Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 1, 2024, p. 1-17

Evaluation of Qualitative Traits of Forage Turnip (*Brassica rapa* var. *rapa*) in Intercropping with Basil (*Ocimum basilicum*) and Influence of Biochar and Vermicompost Application

Roma Kalhor Monfared[1], Mohammad Reza Ardakani[2*], Farzad Paknejad[2], Mansour Sarajuqi[3] and Hassan Ali Naghdi Badi[4]

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Professor, and Assistant Professor of the Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
4- Associate Professor of Medicinal Plants Research Center, Institute of Medicinal Plants, ACECR, Karaj, Iran.
(*- Corresponding author's Email: mohammadreza.ardakani@kiau.ac.ir)

Received: 04-02-2022
Revised: 06-06-2022
Accepted: 08-06-2022
Available Online: 08-06-2022

How to cite this article:
Kalhor Monfared, R., Ardakani, M.R., Paknejad, F., Sarajuqi, M., & Naghdi Badi, H.A. (2023). Evaluation of qualitative traits of forage turnip (*Brassica rapa* var. *rapa*) in intercropping with basil (*Ocimum basilicum*) and influence of biochar and vermicompost application. *Journal of Agroecology, 16*(1), 1-17. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/agry.2022.75103.1092

Introduction

Intercropping reduces the application of chemical pesticides to control pests and weeds, reducing the environmental risks associated with chemical pesticide application (Himmelstein et al., 2017). Biochar is a soil amendment because of its potential to retain water and nutrients, prevent nitrogen leaching, increase soil fertility, and improve plant growth (Fang et al., 2018; Munoz et al., 2016). Other benefits of vermicompost are increased stability of soil resources, maintenance of production, reduction of environmental pollution, and increased soil biological activity too (Demir, 2019). Therefore, the purpose of this study was to investigate the quality of forage turnip (*Brassica rapa* var. *rapa*) leaves in different intercropping ratios of forage turnip and basil (*Ocimum basilicum*) using biochar as soil amendment and vermicompost.

Materials and Methods

A biennial study was conducted on the quality performance of forage turnip (*Brassica rapa* var. *Rapa*) in the form of split-plot factorial in a randomized complete block design with three replications in the research farm of Islamic Azad University of Karaj in two years (2018-2019). The treatments of this study include: intercropping in four ratio (100% forage turnip (monoculture), 90% forage turnip + 10% basil, 80% forage turnip + 20% basil, 70% forage turnip + 30% basil), in main plots, and vermicompost in two levels (15, 18.5 ton.ha^{-1}) and biochar in two levels (No consumption and 5 ton.ha^{-1}) which was placed in subplots. The forage turnip cultivar was PacFB05. In this study, Photosynthetic pigments were measured by the Arnon (1967) method, membrane permeability (Ferrat and Loval, 1999), relative moisture content (Bertin et al., 1996), soluble leaf sugars (Sheligl, 1986), catalase (Dazy et al., 2008) and soil respiration (Isermeyer, 1952). Using SAS software (Ver.9) for data analysis of a two-year experiment and analysis of means was done with Duncan's test in significance at 5% probability level. Excel software was used to plot the graphs.

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https://doi.org/10.22067/agry.2022.75103.1092

Results and Discussion

The results of this study indicated that by increasing the ratio of basil in intercropping, the quality traits of forage turnip leaves increased. Consumption of biochar and application of vermicompost at the level of 18.5 ton.ha^{-1} increased the quality of forage turnip leaves. The highest chlorophyll a ((17.52 mg.g^{-1}Fw), chlorophyll b (8.76 mg.g^{-1}Fw) total chlorophyll (26.38 mg.g^{-1}Fw), carotenoids (6.91 mg.g^{-1}Fw), relative water content (59.54%), of soluble sugars (69.43%), catalase (0.018 micromole Fresh weight/min) were due to the interaction of (70% forage turnip + 30% basil) × vermicompost 18.5 ton ha^{-1} × application of biochar. The highest value of membrane stability index was related to 100% forage turnip × vermicompost 15 ton ha^{-1} (4.85 (mol.ml^{-1}.s^{-1})). The highest amount of soil respiration is associated with the interaction of vermicompost 18.5 ton.ha^{-1} × 70% forage turnip + 30% basil with value of 0.28 (micromole.gsoil^{-1}.hour^{-1})), interaction of biochar ×70% forage turnip + 30% basil (0.32 (micromole.gsoil^{-1}.hour^{-1})), and interaction of vermicompost of 18.5 ton.ha^{-1} × biochar 0.31 (micromole. g soil^{-1}.hour^{-1}). Due to the potential of biochar (water and food retention and prevent of nitrogen leaching) it can increase the availability of water and nutrients for the plant, which leads to increased photosynthesis of the plant and thus the quality of forage turnip leaves (Akhtar et al., 2015; Hammer et al., 2015). Vermicompost increases soil organic matter and the uptake of zinc, copper, iron, phosphorus, potassium, and nitrogen in soil. The presence of these elements in the soil and their absorption by the roots increases vegetative growth and leaf production in the plant, which causes the level of light absorption, photosynthetic level, the formation of hydrocarbons in the leaves, and the resulting growth also increases leaf quality (Theunissen et al., 2010).

Conclusion

The results of this study indicated that the application of vermicompost 18.5 ton ha^{-1} and biochar increased forage turnip quality, which is due to the availability of water and nutrients for forage turnip. The best intercropping ratio was related to 70% forage turnip + 30% basil, which can be said to be due to the increase in the percentage of basil and the competition of plants for better use of intercropping components of growth sources such as light, water, and food.

Keywords: Catalase activity, Chlorophyll, Membrane stability index, Relative water content, Soluble sugars

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص ۱۷-۱

ارزیابی صفات کیفی شلغم علوفه‌ای (*Brassica rapa* var. *rapa*) در کشت مخلوط با ریحان (*Ocimum basilicum*) تحت تأثیر کاربرد بیوچار و ورمی‌کمپوست

روما کلهر منفرد[۱]، محمد رضا اردکانی[۲*]، فرزاد پاک‌نژاد[۲]، منصور سراجوقی[۳] و حسنعلی نقدی بادی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۳/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۸

چکیده

این پژوهش دو ساله بر روی عملکرد کیفی شلغم علوفه‌ای (*Brassica rapa* var. *rapa*) به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی کرج در سال‌های (۱۳۹۸- ۱۳۹۷) انجام شد. با افزایش نسبت ریحان (*Ocimum basilicum*) در کشت مخلوط، رنگیزه‌های فتوسنتزی، قندهای محلول، کاتالاز، رطوبت نسبی برگ شلغم علوفه‌ای افزایش یافتند و همچنین موجب افزایش تنفس خاک و کاهش شاخص پایداری غشا گردید. مصرف بیوچار و همچنین ورمی‌کمپوست در سطح ۱۸/۵ تن در هکتار موجب افزایش کیفیت برگ شلغم علوفه‌ای، تنفس خاک و کاهش شاخص پایداری غشا شد. برهم‌کنش کشت مخلوط (۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای+ ۳۰ درصد ریحان) × ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار × کاربرد بیوچار منجر به افزایش کلروفیل *a* ۱۴۸/۵۱ درصد، کلروفیل *b* ۱۳۰/۹۳ درصد، کلروفیل کل ۱۳۴/۴۸ درصد، کاروتنوئید ۲۱۴/۹۴ درصد، رطوبت نسبی برگ ۵۰/۳۱ درصد، قندهای محلول ۸۹/۲۶ درصد، کاتالاز ۲۰۰ درصد، و کاهش شاخص پایداری غشا ۱۹۲/۱۶ درصد نسبت به شاهد (شلغم علوفه‌ای ۱۰۰ درصد (تک کشتی)× ورمی‌کمپوست ۱۵ تن در هکتار × عدم مصرف بیوچار) شد. بیشترین مقدار تنفس خاک نیز مربوط به برهم‌کنش ورمی‌کمپوست ۱۸/۵تن در هکتار×کشت مخلوط ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای+ ۳۰ درصد ریحان ۱۵۴/۵۴ درصد، کشت مخلوط ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای+ ۳۰ درصد ریحان و بیوچار ۱۹۰/۹۰ درصد و همچنین برهم‌کنش بیوچار و ورمی‌کمپوست ۱۸/۵تن در هکتار × بیوچار ۹۳/۷۵ درصد نسبت به شاهد بود. کاربرد توأم نسبت کاشت۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان در ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار و بیوچار پنج تن در هکتار بهترین تیمار این پژوهش بوده و قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: رطوبت نسبی برگ، شاخص پایداری غشا، فعالیت آنزیم کاتالاز، قندهای محلول، کلروفیل

مقدمه

کشت مخلوط به‌دلیل ثبات بیولوژیکی و تنوع زیاد، یکی از روش-های توصیه شده در راستای کشاورزی پایدار و حفظ محیطزیست می‌باشد؛ که شامل کاشت بیش از یک گونه گیاهی با هم است و موجب افزایش عملکرد گیاهان در مقایسه با سیستم تک‌کشتی شده است. کشت مخلوط موجب حفظ تعادل اکولوژیک شده و از طرف دیگر، بهره‌برداری حداکثری از آب، خاک و مواد غذایی را به‌دنبال دارد و با کاهش خسارات احتمالی ناشی از آفات و بیماری‌ها و افزایش فعالیت بیولوژیک خاک، یک راهکار مناسب جهت بهبود عملکرد کمّی و کیفی محصولات می‌باشد (Cong et al., 2015; Li et al., 2014; Weerarathne et al., 2017; Lopes et al., 2016). کشت مخلوط منجر به کاهش مصرف سموم شیمیایی برای کنترل آفات و علف‌های هرز می‌شود که پیرو این امر، خطرات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد سموم شیمیایی کاهش می‌یابد و گامی در جهت تولید

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
۴- دانشیار مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی، کرج، ایران.
(*- نویسنده مسئول:
(Email: mohammadreza.ardakani@kiau.ac.ir
https://doi.org/10.22067/agry.2022.75103.1092

محصولات سالم است (Himmelstein et al., 2017). نظام‌های تک‌کشتی اغلب نمی‌توانند به‌طور کامل از فضای در دسترس و منابع (نور و خاک) استفاده کنند، امّا دو گونه کشت‌شده با یکدیگر می‌توانند از منابع و فضا با کارایی بیشتری بهره‌مند شوند. انتخاب گیاهان مناسب برای کشت مخلوط بسیار حائز اهمیت است و گیاهان انتخابی نباید مانع رشد گونه همراه شوند (Sullivan, 2003). نتایج بسیاری از گزارش‌ها حاکی از آن است که کشت مخلوط سبب افزایش عملکرد کمّی و کیفی در گیاهان مختلف از جمله در کشت بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea*) و ذرت (*Zea mays*) (Dai et al., 2018)، ذرت و سویا (*Glycine max*) (Dragicevic et al., 2015)، لوبیا تپاری (*Phaseolus acutifolus* L. Gray) و دو رقم ارزن (*Panicum miliaceu*)(ارقام باستان و پیشاهنگ) (Badakhshan et al., 2021) و افزایش عملکرد ذرت در کشت مخلوط ذرت و یونجه (*Medicago sativa*) (Naser et al., 2020)، و همچنین افزایش تنفس خاک و مواد آلی خاک در کشت مخلوط چاودار (*Secale cereal*)، خلر(*Lathyrus sativus*) و ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa*) (Ahmadnia et al., 2020)، بزرک (*usitatissimum*) و نخود (*Cicer arietinum*) (Asadi et al., 2020)، نسبت به تک‌کشتی شده است.

شلغم علوفه‌ای (*Brassica rapa* L.) در زمانی که بسیاری از گیاهان علوفه‌ای در فصول گرم و سرد محصولی تولید نمی‌کنند، قابلیت تولید علوفه انبوه را دارد و می‌توان به سایر ویژگی‌های شلغم علوفه‌ای از جمله عملکرد بالای این گیاه، همراه با انرژی و پروتئین بیشتر آن در مقایسه با غلات و گیاهان چمنی چندساله و همچنین قابلیت چرای مستقیم و در نتیجه، هزینه برداشت پایین و مقرون به صرفه آن، قدرت سازگاری مناسب در شرایط آب و هوایی مختلف اشاره کرد (Ayres, 2002;Smart et al., 2004)

ریحان (*Ocimum basilicum*) گیاهی معطر و متعلق به خانواده نعناعیان است. این گیاه علاوه‌بر کاربرد در صنایع غذایی، آرایشی، بهداشتی و عطرسازی، در درمان برخی از بیماری‌های گوارشی و همچنین افزایش حجم شیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. ریحان به‌علت وجود متابولیت‌های ثانویه فراوان، خاصیت ضدمیکروبی، ضدقارچی، ضدسرطانی و حشره‌کشی دارد (Hussain et al., 2015; Li et al., 2017; Carocho et al., 2015)، لذا می‌توان از این گیاه جهت کشت مخلوط با گیاهان علوفه‌ای استفاده نمود. همچنین گزارش شده است که کاربرد ریحان در نظام کشت مخلوط همراه با لوبیا (*Phaseolus vulgaris*)، سبب کاهش رشد علف‌های هرز شده است (Alizadeh et al., 2010).

بیوچار به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک و به‌دلیل پتانسیل نگهداری آب و مواد غذایی و عدم آبشویی آن‌ها موجب افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود رشد گیاهان می‌شود (Fang et al., 2018; Munoz et al., 2016). کاربرد بیوچار دارای عملکرد متفاوتی بر روی گیاهان است و بستگی به نوع بیوچار، بافت خاک و شرایط آب و هوایی مختلف، عملکرد آن نیز متفاوت است، امّا به‌طور کلی، اثر بیوچار بر روی گیاهان مثبت گزارش شده است (Jeffery et al., 2017). به‌طور مثال، بیوچار باعث افزایش عملکرد کمّی و کیفی گیاهانی از جمله یولاف (*Avena sativa*) (Ochiai et al., 2021)، ذرت (Hale et al., 2020) و برنج (*Oryza sativa*) (Yin et al., 2017) شده است. نتایج تحقیقات بیانگر آن است که کاربرد بیوچار در ترکیب با سایر کودهای آلی (کمپوست و ورمی‌کمپوست) موجب افزایش عملکرد کمّی و کیفی گیاه چغندر (*Beta vulgaris*) شده است (Naser et al., 2020).

ورمی‌کمپوست دارای عناصرغذایی قابل‌دسترس مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول برای گیاه است و وجود عناصر مختلف کم-مصرف مانند آهن، روی، مس و منگنز از دیگر مزایای کود ورمی-کمپوست می‌باشد که موجب افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان می‌گردد (Lakhdar, 2009). از دیگر مزایای ورمی‌کمپوست پایداری منابع خاک، حفظ تولید در درازمدت، کاهش آلودگی محیط‌زیست و افزایش فعالیت بیولوژیکی خاک است (Demir, 2019). شواهد بسیاری مبنی بر اثر مثبت ورمی‌کمپوست بر رشد و عملکرد گیاهان مختلف مانند ذرت (Jjagwe et al., 2020)، گندم (*Triticum aestivum*) (Hafez et al., 2021) و سورگوم (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (Nohong et al., 2020) وجود دارد. تولید گیاهان دارویی در کشت مخلوط با گیاهان علوفه‌ای، یکی از راهکارهای مناسب جهت افزایش تولید علوفه و کاهش استفاده از داروهای شیمیایی برای دام‌ها است. ریحان علاوه‌بر خوش‌طعم شدن شیر، باعث افزایش شیر در دام‌های شیری می‌شود و شلغم علوفه‌ای، به علت داشتن پروتئین و خاصیت آنتی‌بیوتیکی، علوفه‌ای مناسب برای دام است. کاربرد کودهای آلی نیز باعث افزایش کیفیت محصولات از طریق افزایش مواد آلی خاک و تنفس خاک می‌شوند. اکثر مطالعات

صورت گرفته بر روی شلغم علوفه‌ای بر اساس سیستم تک‌کشتی این گیاه بوده و گزارشی مبنی بر کشت مخلوط این گیاه با یک گیاه دارویی (علوفه دارو) در دسترس نیست. لذا، تأثیر کشت مخلوط و نهاده‌های ارگانیک، بر عملکرد کیفی این گیاه حائز اهمیت است. پژوهش حاضر با هدف بررسی کیفیت برگ شلغم علوفه‌ای در نسبت-های مختلف کشت مخلوط با ریحان به همراه کاربرد بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک و کود آلی ورمی‌کمپوست اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به‌صورت دو ساله در طی سال-های (۱۳۹۸- ۱۳۹۷) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی ۵۱ درجه و ۶ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۳۱۳ متری از سطح دریا بر روی شلغم علوفه‌ای و ریحان اجرا شد. رقم شلغم علوفه‌ای PacFB05 بود. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از: کشت مخلوط (۱۰۰ درصد شلغم علوفه‌ای (تک‌کشتی)، ۹۰ درصد شلغم علوفه‌ای +۱۰ درصد ریحان، ۸۰ درصد شلغم علوفه‌ای+ ۲۰ درصد ریحان، ۷۰ درصد شلغم علوفه-ای + ۳۰ درصد ریحان) که در کرت‌های اصلی قرار داده شد، ورمی-کمپوست (۱۵ و ۱۸/۵ تن در هکتار) و بیوچار (عدم مصرف و پنج تن در هکتار) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند که قبل از کشت به خاک زراعی اضافه شدند. مقدار مصرف بیوچار بر اساس مقادیر توصیه شده به‌صورت ۱۰ درصد وزنی/وزنی و مقدار ورمی‌کمپوست براساس نیتروژن خالص مورد نیاز گیاه و ۲۵ درصد بیش از نیاز گیاه به‌کار برده شد. در این پژوهش از بیوچار پلاس[1] استفاده شد که منبع آن مجموعه‌ای از سرشاخه‌ها و چوب درختان جنگلی و ماهیت آن به-صورت سلولزی است و به‌روش گرماکافت[2] تهیه شد. بیوچار پلاس دارای پنج درصد رطوبت و کمتر از چهار درصد خاکستر است. به‌ازای هر ۱۰۰ گرم بیوچار پلاس، ۲۰۰ میلی‌لیتر جذب ید وجود دارد و جذب متیل‌بلو آن در حدود ۱۵- ۱۰ درصد و چگالی آن ۰/۳ درصد است. گیاهان در تیرماه (۱۳۹۷ و ۱۳۹۸)، به‌صورت همزمان کاشته شدند. تراکم شلغم علوفه‌ای ۱۲۰ هزار بوته در هکتار بود. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت صورت گرفت و دور آبیاری گیاهان هفته‌ای یک‌بار و به‌صورت غرقابی بود. خصوصیات ورمی‌کمپوست در جدول ۱ آورده و اطلاعات مربوط به هواشناسی نیز در طی دوره کشت گیاهان یادداشت شد (شکل ۱).

در این پژوهش، محتوای کلروفیل موجود در گیاه (کلروفیل a وb) و کل کلروفیل، کارتنوئید، شاخص پایداری غشا، محتوای رطوبت نسبی، قندهای محلول برگ، کاتالاز و تنفس خاک اندازه‌گیری شد. رنگیزه‌های فتوسنتزی بعد از انتقال برگ‌ها به آزمایشگاه به‌روش آرنون (Arnon, 1967) اندازه‌گیری و بعد از تهیه عصاره، میزان جذب نور توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر به‌ترتیب برای کلروفیل a و b و کارتنوئید قرائت گردید. میزان محتوای رطوبت نسبی از طریق معادله ۱ محاسبه شد (Ferrat & Loval, 1999).

معادله (۱) $$RWC= [Fw-DW]/[Sw-DW]\times100$$

که در آن، FW: وزن‌تر برگ، DW: وزن خشک برگ و SW: وزن اشباع برگ است. شاخص پایداری غشا از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت‌های برگ ارزیابی شد. برای این منظور، نمونه-ها هرکدام درون آب مقطر با حجم ۲۰ میلی‌لیتر منتقل و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. هدایت الکتریکی آب مقطر همراه نمونه به‌عنوان نشت اولیه اندازه‌گیری شد. نشت ثانویه نیز از طریق اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها پس از حرارت‌دادن آن‌ها به‌مدت دو دقیقه و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. شاخص پایداری غشا از طریق معادله ۲ محاسبه گردید (Bertin et al., 1996).

معادله (۲)

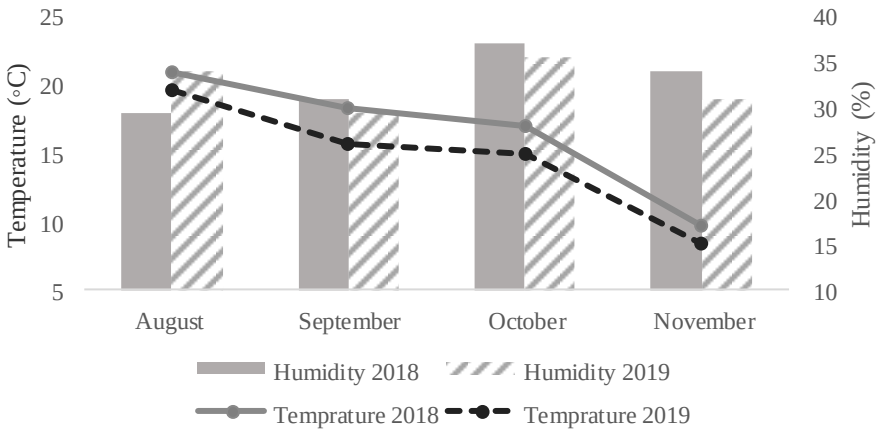
$$\text{Membrane Stability Index (MSI)} = [1- C_1/C_2]\times100$$

که در آن، MSI: شاخص پایداری غشا، C_1: نشت اولیه و C_2: نشت ثانویه است. برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز، از مخلوط واکنش که شامل بافر فسفات سدیم ۱۰۰ میلی‌مولار، (۷=اسیدیته)، H_2O_2 ۲۰ میلی‌مولار EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی استفاده شد. برای اندازه‌گیری میزان کل قندهای محلول در برگ نیز نمونه‌های خشک شده آسیاب شدند و پس از توزین، درون فالکون ریخته شده و مقدار ۱۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد به ارلن اضافه گردید و به‌مدت۲۰ ثانیه ورتکس شد. فالکون‌های حاوی عصاره به‌مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا اتانول آن‌ها تبخیر شد و به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰

1- Biochar plus
2- Pyrolysis

دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. مقدار دو میلی‌لیتر از عصاره فاز مایع پس از سانتریفیوژ برداشته شد و نمونه‌ها در اسپکتروفتومتر با طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت و منحنی استاندارد رسم شد و مقدار قند با قرار دادن اعداد در معادله خط به‌دست آمد (Sheligl, 1986).

فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از کاهش جذب H_2O_2 محاسبه گردید. واکنش با افزودن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در حجم نهایی سه میلی‌لیتر آغاز شد و تغییرات جذب در ۲۴۰ نانومتر به‌مدت سه دقیقه ثبت و فعالیت آنزیم به‌صورت تغییرات جذب در دقیقه به‌ازای وزن‌تر بیان شد (Dazy et al., 2008).



شکل ۱- نمودار اطلاعات هواشناسی در طی دو سال کشت (۱۳۹۸- ۱۳۹۷)

Fig. 1- Climatology curve (amberotermic graph) from August to November (2018-2019)

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ورمی‌کمپوست

Table 1- Physical and chemical properties of vermicompost

سال Year	رطوبت Humidity (%)	اسیدیته pH	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)	مواد آلی Organic matter (%)	کربن آلی Organic C (%)	کربن/نیتروژن C/N
2018	4.58	7.8	1.78	0.48	0.50	7.8	41.25	25.17	14.45
2019	4.06	7.6	1.63	0.43	0.55	7.5	40.18	22.89	13.22

به‌منظور اندازه‌گیری تنفس خاک، مقدار ۲۰ گرم از خاک هر نمونه داخل ظرفی ریخته شد. در ظرف دیگری ۱۰ میلی‌لیتر NaOH، دو مولار ریخته شد. هر دو ظرف را در یک ظرف بزرگ‌تر گذاشته شده و درب ظرف بزرگ بسته شده و نمونه‌ها به‌مدت ۲۰ روز در محیط تاریک و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. پس از آن، نمونه‌ها از ظرف خارج شد و با محلول NaOH، دو مولار تیتر شد و با استفاده از معادله ۳ تنفس خاک محاسبه گردید (Isermeyer, 1952).

معادله (۳)

$$\text{Soil Respiration} = 2.2 \times 100 \times (c\text{-}s)/Sw \times 100$$

که در آن، C: میزان اسید مصرفی برای شاهد، S: میزان اسید مصرفی برای نمونه، SW: وزن اولیه خاک مرطوب و ۲/۲: فاکتور تبدیل (یک میلی‌لیتر از HCl ۰/۱ مولار معادل ۲/۲ میلی‌گرم CO_2) می‌باشد. تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.4) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با احتمال خطای پنج درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر آن است که اثر سال، کشت مخلوط، بیوچار و ورمی‌کمپوست و برهم‌کنش سال × کشت مخلوط، کشت مخلوط × بیوچار، بیوچار × ورمی‌کمپوست و کشت مخلوط ×

ورمی‌کمپوست و همچنین برهم‌کنش کشت مخلوط × بیوچار × ورمی‌کمپوست در محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی دارای اثر معنی‌دار با احتمال خطای یک درصد بود (جدول ۲). بررسی‌های مقایسه میانگین نشان دادند که برهم‌کنش کشت مخلوط ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان × بیوچار × ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار موجب افزایش کلروفیل *a* ۱۴۸/۵۱ درصد، کلروفیل *b* ۱۳۰/۹۳ درصد، کلروفیل کل ۱۳۴/۴۸ درصد، کاروتنوئید ۲۱۴/۹۴ درصد، نسبت به شاهد (شلغم علوفه‌ای ۱۰۰ درصد (تک‌کشتی) × ورمی‌کمپوست ۱۵ تن در هکتار × عدم مصرف بیوچار) شد. با افزایش درصد ریحان در کشت مخلوط، رنگیزه‌های فتوسنتزی افزایش یافتند و کاربرد بیوچار نیز باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی شلغم علوفه‌ای شد. ورمی‌کمپوست در سطح ۱۸/۵ تن در هکتار در مقایسه با ۱۵ تن در هکتار عملکرد بهتری در افزایش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی شلغم علوفه‌ای داشت (جدول ۳). اثر سال در پژوهش حاضر معنی‌دار شد، به این مفهوم که سال زراعی اثر متفاوتی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی داشت و در سال دوم رنگیزه‌های فتوسنتزی بیشتر از سال اول بودند که می‌توان گفت به‌دلیل مساعد بودن شرایط آب و هوایی ناشی از درجه حرارات کمتر، در سال دوم این اتفاق حاصل شد که سبب رشد و فتوسنتز بهتر گیاهان گردید. بیوچار به‌دلیل پتانسیل خود (نگهداری آب و موادغذایی و مانع از آبشویی آن‌ها) باعث افزایش فراهمی آب و موادغذایی برای گیاه می‌گردد که همین امر منجر به افزایش فتوسنتز گیاه و در نتیجه، افزایش کلروفیل و کاروتنوئید برگ شلغم علوفه‌ای شد (Akhtar et al., 2015; Hammer et al., 2015). ورمی‌کمپوست به‌دلیل دارا بودن عناصر ریزمغذی موجب افزایش موادآلی خاک شده و قابلیت جذب روی، مس، آهن، فسفر، پتاسیم و نیتروژن خاک را افزایش می‌دهد. وجود این عناصر در خاک و جذب آن توسط ریشه‌ها سبب افزایش رشد رویشی و تولید برگ در گیاه می‌شود که باعث سطح جذب نوری، سطح فتوسنتزی، ساخته شدن مواد هیدروکربنی در برگ‌ها شده و رشد ناشی از آن نیز موجب افزایش میزان کلروفیل می‌شود. آهن از جمله عناصر موجود در ساختمان سیتوکروم است که در بیوسنتز کلروفیل نقش داشته و کاربرد ورمی‌کمپوست باعث افزایش این ریزمغذی‌ها می‌شود و جذب آن توسط گیاه افزایش می‌یابد (Theunissen et al., 2010). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کشت مخلوط اثر مطلوبی بر کلروفیل شلغم علوفه‌ای داشته و باعث افزایش مقدار کلروفیل نسبت به سیستم تک کشتی شد. محققین بیان کردند که کشت مخلوط ذرت و یونجه موجب افزایش کلروفیل ذرت در مرحله تشکیل دانه و شیری شدن نسبت به سیستم تک کشتی ذرت شده است (Naser et al., 2020)، که با نتایج حاصل از پژوهش فوق مطابقت داشت. دلیل افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در تیمارهای بیوچار در ترکیب با ورمی‌کمپوست را می‌توان این گونه توجیه نمود که بیوچار باعث جلوگیری از آبشویی نیتروژن شده و نیتروژن موجود در ورمی‌کمپوست را در اختیار گیاه قرار داده است که باعث ایجاد شرایط مناسب برای رشد گیاه شده و منجر به افزایش محتوای کلروفیل برگ شلغم علوفه‌ای شده است. در همین راستا، پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد بیوچار در ترکیب با ورمی‌کمپوست و کمپوست آلی به‌دلیل بهبود وضعیت تغذیه گیاه و همچنین افزایش دسترسی گیاه به مواد آلی موجود در خاک، به‌میزان قابل توجهی منجر به افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه چغندر شده است (Libutti et al., 2020).

کشت مخلوط با ریحان سبب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی شد که علت آن را می‌توان سایه‌اندازی گیاهان بر روی یکدیگر و در نهایت، جذب بهتر نیتروژن و کاهش تبخیر آب را عنوان کرد که موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود (Wu et al, 2020). علاوه‌براین، کلروفیل *a* یکی از مهم‌ترین رنگدانه‌های فتوسنتزی است. در این پژوهش، کشت مخلوط کشت مخلوط ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان، محتوی کلروفیل *a* را به‌مقدار ۱۳/۴۲ درصد بیشتر از محتوی کلروفیل *b* افزایش داده است، که در پی افزایش آن، به‌طور قابل توجهی فتوسنتز می‌یابد. افزایش کاروتنوئید در کشت مخلوط را می‌توان به این صورت بیان کرد که کارتنوئیدها برای محافظت از کلروفیل و فتوسنتز بیشتر گیاه، تولید شده‌اند (Dias et al., 2013).

شاخص پایداری غشا و رطوبت نسبی برگ

اثر کشت مخلوط، بیوچار و ورمی‌کمپوست و برهم‌کنش کشت مخلوط × بیوچار، کشت مخلوط × ورمی‌کمپوست و بیوچار × ورمی‌کمپوست با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود و برهم‌کنش کشت مخلوط × بیوچار × ورمی‌کمپوست در شاخص پایداری غشا و رطوبت نسبی برگ در احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۴). با افزایش درصد ریحان در کشت مخلوط و همچنین با افزایش مقدار ورمی‌کمپوست و کاربرد بیوچار، شاخص پایداری غشا ۱۹۲/۱۶ درصد کاهش یافت (جدول ۵).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات کشت مخلوط شلغم علوفه‌ای و ریحان، ورمی‌کمپوست و بیوچار بر صفات رنگیزه‌های فتوسنتزی شلغم علوفه‌ای

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of intercropping of forage turnip and basil, vermicompost, and biochar for photosynthetic pigment traits of forage turnip

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	کلروفیل *a* Chlorophyll *a*	کلروفیل *b* Chlorophyll *b*	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid
سال Year (y)	1	35.98**	79.74**	57.11**	84.62**
تکرار (سال) Block (y)	4	19.6	18.13	16.17	19.03
کشت مخلوط Intercropping (a)	3	132.41**	148.78**	127.39**	176.58**
y×a	3	95.73**	108.67**	115.20**	106.14**
خطای کرت اصلی Error a	12	14.85	15.37	13.19	14.63
بیوچار Biochar (b)	1	83.81**	98.20**	104.32**	115.20**
y×b	1	2.09^{ns}	1.54^{ns}	3.72^{ns}	2.85^{ns}
ورمی کمپوست Vermicompost (c)	1	126.15**	153.80**	112.67**	148.91**
y×c	1	3.10^{ns}	1.84^{ns}	2.91^{ns}	2.73^{ns}
a×b	3	321.54**	243.12**	94.85**	136.76**
y×a×b	3	4.53^{ns}	5.21^{ns}	3.72^{ns}	3.98^{ns}
a×c	3	174.38**	456.74**	111.95**	165.73**
y×a×c	3	10.52^{ns}	9.71^{ns}	8.64^{ns}	11.58^{ns}
b×c	1	98.65**	101.53**	108.44**	89.73**
y×b×c	1	11.22^{ns}	15.94^{ns}	17.01^{ns}	10.53^{ns}
a×b×c	3	486.25**	597.18**	326.70**	259.48**
y×a×b×c	3	18.22^{ns}	16.73^{ns}	9.48^{ns}	12.84^{ns}
خطای کرت فرعی Error b	48	12.09	14.21	10.83	13.34
ضریب تغییرات C.V (%)		8.24	6.53	6.09	7.82

**: معنی‌دار با احتمال خطای یک درصد، ns: فاقد اثر معنی‌داری

**: Significant at $p \leq 0.01$, ns: no significance

در بررسی رطوبت نسبی برگ مشاهده شد که کاربرد کشت مخلوط در مقایسه با سیستم تک‌کشتی شلغم علوفه‌ای و همچنین کاربرد ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار توأم با بیوچار، سبب افزایش ۵۰/۳۱ درصدی رطوبت نسبی برگ نسبت به شاهد شد، به‌طوری‌که بیشترین مقدار رطوبت نسبی برگ به‌مقدار (۷۵/۶۴ درصد) مربوط به برهم‌کنش ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار × بیوچار × کشت مخلوط ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان بوده است (جدول ۵). با کاهش شاخص پایداری غشا، رطوبت نسبی برگ افزایش یافت و بیوچار با فراهمی آب در دسترس گیاه موجب افزایش رطوبت نسبی برگ شد که نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج پژوهش ترابیان و همکاران (Torabian et al., 2018) مطابقت داشت. آن‌ها بیان کردند که بیوچار باعث افزایش عملکرد و رطوبت نسبی برگ ماش شده است. سایر محققین گزارش کردند که استفاده از کود آلی به‌علت بهبود ساختمان خاک و حفظ آب ثقلی باعث ایجاد محیطی مناسب جهت رشد گیاه شده و آب قابل دسترس بیشتری را در اختیار گیاه قرار داده و در نتیجه، سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ می‌گردد. از طرفی دیگر، کاربرد بیوچار و همچنین ورمی-کمپوست منجر به افزایش دسترسی گیاه به آب می‌شود که با افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، گیاه کمتر با کم آبی مواجه شده که موجب افزایش رطوبت نسبی برگ و کاهش شاخص پایداری غشا در گیاه می‌شود (Rajaie et al., 2015). محققین علت افزایش رطوبت نسبی برگ در کشت مخلوط را افزایش آب موجود در برگ گیاهان توسط سایه‌اندازی گیاهان بر روی یکدیگر عنوان کرده‌اند (Wu et al., 2020).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل کشت مخلوط شلغم علوفه‌ای و ریحان ، ورمی‌کمپوست و بیوچار بر صفات رنگیزه‌های فتوسنتزی شلغم علوفه‌ای

Table 3- Mean of comparison of intercropping of forage turnip and basil, vermicompost and biochar on photosynthetic pigments of forage turnip

تیمارها Treatments			کلروفیل *a* chlorophyll *a* (mg.g^{-1} FW)	کلروفیل *b* chlorophyll *b* (mg.g^{-1} FW)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg.g^{-1} FW)	کاروتنوئید Carotenoid (mg.g^{-1} FW)
کشت مخلوط Intercropping	ورمی کمپوست Vermicompost (ton.ha^{-1})	بیوچار Biochar (ton.ha^{-1})				
۷۰٪ شلغم علوفه‌ای + ۳۰٪ ریحان 70% Forage turnip + 30% basil	18.5	5	17.52^{a*}	8.36^{a}	26.38^{a}	6.11^{a}
		بدون مصرف No consumption	12.83^{c}	6.43^{c}	19.74^{c}	4.48^{c}
	15	5	12.75^{c}	6.64^{c}	19.80^{c}	4.39^{c}
		بدون مصرف No consumption	11.14^{d}	5.03^{d}	16.28^{d}	3.54^{d}
۸۰٪ شلغم علوفه‌ای + ۲۰٪ ریحان 80% Forage turnip + 20% basil	18.5	5	14.97^{b}	7.41^{b}	20.69^{b}	5.76^{b}
		بدون مصرف No consumption	12.80^{c}	6.58^{c}	19.57^{c}	4.32^{c}
	15	5	12.76^{c}	6.52^{c}	19.79^{c}	4.43^{c}
		بدون مصرف No consumption	10.98^{d}	5.28^{d}	16.41^{d}	3.61^{d}
۹۰٪ شلغم علوفه‌ای+ ۱۰٪ ریحان 90% Forage turnip + 10% basil	18.5	5	14.84^{b}	7.49^{b}	19.77^{c}	5.84^{b}
		بدون مصرف No consumption	10.30^{d}	5.18^{d}	16.34^{d}	3.48^{d}
	15	5	8.31^{e}	4.55^{e}	13.46^{e}	2.95^{e}
		بدون مصرف No consumption	8.39^{e}	4.40^{e}	13.23^{e}	2.92^{e}
۱۰۰٪ شلغم علوفه‌ای 100% Forage turnip	18.5	5	11.26^{d}	5.12^{d}	16.30^{d}	3.57^{d}
		بدون مصرف No consumption	8.28^{e}	4.48^{e}	13.34^{e}	2.79^{e}
	15	5	8.43^{e}	4.53^{e}	13.48^{e}	2.83^{e}
		بدون مصرف No consumption	7.05^{f}	3.62^{f}	11.25^{f}	1.94^{f}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد)

* Means in a column and a treatment followed by the same letter are not significantly different at 5% level.

قندهای محلول

براساس نتایج به‌دست آمده، اثر کشت مخلوط، بیوچار و ورمی-کمپوست و برهم‌کنش کشت مخلوط × بیوچار، کشت مخلوط × ورمی‌کمپوست و بیوچار × ورمی‌کمپوست و همچنین برهم‌کنش کشت مخلوط × بیوچار × ورمی‌کمپوست در قندهای محلول با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). استفاده از ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار در مقایسه با ورمی‌کمپوست ۱۵ تن در هکتار و کاربرد بیوچار و همچنین کشت مخلوط در مقایسه با سیستم تک-کشتی شلغم علوفه‌ای موجب افزایش۸۹/۲۶ درصد قندهای محلول در برگ شلغم علوفه‌ای شد (جدول ۵). نقش قندها به‌عنوان پیش‌ماده تولید مواد کربنی و انرژی شناخته شده است. قندهای محلول یکی از مهم‌ترین اجزای تعیین‌کننده کیفیت علوفه هستند که وظیفه آن‌ها، فراهم کردن انرژی برای ریزجانداران داخل شکمبه دام است و حفظ سلامت دستگاه گوارش دام را برعهده دارند (Ehteshami et al., 2011). در گیاهان، قندها طی فرآیند فتوسنتز تولید می‌شوند و ورمی-کمپوست به‌دلیل داشتن مواد هیومیکی و هورمون‌های رشد، سبب افزایش فتوسنتز گیاه شده و منجر به افزایش تولید قند در تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست شده است (Ramnarain et al., 2018). از طرف دیگر، ترکیب ورمی‌کمپوست و بیوچار باعث افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن شده و حفظ مواد آلی موجود در ورمی‌کمپوست توسط بیوچار نیز شرایط مناسب‌تری را برای بهبود تغذیه گیاه شلغم علوفه‌ای و افزایش فتوسنتز این گیاه فراهم آورده و سبب افزایش قند موجود در برگ این گیاه شده است (Libutti et al., 2020). نتایج حاصل از پژوهش فوق با پژوهش سایر محققان مطابقت داشت (Roumani et al., 2015). آن‌ها بیان کردند که بیشترین درصد قندهای محلول را در گیاه شلغم علوفه‌ای مربوط به کاربرد ریزجانداران در تلفیق با کودهای آلی بوده است. کاهش قندهای محلول باعث کاهش مواد مغذی مورد نیاز برای رشد گیاه می‌شود و کشت مخلوط به‌دلیل استفاده بهتر گیاهان از مواد آلی موجود در خاک سبب افزایش قندهای محلول شده است (Dai et al., 2018).

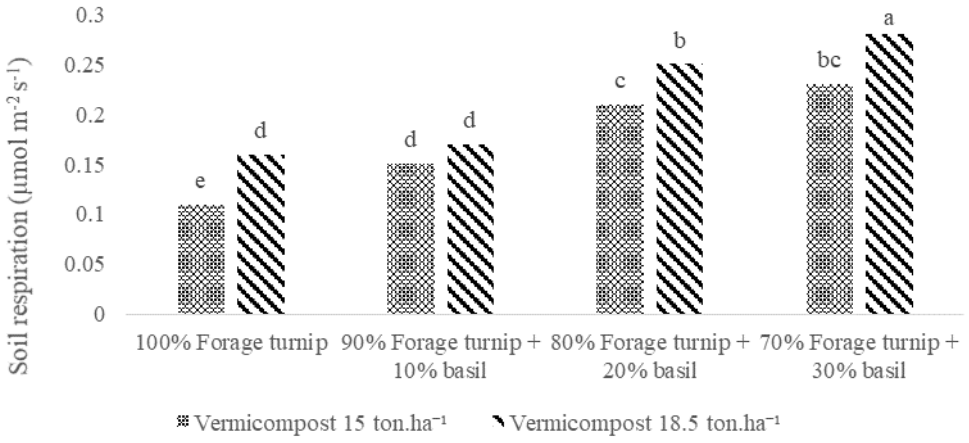
فعالیت آنزیم کاتالاز

نتایج بیانگر آن است که اثر کشت مخلوط، بیوچار و ورمی-کمپوست و برهم‌کنش کشت مخلوط × بیوچار، کشت مخلوط × ورمی‌کمپوست و بیوچار × ورمی‌کمپوست و همچنین برهم‌کنش کشت مخلوط × بیوچار × ورمی‌کمپوست با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان دادند که کاربرد بیوچار و استفاده از ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار در مقایسه با ورمی‌کمپوست ۱۵ تن در هکتار منجر به افزایش کاتالاز شده است، از طرفی، کشت مخلوط در مقایسه با سیستم تک‌کشتی شلغم علوفه‌ای موجب افزایش ۲۰۰ درصدی کاتالاز شد و با افزایش درصد ریحان، کاتالاز نیز افزایش یافت. بیشترین مقدار کاتالاز برگ شلغم علوفه‌ای مربوط به ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار × بیوچار × کشت مخلوط ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان (µicromole $FW.min^{-1}$) ۰/۰۱۸ بوده است (جدول ۵). افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر رادیکال‌های آزاد می‌باشد. از آنجایی که ورمی‌کمپوست دارای عناصر ریزمغذی با قابلیت جذب زیاد می‌باشد و این عناصر، به‌ویژه آهن و روی، در ساختار آنزیم شرکت دارند، می‌توان افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز را با افزایش و بهبود جذب این عناصر توسط گیاه مرتبط دانست. از طرفی دیگر، ورمی‌کمپوست با داشتن مواد هومیک و برخی هورمون‌ها، از جمله اسید آبسزیک، اکسین و سیتوکینین‌ها می‌توانند در افزایش فعالیت کاتالاز مؤثر باشد و بیوچار نیز با نگهداری آب و موادغذایی برای گیاه، این امر را میسر می‌کند و همچنین کشت مخلوط به‌دلیل رقابت گیاهان در استفاده از مواد آلی خاک سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شده است (Dragicevic et al., 2015; Shubha et al., 2011; Hale et al., 2020). کاربرد بیوچار سبب افزایش کاتالاز برگ شلغم علوفه‌ای شد و نتایج پژوهش فوق با نتایج ترابیان و همکاران (Torabian et al., 2018) بر روی گیاه ماش (*Vigna radiata*) مطابقت داشت.

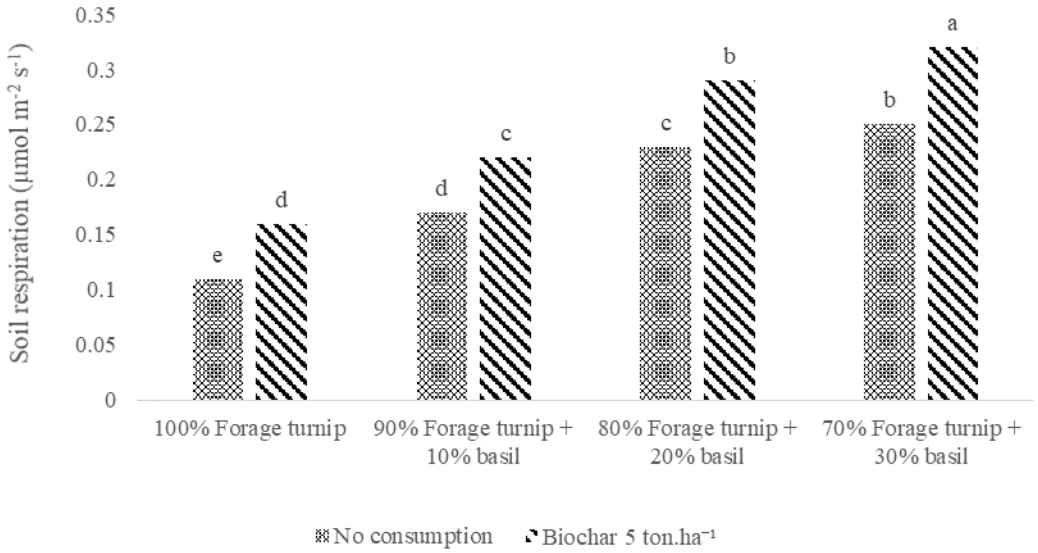
تنفس خاک

اثر کشت مخلوط، بیوچار و ورمی‌کمپوست و برهم‌کنش کشت مخلوط × بیوچار، کشت مخلوط × ورمی‌کمپوست و بیوچار × ورمی-کمپوست با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین ورمی‌کمپوست و کشت مخلوط نشان داد که کشت مخلوط در مقایسه با سیستم تک کشتی شلغم علوفه‌ای منجر به افزایش تنفس خاک شده و با افزایش درصد ریحان، تنفس خاک نیز

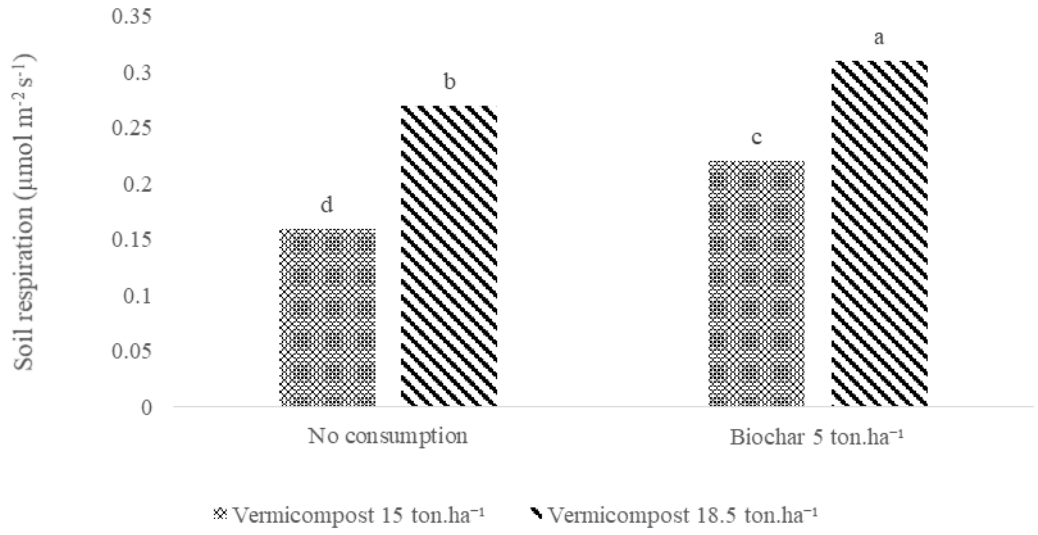
افزایش یافته است. علاوه‌براین، استفاده از ورمی‌کمپوست ۱۸/۵تن در هکتار در مقایسه با ورمی‌کمپوست ۱۵ تن در هکتار موجب افزایش تنفس خاک شد. بیشترین مقدار تنفس خاک مربوط به برهم‌کنش ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار × کشت مخلوط ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان به‌مقدار ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$) ۰/۲۸ بود که موجب افزایش تنفس خاک ۱۵۴/۵۴ درصد نسبت به نظام تک‌کشتی × ورمی‌کمپوست ۱۵ تن در هکتار شد (شکل ۲). در برهم‌کنش کشت مخلوط و بیوچار نیز با افزایش درصد ریحان و همچنین با کاربرد بیوچار، تنفس خاک افزایش یافت. بیشترین مقدار تنفس خاک مربوط به برهم‌کنش بیوچار × کشت مخلوط ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان به‌مقدار ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$) ۰/۳۲ بود و افزایش ۱۹۰/۹۰ درصدی را نسبت به شاهد داشت (شکل ۳). بررسی برهم‌کنش بیوچار و ورمی‌کمپوست بیانگر آن است که کاربرد بیوچار و همچنین ورمی-کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار در مقایسه با ورمی‌کمپوست ۱۵ تن در هکتار باعث افزایش تنفس خاک شد. بیشترین مقدار تنفس خاک مربوط به برهم‌کنش ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار × بیوچار به مقدار ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$) ۰/۳۱ بود و سبب افزایش این شاخص ۹۳/۷۵ درصد نسبت به عدم مصرف بیوچار و ورمی‌کمپوست ۱۵ تن در هکتار شد (شکل ۴).



شکل ۲- اثر متقابل کشت مخلوط شلغم علوفه‌ای و ریحان و ورمی‌کمپوست بر تنفس خاک
Fig. 2- Interaction effects of intercropping and vermicompost on soil respiration



شکل ۳- اثرات متقابل کشت مخلوط شلغم علوفه‌ای و ریحان و بیوچار بر تنفس خاک
Fig. 3- Interaction effects of intercropping and biochar on soil respiration



شکل ٤- اثرات متقابل ورمی‌کمپوست و بیوچار بر تنفس خاک

Fig. 4- Interactions of vermicompost and biochar on soil respiration

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات کشت مخلوط شلغم علوفه‌ای و ریحان، ورمی کمپوست و بیوچار بر تراوایی غشا، رطوبت نسبی برگ، قندهای محلول، فعالیت آنزیم کاتالاز شلغم علوفه‌ای و تنفس خاک

Table 4- Analysis of variance (means of squares) of intercropping of forage turnip and basil, vermicompost and biochar for membrane stability index, relative water content (RWC), soluble sugars, catalase activity of forage turnip and soil respiration

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	شاخص پایداری غشا Membrane stability index	رطوبت نسبی برگ RWC	قندهای محلول Soluble sugars	فعالیت آنزیم کاتالاز Catalase activity	تنفس خاک Soil respiration
سال Year (y)	1	10.09^{ns}	15.64 ^{ns}	1.58 ^{ns}	0.24^{ns}	5/09 ^{ns}
تکرار (سال) Block (y)	4	16.84	23.47	9.75	0.97	6.18
کشت مخلوط Intercropping (a)	3	164.72**	102.24**	248.72**	3.07**	3.49**
y×a	3	4.85^{ns}	12.32 ^{ns}	3.64 ^{ns}	1.02 ^{ns}	1.37 ^{ns}
خطای کرت اصلی Error a	12	12.17	16.55	7.34	1.84	4.19
بیوچار Biochar (b)	1	463.73**	325.97**	112.74**	1.18**	6.32**
y×b	1	3.19 ^{ns}	10.95 ^{ns}	2.78 ^{ns}	0.82 ^{ns}	3.72 ^{ns}
ورمی کمپوست Vermicompost (c)	1	187.19**	126.85**	135.62**	197.32**	10.35**
y×c	1	2.48^{ns}	10.21^{ns}	1.42^{ns}	3.95^{ns}	1.72^{ns}
a×b	3	176.02**	421.10**	87.95**	177.42**	194.75**
y×a×b	3	4.68^{ns}	6.75^{ns}	5.92^{ns}	1.03^{ns}	1.92^{ns}
a×c	3	198.03**	365.79**	131.95**	125.73**	9.64**
y×a×c	3	5.02^{ns}	11.97^{ns}	3.07^{ns}	1.23^{ns}	1.18^{ns}
b×c	1	85.17**	164.42**	197.40**	36.18**	68.21**
y×b×c	1	7.15^{ns}	11.83^{ns}	5.32^{ns}	0.01^{ns}	1.14^{ns}
a×b×c	3	98.66*	145.74*	116.35**	99.68**	19.35**
y×a×b×c	3	5.93^{ns}	11.87^{ns}	6.21^{ns}	0.97^{ns}	2.04^{ns}
خطای کرت فرعی Error b	48	8.67	13.94	7.29	1.65	3.84
ضریب تغییرات C.V (%)		5.30	8.43	5.87	3.72	6.49

,*,: به‌ترتیب معنی‌دار با احتمال خطای یک و پنج درصد و ns: فاقد اثر معنی‌داری

**, *: Significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$ respectively and ns: no significance ($P \leq 0.05$)

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل کشت مخلوط شلغم علوفه‌ای و ریحان، ورمی‌کمپوست و بیوچار بر تراوایی غشا، رطوبت نسبی برگ، قندهای محلول و فعالیت آنزیم کاتالاز

Table 5- Mean comparison of intercropping of forage turnip and basil, vermicompost and biochar on for membrane stability index, relative water content (RWC), soluble sugars, catalase activity

تیمارها Treatments			شاخص پایداری غشا Membrane stability index ($mol.ml^{-1}.s^{-1}$)	رطوبت نسبی برگ RWC (%)	قندهای محلول Soluble sugars ($mg.g^{-1}$ FW)	فعالیت آنزیم کاتالاز Catalase activity ($\mu mole\ FW.min^{-1}$)
کشت مخلوط Intercropping	ورمی کمپوست Vermicompost	بیوچار Biochar				
۷۰٪ شلغم علوفه‌ای + ۳۰٪ ریحان 70% Forage turnip + 30% basil	18.5 ($ton.ha^{-1}$)	5 ($ton.ha^{-1}$)	1.66[f*]	75.64[a]	3.88[a]	0.018[a]
		بدون مصرف No consumption	2.74[d]	70.78[b]	3.62[b]	0.015[b]
	15 ($ton.ha^{-1}$)	5 ($ton.ha^{-1}$)	4.06[b]	79.31[b]	3.28[c]	0.01[d]
		بدون مصرف No consumption	4.09[b]	53.45[f]	3.16[c]	0.01[d]
۸۰٪ شلغم علوفه‌ای + ۲۰٪ ریحان 80% Forage turnip + 20% basil	18.5 ($ton.ha^{-1}$)	5 ($ton.ha^{-1}$)	2.09[e]	69.87[b]	3.57[b]	0.013[c]
		بدون مصرف No consumption	2.70[d]	66.98[bc]	3.38[bc]	0.011[d]
	15 ($ton.ha^{-1}$)	5 ($ton.ha^{-1}$)	2.85[d]	63.65[c]	3.17[c]	0.009[e]
		بدون مصرف No consumption	4.15[b]	54.22[f]	2.51[d]	0.006[f]
۹۰٪ شلغم علوفه‌ای+ ۱۰٪ ریحان 90% Forage turnip + 10% basil	18.5 ($ton.ha^{-1}$)	5 ($ton.ha^{-1}$)	2.69[d]	70.66[b]	3.41[bc]	0.012[c]
		بدون مصرف No consumption	3.10[c]	68.21[b]	3.06[c]	0.009[e]
	15 ($ton.ha^{-1}$)	5 ($ton.ha^{-1}$)	3.15[c]	64.98[c]	2.55[d]	0.008[e]
		بدون مصرف No consumption	4.12[b]	53.22[f]	2.47[d]	0.007[f]
۱۰۰٪ شلغم علوفه‌ای 100% Forage turnip	18.5 ($ton.ha^{-1}$)	5 ($ton.ha^{-1}$)	2.14[e]	60.43[d]	2.93[c]	0.013[c]
		بدون مصرف No consumption	3.11[c]	56.68[e]	2.45[d]	0.009[e]
	15 ($ton.ha^{-1}$)	5 ($ton.ha^{-1}$)	4.08[b]	53.44[f]	2.27[e]	0.007[f]
		بدون مصرف No consumption	4.85[a]	50.32[g]	2.05[f]	0.006[g]

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد)

* Means in a column and a treatment followed by the same letter are not significantly different at 5% level.

نتایج حاصل از پژوهش حاضر با پژوهش سایر محققان مطابقت داشت(Sheng & Zhu, 2018)، آن‌ها گزارش کردند که بیوچار باعث افزایش تنفس خاک و افزایش زیست‌توده میکروبی خاک شده است. تنفس بیشتر در خاک‌های تیمار شده با بیوچار ممکن است به‌دلیل خاصیت ارگانیک بودن بیوچار می‌باشد که محیط را برای انتشار باکتری‌های بیشتر فراهم می‌کند (Zheng et al., 2018). کشت مخلوط باعث افزایش تنفس خاک شده است که عمدتاً از طریق تأثیر مثبت ریشه گیاهان است (Mariotti et al., 2009).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر آن است که کاربرد ورمی کمپوست با سطح ۱۸/۵ تن در هکتار موجب افزایش کیفیت برگ شلغم علوفه‌ای و تنفس خاک نسبت به سطح ۱۵ تن در هکتار شده است. افزودن ورمی‌کمپوست در خاک، به‌دلیل افزایش مواد آلی خاک، شرایط ایده‌آلی را برای فعالیت ریزجانداران خاک ایجاد کرده و موجب افزایش تنفس خاک شده است. با افزایش تنفس خاک و وجود عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف موجود در ورمی‌کمپوست و همچنین نگهداری آب توسط ورمی‌کمپوست، موجب فراهمی آب و مواد غذایی برای شلغم علوفه‌ای شده و کیفیت برگ این گیاه را افزایش داده است. علاوه‌براین، کاربرد بیوچار، به‌دلیل پتانسیل خود جهت نگهداری آب و مواد غذایی، مانع از آبشویی نیتروژن شد و با افزایش دسترسی گیاه به مواد غذایی پرمصرف و کم‌مصرف، عملکرد کیفی برگ شلغم علوفه‌ای را افزایش داد. بیوچار به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک موجب افزایش کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک شده که این امر منجر به افزایش تنفس خاک، نسبت به عدم مصرف آن شده است. بهترین نسبت کاشت۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان بوده است که می‌توان گفت به‌دلیل افزایش درصد ریحان و رقابت گیاهان برای استفاده بهتر از منابع رشدی مانند نور، آب و مواد غذایی صورت گرفته است و از طرف دیگر، ریحان به‌دلیل وجود مواد عطری، خاصیت دورکنندگی حشرات و آفات را برای گیاه همراه خود دارد، که همین دلیل سبب افزایش کیفیت برگ شلغم علوفه‌ای شد. کاربرد توأم ورمی‌کمپوست ۱۸/۵ تن در هکتار، بیوچار پنج تن در هکتار و نسبت کاشت ۷۰ درصد شلغم علوفه‌ای + ۳۰ درصد ریحان، بهترین تیمار این پژوهش بوده و قابل توصیه است.

References

1. Ahmadnia, F., Ebadi, A., Hashemi, M., & Ghavidel, A. (2020). Investigating the short time effect of cover crops on physical and biological properties of soil. *Journal of Water and Soil Conservation*, *26*(6), 277-290. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22069/JWSC.2019.16172.3145
2. Akhtar, S.S., Andersen, M.N., & Liu, F. (2015). Residual effects of biochar on improving growth physiology and yield of wheat under salt stress. *Agricultural Water Management*, *158*, 61–68. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.04.010
3. Alizadeh, Y., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2010). Investigating of growth characteristic, yield, yield components and potential weed control in intercropping of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and vegetative sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agroecology*, *2*(3), 383-397. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/JAG.V2I3.7652
4. Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Journal of Agronomy*, *23*, 112-121.
5. Asadi, S., Rezaei-chiyaneh, E., & Amirnia. R. (2020). Evaluation of ecophysiological characteristics of row intercropped linseed (*Linum usitatissimum* L.) with chickpea (*Cicer arietinum* L.) affected as fertilizer sources under dry land conditions. *Journal of Agroecology*, *12*(2), 241-264. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/JAG.V12I2.75309
6. Ayres, L. (2002). Forage brassicas: Quality crops for livestock production. *Journal of New South Wales Agriculture*, *2*, 1-13.
7. Badakhshan, S., Amiri-Nejad, M., Tohidi-Nejad, E., & Parsa Motlagh, B. (2021). Evaluation of yield and quality forage in intercropping tepary bean (*Phaseolus acutifolus* L. Gray) and millet cultivars. *Journal of Agroecolog*, *13*(2), 291-305. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/jag.v13i2.83847
8. Bertin, P., Bouharmont, J., & Kinet, J.M. (1996). Soma clonal variation and improvement in chilling tolerance in rice. *Journal of Plant Breeding*, *115*, 268-273.
9. Carocho, M., Barros, L., Calhelha, R.C., Ciric, A., Sokovic, M., Santos-Buelga, C., Morales, P., & Ferreira

Isabel, C.F.R. (2015). Potential of basil (*Ocimum basilicum* L.) as bioactive ingredient and natural preserver. 5th MoniQA International Conference, Porto, Portugal.

10. Cong, W.F., Hoffland, E., Li, L., Six, J., Sun, J.H., Bao, X.G., Zhang, F., & Vander Werf, W. (2015). Intercropping enhances soil carbon and nitrogen. *Journal of Global Change Biological*, *21*, 1715–1726.
11. Dai, J., Qiu, W., Wang, N., Nakanishi, H., & Zuo, Y. (2018). Comparative transcriptomic analysis of the roots of intercropped peanut and maize reveals novel insights into peanut iron nutrition. *Journal of Plant Physiological Biochemistry*, *127*, 516–524. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.04.024.
12. Dazy, M., Jung, V., Ferard, J., & Masfaraud, J. (2008). Ecological recovery of vegetation on a coke-factory soil: Role of plant antioxidant enzymes and possible implication in site restoration. *Journal of Chemosphere*, *74*, 57-63.
13. Demir, Z. (2019). Effects of vermicompost on soil physicochemical properties and lettuce (*Lactuca sativa* var. *Crispa*) yield in greenhouse under different soil water regimes. *Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *50*(17), 2151-2168. https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1654508
14. Dias, M.C., Monteiro, C., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., Gonc¸alves, B., & Santos, C. (2013). Cadmium toxicity affects photosynthesis and plant growth at different levels. *Journal of Acts Physiologic Plant*, *35*(4), 1281–1289.
15. Dragicevic, V., Oljaca, S., Stojiljkovic, M., Simic, M., Dolijanovic, Z., & Kravic, N. (2015). Effect of the maize-soybean intercropping system on the potential bioavailability of magnesium, iron and zinc. *Journal of Crop Pasture Science*, *66*, 1118–1127. https://doi.org/10.1071/CP14211
16. Ehteshami, S.M.R., Ebrahimi, P., & Zand, B. (2011). Investigation of quantitative and qualitative characteristics of silage corn genotypes in Varamin region. *Journal of Crop Production*, *5*(4), 19-38. (In Persian with English Summary)
17. Fang, J., Zhan, L., Ok, Y.S., & Gao, B. (2018). Mini review of potential applications of hydro char derived from hydrothermal carbonization of biomass. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, *57*, 15–21. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.08.026
18. Ferrat, I.L., & Loval, C.J. (1999). Relation between relative water content, nitrogen pools, and growth of *P. vulgaris* and *P. acutifolius* during water deficit. *Journal of Crop Science*, *39*, 467-474.
19. Hafez, E.M., Omara, A.E.D., Alhumaydhi, F.A., & El-Esawi, M.A. (2021). Minimizing hazard impacts of soil salinity and water stress on wheat plants by soil application of vermicompost and biochar. *Journal of Physiological Plantarum*, *172*, 587–602.. https://doi.org/10.1111/ppl.13261
20. Hale, S.E., Nurrida, N.L., Jubaedah, Mulder, J., Sormo, E., Silvani, L., Abiven, S., Joseph, S., Taherymoosavi, S., & Cornelissen, G. (2020). The effect of biochar, lime and ash on maize yield in a long-term field trial in an Ultisol in the humid tropics. *Journal of Science of the Total Environment*, *719*, 137455. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137455.
21. Hammer, E.C., Forstreuter, M., Rillig, M.C., & Kohler, J. (2015). Biochar increases arbuscular mycorrhizal plant growth enhancement and ameliorates salinity stress. *Journal of Applied Soil Ecology*, *96*, 114–121.
22. Himmelstein, J., Ares, A., Gallagher, D., & Myers, J. (2017). A meta-analysis of intercropping in Africa: Impacts on crop yield, farmer income, and integrated pest management effects. *International Journal of Agricultural Sustainability*, *15*, 1–10. https://doi.org/10.1080/14735903.2016.1242332
23. Hussain, S.A., Panjagari, N.R., Singh, R.R.B., & Patil, G.R. (2015). Potential herbs and herbal nutraceuticals: Food applications and their interactions with food components. *Journal of Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *55*, 94–122.
24. Isermeyer, H. (1952). A simple method for determining soil formation and carbonates in soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *56*, 26-38.
25. Jeffery, S., Abalos, D., Prodana, M., Bastos, A.C., van Groenigen, J.W., Hungate, B.A., & Verheijen, F. (2017). Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Journal of Environmental Research Letter*, *12*, 053001.
26. Jjagwe, J., Chelimo, K., Karungi, J., Komakech, A.J., & Lederer, J. (2020). Comparative performance of organic fertilizers in maize (*Zea mays* L.) growth, yield, and economic results. *Journal of Agronomy*, *10*(1), 69-92. https://doi.org/10.3390/agronomy10010069
27. Lakhdar, A., Rabhi, M., Ghnaya, T., Montemurro, F., Jedidi, N., & Abdelly, C. (2009). Effectiveness of

compost use in salt-affected soil. *Journal of Hazardous Materials, 171*, 29-37.
28. Li, L., Tilman, D., Lambers, H., & Zhang, F.S. (2014). Plant diversity and over yielding: Insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture. *Journal of New Physiologist, 203*, 63–69.
29. Li, H., Ge, Y., Luo, Z., Zhou, Y., Zhang, X., Zhang, J., & Fu, Q. (2017). Evaluation of the chemical composition, antioxidant and anti-inflammatory activities of distillate and residue fractions of sweet basil essential oil. *Journal of Food Science Technology, 54*, 1882–1890.
30. Libutti, A., Trotta, V., & Rita Rivelli, A. (2020). Biochar, vermicompost, and compost as soil organic amendments: Influence on growth parameters, nitrate and chlorophyll content of Swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. *cycla*). *Journal of Agronomy*, *346*(10), 1-18. https://doi.org/10.3390/agronomy10030346
31. Lopes, T., Hatt, S., Xu, Q., Chen, J., Liu, Y., & Francis, F. (2016). Wheat (*Triticum aestivum* L.)-based intercropping systems for biological pest control. *Journal of Pest Management Science, 72*, 2193–2202.
32. Mariotti, M., Masoni, A., Ercoli, L., & Arduini, I. (2009). Above- and below-ground competition between barley, wheat, lupin and vetch in a cereal and legume intercropping system. *Journal of Grass Forage Science, 64*, 401–412.
33. Munoz, C., Gongora, S., & Zagal, E. (2016). Use of biochar as a soil amendment: A brief review. *Journal of Chilean Agricultural and Animal Sciences, 32*, 37–47.
34. Naser, J., Shaho, Z., Arshad, A., Jones, F.G., Liu, S., Li, C., Zubair Khan, M., Khan, T., Kalunguzya Banda, J.S., Zhou, X., & Gao, Q. (2020). The effect of maize-alfalfa intercropping on the physiological characteristics, Nitrogen uptake and yield of Maize. *Journal of Plant Biology, 22*(6), 1140-1149.
35. Nohong, B., Rinduwati, M., & Yusuf, M. (2020). Influence of different vermicompost levels on growth, yield and quality of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Digital meeting, p. 1-5. https://doi.org/10.1088/1755-1315/492/1/012029
36. Ochiai, S., Iwabuchi, K., Itoh, T., Watanabe, T., Osaki, M., & Taniguro, K. (2021). Effects of different feedstock type and carbonization temperature of biochar on oat growth and nitrogen uptake in Co application with compost. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21*(1), 276-285. http://hdl.handle.net/2115/84207
37. Rajaie, M., Attarzadeh, M., Mosavi, S.H., & Attarzadeh, M. (2015). Using licorice compost (*Glycyrizha glabra*) to reduce the water stress effect in greenhouse cucumber. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 25*(3), 79-90. (In Persian with English Summary)
38. Ramnarain, V.I., Ori, L., & Ansari, A.A. (2018). Effect of the use of vermicompost on the plant growth parameters of pak choi (*Brassica rapa* var. *chinensis*) and on the soil structure in Suriname. *Journal of Global Agriculture and Ecology, 8*(1), 8-15.
39. Roumani, A., Ehteshami, S.M.R., & Rabiei, M. (2015). Effect of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on forage quality and yield of turnip (*Brassica rapa* L.) at the different values of nitrogen and phosphorus fertilizers. *Journal of Plant Production Technology, 14*(2), 89-99. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/GSC.V12I4.27654
40. Sheligl, H.Q. (1986). Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. *Journal of Planta*, 47-51.
41. Sheng, Y., & Zhu, L. (2018). Biochar alters microbial community and carbon sequestration potential across different soil pH. *Journal of Science Total Environ, 622*, 1391–1399. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.337.
42. Shubha, K.Y., Prathibha, A.C., Nayana, B., & Suhasini, R. (2011). Environment friendly strategy to increase antioxidant content and produce of *Sauropus androgynous*. *Journal of Life Science International Quarter, 6*, 567-569.
43. Smart, A., Jeranyama, P., & Owens. V. (2004). The use of turnips for extending the grazing season. South Dakota State University. Extension Extra, p. 66.
44. Sullivan, P. (2003). Intercropping principles and production practices. *Journal of Agronomy Systems Guide, 1*, 1-12.
45. Theunissen, J., Ndakidemi, P., & Laubscher, C. (2010). Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. *International Journal of the Physical Sciences, 5*(13), 1964-1973.
46. Torabian, S., Farhangi-Abriz, S., & Rathjen, J. (2018). Biochar and lignite affect H^+-ATPase and H^+ -PPase activities in root tonoplast and nutrient contents of mung bean under salt stress. *Journal of Plant Physiology and*

Biochemistry, *129*, 141–149. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.05.030

47. Weerarathne, L.V.Y., Marambe, B., & Chauhan, B.S. (2017). Does intercropping play a role in alleviating weeds in cassava as a non-chemical tool of weed management? – A review. *Journal of Crop Protection, 95*, 81–88.
48. Wu, C., Huan, Y., Yang, L., Lin, L., Liao, M., Wang, J., Wang, Z., Liang, D., Xia, H., Tang, Y., Lv, X., & Wang, X. (2020). Effects of intercropping with two *Solanum* species on the growth and cadmium accumulation of *Cyphomandra betacea* seedlings. *International Journal of Phytoremediation*, *42*, 1-7. https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1759505.
49. Yin, D., Wang, X., Peng, B., Tang, C., & Ma, L. Q. (2017). Effect of biochar and Fe-biochar on Cd and as mobility and transfer in soil-rice system. *Journal of Chemosphere*, *186*, 926-937. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.126
50. Zheng, H., Wang, X., Luo, X., Wang, Z., & Xing, B. (2018). Biochar-induced negative carbon mineralization priming effects in a coastal wetland soil: Roles of soil aggregation and microbial modulation. *Journal of Science Total Environ, 610*, 951–960. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.166.