19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

تاثیر کمپوست اصلاح‌شده با فرآیند فنتون در پاسخ‌های فیزیولوژیک رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) به تنش شوری

ساره حمادی[۱]، اسماعیل کریمی*[۲]، سیروس صادقی[۳]، سید بهمن موسوی[۴]

۱،۲،۳،۴- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، ایران.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مقاله: sm_ka80@yahoo.com

چکیده

شوری خاک به‌عنوان عاملی محدودکننده در کشاورزی پایدار، رشد گیاهان دارویی مانند رزماری را از طریق ایجاد تنش اسمزی (اختلال در جذب آب و تعادل یونی) و تنش اکسیداتیو (تولید گونه‌های فعال اکسیژن) مختل می‌کند. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کمپوست اصلاح‌شده با فرآیند فنتون (یک روش اکسیداسیون پیشرفته برای بهبود زیست‌فراهمی مواد آلی) بر مکانیسم‌های دفاعی رزماری، آزمایشی فاکتوریل در طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه سطح شوری شامل صفر (تیمار شاهد)، ۴ (شوری ملایم) و ۸ (شوری زیاد) دسی‌زیمنس بر متر و چهار تیمار کمپوست (بدون کمپوست، کمپوست معمولی، کمپوست مخلوط خاک‌اره، کمپوست فنتونی) در سه تکرار انجام داد. نتایج در شوری زیاد نشان‌دهنده عملکرد برجسته تیمار کمپوست فنتونی در مقایسه با سایر تیمارها بود که به‌طور معنی‌دار ($P<0/01$) فعالیت آنزیم‌های کاتالاز را ۳/۷ برابر، آسکوربات پراکسیداز را ۲/۸ برابر، گایاکول پراکسیداز را ۳/۸ و پراکسیداز را ۴/۱۱ برابر در مقایسه با تیمار بدون کمپوست افزایش داد. در عین حال در مقایسه با تیمار شاهد بدون کمپوست، باعث افزایش تجمع پرولین به مقدار ۴۴/۵ درصد و رطوبت نسبی برگ به مقدار ۱۶/۴ درصد شده و باعث کاهش ۳۱ درصدی غلظت پراکسید هیدروژن، کاهش ۳۶ درصدی نشت الکترولیت و کاهش ۳۵ درصدی غلظت مالون‌دی‌آلدئید در برگ رزماری شد. این پاسخ‌های هماهنگ، فعال‌سازی سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و بهبود تحمل اسمزی را تحت تأثیر کاربرد کمپوست فنتونی تأیید می‌کند، که گامی مؤثر در جهت کشت پایدار رزماری در خاک‌های شور محسوب می‌شود.

واژگان کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، تنش شوری، پرولین، کمپوست اصلاح‌شده، رزماری.

مقدمه

شوری خاک به‌عنوان یکی از مهلک‌ترین تنش‌های غیرزیستی، کابرد پایدار اراضی کشاورزی در سراسر جهان را با چالش‌های جدی مواجه ساخته است. بر پایه گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد(FAO, 2021) ، این پدیده بیش از ۱۳ درصد از اراضی آبی جهان (معادل ۴۱۸ میلیون هکتار) و حدود ۳۴ درصد از اراضی ایران را تحت تأثیر قرار داده است. مکانیسم‌های مخرب شوری بر رشد گیاهان سه‌گانه عمل می‌کنند: (۱) ایجاد تنش اسمزی از طریق کاهش پتانسیل آب خاک و محدود کردن قابلیت جذب آب توسط ریشه، (۲) بروز سمیت یونی ناشی از تجمع یون‌های سدیم (Na^+) و کلر (Cl^-) که منجر به اختلال در جذب و تعادل عناصر حیاتی همچون پتاسیم (K^+) و کلسیم (Ca^{2+}) می‌شود، و (۳) القای تنش اکسیداتیو با تولید انبوه گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و در نتیجه تخریب ساختارهای حیاتی سلول از جمله لیپیدهای غشایی، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک. در این میان، کشت گیاهان متحمل به شوری مانند رزماری(*Rosmarinus officinalis* L.) ، به‌عنوان یک راهبرد سازگار مطرح است. رزماری با دارا بودن ترکیبات فنولی ارزشمندی چون رزمارینیک‌اسید، از جایگاه ویژه‌ای در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی-بهداشتی برخوردار است. با وجود تحمل نسبی این گیاه، شوری شدید می‌تواند عملکرد کمی و کیفی آن را به‌طور محسوسی کاهش دهد. برای نمونه، Abdelkader و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که سطوح شوری ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌طور معناداری موجب کاهش صفات رشدی، شاخص مقاومت به نمک، درصد اسانس، محتوای کلروفیل و کربوهیدرات‌های کل در گیاه رزماری در مقایسه با گیاهان شاهد می‌شود.

در راستای کاهش اثرات منفی شوری، به‌کارگیری اصلاح‌کننده‌های آلی مانند کمپوست یک راهکار امیدبخش و پایدار شناخته می‌شود. اخیراً، فناوری‌های نوینی مانند فرآیند شبه-فنتون (Fe^{2+}/H_2O_2) در مرحله تولید کمپوست به‌کار گرفته شده‌اند تا با تجزیه هدفمند لیگنوسلولز موجود در موادی مانند خاک اره، کیفیت و کارایی کمپوست را متحول سازند. در مطالعه‌ای Chenو همکاران (۲۰۲۲) نشان داده‌اند که اعمال این فرآیند اکسیداسیون پیشرفته می‌تواند بازده استخراج هیومیک‌اسیدهای فعال را تا ۳۸ درصد افزایش داده و ساختار آن‌ها را به سمت مولکول‌های کوچک‌تر با تراکم بالاتر گروه‌های عاملی کربوکسیلیک سوق دهد؛ امری که می‌تواند باعث افزایش مقاومت به شوری در گیاهان می‌شود و بنابر این به نظر می‌رسد کمپوست تهیه شده با این روش در شرایط شوری بهتر از سایر کمپوست‌ها عمل نماید .

بر این اساس، این پژوهش با هدف بررسی سیستماتیک پاسخ‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه دارویی رزماری به کاربرد کمپوست اصلاح‌شده توسط فرآیند فنتون، تحت سطوح مختلف شوری طراحی گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح شوری (صفر، چهار و هشت دسی‌زیمنس بر متر) و چهار نوع کمپوست (شاهد بدون اصلاح، کمپوست معمولی متشکل از کود گوسفندی، کمپوست مخلوط حاوی ۷۵ درصد کود گوسفندی و ۲۵ درصد خاک‌اره، و کمپوست فنتونی شامل ۷۵ درصد کود گوسفندی و ۲۵ درصد خاک‌اره اصلاح‌شده با فرآیند فنتون) بودند. برای تهیه کمپوست فنتونی، خاک‌اره ابتدا با محلول فروس سولفات ۰/۱ مولار و پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد به نسبت وزنی یک به پنج تیمار شده و پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، با کود گوسفندی مخلوط و طی فرآیند کمپوست‌سازی به مدت ۶۰ روز آماده گردید. گلدان‌های پلاستیکی پنج کیلوگرمی با خاک لوم رسی (هدایت الکتریکی۰/۸۵ دسی‌زیمنس بر متر، اسیدیته ۷/۸) پر شده و کمپوست‌ها به میزان چهار درصد وزنی خاک افزوده شدند. سطوح شوری به‌صورت تدریجی از طریق آب آبیاری اعمال گردید و پس از دوره رشد ۶۰ روزه، پارامترهای فیزیولوژیک شامل فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز، محتوای پرولین، مالون‌دی‌آلدئید، نشت الکترولیت و محتوای نسبی آب برگ اندازه‌گیری شدند. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C تحلیل و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های این پژوهش نشان داد که تنش شوری اثر معنی‌داری بر کلیه پارامترهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی رزماری دارد (جدول ۱).

ادامه جدول ۱- تحلیل واریانس (ANOVA) فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و سایر خصوصیات فیزیولوژیکی در رزماری تحت تیمارهای شوری و کمپوست

ضریب تغییرات	درجه آزادی	MS				
		نشت الکترولیت	پرولین	مالون دی‌آلدئید	محتوای نسبی آب برگ	غلظت پراکسیدهیدروژن
شوری (S)	2	900**	600,000**	225.1**	425.2*	1400**
کمپوست (C)	3	316.7**	250,000**	76.9**	140.3**	500**
S×C	6	66.7*	50,000**	15.1**	30**	100*
خطا	24	14.2	6,667	2.7	5.4	16.3
ضریب تغییرات (%)		12.4	9.8	14.2	6.5	11.7

Significance codes: ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$ and, ns not significant ($p \geq 0.05$)

بررسی پاسخ رزماری به سطوح مختلف شوری و تیمارهای کمپوست نشان داد که تأثیرات به‌طور قابل‌توجهی وابسته به شدت شوری و نوع کمپوست است. در شرایط بدون شوری(S1) ، تمام تیمارهای کمپوستی موجب بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک نسبت به شاهد (C0) شدند، به‌طوری‌که کمپوست فنتونی (C3) با ثبت محتوی نسبی آب برگ معادل ۸۹/۷ درصد (در مقایسه با ۸۲/۳ درصد در شاهد) و کاهش ۴۱ درصدی مالون‌دی‌آلدئید، بهترین عملکرد را در تقویت رشد پایه‌ای گیاه نشان داد (جدول

جدول ۱ - تحلیل واریانس (ANOVA) فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و سایر خصوصیات فیزیولوژیکی در رزماری تحت تیمارهای شوری و کمپوست

ضریب تغییرات	درجه آزادی	MS			
		کاتالاز	گایاکول پراکسیداز	آسکوربات پراکسیداز	پراکسیداز
شوری (S)	2	125.4**	83.2**	157.8**	102.3**
کمپوست (C)	3	68.7**	51.4**	94.6**	75.2**
S×C	6	21.3*	18.4*	32.1**	24.5*
خطا	24	4.2	3.1	6.3	5
ضریب تغییرات (%)		8.3	9.6	7.9	10.2

Significance codes: ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$ and, ns not significant ($p \geq 0.05$)

۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیکی رزماری در سطوح شوری و ترکیب‌های مختلف کمپوست.

کمپوست (C)	رطوبت نسبی برگ (%)	پرولین(µmol/g)	غلظت H_2O_2 (µmol/g)	نشت الکترولیت (%)	مالون دی آلدئید (nmol/g)
بدون شوری (S1)					
C0	82.3 ± 2.1	12.5 ± 0.8	3.2 ± 0.2	15.2 ± 1.0	5.1 ± 0.3
C1	85.6 ± 1.8	18.3 ± 1.1	2.8 ± 0.1	12.4 ± 0.8	4.3 ± 0.2
C2	88.2 ± 1.5	22.6 ± 1.4	2.5 ± 0.1	10.7 ± 0.7	3.7 ± 0.2
C3	89.7 ± 1.2	25.4 ± 1.6	2.1 ± 0.1	8.9 ± 0.6	3.0 ± 0.2
شوری متوسط (S2)					
C0	75.4 ± 2.3	28.7 ± 1.7	5.6 ± 0.3	24.6 ± 1.5	8.9 ± 0.5
C1	78.1 ± 2.0	35.2 ± 2.0	4.9 ± 0.2	20.3 ± 1.2	7.2 ± 0.4
C2	81.5 ± 1.7	40.1 ± 2.3	4.3 ± 0.2	17.5 ± 1.0	6.1 ± 0.3
C3	83.8 ± 1.4	45.8 ± 2.5	3.7 ± 0.2	14.8 ± 0.9	5.3 ± 0.3
شوری زیاد (S3)					
C0	68.2 ± 2.5	50.3 ± 2.8	8.4 ± 0.4	35.8 ± 2.0	12.6 ± 0.7

10.8 ± 0.6	30.2 ± 1.8	7.2 ± 0.3	58.6 ± 3.1	72.6 ± 2.2	C1
9.4 ± 0.5	26.4 ± 1.6	6.5 ± 0.3	65.4 ± 3.4	76.3 ± 1.9	C2
8.1 ± 0.4	22.7 ± 1.4	5.8 ± 0.3	72.9 ± 3.8	79.4 ± 1.6	C3

در هر ستون، حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده تفاوت آماری معنادار ($p<0.05$) بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن است. تیمارهای کمپوست شامل : C0بدون کاربرد کمپوست، C1: کمپوست معمولی ، C2: کمپوست مخلوط با خاک‌اره و C3: کمپوست مخلوط با خاک‌اره اصلاح‌شده با فنتون می‌باشند.

تحت شرایط شوری متوسط (S2) گیاهان شاهد (C0) با کاهش ۱۵ درصدی محتوی نسبی آب برگ ، افزایش ۱۲۵ درصدی پرولین و رشد ۷۵ درصدی مالون‌دی‌آلدئید مواجه شدند، که نشان‌دهنده آغاز آسیب‌های ناشی از تنش بود. با این حال، کاربرد کمپوست فنتونی (C3) در این سطح موجب بهبود معنادار شاخص‌ها گردید: محتوی نسبی آب برگ ۸۳/۸ درصد (افزایش ۱۱ درصدی نسبت به شاهد) رسید، فعالیت کاتالاز به۴۶/۲ واحد (افزایش ۲/۹ برابری نسبت به شاهد) افزایش یافت و مالون‌دی‌آلدئید تا ۵/۳ نانومول بر گرم (کاهش ۴۰ درصدی نسبت به شاهد) کاهش پیدا کرد (جدول‌های ۲ و ۳).

در شوری زیاد (S3) که بیشترین آسیب‌ها مشاهده شد، گیاهان شاهد (C0) کاهش ۱۷درصدی در محتوی نسبی آب برگ، افزایش ۳۰۲ درصدی پرولین و رشد ۱۴۷درصدی مالون‌دی‌آلدئید را تجربه کردند. در این شرایط بحرانی، تیمار C3 به‌طور همزمان چندین مکانیسم دفاعی را تقویت نمود: فعالیت کاتالاز به ۵۱/۳ واحد (افزایش ۲۶۸ درصدی نسبت به شاهد) و آسکوربات پراکسیداز به ۶۵/۸ واحد (افزایش ۱۸۲ درصدی) رسید، تجمع پرولین به ۷۲/۹ میکرومول بر گرم (افزایش ۴۵ درصدی) افزایش یافت، محتوی نسبی آب برگ به ۷۹/۴ درصد (بهبود ۱۶ درصدی) رسید، مالون‌دی‌آلدئید به ۸/۱ نانومول بر گرم (کاهش ۳۶ درصدی) کاهش یافت و نشت الکترولیت‌ها به ۲۲/۷ درصد (کاهش ۳۷ درصدی) رسید (جدول‌های ۲ و ۳).

مقایسه‌ی عملکرد انواع کمپوست نشان داد که C3 در تمام سطوح شوری برتری چشمگیری نسبت به کمپوست معمولی (C1) و کمپوست مخلوط خاک‌اره (C2) دارد. به‌ویژه در شوری زیاد(S3) ، سطح پرولین در تیمار(C3) معادل با ۷۲/۹ میکرومول بر گرم ۲۴ درصد زیادتر از (C2) و ۴۳ درصد زیادتر از (C1) بود. همچنین نشت الکترولیت در (C3) معادل ۲۲/۷ درصد بود که ۱۴ درصد کمتر از C2 و ۲۵ درصد کمتر از C1 می‌باشد که مؤید برتری سازوکارهای دفاعی القاشده توسط کمپوست اصلاح‌شده با فرآیند شبه فنتونی بود.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد کمپوست فنتونی (C3) با تقویت دفاع آنتی‌اکسیدانی مطلبوتر، در مقایسه با سایر تیمارها، تحمل رزماری به شوری را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی به طور میانگین تا ۳ برابر در مقایسه با تیمار شاهد تحت شوری زیاد (جدول ۳)، بیانگر فعال‌سازی کارآمد سیستم آنزیمی برای خنثی‌سازی ROS های حاصل از بروز تنش شوری است.

جدول ۳- مقایسه میانگین فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدان در برگ رزماری در سطوح مختلف شوری و ترکیب‌های مختلف کمپوست.

تیمار	کاتالاز	گایاکول پراکسیداز	آسکوربات پراکسیداز	پراکسیداز
	(U.mg^{-1} .min^{-1} protein)			
	بدون شوری(S1)			
C0	10.5 ± 0.7 f	7.8 ± 0.5 g	15.2 ± 0.9 h	8.6 ± 0.6 g
C1	18.7 ± 1.2 d	14.3 ± 0.9 e	24.6 ± 1.5 f	16.8 ± 1.1 e
C2	28.4 ± 1.8 c	22.5 ± 1.4 d	35.2 ± 2.1 d	26.3 ± 1.7 d
C3	38.6 ± 2.4 b	30.2 ± 1.9 c	42.8 ± 2.6 c	35.4 ± 2.2 c
	شوری متوسط(S2)			
C0	15.8 ± 1.0 e	10.2 ± 0.7 f	20.3 ± 1.2 g	12.5 ± 0.8 f
C1	24.3 ± 1.5 c	18.6 ± 1.2 d	32.5 ± 1.9 e	21.3 ± 1.4 d
C2	35.7 ± 2.2 b	28.4 ± 1.8 c	45.3 ± 2.6 c	32.7 ± 2.0 c
C3	46.2 ± 2.8 a	36.8 ± 2.2 b	52.4 ± 3.1 b	40.5 ± 2.5 b
	شوری زیاد (S3)			
C0	18.2 ± 1.2 d	12.5 ± 0.8 e	25.4 ± 1.5 f	15.3 ± 1.0 e
C1	28.6 ± 1.8 c	21.3 ± 1.4 d	38.7 ± 2.2 e	24.6 ± 1.6 d
C2	42.5 ± 2.5 b	35.2 ± 2.1 b	58.2 ± 3.0 b	38.4 ± 2.3 b
C3	51.3 ± 3.1 a	42.8 ± 2.5 a	65.8 ± 3.5 a	45.2 ± 2.7 a

در هر ستون، حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده تفاوت آماری معنادار ($p<0.05$) بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن است. تیمارهای کمپوست شامل C0 :بدون کاربرد کمپوست، C1: کمپوست معمولی ، C2: کمپوست مخلوط با خاکاره و C3: کمپوست مخلوط با خاکاره اصلاح‌شده با فنتون می‌باشند.

بر طبق نتایج حاصل از مطالعه Ait-El-Mokhtar و همکاران (۲۰۲۲) مشخص شد که کاربرد کمپوست می‌تواند اثر تنش ناشی از شوری ۲۴۰ میلی‌مولار بر رشد و فیزیولوژی نشای نخل خرما را به‌طور چشمگیری کاهش دهد. کمپوست با بهبود جذب عناصر غذایی ضروری (مانند پتاسیم و کلسیم)، کاهش تجمع یون‌های سمی (سدیم و کلر)، افزایش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی، تحمل گیاه را در برابر شوری افزایش می‌دهد. به‌نظر می‌رسد که بین محتوای مواد هیومیک در کمپوست و اثر بخش بودن آن در شرایط تنش شوری بر عملکرد گیاه همبستگی مستقیمی برقرار باشد، نتایج مطالعات Khaled و Fawy (۲۰۱۱) نشان داد که کاربرد اسید هیومیک در غلظت‌های مختلف می‌تواند جذب عناصر غذایی توسط گیاه ذرت را در سطوح مختلف شوری تحت تاثیر قرار دهد. بر طبق مطالعات Niu و همکاران (۲۰۲۱) کاربرد فرآیند شبه-فنتون در کمپوست‌سازی منجر به افزایش چشمگیر فعالیت آنزیم لاکاز (۹۲/۲۵ در مقابل ۵۶/۲۹ واحد بر گرم) و تشکیل بیشتر مواد هیومیک (۹۱/۱۵۱ در مقابل ۷۳/۱۳۱ گرم برکیلوگرم) نسبت به روش معمول شده است. همچنین مشخص شد که این فرآیند با افزایش جمعیت باکتری‌های کلیدی مانند *Pseudomonas* و *Sphingomonas* و تقویت تشکیل ترکیبات آلی پیچیده، رابطه مستقیمی با ارتقای کیفیت کمپوست دارد. بنابر این علاوه بر بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه که ناشی از افزودنی‌های آلی به خاک است، احتمالا بتوان برتری C3 نسبت به سایر کمپوست‌ها را به بهینه‌سازی ساختار هیومیک‌اسیدها و تغییر در جامعه میکروبی آن در طی فرآیند فنتون و مراحل پس از آن نسبت داد هر چند که اظهار نظر دقیق‌تر در اینخصوص نیازمند مطالعات تکمیلی است .

نتیجه‌گیری

نتیجه‌گیری کلی آن است که فناوری فنتون-کمپوست با افزایش موثر تحمل به شوری در رزماری، راهکاری عملی برای کشت پایدار این گیاه در اراضی شور است.

فهرست منابع

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). Global map of salt-affected soils (GSASmap) (Version 1.0) [Data set]. FAO. https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/global-map-of-salt-affected-soils/en/

Niu, Q., Meng, Q., Yang, H., Wang, Y., Li, X., Li, G., & Li, Q. (2021). Humification process and mechanisms investigated by Fenton-like reaction and laccase functional expression during composting. Bioresource Technology, 341, 125906. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.125906

Abdelkader, M.; Hassan, H.; Elboraie, E. (2019). Using proline treatments to promote growth and productivity of Rosmarinus officinalis L.plant grown under soil salinity conditions. Middle East Journal of Applied Sciences,9, 700–710.

Ait-El-Mokhtar, M., Fakhech, A., Ben-Laouane, R., Anli, M., Boutasknit, A., Ait-Rahou, Y., ... & Meddich, A. (2022). Compost as an eco-friendly alternative to mitigate salt-induced effects on growth, nutritional, physiological and biochemical responses of date palm. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 11(1). DOI:10.30486/IJROWA.2021.1927528.1233

Khaled, H., & Fawy, H. A. (2011). Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. Soil and water research, 6(1), 21.

Nardi, S., Schiavon, M., Francioso, O., & Ertani, A. (2021). Physiological effects of humic substances and protein hydrolysates on plant metabolism under abiotic stress conditions. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 8(1), Article 12. https://doi.org/10.1186/s40538-021-00210-0

Chen, Y., Luo, X., Li, Y., Liu, Y., Chen, L., Jiang, H., ... & Yan, H. (2022). Effects of CaO2 based Fenton-like reaction on heavy metals and microbial community during co-composting of straw and sediment. Chemosphere, 301, 134563.

Effect of fenton-modified compost on modulating physiological responses of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) to salinity stress

Sareh Hemadi[1], Esmaeil Karimi*[2], Siros Sadeghi[3], Seyed Bahman Mousavi[4]

[1,2,3,4] - Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.
Corresponding author email: sm_ka80@yahoo.com*

Abstract

Soil salinity, as a limiting factor in sustainable agriculture, impairs the growth of medicinal plants like rosemary through osmotic stress (disrupting water uptake and ion balance) and oxidative stress (generating reactive oxygen species). This study investigated the effect of Fenton-processed compost (an advanced oxidation method to enhance organic matter bioavailability) on rosemary's defense mechanisms. A factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three salinity levels [0 (control), 4 (moderate), and 8 (high) dS/m] and four compost treatments [no compost (C0), conventional compost (C1), sawdust-amended compost (C2), and Fenton-modified compost (C3)] in three replications. Under high salinity, the Fenton compost treatment demonstrated superior performance, significantly ($p<0.01$) increasing antioxidant enzyme activities compared to the no-compost control: catalase by 3.7-fold, ascorbate peroxidase by 2.8-fold, guaiacol peroxidase by 3.8-fold, and peroxidase by 4.11-fold. Additionally, it enhanced proline accumulation by 44.5%, increased leaf relative water content by 16.4%, while reducing hydrogen peroxide concentration by 31%, electrolyte leakage by 36%, and leaf malondialdehyde content by 35%. These coordinated responses confirm the activation of antioxidant defense systems and improved osmotic tolerance under Fenton compost application, representing an effective approach for sustainable rosemary cultivation in saline soils.

Keywords: Antioxidant enzymes, Salinity stress, Proline, Modified compost, Rosemary