت از گیاه در برابر هریک از انواع عوامل بیماری‌زا ممکن است متفاوت باشد. بنابراین، با توجه به اهمیت نوع زیست‌توده و شرایط دمای کربونیزاسیون در کارایی بیوچار، پیشنهاد می‌شود بررسی قابلیت بیوچارهای تولید شده از زیست‌توده‌ها و شرایط دمایی مختلف در جذب ترکیبات سمی ترشح شده از عوامل بیماری‌زا مورد توجه قرار گیرد. همچنین، با توجه به اهمیت زیاد برهمکنش بیوچار با قارچ‌های میکوریز و قارچ‌های بیماری‌زا، پیشنهاد می‌شود نقش بیوچار در بهبود فعالیت قارچ‌های میکوریز و کاهش فعالیت قارچ‌های بیماری‌زا در شرایط گرم و خشک ایران مورد توجه قرار گیرد.

فهرست منابع

References

Akhter A, Hage Ahmed K, Soja G, Steinkellner S. 2016. Potential of Fusarium wilt-inducing chlamydospores, in vitro behaviour in root exudates and physiology of tomato in biochar and compost amended soil. Plant and Soil. 406: 425-440.

Alaylar B, Güllüce M, Egamberdieva D, Wirth S, Bellingrath-Kimura SD. 2021. Biochar mediated control of soil-borne phytopathogens. Environmental Sustainability. 4: 329-334.

Allen RI. 1847. A brief compend of American agriculture. C.M. Saxton, New York

Amonette JE, Jospeh S. 2009. Charecteristics of biochar: microchemical properties. In: Lehmann J, Joseph S. (Eds), biochar for environmental management science and technology. Earthscan, London.

Atucha A, Litus G. 2015. Effect of biochar amendments on peach replant disease. HortScience. 50: 863-868.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

Azimzadeh Y, Najafi N. 2018. Biochar: the material with unique properties for carbon sequestration and global warming mitigation. Land Management Journal. 5(1): 51-63. (In Farsi with English abstract).

Azimzadeh Y, Najafi N. 2017. Effects of biochar on soil physical, chemical, and biological properties. Land Management Journal. 4(2): 161-173. (In Farsi with English abstract).

Azimzadeh Y, Shirvani M, Shariatmadari H. 2016. Rhizosphere and green manure effects on soil chemical attributes and metal bioavailability as a function of the distance from plant roots in mono and mixed corn and canola cultures. Archives of Agronomy and Soil Science. 62: 1066-1081.

Bailey VL, Fansler SJ, Smith JL, Bolton Jr H. 2011. Reconciling apparent variability in effects of biochar amendment on soil enzyme activities by assay optimization. Soil Biology and Biochemistry. 43: 296-301.

Balmuk G, Videgain M, Manyà JJ, Duman G, Yanik J. 2023. Effects of pyrolysis temperature and pressure on agronomic properties of biochar. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 169: 105858.

Blackwell P, Krull E, Butler G, Herbert A, Solaiman Z. 2010. Effect of banded biochar on dryland wheat production and fertiliser use in south-western Australia: an agronomic and economic perspective. Soil Research. 48: 531-545.

Bonanomi G, Ippolito F, Scala F. 2015. A "black" future for plant pathology? Biochar as a new soil amendment for controlling plant diseases. Journal of Plant Pathology. 97: 223-234.

Carvalhais LC, Dennis PG, Fedoseyenko D, Hajirezaei MR, Borriss R, von Wirén N. 2011. Root exudation of sugars, amino acids, and organic acids by maize as affected by nitrogen, phosphorus, potassium, and iron deficiency. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 174: 3-11.

Choudhary DK, Nabi SU, Dar MS, Khan KA. 2018. Ralstonia solanacearum: A wide spread and global bacterial plant wilt pathogen. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 7: 85-90.

De Medeiros EV, Lima NT, de Sousa Lima J. 2021. Biochar as a strategy to manage plant diseases caused by pathogens inhabiting the soil: a critical review. Phytoparasitica. 49(4): 713-726.

De Tender CA, Debode J, Vandecasteele B, D'Hose T, Cremelie P, Haegeman A, Ruttink T. 2016. Biological, physicochemical and plant health responses in lettuce and strawberry in soil or peat amended with biochar. Applied Soil Ecology. 107: 1-12.

Deutsch CA, Tewksbury JJ, Tigchelaar M, Battisti DS, Merrill SC, Huey RB, Naylor RL. 2018. Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. Science. 31: 916–919.

Elad Y, David DR, Harel YM, Borenshtein M, Kalifa HB, Silber A. 2010. Induction of systemic resistance in plants by biochar, a soil-applied carbon sequestering agent. Phytopathology. 100: 913-921.

Elmer WH, Pignatello JJ. 2011. Effect of biochar amendments on mycorrhizal associations and Fusarium crown and root rot of asparagus in replant soils. Plant Disease. 95(8): 960–966

Elmer WH. 2016. Effect of leaf mold mulch, biochar, and earthworms on mycorrhizal colonization and yield of asparagus affected by Fusarium crown and root rot. Plant Disease. 100: 2507-2512.

Eo J, Park KC, Kim MH, Kwon SI, Song YJ. 2018. Effects of rice husk and rice husk biochar on root rot disease of ginseng (*Panax ginseng*) and on soil organisms. Biological Agriculture and Horticulture. 34: 27-39.

Gao Y, Lu Y, Lin W, Tian J, Cai K. 2019. Biochar suppresses bacterial wilt of tomato by improving soil chemical properties and shifting soil microbial community. Microorganisms. 7: 676.

Gao S, Doll DA, Stanghellini MS, Westerdahl BB, Wang D, Hanson BD. 2018. Deep injection and the potential of biochar to reduce fumigant emissions and effects on nematode control. Journal of Environmental Management. 223: 469-477.

George C, Kohler J, Rillig MC. 2016. Biochars reduce infection rates of the root-lesion nematode Pratylenchus penetrans and associated biomass loss in carrot. Soil Biology and Biochemistry. 95:11-18.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

Graber ER, Elad Y. 2013. Biochar impact on plant resistance to disease. In: Ladygina N, Rineau F (Eds) Biochar and soil biota. CRC Press, Boca Raton. 41–68.

Graber ER, Harel YM, Kolton M, Cytryn E, Silber A, David DR, Tsechansky L. 2010. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. Plant and Soil. 337: 481-496.

Graber ER, Tsechansky L, Gerstl Z, Lew B. 2012. High surface area biochar negatively impacts herbicide efficacy. Plant and Soil. 353: 95-106.

Graham RD. 1983. Effects of nutrient stress on susceptibility of plants to disease with particular reference to the trace elements. In: Woolhouse H (Ed.) Advances in Botanical Research, Academic Press, Elsevier. London. 221-276.

Gravel V, Dorais M, M_enard C. 2013. Organic potted plants amended with biochar: Its effect on growth and Pythium colonization. Canadian Journal of Plant Science. 93: 1217-1227.

Gu Y, Hou Y, Huang D, Hao Z, Wang X, Wei Z, Jousset A, Tan S, Xu D, Shen O, Xu Y. 2017. Application of biochar reduces *Ralstonia solanacearum* infection via effects on pathogen chemotaxis, swarming motility, and root exudate adsorption. Plant and Soil. 415: 269-281.

Harel YM, Elad Y, Rav-David D, Borenstein M, Shulchani R, Lew B, Graber ER. 2012. Biochar mediates systemic response of strawberry to foliar fungal pathogens. Plant and Soil. 357: 245-257.

Houben D, Evrard L, Sonnet P. 2013. Beneficial effects of biochar application to contaminated soils on the bioavailability of Cd, Pb and Zn and the biomass production of rapeseed (*Brassica napus* L.). Biomass and Bioenergy. 57: 196-204.

Huang WK, Ji HL, Gheysen G, Debode J, Kyndt T. 2015. Biochar- amended potting medium reduces the susceptibility of rice to rootknot nematode infections. BMC Plant Biology. 15(1): 1-15.

Jaiswal AK, Elad Y, Paudel I, Graber ER, Cytryn E. Frenkel O. 2017. Linking the belowground microbial composition, diversity and activity to soil-borne disease suppression and growth promotion of tomato amended with biochar. Scientific Reports. 7: 1–18.

Jaiswal AK, Graber ER, Elad Y, Frenkel O. 2019. Biochar as a management tool for soil-borne diseases affecting early stage nursery seedling production. Crop Protection. 120: 34–42.

Jaiswal AK, Elad Y, Graber ER, Frenkel O. 2014. Rhizoctonia solani suppression and plant growth promotion in cucumber as affected by biochar pyrolysis temperature, feedstock and concentration. Soil Biology and Biochemistry. 69: 110-118.

Jaiswal AK, Frenkel O, Elad Y, Lew B, Graber ER. 2015. Nonmonotonic influence of biochar dose on bean seedling growth and susceptibility to Rhizoctonia solani: The "Shifted R max-Effect". Plant and Soil. 395: 125-140.

Kasozi GN, Zimmerman AR, Nkedi-Kizza P, Gao B. 2010. Catechol and humic acid sorption onto a range of laboratory-produced black carbons (biochars). Environmental Science and Technology. 44: 6189-6195.

Kolton M, Graber ER, Tsehansky L, Elad Y, Cytryn E. 2017. Biochar-stimulated plant performance is strongly linked to microbial diversity and metabolic potential in the rhizosphere. New Phytology. 213: 1393-1404.

Lammirato C, Miltner A, Kaestner M. 2011. Effects of wood char and activated carbon on the hydrolysis of cellobiose by β-glucosidase from *Aspergillus niger*. Soil Biology and Biochemistry. 43: 1936-1942.

Lehmann J, Rillig MC, Thies J, Masiello CA, Hockaday WC, Crowley D. 2011. Biochar effects on soil biota – a review. Soil Biology and Biochemistry 43:1812–1836.

Lohan D, Jain R, Srivastava A, Dutta S, Mohan D. Sharma RK. 2023. Surface Engineering approaches for the design of magnetic biochar-composites for removal of heavy metals: A comprehensive review. Journal of Environmental Chemical Engineering. 111448.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

Lu Y, Rao S, Huang F, Cai Y, Wang G, Cai K. 2016. Effects of biochar amendment on tomato bacterial wilt resistance and soil microbial amount and activity. International Journal of Agronomy https://doi.org/10.1155/2016/2938282

Makoto K, Tamai Y, Kim Y, Koike T. 2010. Buried charcoal layer and ectomycorrhizae cooperatively promote the growth of Larix gmelinii seedlings. Plant and Soil. 327: 143-152.

Matsubara Y, Hasegawa N, Fukui H. 2002. Incidence of Fusarium root rot in asparagus seedlings infected with arbuscular mycorrhizal fungus as affected by several soil amendments. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science. 71: 370-374.

Matsuhashi M, Pankrushina AN, Endoh K, Watanabe H, Mano Y, Hyodo M, Fujita T. 1995. Studies on carbon material requirements for bacterial proliferation and spore germination under stress conditions: a new mechanism involving transmission of physical signals. Journal of Bacteriology. 177: 688-693.

Mehari ZH, Elad Y, Rav-David D, Graber ER, Harel YM. 2015. Induced systemic resistance in tomato (*Solanum lycopersicum*) against Botrytis cinerea by biochar amendment involves jasmonic acid signaling. Plant and Soil. 395: 31-44.

Moola AK, Krishnamoorthy N, Pathy A, Paramasivan B, Balasubramani S, Selvam S, Kumari BR. 2022. Production techniques, mechanism, and application of biochar in remediating soil contaminated with heavy metals: a review. Strategies and tools for pollutant mitigation: Research Trends in Developing Nations. 69-90.

Ogawa M, Okimori Y. 2010. Pioneering works in biochar research, Japan. Soil Research. 48: 489-500.

Painter TJ. 1998. Carbohydrate polymers in food preservation: an integrated view of the Maillard reaction with special reference to discoveries of preserved foods in Sphagnum-dominated peat bogs. Carbohydrate Polymers. 36: 335-347.

Rahayu DS, Sari NP. 2017. Development of Pratylenchus coffeae in biochar applied soil, coffee roots and its effect on plant growth. Pelita Perkebunan. 33: 24-32.

Rahman L, Whitelaw-Weckert MA, Orchard B. 2014. Impact of organic soil amendments, including poultry-litter biochar, on nematodes in a Riverina, New South Wales, vineyard. Soil Research. 52: 604-619.

Rondon MA, Lehmann J, Ramírez J, Hurtado M. 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. Biology and Fertility of Soils. 43: 699-708.

Solaiman ZM, Blackwell P, Abbott LK, Storer P. 2010. Direct and residual effect of biochar application on mycorrhizal root colonisation, growth and nutrition of wheat. Soil Research. 48: 546-554.

Spokas KA, Novak JM, Stewart CE, Cantrell KB, Uchimiya M, DuSaire MG, Ro KS. 2011. Qualitative analysis of volatile organic compounds on biochar. Chemosphere. 85: 869-882.

Turner E. 1955. The effect of certain adsorbents on the nodulation of clover plants. Annals of Botany. 19: 149-160.

Uchimiya M, Lima IM, Thomas Klasson K, Chang S, Wartelle LH Rodgers JE. 2010. Immobilization of heavy metal ions (CuII, CdII, NiII, and PbII) by broiler litter-derived biochars in water and soil. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 58: 5538-5544.

Vantsis J, Bond G. 1950. The effect of charcoal on the growth of leguminous plants in sand culture. Annals of Applied Biology. 37: 159-168.

Verwaaijen B, Wibberg D, Krober M, Winkler A, Zrenner R, Bednarz H, Schlüter A. 2017. The Rhizoctonia solani AG1-IB (isolate 7/3/14) transcriptome during interaction with the host plant lettuce (*Lactuca sativa* L.). Plos One. 12(5): e0177278.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

Wang Q, Fang W, Yan D, Han D, Li Y, Ouyang C, Gou M, Cao A. 2016. The effects of biochar amendment on dimethyl disulfide emission and efficacy against soil-borne pests. Water, Air and Soil Pollution. 227: 1-9.

Waqas M, Shahzad R, Hamayun M, Asaf S, Khan AL, Kang SM, Yun S, Kim KM. 2018. Biochar amendment changes jasmonic acid levels in two rice varieties and alters their resistance to herbivory. Plos One. 13: e0191296.

Warnock DD, Lehmann J, Kuyper TW, Rillig MC. 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil–concepts and mechanisms. Plant and Soil. 300:9-20.

Warnock DD, Mummey DL, McBride B, Major J, Lehmann J, Rillig MC. 2010. Influences of non-herbaceous biochar on arbuscular mycorrhizal fungal abundances in roots and soils: results from growth-chamber and field experiments. Applied Soil Ecology. 46: 450-456.

Wong JTF, Chen X, Deng W, Chai Y, Ng CWW, Wong MH. 2019. Effects of biochar on bacterial communities in a newly established landfill cover topsoil. Journal of Environmental Management 236: 667–673.

Yang S, Sun L, Sun Y, Song K, Qin Q, Zhu Z, Xue Y. 2023. Towards an integrated health risk assessment framework of soil heavy metals pollution: Theoretical basis, conceptual model, and perspectives. Environmental Pollution. 316: 120596.

Yu JQ, Lee KS, Matsui Y. 1993. Effect of the addition of activated charcoal to the nutrient solution on the growth of tomato in hydroponic culture. Soil Science and Plant Nutrition. 39:13-22.

Zhang C, Lin Y, Tian X, Xu Q, Chen Z, Lin W. 2017. Tobacco bacterial wilt suppression with biochar soil addition associates to improved soil physiochemical properties and increased rhizosphere bacteria abundance. Applied Soil Ecollogy. 112: 90-96.

Zhang XK, Qi LI, Liang WJ, Zhang M, Xue-Lian BAO, Zu-Bin XIE. 2013. Soil nematode response to biochar addition in a Chinese wheat field. Pedosphere. 23: 98-103.

Zwart DC, Kim SH. 2012. Biochar amendment increases resistance to stem lesions caused by Phytophthora spp. in tree seedlings. HortScience. 47(12): 1736–1740.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]

Biochar Mechanisms to Reduce Plant Vulnerability to Pests and Diseases

Yaser Azimzadeh[1*] and Arash Mohammadzadeh[1]

1- Assistant Professor of Natural Resources Management Research, Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran.

yaser.azimzadeh@gmail.com

Abstract

Biochar can reduce the plants vulnerability to diseases with different mechanisms such as improving soil fertility, increasing the population and activity of beneficial microorganisms, limiting the activity of pathogens, absorbing toxins produced by pathogens, stimulating the production of antibiotics, inducing plant systemic defense and changes in root exudates. The role of biochar in reducing plant diseases depends on the biochar properties, biochar dosages, soil properties, crop, and the type of pathogen. The biochar properties are affected by the type of biomass and production temperature. In addition, the mechanisms of biochar to protect the plant against each type of pathogens may be different. Therefore, considering the importance of biomass type and carbonization temperature in the efficiency of biochar, it is suggested to pay more attention to the ability of biochars produced from different biomasses and temperatures to reduce plant diseases.

Keywords: Biological Stress, Plant Pathogens, Systemic Defense.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-04-04]