Original Article, Vol. 13, No. 1, Spring, 2025, pp 87-108

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

The impact of plant traits and litter of two wheatgrass species on soil stability in the semi-arid rangelands of Jiroft County

A. Khosravi Mashizi[1*], M. Sharafatmandrad[1], E. Jahantab[2]

1. Associate Professor, Department of Ecological Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran.
2. Associate Professor, Department of Range and Watershed Management (Nature Engineering), Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran.

* Correspoded Auther: Azam.khosravi@ujiroft.ac.ir

Received date: 04/10/2024 **Accepted date: 22/11/2024**

10.22034/jdmal.2024.2042597.1484

Abstract

Plants influence the structure and function of ecosystems through litter production and by increasing soil nutrient levels. Understanding the response of soil properties to the removal or addition of litter from different species is crucial for comprehending the sensitivity of ecosystems to environmental and management disturbances. This study examined the effects of plant and litter characteristics of two grass species, *Stipa barbata* (C_3) and *Hyparrhenia hirta* (C_4), on soil carbon and nitrogen in the rangelands of Jiroft County. Treatments including 0%, 50%, 100%, and 200% litter were applied to both *H. hirta* and *S. barbata* species, and the percentage of soil carbon and nitrogen, as well as annual species production in each litter treatment, were estimated. The results indicated significant differences between *H. hirta* and *S. barbata* in terms of litter quantity, litter carbon percentage, and plant characteristics ($p < 0.05$). ANOVA results revealed that litter treatments had significant effects on soil carbon and annual production for *H. hirta* ($p < 0.01$) and *S. barbata* ($p < 0.05$). Results showed a positive and significant relationship between soil carbon and plant characteristics with litter carbon and litter quantity ($p < 0.01$). Leaf area emerged as the most important plant characteristic related to litter production. The Structural Equation Modeling (SEM) analysis demonstrated that the plant characteristics of grass species had a more substantial direct effect on soil properties than did the litter quantity and quality ($p < 0.01$). These findings highlight the importance of grasses in enhancing soil carbon storage in semi-arid ecosystems. The *H. hirta* species, due to its plant characteristics, demonstrated superior performance compared to *S. barbata* in terms of litter production and soil carbon enhancement. This characteristic should be considered in rangeland management strategies aimed at improving ecosystem services, particularly carbon sequestration and climate change mitigation efforts.

Keywords: Litter removal, leaf area, structural equation model, C_4 grass

How to cite this article

Khosravi Mashizi, A., Sharafatmandrad, M. and Jahantab E. (2025). The impact of plant traits and litter of two wheatgrass species on soil stability in the semi-arid rangelands of Jiroft County. *Desert Management*, *13*(1), 87-108. DOI: 10.22034/jdmal.2024.2042597.1484

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Extend Abstract

Introduction

Plant litter influences the structure and function of ecosystems by enhancing soil nutrient levels. It serves as a primary reservoir of soil carbon and nitrogen, which are essential for biochemical processes (54). The abundance of litter in ecosystems may increase due to climate change and elevated carbon dioxide concentrations (20), or decrease as a result of drought conditions and management practices, such as livestock grazing (71). Changes in litter abundance within ecosystems, driven by environmental and management factors, have significant implications for the global nutrient cycle (9, 19). Reduced plant biomass and, consequently, reduced litter levels decrease the return of nutrients to nutrient-poor rangeland soils through litter decomposition processes (32). Beyond the quantity of litter, its quality also influences soil properties in various ways. The impact of litter on soil may vary depending on plant composition. Vegetation covers, such as forests, shrublands, and grasslands, possess different litter qualities, which in turn affect soil properties (69). Shifts in plant community composition can either enhance or hinder plant nutrient uptake, thereby altering litter quality and decomposition processes (18). In semi-arid regions where both C_3 and C_4 grass species coexist, understanding the amount of litter produced and the nutrients released during litter decomposition is crucial for informed management decisions regarding these species in the ecosystem (25). Furthermore, understanding how soil production and quality respond to litter removal helps predict ecosystem sensitivity to litter reduction under environmental and management disturbances, while also providing insight into their response to litter increase during reclamation and restoration efforts (71). Therefore, this study investigates the effects of litter changes from two grass species, C_3 (Stipa barbata Desf.) and C_4 (Hyparrhenia hirta (L.) Stapf), on soil properties in the rangelands of Jiroft City.

Materials and methods

According to previous studies, to assess the quantity and quality of litter, 20 plots measuring 1m × 1m were established under the canopy of two species, *Hyparrhenia hirta* and *Stipa barbata*, in Jiroft rangeland (Fig. 1). In each plot, all litter on the soil surface was removed, weighed, and 50 g samples were taken to determine the carbon and nitrogen content. The percentage of carbon in the litter samples was determined using the combustion method, while nitrogen content was measured using the Kjeldahl method (44). Specific leaf area was calculated as the area of one side of a fresh leaf divided by its oven-dried weight. Leaf dry matter content was determined by dividing the oven-dried leaf weight by its saturated water weight, expressed in $mg \cdot g^{-1}$. Litter treatments were applied in 40 plots, each measuring 1m × 1m. For each species, in five plots, all litter was removed from the plot surface (0% litter), and in another five plots, litter was added to achieve 200% of the original litter quantity. In five additional plots, half of the litter was removed (50% litter), while five control plots maintained the standard litter amount (100% litter). The plots were clearly marked for identification. At the end of the following growing season, 1 kg soil samples were collected from a depth of 0 to 30 cm in each of the 40 plots (38), and the percentage of soil carbon was determined using the Walkley and Black method (44). Nitrogen content was analyzed using the Kjeldahl method (53). Additionally, the annual production of the two grass species was estimated using the cut-and-weigh method.

Results

The results revealed that *H. hirta* litter, with an average of 245 ± 34 g/m^{-2}, and *S. barbata* litter, with an average of 96 ± 12 g/m^{-2}, exhibited a significant difference ($p < 0.01$), (Table 1). There were also significant differences between the two grass species in terms of plant height, vegetation cover area, leaf area, spatial leaf area, and leaf dry matter content ($p < 0.05$), (Fig. 2). The litter production rate of *S. barbata* was significantly lower than that of *H. hirta*, likely due to the lower photosynthetic capacity of C_3 grasses compared to C_4 grasses. In terms of carbon content, *H. hirta*, with an average of 1.54 ± 0.34%, and *S. barbata*, with an average of 0.89 ± 0.23%, showed a significant difference ($p < 0.05$), (Fig. 3). In the global carbon cycle, C_4 grasses are generally more efficient at carbon storage than C_3 grasses, with C_4 grasses exhibiting more resistant textures and higher carbon content. However, in terms of nitrogen percentage, no significant difference was found between *H. hirta* (0.65 ± 0.12%) and *S. barbata* (0.62 ± 0.23%) ($p > 0.05$), (Fig. 4). Grasses typically contain less nitrogen than other forms of vegetation. Both grass species exhibited a significant decrease in carbon content as litter quantity decreased, and an increase in carbon content with higher litter amounts ($p < 0.05$). Thus, the reduction of litter under livestock grazing may negatively impact soil characteristics. For soil nitrogen, no significant differences were found between litter treatments at the

95% confidence level. The comparison of average annual production of *H. hirta* revealed a significant difference in the 0% litter treatment across the three years of the study (Fig. 5). The highest annual production occurred in the first year of the 0% litter treatment, with an average of 185 ± 23 g/m^{-2}. In the 100% and 200% litter treatments, there were no significant differences in annual production across the different years at the 95% confidence level. Pearson correlation results indicated a positive and significant relationship between soil carbon, litter carbon, and litter quantity ($p < 0.01$). Additionally, vegetation cover area, leaf area, spatial leaf area, and leaf dry matter content were all correlated with litter carbon and litter quantity ($p < 0.05$), (Table 2). Among these traits, leaf area was the most significant plant characteristic associated with litter production ($p < 0.01$). The Structural Equation Modeling (SEM) analysis demonstrated that plant traits of grass species have a more direct impact on soil stability than litter quantity and quality ($p < 0.01$), (Fig.6, Table 3 and 4). Furthermore, plant traits had a significant indirect effect on soil stability through litter quantity ($p < 0.05$), (Table 4).

Discussion and Conclusion

We found a significant relationship between leaf characteristics and litter production. *H. hirta*, which has larger leaf area and biomass compared to *S. barbata*, is therefore capable of producing more litter. C_4 grass species, such as *H. hirta*, can contribute more effectively to soil stability through higher litter production. Our results demonstrated that as the amount of litter from *H. hirta* and *S. barbata* decreased, soil carbon and nitrogen levels also declined. Since livestock grazing affects soil carbon by reducing litter (23, 72), it is essential to regulate the exploitation of these species to ensure that at least 50% of the litter from *H. hirta* and *S. barbata* remains in the ecosystem. Given the impact of grass litter on soil properties and plant community dynamics, implementing reasonable management practices, such as moderate grazing during non-growing seasons, will contribute to ecosystem sustainability (37). Although soil nitrogen was increased by higher litter quantities for both species, the change was not significant. Previous studies have also shown that increased grass litter does not substantially affect soil nitrogen (5, 26). In general, while the litter of both C_3 and C_4 grasses did not significantly affect soil nitrogen, the results of this study underscore the critical role of grass litter in enhancing soil carbon in ecosystems. The performance of *H. hirta* was superior to that of *S. barbata* in terms of litter production and soil carbon improvement, highlighting the importance of considering these traits in ecosystem management to enhance ecosystem services, particularly carbon sequestration.

Keywords: Removing litter, leaf area, structural equation model, C_4 grass

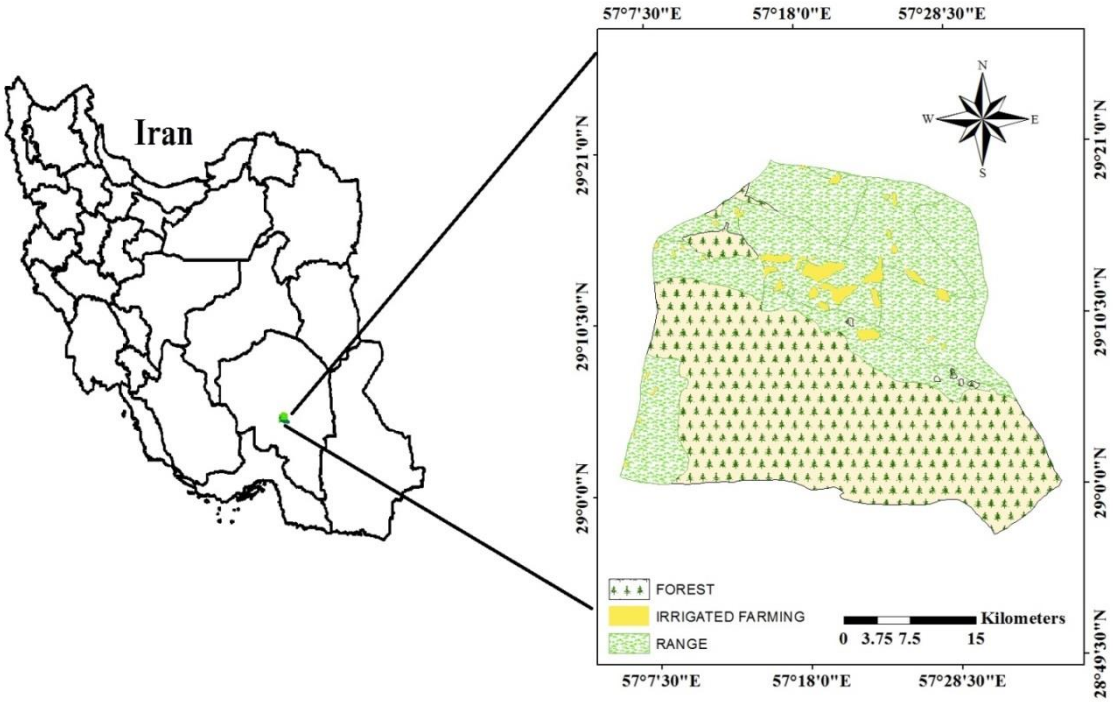


Fig 1. Map of the study area

Table 1. Comparison of the average quantity and quality of litter between the two species of *S.barbata* and *H.hirta*

Litter characters	*H.hirta*	*S.barbata*	*t*
C(%)	1.46±0.14	0.92±0.13	4.35*
N(%)	0.66±0.17	0.58±0.23	1.35^{ns}
Litter quantity	245±34	96±12	8.56^{**}

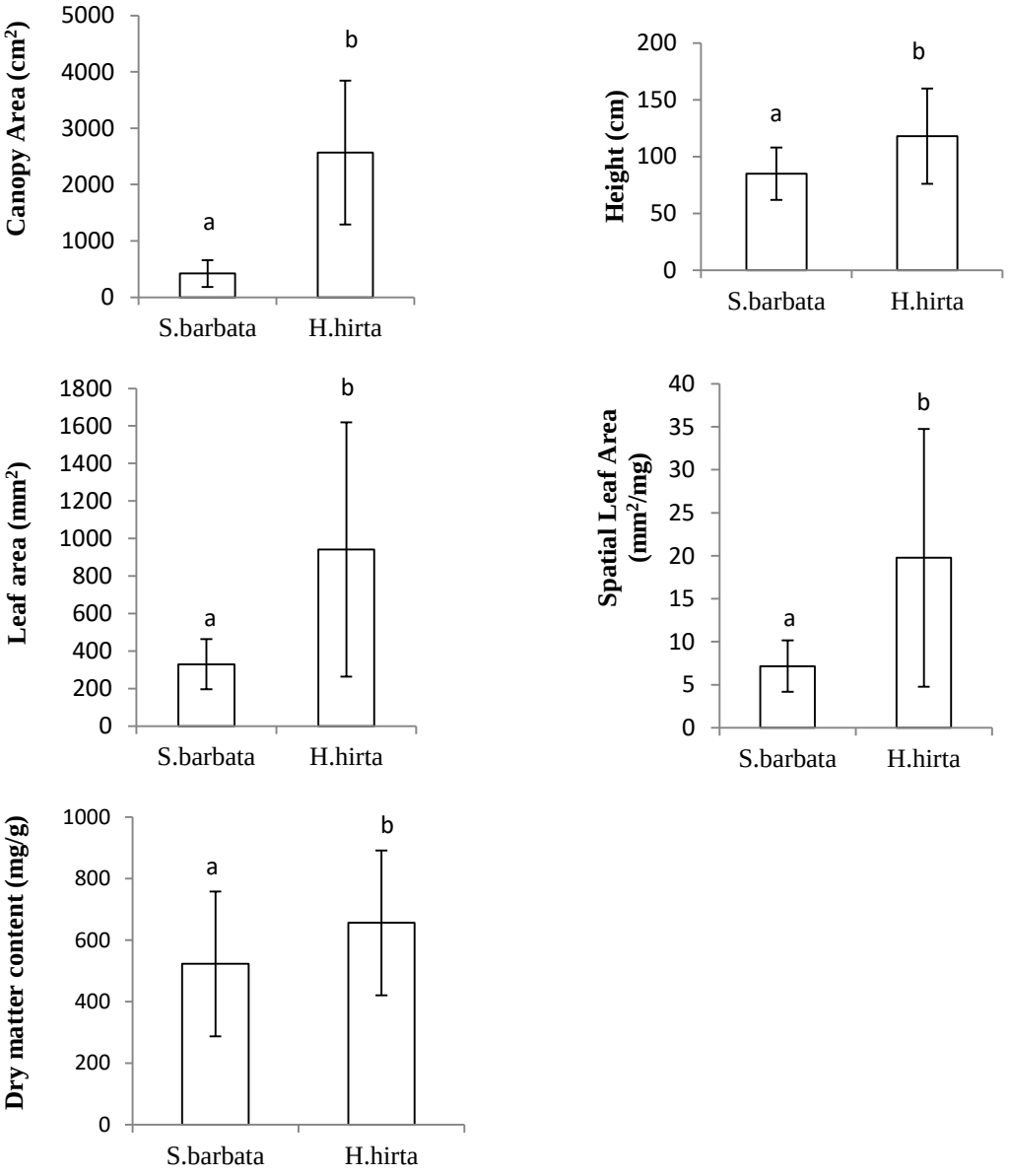


Fig 2. Comparison of average plant characteristics of the two species of *H.hirta* and *S.barbata*

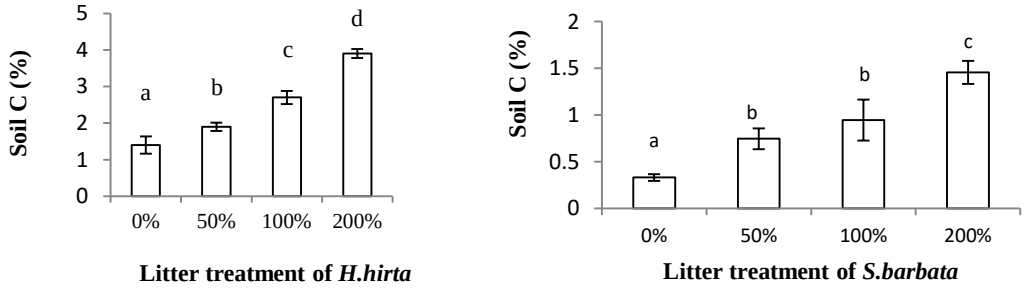


Fig 3. Comparison of average soil carbon in different litter treatments for the species *H.hirta* and *S.barbata*

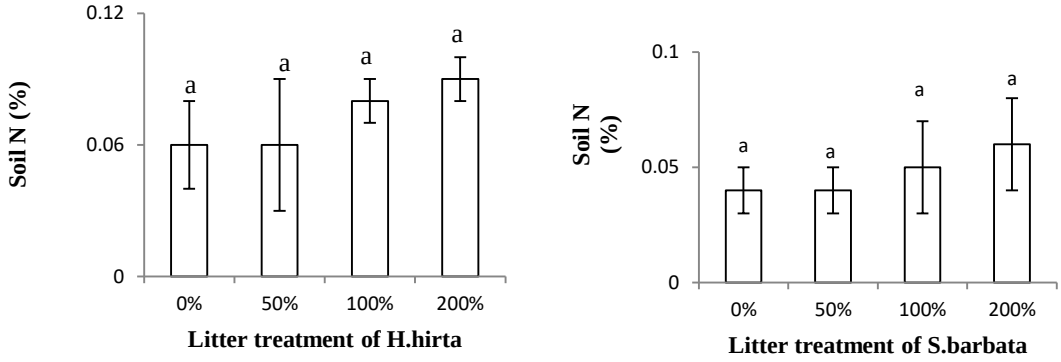


Fig 4. Comparison of average soil nitrogen in different litter treatments for the species *H.hirta* and *S.barbata*

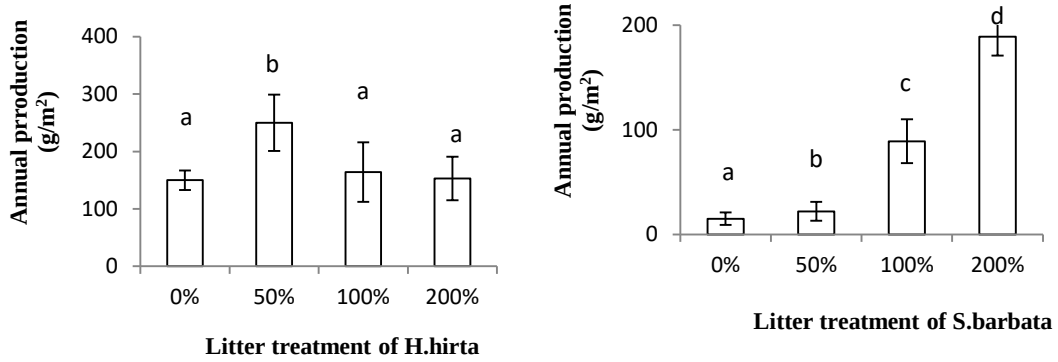


Fig 5. Comparison of average annual production in different litter treatments for the species *H.hirta* and *S.barbata*

Table 2. Pearson's correlation between litter quantity and quality with soil and plant characteristics. The significance level is P<0.05 (*), P<0.01 (**) and ns indicates non-significance.

	Litter quality		Litter quantity (g/m^2)
	Soil C (%)	Soil N(%)	
Soil C (%)	0.865**	0.245^{ns}	0.647**
Soil N (%)	0.335^{ns}	0.356^{ns}	0.134^{ns}
Plant height (cm)	0.365^{ns}	0.142^{ns}	0.364^{ns}
Canopy Area (cm^2)	0.485*	0.286^{ns}	0.635**
Leaf area (mm^2)	0.575**	0.134^{ns}	0.754**
Spatial leaf area (mm/mg)	0.469*	0.137^{ns}	0.473*
Dry matter content (mg/g)	0.455*	0.213^{ns}	0.465*

Table 3. CR and AVE to study the effect of plant and litter characteristics on soil properties

Parameters	CR	AVE
Plant traits	0.89	0.83
Litter quantity	0.88	0.84
Litter qualify	0.96	0.87
Soil characters	0.94	0.75

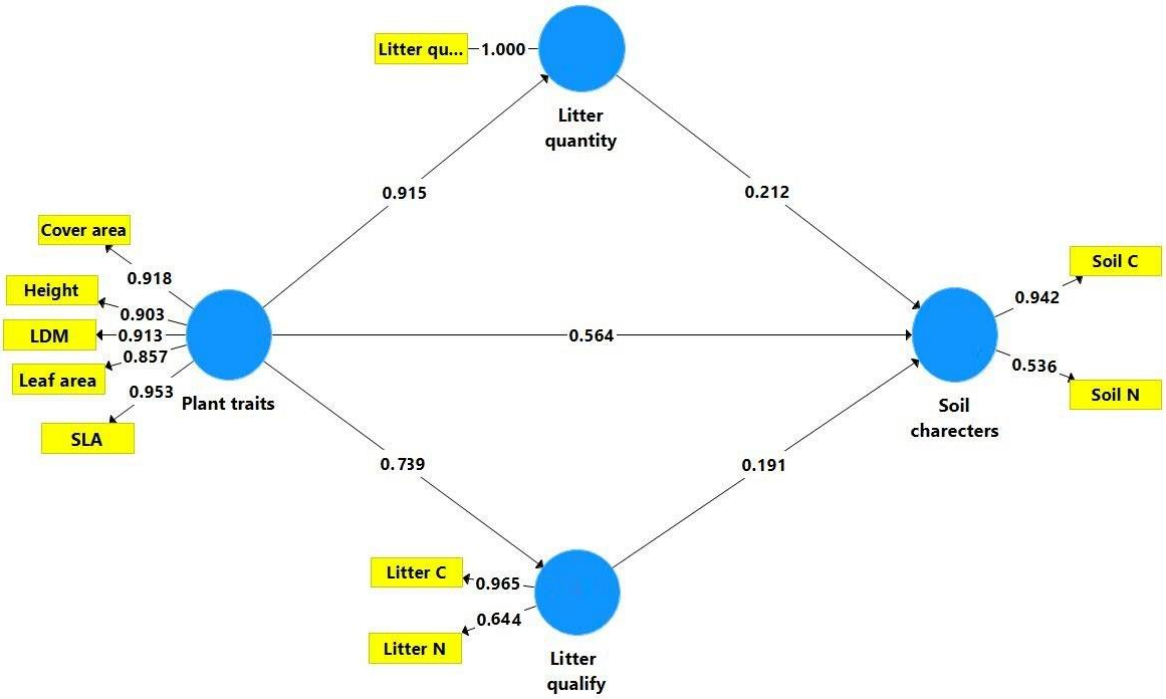


Fig 6. Structural equation modeling (SEM) to investigate the effects of plant characteristics, litter quantity and quality on soil properties

Table 4. Direct, indirect and total effects of plant characteristics, litter quantity and quality on soil properties. The significance level is P<0.05 (*), P<0.01 (**) and P<0.001 (***).

Parameters	Path	Standard B
Plant traits	Direct	0.564**
	Indirect through Litter quantity	0.258*
	Indirect through Litter quality	0.056
	Total	0.878***
Litter quantity	Direct	0.212**
Litter quality	Direct	0.191**

مقاله پژوهشی، سال سیزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۸۷ تا ۱۰۸

نشریه مدیریت بیابان
www.isadmc.ir

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

تأثیر ویژگی‌های گیاهی و لاشبرگ دو گونهٔ علف گندمی بر پایداری خاک مراتع نیمه خشک شهرستان جیرفت

اعظم خسروی مشیزی[۱]*، محسن شرافتمندراد[۱]، اسفندیار جهانتاب[۲]

۱. دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت ، ایران.
۲. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری (مهندسی طبیعت)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران.
* نویسندهٔ مسئول: Azam.khosravi@ujiroft.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۲

10.22034/jdmal.2024.2042597.1484

چکیده

گیاهان با تولید لاشبرگ، ساختار و عملکرد بوم‌سازگان‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. شناخت عکس‌العمل خصوصیات خاک به حذف و افزایش لاشبرگ گونه‌های مختلف به درک حساسیت اکوسیستم در مقابل آشفتگی‌های محیطی و مدیریتی کمک زیاد می‌کند. در این مطالعه تاثیر ویژگی‌های گیاهی و لاشبرگ دو گونه گراس استیپا (*Stipa barbata*) و نرشیت (*Hyparrhenia hirta*) بر کربن و نیتروژن خاک مراتع شهرستان جیرفت بررسی شد. مقدار لاشبرگ زیر دو گونه گراس جمع آوری و درصد نیتروژن و کربن لاشبرگ محاسبه شد. تیمارهای صفر درصد، ۵۰٪، ۱۰۰٪ و ۲۰۰ ٪ لاشبرگ برای دو گونه نرشیت و استیپا اعمال شده و درصد کربن و نیتروژن خاک و تولید سالانه گونه‌ها درهر تیمار لاشبرگ برآورد شد. نتایج نشان داد گونه نرشیت با گونه استیپا از نظر کمیت لاشبرگ، درصد کربن لاشبرگ و ویژگی‌های گیاهی دارای اختلاف معنی‌داری هستند ($p<۰/۰۵$). نتایج تجزیه و تحلیل واریانس یکطرفه نشان داد که تیمارها مختلف لاشبرگ در گونه‌های نرشیت ($p<۰/۰۱$) و استیپا ($p<۰/۰۵$) از نظر کربن خاک و تولید سالانه اختلاف معنی‌داری دارند. نتایج همبستگی پیرسون نشان داد که رابطه مثبت و معنی‌داری بین کربن خاک و ویژگی‌های گیاهی با کربن لاشبرگ و کمیت لاشبرگ وجود دارد ($p<۰/۰۱$). سطح برگ مهمترین ویژگی گیاهی در ارتباط با تولید لاشبرگ بود. مدل SEM نشان داد که ویژگی‌های گیاهی گونه‌های گراس نسبت به کمیت و کیفیت لاشبرگ مستقیما تاثیر بیشتری بر خصوصیات خاک دارند ($p<۰/۰۱$). ویژگی‌های گیاهی همچنین بطور غیر مستقیم از طریق کمیت لاشبرگ تاثیر معنی‌داری بر خصوصیات خاک داشتند ($p<۰/۰۵$). نتایج این مطالعه بیانگر اهمیت گراس‌ها در ارتقا کربن خاک اکوسیستم‌های نیمه خشک است. گونه نرشیت با توجه به ویژگی‌های گیاهی خود نسبت به گونه استیپا در تولید لاشبرگ و ارتقا کربن خاک دارای عملکرد مناسب‌تری می‌باشد، این ویژگی در مدیریت مراتع جهت ارتقا خدمات اکوسیستم خصوصا ترسیب کربن و برنامه‌های مقابله با تغییر اقلیم باید لحاظ شود.

کلمات کلیدی: حذف لاشبرگ، سطح برگ ، مدل معادلات ساختاری، گراس C_4

استناد به این مقاله

خسروی مشیزی، اعظم، شرافتمندراد، محسن و جهانتاب، اسفندیار. (۱۴۰۴). تأثیر ویژگی‌های گیاهی و لاشبرگ دو گونهٔ علف گندمی بر پایداری خاک مراتع نیمه خشک شهرستان جیرفت. *مدیریت بیابان*، ۱۳(۱)، ۱۰۸-۸۷. DOI: 10.22034/jdmal.2024.2042597.1484

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

■ **مقدمه**

لاشبرگ گیاهان به‌عنوان یکی از اجزای مهم بوم‌سازگان‌های طبیعی، با افزایش مواد مغذی خاک ساختار و عملکرد آنها را تغییر می‌دهد (۳۷). لایه‌های لاشبرگ با تغییر دمای خاک و جذب انرژی خورشیدی، ناهمگنی دمای خاک در گذر زمان را کاهش دهد؛ و اثر دیگر تنش‌های محیطی (مانند یخبندان) بر گیاهان را کاهش می‌دهد (۱۶). لاشبرگ اندام‌های هوایی گیاهان یکی از ذخایر عمده کربن و نیتروژن خاک هستند، که نقش مهمی در فرآیندهای بیوشیمیایی دارد (۵۴). در اثر تغییر اقلیم و افزایش دی اکسید کربن دربوم‌سازگان، کمیت لاشبرگ افزایش می‌یابد (۲۰)؛ یا در اثر خشکسالی و دخالت‌های مدیریتی مانند چرای دام در بوم‌سازگان کاهش می‌یابد (۷۱). تغییر مقدار لاشبرگ در بوم‌سازگان‌ها دراثر تغییرات محیطی و مدیریتی به شدت چرخه مواد غذایی در جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۹، ۱۹). کاهش زیتودهٔ گیاهی و در نتیجه کاهش لاشبرگ موجب کاهش بازگشت مواد غذایی به خاک مرتع فقیر از طریق فرایندهای تجزیه لاشبرگ می‌شود (۳۲).

تغییر کمیت لاشبرگ گیاهان تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های خاک بوم‌سازگان‌های خشک و نیمه خشک دارد. ارزیابی نقش افزودن و حذف لاشبرگ بر چرخه مواد مغذی خاک به خوبی مورد واکاوی قرار گرفته‌است (۲۷، ۵۶). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که با افزایش لاشبرگ، مقدار مواد مغذی خاک نیز به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (۲۸، ۴۵) و با کاهش لاشبرگ تأثیر برعکس دارد (۲۸، ۵۵). درک چگونگی واکنش ویژگی‌های خاک مانند نیتروژن و کربن خاک به مقدار متغیر لاشبرگ می‌تواند به ما در درک بهتر بازخورد بین بوم‌سازگان زمینی و تغییرات آب و هوایی جهانی کمک می‌کند (۲).

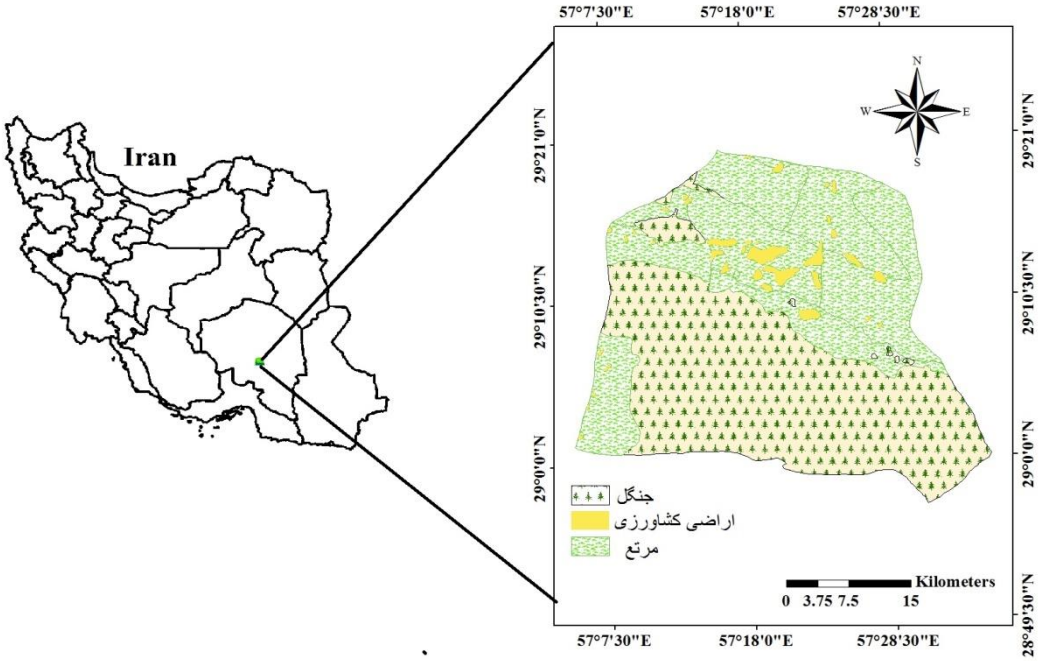
علاوه بر کمیت لاشبرگ، کیفیت لاشبرگ نیز بر ویژگی‌های خاک تأثیرات گوناگونی دارد. به‌طوریکه تأثیر لاشبرگ بر خاک در اثر ترکیب گیاهی ممکن است تغییر کند. پوشش‌های گیاهی جنگل، بوته‌زار و گراسلند دارای کیفیت لاشبرگ متفاوت و درنتیجه ویژگی‌های خاک، گوناگون است (۶۹). تغییر در ترکیب جامعهٔ گیاهی ممکن است بر جذب مواد غذایی گیاهی تأثیر مثبت یا منفی داشته باشد. در نتیجه کیفیت لاشبرگ و فرآیندهای تجزیه تغییر می‌کند (۱۸). گراس‌ها از گیاهان حساس به تخریب بوم‌سازگان‌ها و تغییر اقلیم هستند که در رقابت با گونه‌های بوته‌ای ضعیفتر بوده و در نتیجه مورد هجوم گونه‌های بوته‌ای قرار می‌گیرند (۵۸). لاشبرگ یکی از اجزای اصلی گراسلندها است که نقش مهمی در فرایندهای بوم‌سازگان گراسلند بازی می‌کند (۵۷). بررسی تأثیر لاشبرگ گراس‌ها بر ساختار و عملکرد گراسلندها نشان داد که توده‌ها لاشبرگ ساختار و عملکرد بوم‌سازگان‌ها را ارتقا می‌دهند (۳۷). نتایج بررسی علفزارها نیز نشان داد که ۴۰ تا۶۰ ٪ تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک مربوط به لاشبرگ است (۳۴).گیاهان با توجه به ویژگی‌های متفاوتی که دارند عملکرد گوناگونی در تولید لاشبرگ دارند. با توجه به عکس‌العمل گیاه نسبت به CO_2هوا و نوع فتوسنتر، گیاهان به دو گروه C_3 و C_4 طبقه بندی می‌شوند. غلظت زیاد CO_2 اتمسفر می‌تواند بر گسترش سطح برگ، کمیت زیتوده و ترکیب شیمیایی گونه‌های گیاهی در یک بوم‌سازگان و در نتیجه، ورودی مواد مغذی لاشبرگ به خاک تأثیر بگذارد (۵۱). گیاهان C_4نسبت به گیاهان C_3 پنجاه درصد از کارایی فتوسنتز بیشتری برخوردار هستند (۲۴). گونه‌های گراس C_3 و C_4 در بوم‌سازگان‌ها عملکرد متفاوتی دارند. پژوهش‌های زیادی به بررسی عکس‌العمل رشد گونه‌های C_3 و C_4 نسبت به نوسانات گاز دی اکسید کربن (۴۹، ۶۵)، دسترسی آب (۴۶) و دما (۶۰) پرداخته‌اند. توزیع مکانی گونه‌های نیز در مطالعاتی بررسی شده‌است. نتایج نشان داد که گراس‌های C_3 بیشتر در ارتفاعات با بارندگی زمستانه و گیاهان C_4 بیشتر در دشت‌های جنوب آفریقا گسترش دارند (۱۲). با افزایش دما فراوانی گیاهان C_4 نیز بیشتر می‌شود (۶۷). مطالعات در استپ بیابانی شمال چین نشان داد که با تغییر اقلیم نسبت پوشش گیاهی C_3 و C_4 تغییر کرده‌است. به‌طوریکه گیاه C_3 توسط گیاهان C_4 جایگزینی شده‌اند (۶۴). تغییر اقلیم نیز به‌طور قابل توجهی زیست توده هوایی گیاهان C_4 را در استپ بیابانی مغولستان افزایش داده و به‌طور قابل توجهی زیست توده گیاهان C_3 را کاهش داده‌است (۶۸). نسبت گیاهان C_3 به گیاهان C_4 فاکتور مهمی برای ارتقا نیتروژن در بوم‌سازگان‌ها است (۱۴). در مناطق نیمه‌خشک که

گونه‌های گراس C_3 و C_4 با هم زندگی می‌کنند، شناخت مقدار لاشبرگ تولیدی و مواد غذایی آزاده شده از تجزیه لاشبرگ‌ها می‌تواند به تصمیم‌های مدیریتی بوم‌سازگان کمک کند (۲۵). شناخت عکس‌العمل تولید و کیفیت خاک به حذف لاشبرگ در پیش‌بینی آسیب‌پذیری بوم‌سازگان در مقابل آشفتگی‌های محیطی و مدیریتی می‌تواند نقش زیادی در نحوی اجرای عملیات اصلاح و احیای مراتع داشته‌باشد (۷۱).بنابراین این بررسی تأثیر تغییر لاشبرگ دو گراس C_3 (*Stipa barbata* Desf.) و C_4 (*Hyparrhenia hirta*(L.) Stapf) را بر ویژگی‌های خاک مراتع شهرستان جیرفت را بررسی می‌کند.

■ مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه

این بررسی در مراتع سربیژن شهرستان جیرفت واقع در ۵۷°۱' تا ۵۷°۳۵' شرقی و ۲۸°۴۰' تا ۲۹°۲۱' شمالی با مساحت ۱۴۱۲ km^2 و ارتفاع متوسط ۲۶۰۸ m انجام شد. میانگین بارندگی سالانه حدود ۳۱۲mm است. اقلیم منطقه به روش دومارتن نیمه‌خشک و میانگین دما و حداقل دما در زمستان به‌ترتیب ۲۸°C و ۳۸°C- است. پوشش غالب منطقه جنگل و مرتع است (شکل ۱) و گونه غالب مراتع منطقه درمنه کوهی (*Artemisa aucheri* Boiss) و گون (*Astergalus gossipinus* fisch) است. دو گونۀ گراس C_4 (*Hyparrhenia hirta*) و گراس C_3 (*Stipa barbata*) برای بررسی انتخاب شدند. *H. hirta* با نام فارسی نرشیت (۴۲) گل آذین حجیم و مرکب از زوج خوشه‌هایی چمچه‌دار دارای سیخک زانویی و پرزدار و البته لاغر و غیر معطر است. یکی از گونه‌های مهم مرتعی است که در قدیم از گونه‌های کلیدی چراگاه‌های خاورمیانه بوده‌است (۴۹). این گونه گیاهی، به دلیل تراکم زیاد و دارا بودن ساختار ریشه‌ای قوی، افشان و کلافی، قدرت سازگاری فوق العاده با شرایط دشوار محیطی نظیر کمبود رطوبت، تجمع املاح در خاک،کمبود مواد آلی، نوسانهای شدید دمایی در طول شبانه را دارد. گونه *S. barbata* که به فارسی استیپا نامیده می‌شود، گیاهی از خانواده گندمیان است (۸). استیپا گیاه گندمی‌کلیدی و از گونه‌های پرپشت با ساقه محکم و باریک و برگ‌های برافراشته است که در در سطح گسترده‌ای از مراتع استپی، نیمه استپی و کوهستانی در ایران گسترش دارد (۷).



شکل ۱. نقشه منطقه مورد بررسی

داده برداری

ویژگی‌های گیاهی، کمیت و کیفیت لاشبرگ

طبق بررسی‌های گذشته برای اندازه‌گیری کمیت و کیفیت لاشبرگ، درسال ۱۴۰۲ زیر تاج پوشش دو گونهٔ نرشیت و استیپا، ۲۰ پلات ۱m×۱m قرار گرفت (۶۳). در هر پلات، تمام لاشبرگ‌های روی سطح خاک برداشت و وزن شد و برای تعیین درصد کربن و نیتروژن لاشبرگ، نمونه‌هایی به وزن ۵۰g برداشت شد. درصد کربن نمونه¬های لاشبرگ به روش احتراق و درصد نیتروژن لاشبرگ با استفاده از روش کجلدال اندازه‌گیری شد (۴۴). به‌طور تصادفی ۲۰ پایه بالغ برای هر گونه انتخاب و ویژگی‌های آنها ارزیابی شد. کوتاه‌ترین فاصلهٔ بین مرز بالای بافت‌های فتوسنتز کننده اصلی بر روی یک گیاه و سطح زمین به عنوان ارتفاع گیاه در نظر گرفته شد. با توجه به قطر کوچک و بزرگ تاج پوشش گونه‌ها، سطح تاج پوشش اندازه‌گیری شد. اندازهٔ برگ، مساحت سطح تصویر شده یک سمت یک تک برگ یا برگ متوسط یا لامینای برگ است که به میلیمتر مربع بیان‌شد. بعد از اندازه‌گیری سطح برگ، نمونه‌های برگ در آون با دمای ۶۰°C برای حداقل۷۲h قرار داده شد، سپس وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد. سطح ویژه برگ، مساحت یک سمت یک برگ تازه، تقسیم بر وزن خشک شده‌ی آن در آون است. محتوای ماده خشک برگ، وزن برگ خشک شده در آون تقسیم بر وزن اشباع از آب آن است که به میلی گرم در گرم بیان می‌شود. سپس در ۴۰ پلات انداخته‌شده در زیر تاج پوشش ۲۰ پایه بالغ هر دو گونه، یمارهای لاشبرگ اجرا شد. به‌طوریکه برای هر گونه، برای اعمال تیمار صفر درصد لاشبرگ در ۵ پلات تمام لاشبرگ از سطح پلات جمع آوری و برای اعمال تیمار ۲۰۰٪ لاشبرگ بر روی لاشبرگ ۵ پلات دیگر ریخته شد. به منظور اعمال تیمار ۵۰٪ لاشبرگ، در ۵ پلات هم نیمی از لاشبرگ جمع آوری و از پلات حذف شدند. ۵ پلات هم به عنوان پلات شاهد در نظر گرفته شد. پلات‌ها نشانه گذاری شدند. در هر ۴۰ پلات، نمونه‌های خاک یک کیلوگرمی، از عمق صفر تا ۳۰cm خاک در اواخر فصل رویش سال بعد برداشت شده (۳۸) و درصد کربن خاک به روش والکی و بلاک (۴۴) و درصد نیتروژن خاک با استفاده از روش کجلدال اندازه گیری شد (۵۳). تولید سالانه دو گراس نیز به روش قطع و توزین برآورد شد

تحلیل داده‌ها

با بهره‌گیری از آزمون t مستقل کمیت و کیفیت لاشبرگ دو گونه گراس نرشیت و استیپا با یکدیگر مقایسه شد و با تحلیل واریانس یکطرفه و مقایسه میانگین دانکن تأثیر تیمارهای مختلف لاشبرگ بر کربن و نیتروژن خاک بررسی شد. با استفاده از همبستگی پیرسون ارتباط کمیت و کیفیت لاشبرگ با ویژگی‌های گیاهی، کربن و نیتروژن خاک بررسی‌شد. تأثیر مستقیم و غیرمستقیم ویژگی‌های گیاهی بر ویژگی‌های خاک با استفاده از مدل معادلات ساختاری (SEM[1]) مورد ارزیابی قرار گرفت. SEM تکنیک آماری ترکیبی از رگرسیون و تحلیل عاملی تاییدی است که برای کشف روابط پیچیده مستقیم و غیرمستقیم اجزای بوم‌سازگان به‌کار گرفته می‌شود (۳۰). روایی همگرا و قابلیت اطمینان ترکیبی به ترتیب برای پایایی و روایی SEMبا استفاده از smartPLS v2 استفاده شد.

■ نتایج

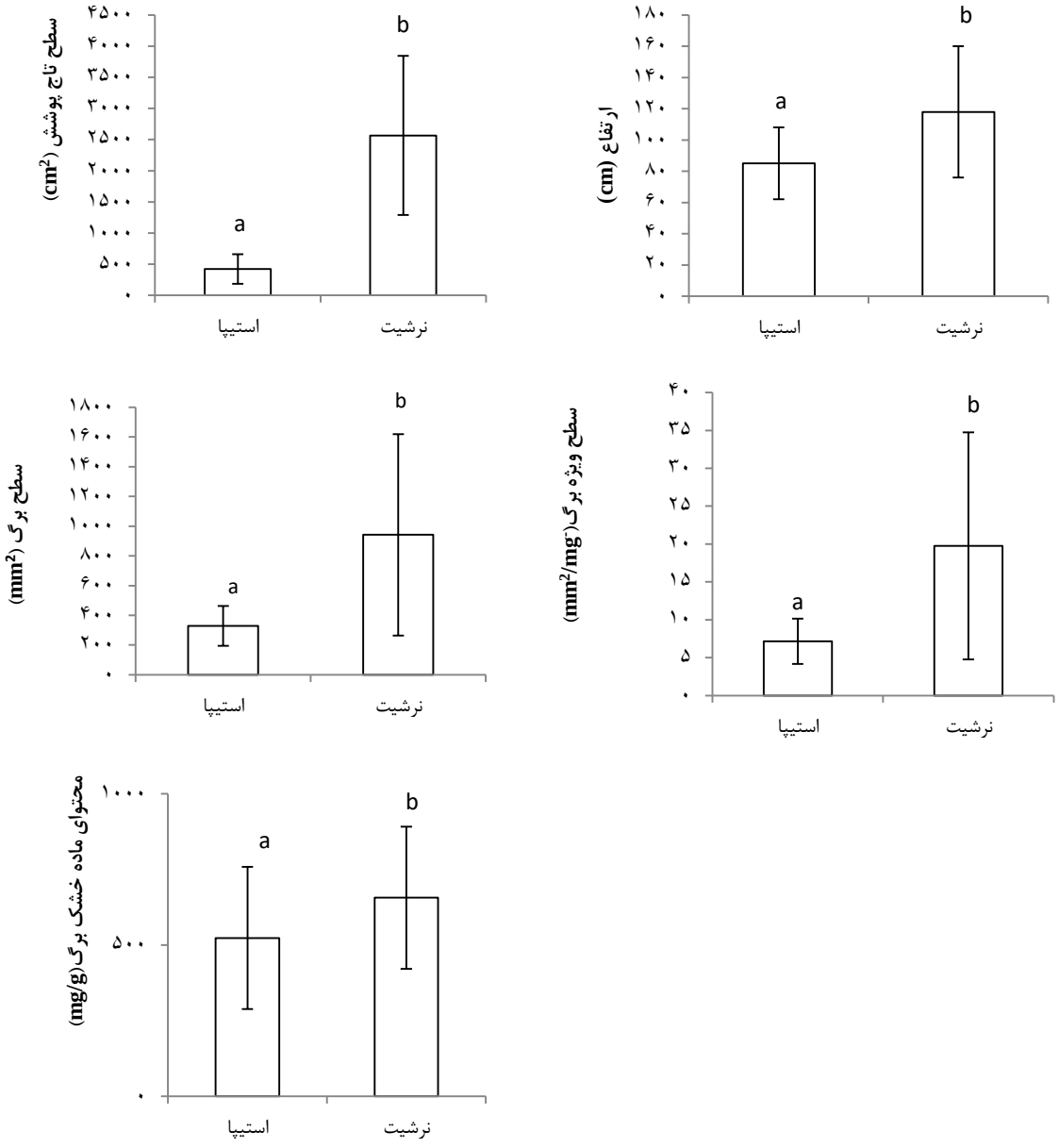
کمیت و کیفیت لاشبرگ و ویژگی‌های دو گونه نرشیت و استیپا

نتایج نشان داد که لاشبرگ نرشیت با میانگین ۳۴±۲۴۵g/m^2 با لاشبرگ استیپا با میانگین g/m^2 ۱۲±۹۶ (دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۹ ٪ اطمینان هستند (جدول ۱). از نظر درصد کربن، گونه نرشیت با میانگین ۱/۴۶±۰/۳۴٪ و گونه استیپا با میانگین ۰/۹۲±۰/۲۳٪ دارای اختلاف معنی داری بودند (p<۰/۰۵). از نظر نیتروژن گونه نرشیت با میانگین ۰/۱۲±۰/۰۶۵٪ با گونه استیپا با میانگین ۰/۶۲±۰/۲۳٪ در سطح ۹۵ ٪ اطمینان اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۱).

[1] Structural Equation Model

جدول ۱. مقایسه میانگین کمیت و کیفیت لاشبرگ دو گونه استیپا و نرشیت

ویژگی‌های لاشبرگ	استیپا	نرشیت	t
کربن (٪)	۰/۲۳±۰/۹۲	۰/۳۴±۱/۴۶	۴/۳۵*
نیتروژن (٪)	۰/۲۳±۰/۵۸	۰/۱۲±۰/۶۶	۱/۳۵ns
کمیت لاشبرگ (g/m^2)	۱۲±۹۶	۳۴±۲۴۵	۸/۵۶**



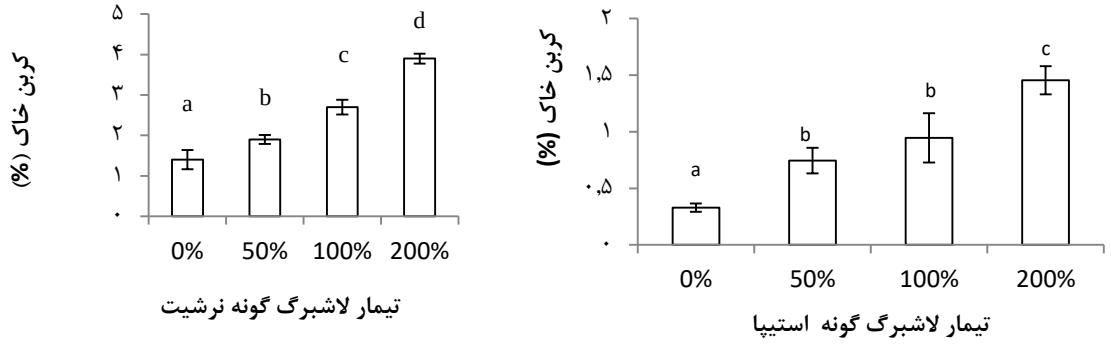
شکل ۲. مقایسه میانگین ویژگی‌های گیاهی دو گونه نرشیت و استیپا

نتایج مقایسه ویژگی‌های گیاهی دو گونه استیپا و نرشیت نشان داد که گیاه استیپا با میانگین ارتفاع ۲۳±۸۵cm و سطح تاج پوشش cm^2 ۲۳۸±۴۲۳ با گونه نرشیت با میانگین ارتفاع ۴۲±۱۱۸ cm و سطح تاج پوشش cm^2 ۱۲۷۶±۲۵۶۷ در سطح ۹۹٪ اطمینان دارای اختلاف معنی داری بودند (شکل ۲). گونه نرشیت همچنین با سطح برگ و سطح ویژه برگ به ترتیب با میانگین mm^2 ۹۴۱± ۶۷۸ و mm^2/mg ۱۹/۷ ±۱۵/۱ میلیمتر مربع بر میلی گرم با گونه استیپا دارای اختلاف معنی داری در سطح ۹۹٪ اطمینان بودند. محتوای ماده

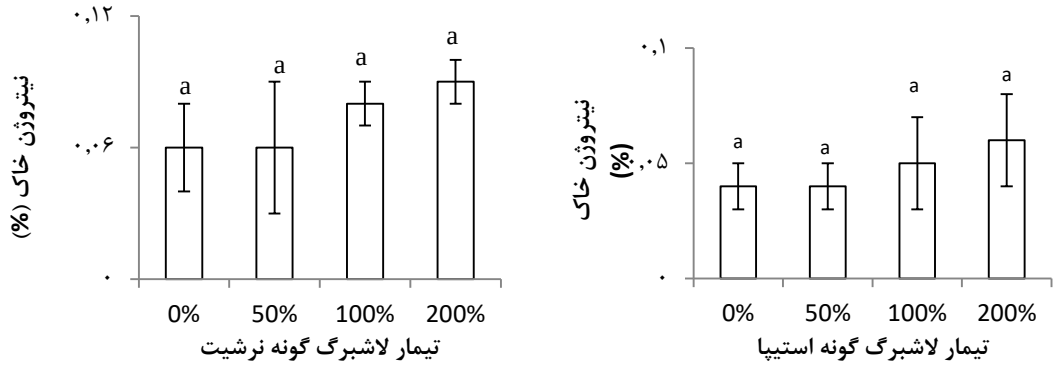
خشک برگ گونه نرشیت با میانگین ۲۳۵ ±۶۵۶ mg/g میلیگرم بر گرم با گونه استیپا دارای اختلاف معنی داری در سطح ۹۵ ٪ اطمینان بودند (شکل ۲).

عکس‌العمل ویژگی‌های خاک و تولید سالانه به تیمارهای لاشبرگ نرشیت و استیپا

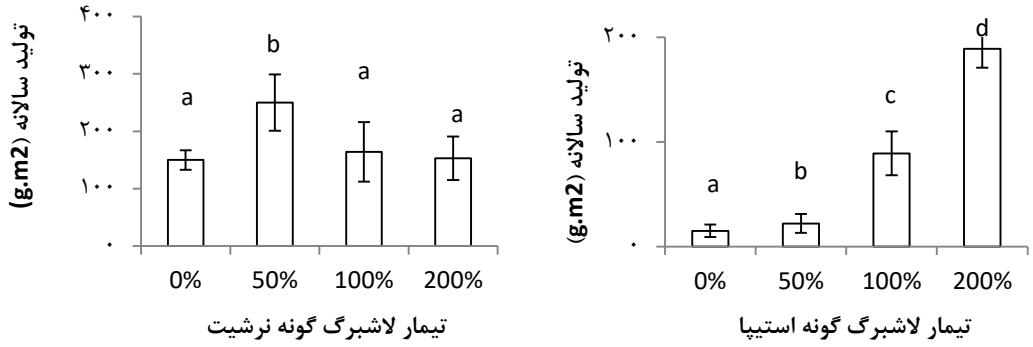
نتایج آزمون دانکن نشان داد که برای گونه استیپا بیشترین مقدار کربن خاک در تیمار ۲۰۰ ٪ لاشبرگ با میانگین ۱/۴۵ ±۰/۱۲٪ و کمترین مقدار کربن در تیمار صفر ٪ لاشبرگ با میانگین ۰/۳۳±۰/۰۲٪ مشاهده شد، که با دیگر تیمارهای لاشبرگ اختلاف معنی‌داری دارد (شکل ۳). برای گونه نرشیت همچنین بیشترین مقدار کربن در تیمار ۲۰۰ ٪ لاشبرگ با میانگین۳/۹ ±۰/۰۵٪ و کمترین مقدار کربن در تیمار صفر٪ لاشبرگ با میانگین ۰/۳۳±۰/۰۲٪ مشاهده شد، که با دیگر تیمارهای لاشبرگ اختلاف معنی‌داری دارد (شکل ۳). در تیمار ۲۰۰٪ لاشبرگ، بیشترین درصد نیتروژن خاک برای گونه‌های استیپا و نرشیت به ترتیب با میانگین۰/۰۶±۰/۰۲٪ ۰ و ۰/۰۹±۰/۰۱ ٪ مشاهده شد (شکل ۴). از نظر نیتروژن خاک اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای لاشبرگ در سطح ۹۵ ٪ مشاهده نشد (شکل ۴). نتایج مقایسه میانگین تولید سالانه گونه نرشیت نشان‌داد که بیشترین مقدار تولید در تیمار ۵۰ ٪ لاشبرگ با میانگین g/m^2 ۲۳±۲۵۰ بود. برای گونهٔ استیپا بیشترین تولید سالانه در تیمار ۱۰۰٪ و ۲۰۰ ٪ به ترتیب با میانگین g/m^2 ۱۹±۸۹ و ۱۸±۱۸۹ مشاهده شد (شکل ۵).



شکل ۳. مقایسه میانگین کربن خاک در تیمارهای مختلف لاشبرگ برای گونه نرشیت و استیپا



شکل ۴. مقایسه میانگین نیتروژن خاک در تیمارهای مختلف لاشبرگ برای گونه نرشیت و استیپا



شکل ۵. مقایسه میانگین تولید سالانه در تیمارهای مختلف لاشبرگ برای گونه نرشیت و استیپا

جدول ۲. ضریب همبستگی پیرسون بین کمیت و کیفیت لاشبرگ با ویژگی‌های خاک و گیاهان. سطح معنی‌داری (*) P<0.05، P<0.01 (**) است و ns بیانگر غیر معنی‌داری است.

	کیفیت لاشبرگ		کمیت لاشبرگ (g/m)
	نیتروژن لاشبرگ (٪)	کربن لاشبرگ (٪)	
کربن خاک (٪)	۰/۲۴۵^{ns}	۰/۸۶۵**	۰/۶۴۷**
نیتروژن خاک (%)	۰/۳۵۶^{ns}	۰/۳۳۵^{ns}	۰/۱۳۴^{ns}
ارتفاع گونه (cm)	۰/۱۴۲^{ns}	۰/۳۶۵^{ns}	۰/۳۶۴^{ns}
سطح تاج پوشش(cm^2)	۰/۲۸۶^{ns}	۰/۴۸۵*	۰/۶۳۵**
سطح برگ (mm^2)	۰/۱۳۴^{ns}	۰/۵۷۵**	۰/۷۵۴**
سطح ویژه برگ (mm/mg)	۰/۱۳۷^{ns}	۰/۴۶۹*	۰/۴۷۳*
محتوای ماده خشک برگ (mg/g)	۰/۲۱۳^{ns}	۰/۴۵۵*	۰/۴۶۵*

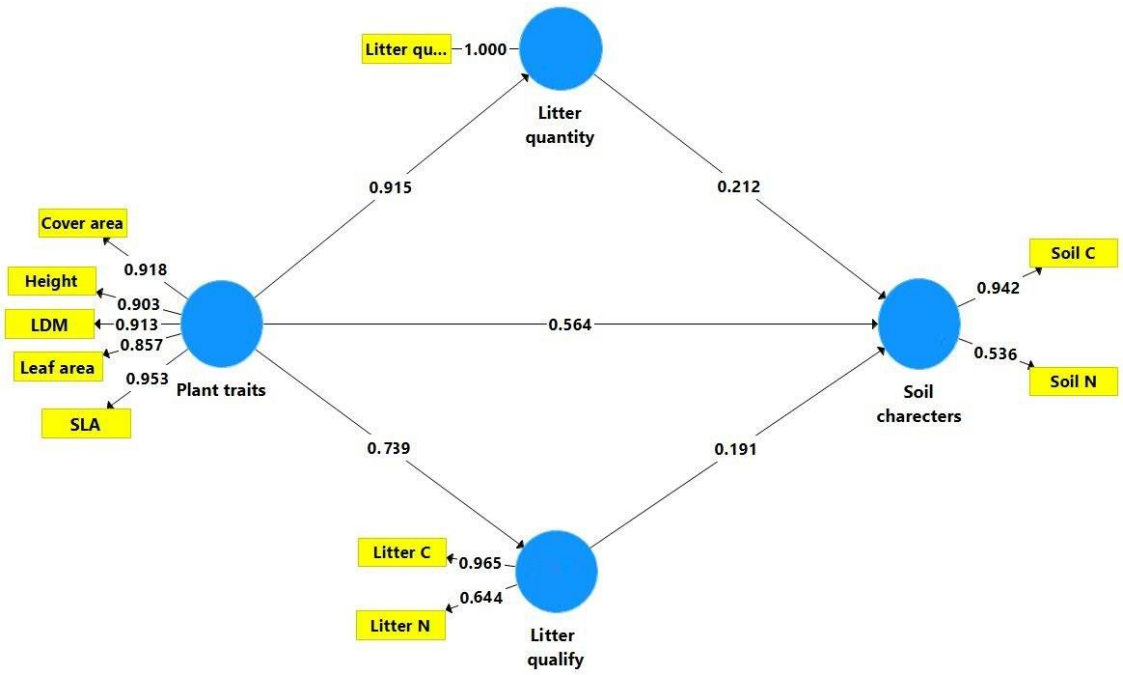
بررسی رابطه کمیت و کیفیت لاشبرگ با ویژگی‌های خاک و ویژگی‌های گیاه

نتایج همبستگی پیرسون نشان داد که رابطه مثبت و معنی‌داری بین کربن خاک با کربن لاشبرگ و کمیت لاشبرگ در سطح ۹۹ ٪ اطمینان وجود دارد (جدول ۲). اما ارتباط معنی‌داری بین کربن خاک و نیتروژن لاشبرگ در سطح ۹۵ ٪ اطمینان مشاهده نشد. نیتروژن خاک با نیتروژن لاشبرگ، کربن لاشبرگ و کمیت لاشبرگ در سطح ۹۵ ٪ اطمینان رابطه معنی‌داری ندارد (جدول ۲). سطح تاج پوشش و سطح برگ درسطح ۹۵ ٪ اطمینان با کربن لاشبرگ و در سطح ۹۹ ٪ اطمینان با کمیت لاشبرگ رابطه معنی‌داری داشتند. سطح ویژه برگ و محتوای ماده خشک برگ در سطح ۹۵ ٪ اطمینان با کربن لاشبرگ و کمیت لاشبرگ رابطه معنی‌داری داشتند (جدول ۲).

مقادیر روایی همگرا و قابلیت اطمینان ترکیبی برای اجزای مدل SEM به منظور بررسی تأثیر مستقیم ویژگی‌های گیاهی و غیرمستقیم (از طریق تأثیر بر کمیت و کیفیت لاشبرگ) بر ویژگی‌های خاک برآورد شد (جدول ۳). همه مولفه‌های مدل به ترتیب دارای روایی همگرا و قابلیت اطمینان ترکیبی بیش از ۰/۵و ۰/۷ بودند که نشان دهندهٔ روایی و پایایی مدل ارائه شده‌است. شکل ۶ رابطه بین ویژگی‌های گیاهی، لاشبرگ و ویژگی‌های خاک را نشان می‌دهد. در روابط مستقیم ویژگی‌های گیاهی بیشترین تأثیر را بر ویژگی‌های خاک در سطح ۹۹ ٪ اطمینان داشتند (جدول ۴). کمیت و کیفیت لاشبرگ به ترتیب در رتبه های بعدی قرار داشتند (p<۰/۰۱). ویژگیهای گیاهی به‌طور غیر مستقیم از طریق کمیت لاشبرگ بر ویژگی‌های خاک تأثیر معنی‌داری داشتند (p<۰/۰۵).

جدول ۳. قابلیت اطمینان ترکیبی و روایی همگرا برای بررسی تأثیر ویژگی‌های گیاه و لاشبرگ بر ویژگی‌های خاک

متغیر	روایی همگرا	قابلیت اطمینان ترکیبی
ویژگی‌های گیاه	۰/۸۳	۰/۸۹
کمیت لاشبرگ	۰/۸۴	۰/۸۸
کیفیت لاشبرگ	۰/۸۷	۰/۹۶
ویژگی‌های خاک	۰/۷۵	۰/۹۴



شکل ۶. مدل سازی معادلات ساختاری (SEM) برای بررسی ویژگی‌های گیاه، کمیت و کیفیت لاشبرگ بر ویژگی‌های خاک

جدول ۴. اثرات مستقیم، غیرمستقیم و کل ویژگیهای گیاه، کمیت و کیفیت لاشبرگ بر ویژگی‌های خاک. سطح معنی داری (*) P<0.05، (**) P<0.01 و (***) P<0.001 است.

متغیر	مسیر	بتا استاندارد شده
ویژگیهای گیاه	مستقیم	۰/۵۶۴**
	غیر مستقیم ازطریق کمیت لاشبرگ	۰/۲۵۸*
	غیر مستقیم از طریق کیفیت لاشبرگ	۰/۰۵۶
	کل	۰/۸۷۸***
کمیت لاشبرگ	مستقیم	۰/۲۱۲**
کیفیت لاشبرک	مستقیم	۰/۱۹۱**

■ بحث و نتیجه گیری

نتایج این بررسی نشان داد که گونه های بررسی شده از نظر ویژگی‌های گیاهی دارای اختلاف معنی‌داری هستند و گونهC_4 نرشیت نسبت به گونهC_3 استیپا دارای برگ بزرگتر و ارتفاع بیشتری است. در مناطق خشک و نیمه خشک دما عامل مثبتی برای رشد گیاهان C_4 است (۱۵ ، ۲۲). دمای زیاد و تابش قوی تر در فصل رشد، میزان رشد گیاهان C_4 را تعیین می‌کند (۳ ، ۲۲). با توجه به راندمان زیاد مصرف آب و نیتروژن طی فتوسنتر گراس C_4، نسبت به گونه‌های گراس C_3 در مناطق خشک رشد بهتری دارند و از قدرت رقابتی بیشتری برخوردارند (۶۱). بررسی‌ها نشان داده‌است که رشد گراس C_3 نسبت به گونه‌های گراس C_4 نسبت به کمبود نیتروژن خاک عکس‌العمل بیشتری نشان می‌دهند و به تغییرات نیتروژن

خاک حساسترند (۳۵ ، ۷۰). از طرف دیگر، رشد گیاهان با جذب نیتروژن افزایش می‌یابد، اما میزان رشد در گیاهان C_3 و C_4 متفاوت است. گیاهان C_4 معمولا نیتروژن جذب شده را صرف رشد و نمو خود می‌کنند، اما گیاهان C_3 نیتروژن جذب شده را صرف ساختن آنزیم روبیسکو کرده و رشد کمتری دارند (۴۲). گیاهان C_4 با جذب نیتروژن شاخ و برگ بیشتری تولید می‌کنند و در نتیجه کارایی فتوسنتز خود را ارتقا می‌دهند. در واقع گیاهان C_4 نسبت به جذب نیتروژن عملکرد بهتری در مناطق خشک و نیمه خشک دارند.

نتایج همچنین نشان داد که بین ویژگی‌های برگ و میزان تولید لاشبرگ رابطه معنی‌داری وجود دارد. گونه نرشیت که نسبت به استیپا از نظر سطح برگ و زیتودهٔ هوایی بزرگتر است، بنابراین از توانایی تولید لاشبرگ بیشتری نیز برخورداراست. کقایسه نتایج با بررسی‌های نشان داد که گراس C_4 از کاریی فتوسنتزی و بیوماس هوایی بیشتری برخوردار است و تجمع لاشبرگ بیشتری نسبت به گراس C_3 دارد (۳۹،۳۱، ۵۹). ویژگی‌های برگ به ویژه سطح برگ بیشتر از ارتفاع گیاه بر کربن لاشبرگ و کمیت لاشبرگ تأثیر داشت. سطح برگ شاخص کارآمد برای ارزیابی قابلیت رشد و عملکرد گیاه است و تغییرات آن بخش قابل توجهی از تغییرات رشد و عملکرد گیاه را توجیه می‌کند (۴۷). سطح برگ کوچکتر موجب توسعه ضعیف گیاه و جذب کمتر تابش خواهد شد که کاهش سرعت رشد و تولید لاشبرگ را به دنبال خواهد داشت (۶۲).

کیفیت لاشبرگ دو گراس نرشیت و استیپا از نظر درصد کربن دارای اختلاف معنی‌داری هستند. درصد کربن در لاشبرگ گونه نرشیت بیشتر از استیپا است. مطالعات گذشته همچنین گزارش دادند که در چرخه جهانی کربن، گراس C_4 نسبت به گراس C_3 توانایی بیشتری در ذخیره کربن دارند (۱). برگ گراس‌های C_4 دارای بافت مقاوم‌تر و کربن بالاتری هستند (۳۹). بنابراین گونه نرشیت در فرایند ترسیب کربن موفقتر عمل می‌کند. فزایش کربن در هوا و تغییر اقلیم از عوامل محیطی تأثیر گذار بر عملکرد گونه‌های گیاهی هستند (۶۷، ۶۶). گسترش گیاهان C_4 در زمین، عکس‌العمل بوم‌سازگان‌ها به تغییر اقلیم در سرتاسر جهان است (۲۶). گرم‌شدن طولانی مدت و افزایش بارندگی موجب بهبود پوشش و ارتفاع گیاهان C_4 در جامعه گیاهی و کاهش پوشش و تراکم گیاهان C_3 در اثر تغییر اقلیم در مناطق بیابانی شده‌است (۳۶). رشد گراس‌ها بیانگر خدماتی مانند ترسیب کربن هستند (۶، ۴۰). با توجه به محدودیت‌های مواد غذایی مناطق خشک و تغییر اقلیم، گونه‌های C_4 می‌توانند در آینده کارایی بیشتری در ارائه خدمات بوم‌سازگان داشته باشند. تفاوت کیفیت لاشبرگ دو گونه گراس از نظر درصد نیتروژن بسیار ناچیز بود. گراس‌ها غالبا دارای نیتروژن کمتری نسبت به دیگر فرم های رویشی هستند (۶۹). گراس‌ها به دلیل نیتروژن کم معمولا مواد غذایی کافی برای دام‌ها فراهم نمی‌کنند و ترکیب آنها با بوته‌ها و فورب‌ها برای تأمین پروتئین و انرژی مورد نیاز دام‌ها لازم است (۵۰).

بررسی عکس‌العمل کربن و نیتروژن خاک به تیمارهای لاشبرگ دو گراس مورد بررسی نشان داد که با کاهش مقدار لاشبرگ هر دو گراس نرشیت و استیپا، کربن و نیتروژن خاک نیز کاهش یافته است. که بیانگر اهمیت حفظ لاشبرگ هر دو گونه برای تقویت خاک است. از آنجا که چرای دام با کاهش لاشبرگ، کربن خاک را کاهش می‌دهد (۲۳، ۷۲). میزان بهره‌برداری این گونه‌ها باید به نحوی تنظیم شود که حداقل ۵۰ درصد لاشبرگ دو گراس نرشیت و استیپا در بوم‌سازگان باقی بماند. با توجه به تأثیر لاشبرگ گونه‌های گراس بر ویژگی‌های خاک و پویایی جامعه گیاهی، شیوه‌های مدیریت معقول (از قبیل چرای متوسط در فصول غیر رویشی) موجب دستیابی به پایداری بوم‌سازگان‌ها می‌شود (۳۷). اگر چه برای هر دو گونه با افزایش کمیت لاشبرگ نیتروژن خاک ارتقا یافته بود اما مقدار آن ناچیز بود. بررسی‌های گذشته نشان دادند که افزایش لاشبرگ گراس تأثیر معنی‌داری بر نیتروژن خاک ندارند (۵، ۲۶). لاشبرگ گیاهان فورب که غنی از نیتروژن هستند سریعتر تجزیه می‌شوند و میزان ذخیره نیتروژن خاک را نیز تقویت می‌کنند، اما گراس‌ها که لاشبرگ آنها نیتروژن کمتری دارند، سرعت تجزیه لاشبرگ آنها پایین است و درنتیجه تجمع نیتروژن در خاک ناچیز است (۱۷). بررسی عکس‌العمل رشد سالانه دو گونه استیپا و نرشیت

به تیمارهای لاشبرگ نشان داد که با حذف لاشبرگ رشد سالانه گونه استیپا کاهش یافته‌است، اما حذف کامل و حذف ۵۰ ٪ لاشبرگ سبب ارتقا تولید سالانه گونه نرشیت شده است. در بعضی گراس‌ها لایه نازک لاشبرگ عملکرد بهتری نسبت به لایه ضخیم لاشبرگ دارد زیرا لایه ضخیم لاشبرگ می‌تواند مانعی برای رشد و توسعه گونه باشد (۶۲).

طبق یافته‌های این پژوهش، رابطه مثبت و معنی‌داری بین کربن لاشبرگ گیاهان مورد مطالعه و کربن خاک مشاهده شد. کیفیت لاشبرگ بر نرخ تجزیه لاشبرگ در مناطق استپی نیمه خشک تأثیر معنی‌داری دارد (۱۸). به‌همین دلیل کیفیت لاشبرگ به‌طور گسترده برای استنباط میزان تجزیه لاشبرگ در شرایط آب و هوایی خشک استفاده می‌شود (۴،۴۱). راس و همکاران (۲۰۰۲) همچنین نشان دادند که لاشبرگ گراس C_4 که دارای کربن بیشتری است، و نسبت به گراس C_3 در ارتقا کربن خاک، عمل کبهرتی داشته‌است. نتایج این پژوهش بیانگر اهمیت سطح برگ گونه های گراس در تولید لاشبرگ و ارتقا کربن خاک مناطق نیمه خشک است. گونه گراس C_4 نرشیت که از سطح برگ بهتری نسبت به گونه استیپا برخوردار است از طریق تولید بیشتر لاشبرگ می‌تواند در پایداری خاک موثرتر باشد. این ویژگی در مدیریت خدمات بوم‌سازگان و جهت ارتقا ترسیب کربن در مقابل تغییر اقلیم و همچنین برنامه‌های احیا مراتع باید لحاظ شود.

■ سپاسگزاری

این مقاله در قالب طرح پژوهشی به شماره۲۹۴۸۴۴-۵-۰۳-۴۸۱۳ و با بهره مندی از اعتبارات پژوهشی دانشگاه جیرفت به انجام رسیده است.

■ References

1. Adair, E.C., & Burke, I.C. (2010). Plant phenology and life span influence soil pool dynamics: *Bromus tectorum* invasion of perennial C_3–C_4 grass communities. *Plant Soil, 335*, 255–269. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0413-3

2. Alexander, H.D., & Arthur, M.A. (2014). Increasing red maple leaf litter alters decomposition rates and nitrogen cycling in historically oak-dominated forests of the eastern U.S. *Ecosystems, 17* (8), 1371–1383. https://doi.org/10.1007/s10021-014-9802-4

3. Areejit, S., & Martin, O.C. (2013). Shining fresh light on the evolution of photosynthesis. *Elife, 2*, 01403. doi: 10.7554/eLife.01403.

4. Coûteaux, M.M., Bottner, P., & Berg, B. (1995). Litter decomposition, climate and litter quality. *Trends in Ecology and Evolution, 10*(2), 63-66. https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88978-8

5. Dai, W.W., Peng, B., Liu, J., Wang, C., Wang, X., Jiang, P., & Bai, E. (2021). Four years of litter input manipulation changes soil microbial characteristics in a temperate mixed forest. *Biogeochemistry, 154*(2), 371–383. https://doi.org/10.1007/s10533-021-00792-w

6. Diouf, A., Brandt, M., Verger, A., Jarroudi, M., Djaby, B., Fensholt, R., Ndione, J., & Tychon, B. (2015). Fodder biomass monitoring in sahelian rangelands using phenological metrics from FAPAR time series. *Remote Sensing. 7*, 9122. https://doi.org/10.3390/rs70709122

7. Ehsani, A., Yeganeh, H., & Barati, H. (2013). Investigation on the phenology of *Stipa barbata* in steppe and semi-steppe rangelands of Iran. *Iranian Journal of Range and Desert Research, 3*, 599-612. https://doi.org/10.22092/ijrdr.2013.5800 [In Persian]

8. Farahani, E., Shahmoradi, A., Zarekia, S., & Azhir, F. (2008). Autecology of *Stipa barbata* in Tehran Province. *Iranian journal of Range and Desert Reseach, 15*, 86-94. [In Persian]

9. Feng, J.G., He, K.Y., Zhang, Q.F., Han, M.G., & Zhu, B. (2022). Changes in plant inputs alter soil carbon and microbial communities in forest ecosystems. *Global Change Biology, 28* (10), 3426–3440. https://doi.org/10.1111/gcb.16107

10. Gharet, V., Moradi, H., & Khosravi, N. (2017). *A review on the botany of Hyparrhenia hirta with the approach of its habitat characteristics and phenology, the first national conference on sustainable development in agricultural sciences and natural resources with a focus on environmental culture*, Tehran.

11. Gong, X., Fanselow, N., Dittert, K., Taube, F., & Lin, S. (2015). Response of primary production and biomass allocation to nitrogen and water supplementation along a grazing intensity gradient in semiarid grassland. *European Journal of Agronomy, 63*, 27–35. https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.11.004

12. Grobler, B.A., Franklin, J., Marean, C.W., Gravel-Miguel, C., & Cowling, R.M. (2023). The importance of C_3 and C_4 grasses and CAM shrubs in the Greater Cape Floristic Region under contemporary and Last Glacial Maximum climates. *Quaternary Science Reviews, 318*, 108294. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2023.108294

13. Gruber, N., & Galloway, J.N. (2008). An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature, 451* (7176), 293–296. https://doi.org/10.1038/nature06592

14. Gu, B., Wang, R., Sardans, J., Peñuelas, J., Han, X., & Jiang, Y. (2024). Altered soil nitrogen retention by grassland acidification from near-neutral to acidic conditions: A plant-soil-microbe perspective. *Fundamental Research*, https://doi.org/10.1016/j.fmre.2023.10.025

15. Hadi, A., Naz, N., Rehman, F.U., Kalsoom, M., Tahir, R., Adnan, M., Saeed, M.S., Khan, A.H., Mehta, J. (2020). Impact of climate change drivers on C_4 plants: A review. *Current Agriculture Research, 1*, 13-18. 10.18782/2582-7146.118

16. Hassan, N., Sher, Kh., Rab, A., Abdullah, I., Zeb, U., Naeem, I., Shuaib, M., Khan, H., Khan, W. & Khan, A., (2021). Effects and mechanism of plant litter on grassland ecosystem: A review. *Acta Ecologica Sinica, 41*, 341-345. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2021.02.006

17. Henneron, L., Kardol, P., Wardle, D.A., Cros, C., & Fontaine, S. (2020). Rhizosphere control of soil nitrogen cycling: a key component of plant economic strategies. *New Phytologist. 228* (4), 1269-1282. https://doi.org/10.1111/nph.16760

18. Hou, S.L., Hättenschwiler, S., Yang, J.J., Sistla, S., Wei, H.W., Zhang, Z.W., Hu, Y.Y., Wang, R.Z., Cui, S.Y., Lü, X.T., & Han, X.G. (2021). Increasing rates of long-term nitrogen deposition consistently increased litter decomposition in a semi-arid grassland. *New Phytologist, 229*, 296-307. https://doi.org/10.1111/nph.16854

19. Huang, W.J., & Spohn, M. (2015). Effects of long-term litter manipulation on soil carbon, nitrogen, and phosphorus in a temperate deciduous forest. *Soil Biology and Biochemistry, 83*, 12–18. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.01.011

20. Hyvonen, R., Agren, G.I., Linder, S., Persson, T., Cotrufo, M.F., Ekblad, A., Freeman, M., Grelle, A., Janssens, I.A., Jarvis, P.G., Kellomaki, S., Lindroth, A., Loustau, D., Lundmark, T., Norby, R.J., Oren, R., Pilegaard, K., Ryan, M.G., Sigurdsson, B.D., Stromgren, M., van Oijen, M., & Wallin, G. (2007). The likely impact of elevated CO_2, nitrogen deposition, increased temperature and management on carbon sequestration in temperate and boreal forest ecosystems: a literature review. *New Phytologist, 173* (3), 463–480. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.01967.x

21. Jabloun, M., Schelde, K., Tao, F., & Olesen, J.E. (2015). Effect of temperature and precipitation on nitrate leaching from organic cereal cropping systems in Denmark. *European Journal of Agronomy, 62*, 55–64. https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.09.007

22. Jiang, W. Wu, H., Li, Q., Lin, Y., & Yu, Y. (2019). Spatiotemporal changes in C_4 plant abundance in China since the Last Glacial Maximum and their driving factors. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 518*, 10-21. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.12.021

23. Jiang, Z.Y., Hu, Z.M., Lai, D.Y.F., Han, D.R., Wang, M., Liu, M., Zhang, M., & Guo, M.Y. (2020). Light grazing facilitates carbon accumulation in subsoil in Chinese grasslands: a meta-analysis. *Global Change Biology, 26*(12), 7186-7197. DOI: 10.1111/gcb.15326

24. Kajala, K., Covshoff, S., Karki, S., Woodfield, H., Tolley, B.J., Dionora, M.J., Mogul, R.T., Mabilangan, A.E., Danila, F.R., Hibberd, J.M., & Quick, W.P. (2011). Strategies for engineering a two-celled C4 photosynthetic pathway into rice. *Journal of Experimental Botany, 62*, 3001-3010.

https://doi.org/10.1093/jxb/err022

25. Koukoura, Z. (1998). Decomposition and nutrient release from C_3 and C_4 plant litters in a natural grassland. *Acta Oecologica, 19*, 115-123. 10.1016/S1146-609X(98)80015-5

26. Lajtha, K., Bowden, R.D., & Nadelhoffer, K. (2014). Litter and root manipulations provide insights into soil organic matter dynamics and stability. *Soil Science Society of America Journal, 78*, 261-269. https://doi.org/10.2136/sssaj2013.08.0370nafsc

27. Lajtha, K., Bowden, R.D., Crow, S., Fekete, I., Kotroczo, Z., Plante, A.F., Simpson, M.J., & Nadelhoffer, K.J. (2018). The detrital input and removal treatment (DIRT) network: Insights into soil carbon stabilization. *Science of The Total Environment***,** *640*, 1112–1120. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.388

28. Leff, J.W., Wieder, W.R., Taylor, P.G., Townsend, A.R., Nemergut, D.R., Grandy, A.S., & Cleveland, C.C. (2012). Experimental litterfall manipulation drives large and rapid changes in soil carbon cycling in a wet tropical forest. *Global Change Biology*, *18* (9), 2969–2979. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02749.x

29. Li, J., Meng, B., Chai, H., Yang, X., Song, W., Li, S., Lu, A., Zhang, T., & Sun, W. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate drought stress in C_3 (*leymus chinensis*) and C_4 (*hemarthria altissima*) grasses via altering antioxidant enzyme activities and photosynthesis. *Frontiers in Plant Science, 10*:499. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00499

30. Li, J., Yang, C., Zhou, H., & Shao, X. (2020). Responses of plant diversity and soil microorganism diversity to water and nitrogen additions in the Qinghai-Tibetan Plateau. *Global Ecology and Conservation, 22*, e01003. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01003

31. Li, M., Wan, Sh., Colin, Ch., Jin, H., Zhao, D., Pei, W., Jiao, W., Tang, Y., Tan, Y., Shi, X., & Li, A. (2023). Expansion of C_4 plants in South China and evolution of East Asian monsoon since 35 Ma: Black carbon records in the northern South China Sea. *Global and Planetary Change, 223*, 104079. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2023.104079

32. Li, X., Risch, A.C., Sanders, D., Liu, G., Prather, Ch., Wang, Zh., Hassan, N., Gao, Q., Wang, D., & Zhong, Zh. (2021). A facilitation between large herbivores and ants accelerates litter decomposition by modifying soil microenvironmental conditions. *Functional Ecology, 35* (8), 1822-1832. https://doi.org/10.1111/1365-2435.13812

33. Liu, Y.H., Li, C., Cai, G., Sauheitl, L., Xiao, M.L., Shibistova, O., Ge, T.D., & Guggenberger, G., (2023). Meta-analysis on the effects of types and levels of N, P, and K fertilization on organic carbon in cropland soils. *Geoderma, 437*, 116580. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116580

34. Lodge, G.M., & Murphy, S.R. (2005). Ground cover in temperate native perennial grass pasture. II. Relationship with herbage and litter mass. *The Rangeland Journal*, *24*(2), 301-312. DOI: 10.1071/RJ02017

35. Luo, W., Wang, X., Sardans, J., Wang, Z., Dijkstra, F.A., Lu, X., Penuelas, J., & Han, X. (2018). Higher capability ~ of C_3 than C_4 plants to use nitrogen inferred from nitrogen stable isotopes along an aridity gradient. *Plant and Soil, 428*, 93–103. https://doi.org/10.1007/s11104-018-3661-2

36. Lv, G.,He, M., Li, Q., Wang, Zh., & Wang, Ch. 2023. Experimental climate change in desert steppe reveals the importance of C_4 plants for ecosystem carbon exchange. *Ecological Indicators, 154*, 110705. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110705

37. Ma, Zh., Li, L., Qingping, Zh., & Hou, F. (2022). Litter manipulation enhances plant community heterogeneity via distinct mechanisms: The role of distribution patterns of plant functional composition and niche breadth variability. *Journal of Environmental Management, 320*, 115877. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115877

38. MacDicken, K.G. (1997). *A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects*. Winrock Internationl Institute for Agricultural Development, Forest Carbon Monitoring Program.

39. Mahaney, W.M., Smemon, K.A., & Gross, K.L. (2008). Impacts of C_4 grass introductions on soil carbon and nitrogen cycling in C_3-dominated successional systems. *Oecologia, 157*, 295–305. https://doi.org/10.1007/s00442-008-1063-5

40. Mansour, K., Everson, T., & Mutanga, O. (2013). Evaluation of potential indicators for payment of environmental services on the impact of rehabilitation of degraded rangeland sites. *African Journal of Agricultural Research, 8*, 1290–1299. DOI: 10.5897/AJAR12.1550

41. Mouginot, C., Kawamura, R., Matulich, K.L., Berlemont, R., Allison, S.D., Amend, A.S., & Martiny, A.C. (2014). Elemental stoichiometry of Fungi and Bacteria strains from grassland leaf litter. *Soil Biology and Biochemistry, 76*, 278-285. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.05.011

42. Mozafarian, V. (1996). *A dictionary of Iranian plants*. Farhang Moaser Publications, Tehran.

43. Nasirinejad, M., Bagheri, A., & Jafari, A. (2012). Evaluation the effect of C_3 and C_4 weeds and different levels of nitrogen on growth and biomass production of sunflower (*Heliantheus annus* L.). *Plant Ecophysiology, 4*, 14-24. [In Persian]

44. Nelson, D.W., & Sommers, L.E. (1982). *Total carbon, organic carbon, organic matter*. In: Page, A.L., Miller, R.H., Kenney, D.R. (Eds,). Methods of Soil Analysis, Part 1, 2nd Edition. Agronomy Monograph 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, pp. 539–580.

45. Nemergut, D.R., Cleveland, C.C., Wieder, W.R., Washenberger, C.L., & Townsend, A.R. (2010). Plot-scale manipulations of organic matter inputs to soils correlate with shifts in microbial community composition in a lowland tropical rain forest. *Soil Biology and Biochemistry, 42* (12), 2153–2160. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.08.011

46. Niu, S., Liu, W., & Wan, S. (2008). Different growth responses of C_3 and C_4 grasses to seasonal water and nitrogen regimes and competition in a pot experiment. *Journal of Experimental Botany, 59*, 1431–1439. https://doi.org/10.1093/jxb/ern051

47. OuzuniDouji, A.A., Esfahani, M., Samizadeh Lahiji, H.A., & Rabiei, M. (2008). Effect of planting pattern and plant density on growth indices and radiation use efficiency of apetalous flowers and petalled flowers rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Science, 9*, 400–328. [In Persian]

48. Pabo, H. (1969) *Development and improvement of pastures in Iran, translated by Guderz Shidaei*. Ministry of Natural Resources, Tehran, Iran. 219 p.

49. Polley, H.W., Derner, J.D., Jackson, R.B., Wilsey, B.J., & Fay, P.A. (2014). Impacts of climate change drivers on C_4 grassland productivity: scaling driver effects through the plant community. *Journal of Experimental Botany 65*, 3415–3424. https://doi.org/10.1093/jxb/eru009

50. Rafique, S., Wallace, J.D., J. Holechek, L., Galyean, M.L., & Arthun, D.P. (1992). Influence of forbs and shrubs on nutrient digestion and balance in sheep fed grass hay. *Small Ruminant Research, 7*, 113-122. https://doi.org/10.1016/0921-4488(92)90201-E

51. Rai, A., Singh, A.K., Singh, N., & Ghoshal, N. (2020). Effect of elevated CO_2 on litter functional traits, mass loss and nutrient release of two subtropical species in free air carbon enrichment facility. *Environmental and Experimental Botany, 172*, 103994. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.103994

52. Ross, D.J., Tate K.R., Newton, P.C.D., & Clark, H. (2002). Decomposability of C_3 and C_4 grass litter sampled under different concentrations of atmospheric carbon dioxide at a natural CO_2 spring**.** *Plant and Soil, 240*, 275–286. https://doi.org/10.1023/A:1015779431271

53. Sáez-Plaza, P., Navas, M.J., Wybraniec, S., Michałowski, T., & Asuero, A.G. (2013). An overview of the Kjeldahl Method of Nitrogen determination. Part II. Sample Preparation, Working Scale, Instrumental Finish, and Quality Control. *Critical Reviews in Analytical Chemistry, 43*, 224-272. DOI: 10.1080/10408347.2012.751787

54. Sayer, E.J. (2006). Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews, 81* (1), 1–31. doi: 10.1017/S1464793105006846.

55. Sayer, E.J., Baxendale, C., Birkett, A.J., Brechet, L.M., Castro, B., Kerdraon-Byrne, D., Lopez-Sangil, L., & Rodtassana, C. (2021). Altered litter inputs modify carbon and nitrogen storage in soil organic matter in a lowland tropical forest. *Biogeochemistry, 156* (1), 115–130. https://doi.org/10.1007/s10533-020-00747-7

56. Sayer, E.J., Rodtassana, C., Sheldrake, M., Br´echet, L.M., Ashford, O.S., Lopez-Sangil, L., Kerdraon-

Byrne, D., Castro, B., Turner, B.L., Wright, S.J., & Tanner, E.V.J. (2020). *Advances in Ecological Research*. In: Dumbrell, A.J., Turner, E.C., Fayle, T.M. (Eds.), Revisiting Nutrient Cycling by Litter fall—Insights from 15 Years of Litter Manipulation in Old-Growth Lowland Tropical Forest. Academic Press, USA, pp. 173–223.

57. Shen, Y., Chen, W., Yang, G., Yang, X., Liu, N., Sun, X., Chen, J., & Zhang, Y. (2016). Can litter addition mediate plant productivity responses to increased precipitation and nitrogen deposition in a typical steppe?. *Ecological Research, 31*, 579–587. https://doi.org/10.1007/s11284-016-1368-5

58. Shoko, C., Mutanga, O., & Dube, T. (2016). Progress in the remote sensing of C_3 and C_4 grass species aboveground biomass over time and space. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 120*, 13–24. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.08.001

59. Spiesman, B.J., Kummel, H., & Jackson, R. (2018). Carbon storage potential increases with increasing ratio of C_4 to C_3 grass cover and soil productivity in restored tall grass prairies. *Oecologia, 186*(2), 565-576. https://doi.org/10.1007/s00442-017-4036-8

60. Still, C.J., Pau, S., & Edwards, E.J. (2014). Land surface skin temperature captures thermal environments of C_3 and C_4 grasses. *Global Ecology and Biogeography, 23*, 286–296. https://doi.org/10.1111/geb.12121

61. Taylor, S.H., Ripley, B.S., Martin, T., De-Wet, L.A., Woodward, F., & Osborne, C.P. (2014). Physiological advantages of C_4 grasses in the field: a comparative experiment demonstrating the importance of drought. *Global Change Biology, 20*, 1992–2003. https://doi.org/10.1111/gcb.12498

62. Thomas, H., Ougham, H.J., Wagstaff, C., & Stead, A.D. (2003). Defining senescence and death. *Journal of Experimental Botany, 54*, 1127–1132. doi: 10.1093/jxb/erg133.

63. Triadiati, Tjitrosemito, S., Guhardja, E., Sudarsono, Qayim, I., & Leuschner, C. (2011). Litterfall production and leaf-litter decomposition at natural forest and Cacao agroforestry in Central Sulawesi, Indonesia. *Asian Journal* (2006*of Biological Sciences, 4*, 221-234. https://scialert.net/abstract/?doi=ajbs.2011.221.234

64. Violle, C., Richarte, J., & Navas, M.L. (2006). Effects of litter and standing biomass on growth and reproduction of two annual species in a Mediterranean old-field. *Journal of Ecology, 94*, 196–205. https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01061.x

65. Wang, Z., Li, Y., Halo, X., Zhao, M., & Han, G. (2015). Responses of plant community coverage to simulated warming and nitrogen addition in a desert steppe in Northern China. *Ecological Research, 30*(4), 605-614. https://doi.org/10.1007/s11284-015-1265-3

66. White, K., Langley, J., Cahoon, D., & Megonigal, J.P. (2012). C_3 and C_4 biomass allocation responses to elevated CO_2 and nitrogen: contrasting resource capture strategies. *Estuaries Coasts, 35*, 1028–1035. https://doi.org/10.1007/s12237-012-9500-4

67. Wu, P., Xie, Y., Chi, Y., Wang, Y., & Liu, R. (2024). Temperature controls on the C_4 plants expansion in the mid-latitudes and its ecological implications for dryland paleoclimatic reconstruction: A stable carbon isotope perspective. *Earth-Science Reviews, 249*, 104678. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104678

68. Wu, Q., Ren, H., Bisseling, T., Chang, S.X., Wang, Z., Li, Y., Pan, Z., Liu, Y., Cahill, J.F., Cheng, X.U., Zhao, M., Wang, Z., Li, Z., & Han, G. (2021). Long-term warming and nitrogen addition have contrasting effects on ecosystem carbon exchange in a desert steppe. *Environmental Science & Technology, 55* (11), 7256-7265. https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06526

69. Zechmeister-Boltenstern, S., Keiblinger, K.M., Mooshammer, M., Penuelas, J., Richter, A., Sardans, J., & Wanek, W. (2015). The application of ecological stoichiometry to plantmicrobial-soil organic matter transformations. *Ecological Monographs, 85*(2), 133–155. https://doi.org/10.1890/14-0777.1

70. Zhao, J., Yang, W., Ji-Shi, AMa, Y., Tian, L., Li, R., Huang, Z., Liu, Y.F., Leite, P.A.M., Ding, L., & Wu, G.L. (2023). Shrub encroachment increases soil carbon and nitrogen stocks in alpine grassland ecosystems of the central Tibetan Plateau. *Geoderma, 433*, 116468. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116468

71. Zheng, Y.Y., Jin, J., Wang, X.Y., Clark, G.J., & Tang, C.X. (2022). Increasing nitrogen availability does not decrease the priming effect on soil organic matter under pulse glucose and single nitrogen addition in woodland topsoil. *Soil Biology and Biochemistry*, *172*, 108767. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108767

72. Zhong S., Xu Y., Meng B., Loik M.E., Ma J.-Y., & Sun, W. (2019). Nitrogen addition increases the sensitivity of photosynthesis to drought and re-watering differentially in C_3 versus C_4 grass species. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 815. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00815

73. Zhou, G., Zhou, X., He, Y., Shao, J., Hu, Z., Liu, R., Zhou, H., & Hosseinibai, S. (2017). Grazing intensity significantly affects belowground carbon and nitrogen cycling in grassland ecosystems: a meta-analysis. *Global Change Biology*, *23*(3), 1167-1179. https://doi.org/10.1111/gcb.13431